



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

FACULTAD TECNOLÓGICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA ENERGÍA

**REALIZAR UN MÓDULO DE APRENDIZAJE DE UN GENERADOR  
SINCRÓNICO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS**

Profesor guía: José Gómez Vega

Kevin Olivares Páez

Oswaldo Lucero Galleguillos

Copiapó, Chile 2022



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

FACULTAD TECNOLÓGICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA ENERGÍA

**REALIZAR UN MÓDULO DE APRENDIZAJE DE UN GENERADOR  
SINCRÓNICO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS**

Proyecto de titulación para optar al título de Técnico Universitario en Electricidad

Profesor guía: José Gómez Vega

Kevin Olivares Páez

Oswaldo Lucero Galleguillos

Copiapó, Chile 202

## INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	vii
ABSTRACT .....	viii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.  Objetivo general .....	1
1.2.  Objetivos específicos.....	1
1.3.  Alcances.....	1
CAPITULO II.....	2
MARCO TEORICO.....	2
2.1.  PARTES DEL GENERADOR SINCRÓNICO .....	2
2.2  FUNCIONAMIENTO DE UN GENERADOR SINCRÓNICO .....	5
2.3  PARTES Y FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR ASINCRÓNICO TRIFASICO .....	7
2.3.1  CALCULO DE POTENCIA DE LOS MOTORES ELECTRICOS .....	9
2.3.2  DESLIZAMIENTO DEL ROTOR .....	10
2.3.3  FRECUENCIA ELÉCTRICA EN EL ROTOR.....	11
2.4  FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR.....	13
2.5  COMPONENTES DE UN TRANSFORMADOR .....	14
2.5.1  CIRCUITO MAGNÉTICO (NÚCLEO).....	14
2.5.2.  CIRCUITO ELÉCTRICO (BOBINA) .....	14
2.5.3.  SISTEMA DE AISLAMIENTO .....	14
2.5.4.  TANQUE Y ACCESORIOS .....	14
2.6  ESQUEMAS ELÉCTRICOS DE LOS TRANSFORMADORES .....	15
2.7  FUNCIONAMIENTO DEL DINAMO ELÉCTRICO.....	15
2.7.1  PARTES DE UN DINAMO .....	16
2.7.2  INDUCTOR.....	16
2.7.3  EL INDUCIDO .....	16

2.7.4 EL COLECTOR.....	17
3.6 CIRCUITO MAGNÉTICO DE UN DINAMO .....	18
2.8 FUERZA ELECTROMOTRIZ GENERADA POR UN DINAMO .....	19
CAPÍTULO III .....	20
MÓDULO DE APRENDIZAJE DE UN GENERADOR SÍNCRONO.....	20
3.1 COMPONENTES DEL MÓDULO DE APRENDIZAJE DE UN GENERADOR SINCROÓNICO .....	20
3.2 DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DE APRENDIZAJE DEL GENERADOR SINCROÓNICO .....	29
3.3 ANÁLISIS DE DATOS DEL MODULO DEL GENERADOR SINCROÓNICO .	32
CONCLUSIÓN .....	36
BIBLIOGRAFÍA .....	37

## INDICE DE FIGURAS

Figura N°2.1. Rotor de dos polos no salientes de un generador sincrónico. ....	2
Figura N°2.2. Un rotor de 6 polos con anillos rozantes .....	3
Figura N°2.3. un rotor de 6 polos salientes con sus devanados instalados.....	3
Figura N°2.4. Polo de un generador sin devanados. ....	4
Figura N°2.5. Polo de un generador con devanados. ....	4
Figura N°2.6. Estator de un motor asincrónico.....	7
Figura N°2.7. Rotor con anillos rozantes de un motor asincrónico .....	8
Figura N°2.8. Esquema básico de un transformador .....	13
Figura N°2.9. Esquema eléctrico de un transformador monofásico.....	15
Figura N°2.10 Esquema eléctrico de un transformador trifásico.....	15
Figura N°2.11. Inductor de un dinamo.....	16
Figura N°2.12. Colector de delgas.....	17
Figura N°2.13. Escobillas.....	18
Figura N°2.14. Porta escobillas.....	18
Figura N°2.15. Circuito magnético de un dinamo.....	19
Figura N°3.1. Variac.....	21
Figura N°3.2. Motor/generador sincrónico.....	21
Figura N°3.3. Motor Asincrónico .....	22
Figura N°3.4. Variador de Frecuencia .....	22
Figura N°3.5. Transformador .....	23
Figura N°3.6. Rectificador .....	23
Figura N°3.7. Dinamo .....	24
Figura N°3.8. Resistencia variable .....	25
Figura N°3.9. Motor asincrónico secundario.....	25

Figura N°3.10. Tablero eléctrico cerrado.....	26
Figura N°3.11. Tablero eléctrico abierto.....	27
Figura N°3.12. plano del tablero eléctrico.....	28
Figura N°3.13. Alimentación del circuito.....	29
Figura N°3.14. Alineación del módulo de aprendizaje. ....	30
Figura N°3.15. Final del modulo de aprendizaje.....	31
Figura N°3.16. Medición de fase 1 y fase 2 a la salida del transformador.....	32
Figura N°3.17. Medición de fase 1 y fase 3 a la salida del transformador.....	33

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación N°2.1.....	5
Ecuación N°2.2. ....	5
Ecuación N°2.3. ....	6
Ecuación N°2.4.....	6
Ecuación N°2.5. ....	9
Ecuación N°2.6. ....	9
Ecuación N°2.7. ....	10
Ecuación N°2.8. ....	10
Ecuación N°2.9.....	10
Ecuación N°2.10. ....	11
Ecuación N°2.11. ....	11
Ecuación N°2.12. ....	11
Ecuación N°2.13. ....	11
Ecuación N°2.14. ....	19
Ecuación N°3.1. ....	34
Ecuación N°3.2.....	35

## **RESUMEN**

Este proyecto tuvo como objetivo confeccionar un módulo de aprendizaje de un generador sincrónico de fácil entendimiento para los futuros estudiantes de electricidad. El cual está pensado para apoyar en las asignaturas de “Máquinas Eléctricas, Taller I, Taller II y Taller III”

En el capítulo I, se entrega la introducción, el objetivo general, los objetivos específicos y el alcance del proyecto.

En el capítulo II, se entrega la información sobre el funcionamiento y partes del generador sincrónico, el motor asincrónico, el transformador , cálculos de potencia de los motores y dinamo eléctrico.

En el capítulo III, se entrega la información sobre como el diseño, como se realizó, el funcionamiento, cuáles componentes se utilizaron y el análisis de datos del módulo de aprendizaje del generador sincrónico.

## **ABSTRACT**

The objective of this project was to make an easy to understand synchronous generator learning module for future electricity students. Which is disgned to support in the subjects of “Máquinas Eléctricas, Taller I, Taller II, Taller III”

In chapter I, provides information on the introduction, the general objective, the specific objectives and the scope of the project.

In chapter II, Information on the operation and parts of the synchronous generator, the asynchronous motor, the transformer, motor power calculations and electric dynamo is provided.

In chapter III, Information is provided on how the design, how it was carried out, the operation, which components were used and the data analysis of the learning module of the synchronous generator are delivered.

LEARNING MODULE – SYNCHRONOUS GENERATOR – ELECTRIC  
MACHINES

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

A continuación, se realizará un módulo de aprendizaje sobre el generador sincrónico ubicado en el taller de electricidad de la Universidad de Atacama. Este módulo de aprendizaje tiene como objetivo facilitar el aprendizaje de un generador sincrónico, con el fin de ayudar a las futuras generaciones de estudiantes de electricidad a comprender de una mejor manera el funcionamiento de un generador sincrónico y sus variables al aplicarles una carga eléctrica, pudiendo observar cómo se refleja esto directamente en un tablero de control, y permitiendo a la vez ir variando estos mismos valores con un variador de frecuencia, un variac, un freno dinámico y una resistencia variable, mostrando de esta manera como esto afecta la potencia de las ampolletas y los RPM del motor asincrónico trifásico de 500W que está instalado como carga al generador. También se hablará sobre las partes y el funcionamiento del transformador, el motor asincrónico y el freno dinámico, los cuales son de las máquinas eléctricas más utilizadas junto al generador sincrónico, de esta manera ayudando al aprendizaje de la asignatura de “Máquinas Eléctricas, del Taller I, Taller, II y Taller III”

### 1.1. Objetivo general

El objetivo general de nuestro proyecto es realizar un módulo de aprendizaje de un generador sincrónico de fácil entendimiento para los futuros estudiantes de electricidad, el cual, también les permitirá aprender sobre otras máquinas eléctricas, como el motor asincrónico (de inducción), el transformador y el freno dinámico.

### 1.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos de nuestro proyecto serían los siguientes:

- Buscar información sobre el generador sincrónico y máquinas eléctricas.
- Diseñar y explicar el módulo de aprendizaje del generador sincrónico.
- Realizar el módulo de aprendizaje del generador sincrónico.

### 1.3. Alcances

Este módulo será realizado y instalado en el taller eléctrico de distribución de fuerza en la Universidad de Atacama.

## CAPITULO II

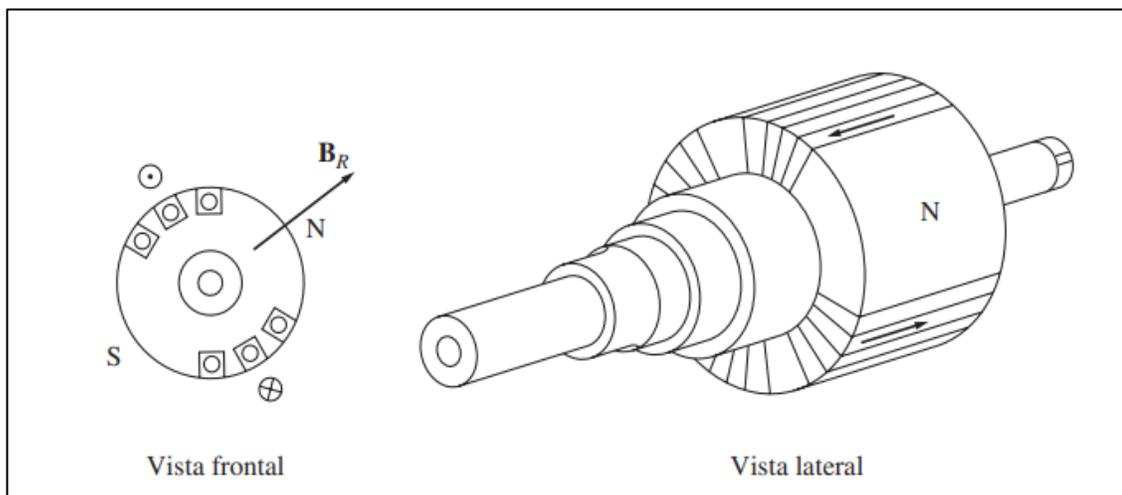
### MARCO TEORICO

En este capítulo se explican las partes y el funcionamiento que tiene un generador sincrónico, dinamo eléctrico, transformador, motor trifásico, el deslizamiento del rotor y la frecuencia en el rotor.

#### 2.1. PARTES DEL GENERADOR SINCRÓNICO

Los generadores sincrónicos disponen de, un imán permanente o bien de un electroimán el cual se forma al aplicar corriente continua a los devanados del generador, los cuales inducen un campo electromagnético al rotor para así lograr generar una inducción eléctrica.

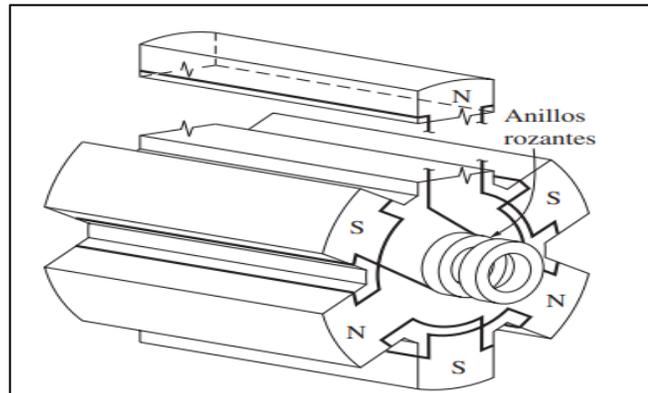
**Figura N°2.1. Rotor de dos polos no salientes de un generador sincrónico.**



Fuente: Chapman (2012)

El rotor de un generador sincrónico consta de mínimo dos polos (Negativo y Positivo) los cuales contienen los devanados del generador sincrónico, según el número de polos de una máquina eléctrica, esto afectará los pH y los RPM de la máquina.

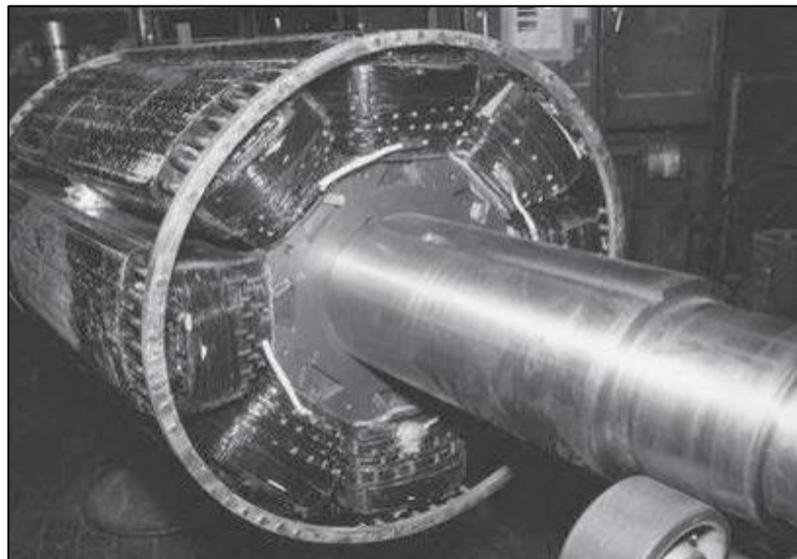
**Figura N°2.2. Un rotor de 6 polos con anillos rozantes**



Fuente: Chapman (2012)

Los rotores también disponen de anillos rozantes, los cuales son los encargados de mantener al rotor en su posición y de disminuir el desgaste por roce, los anillos se deslizan por unas escobillas estacionarias las cuales están hechas por un compuesto de carbón que disminuye el roce con los anillos, provocando de esta manera un menor roce con los anillos del rotor.

**Figura N°2.3. un rotor de 6 polos salientes con sus devanados instalados.**



Fuente: Chapman (2012)

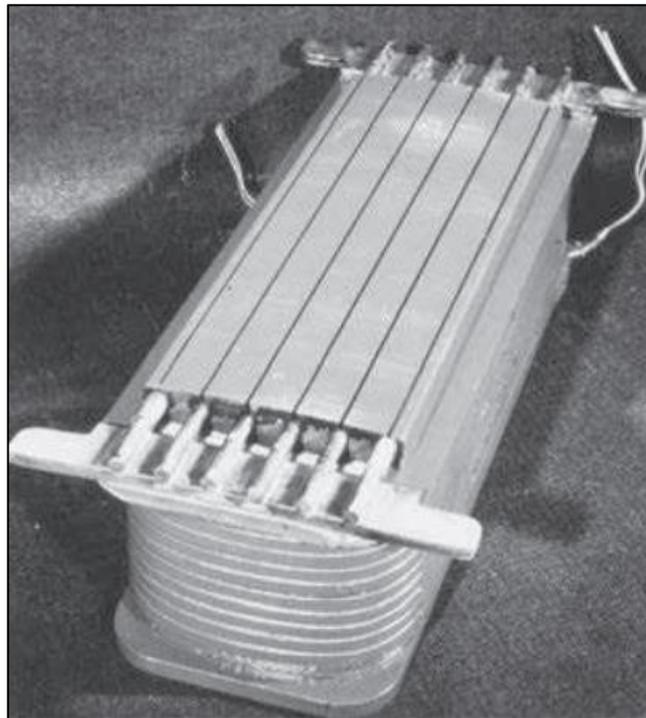
Los generadores sincrónicos al igual que los motores eléctricos, tienen un estator el cual está fijo al chasis del generador y es el encargado de hacer girar el rotor debido al campo electromagnético que este le induce al rotor.

**Figura N°2.4. Polo de un generador sin devanados.**



Fuente: Chapman (2012)

**Figura N°2.5. Polo de un generador con devanados.**



Fuente: Chapman (2012)

## 2.2 FUNCIONAMIENTO DE UN GENERADOR SINCRÓNICO

Para lograr el funcionamiento de un generador sincrónico, se debe acoplar el eje de motor o turbina que lo hará girar a la velocidad sincrónica deseada, lo cual se calcula de la siguiente manera:

### Ecuación N°2.1.

$$N_s = \frac{120 f}{p}$$

- $N_s$  = Velocidad sincrónica
- $f$  = Frecuencia
- $P$  = Cantidad de polos del generador sincrónico.

Un ejemplo de esto sería el siguiente:

Un generador entrega 50Hz y consta de 4 polos, la velocidad sincrónica de este sería de 1500 RPM.

Esto también nos indica que, si el generador gira por debajo la velocidad sincrónica, la frecuencia de la energía que entregue variara, un ejemplo de esto sería el siguiente:

Un generador gira a 1400 RPM y cuenta con 4 polos, la Frecuencia (Hz) de la energía que entrega es de 46.66 Hz, esto se consigue con la siguiente fórmula:

### Ecuación N°2.2.

$$\text{Hz} = \frac{N_m P}{120}$$

- $\text{Hz}$  = Frecuencia
- $N_m$  = RPM del generador
- $P$  = Cantidad de polos del generador sincrónico.

El generador necesita de unos imanes permanentes o bien de unos electroimanes para lograr cumplir con la ley de Faraday, la cual dice que la tensión eléctrica inducida en un circuito, es proporcional a la variación del flujo magnético que lo atraviesa, entonces los imanes inducen un campo magnético que reacciona a los devanados del rotor creando así una variación electromagnética debido al movimiento del rotor y así produciendo una diferencia de potencial trifásica en el generador.

**Ecuación N°2.3.**

$$\text{FEM } (\varepsilon) = \frac{d\phi}{dt}$$

- FEM ( $\varepsilon$ ) = Fuerza electromotriz (v)
- $\phi$  = Flujo magnético (weber)

De igual manera para calcular la tensión eléctrica inducida, se utiliza la ley de ohm la cual dice que la intensidad de corriente que atraviesa un circuito es directamente proporcional al voltaje del mismo e inversamente proporcional a la resistencia.

**Ecuación N°2.4**

$$I = \frac{\text{FEM } (\varepsilon)}{R}$$

- I = Intensidad (A)
- FEM ( $\varepsilon$ ) = Fuerza electromotriz (v)
- R = Resistencia

Cuando al generador eléctrico se le conecta una carga eléctrica, la velocidad de giro de este (RPM) se verá disminuida dependiendo de la carga eléctrica que se le da. Si la velocidad del rotor baja, también lo hará la frecuencia (Hz) de la corriente eléctrica producida por el generador sincrónico debido a las ecuaciones anteriormente vistas.

### 2.3 PARTES Y FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR ASINCRÓNICO TRIFASICO

Las partes de un motor un motor asincrónico son las siguientes:

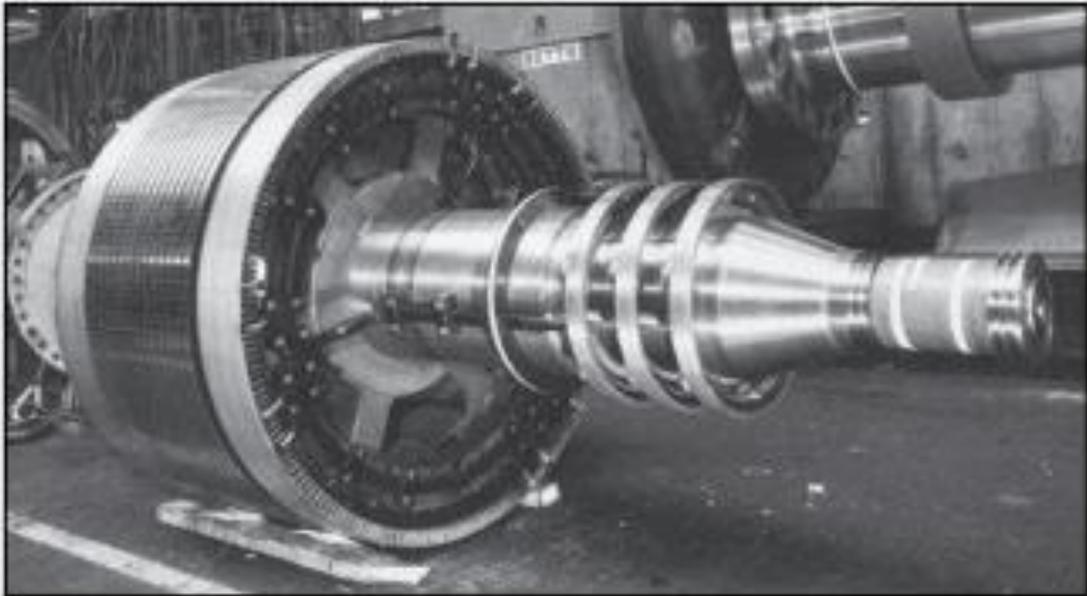
**Figura N°2.6. Estator de un motor asincrónico**



Fuente: Chapman (2012)

Este estator, al igual que el de un generador, tiene devanados de 3 fases distintas que pasan a través *de* este, estos enrollamientos van aislados entre sí para no causar un corto circuito interno. La principal falla de un motor asincrónico es el sobre calentamiento que puede llegar a tener internamente el motor, dañando la aislación de los enrollamientos internos y provocando un corto circuito, esto provocaría la pérdida total de la máquina, debido a la difícil reparación de este.

**Figura N°2.7. Rotor con anillos rozantes de un motor asincrónico**



Fuente: Chapman (2012)

Los rotores disponen de un embobinado de cobre, el cual permite la interacción con el estator y dar movimiento circular sobre si mismos, permitiendo el movimiento del eje central, el cual se acopla a lo que se desee hacer funcionar, como, por ejemplo; un generador, una correa transportadora, un sistema de transmisión o engranajes, etc.

Para lograr el giro de motor asincrónico trifásico, se necesita que pase una corriente trifásica por los devanados del estator los cuales, al estar aislados, obligan que esta corriente eléctrica no se desvíe de los devanados y logre generar un campo magnético giratorio, el cual es denominado como “velocidad sincrónica”  $N_s$ . Este campo magnético genera fuerza electromotriz sobre el rotor, lo que producirá el giro de este. No obstante, la velocidad de giro del rotor, nunca será igual a la velocidad del campo magnético, dado que, al igualarla, el rotor empezaría a detenerse y así se volverían a desfazar la velocidad magnética con la de giro, provocando un movimiento asincrónico.

### 2.3.1 CALCULO DE POTENCIA DE LOS MOTORES ELECTRICOS

Determinamos la potencia de un motor asincrónico que se ocupara en el módulo de aprendizaje, utilizando la ecuación de potencia.

Teniendo en cuenta que:

#### **Ecuación N°2.5.**

$$1\text{Hp} = 746\text{W}$$

Podemos calcular que la potencia del motor asincrónico principal es de 2.2kw debido a que:

El motor tiene 3Hp, por lo tanto;  $3 \times 746\text{W} = 2.238\text{W} \approx 2.2\text{kW}$

Determinando que la corriente de entrada de un motor asincrónico de 3Hp y 4 polos, en la cual tiene un factor de potencia o el  $\cos\phi$  de 0,87 y una red eléctrica monofásica de 220V y trifásica de 380V, donde la ecuación:

#### **Ecuación N°2.6.**

$$I_L = \frac{P}{V_L \times \cos\phi \times \sqrt{3}} = A$$

$$I_L = \frac{2.238\text{W}}{380\text{V} \times 0,87 \times \sqrt{3}} = 3,9\text{A}$$

En motores trifásicos de 50 Hz se puede saber que:

2 polos = 3000 RPM  $\approx$  2910 RPM

4 polos = 1500 RPM  $\approx$  1450 RPM

6 polos = 1000 RPM  $\approx$  970 RPM

8 polos = 750 RPM  $\approx$  720 RPM

### 2.3.2 DESLIZAMIENTO DEL ROTOR

La corriente eléctrica inducida en el eje de un rotor de un motor asincrónico, depende de la velocidad del rotor en relación con el campo magnético. Existen dos términos que definen el movimiento relativo del rotor y los campos magnéticos “la velocidad de deslizamiento” que se define como la diferencia entre la velocidad sincrónica y la velocidad del rotor.

#### Ecuación N°2.7.

$$n_{des} = n_{sinc} - n_m$$

- $n_{des}$  = Velocidad de deslizamiento de la máquina
- $n_{sinc}$  = Velocidad de campos magnéticos
- $n_m$  = Velocidad mecánica del eje del motor

El deslizamiento es igual a la velocidad relativa expresada como un porcentaje o fracción de unidad. Esto significa que el desplazamiento se define como:

#### Ecuación N°2.8.

$$s = \frac{n_{des}}{n_{sinc}} (x 100\%)$$

$$s = \frac{n_{des} - n_m}{n_{sinc}} (x 100\%)$$

Si el rotor girara a la velocidad sincrónica “ $s = 0$ ” y el rotor está en reposo “ $s = 1$ ”. Todas las velocidades del motor caen dentro de estos dos límites, también se puede expresar la velocidad mecánica del eje del rotor, con la velocidad sincrónica y del desplazamiento. Si se obtiene la velocidad mecánica de las siguientes ecuaciones:

#### Ecuación N°2.9.

$$n_m = (1 - s)n_{sinc}$$

$$\omega_m = (1 - s)\omega_{sinc}$$

### 2.3.3 FRECUENCIA ELÉCTRICA EN EL ROTOR

Un motor asincrónico funciona por la inducción de voltajes en el rotor de éste. El estator del motor, induce un voltaje en el rotor, pero la frecuencia no es necesariamente igual en ambas partes. Si el rotor de un motor asincrónico se detuviese, este tendría la misma frecuencia que el estator y por otro lado, si el rotor gira a la velocidad sincrónica, la frecuencia del rotor será igual a 0.

En el caso de  $n_m = 0$  RPM, la frecuencia en el rotor es de  $f_r = sf_e$  y el deslizamiento es  $s = 1$ , en el que  $n_m = n_{sinc}$ . La frecuencia del rotor es  $f_r = 0$  Hz y el deslizamiento es  $s = 0$ , la velocidad entre estas siempre hará que la frecuencia del rotor sea directamente proporcional a la diferencia entre la velocidad del campo magnético  $n_{sinc}$  y la velocidad del rotor  $n_m$ . Ya que el deslizamiento del rotor se define como:

#### Ecuación N°2.10.

$$s = \frac{n_{sinc} - n_m}{n_{sinc}}$$

La frecuencia del rotor se expresa como:

#### Ecuación N°2.11.

$$f_r = sf_e$$

Otra forma de expresar esta ecuación sería:

#### Ecuación N°2.12.

$$f_r = \frac{n_{sinc} - n_m}{n_{sinc}} f_e$$

#### Ecuación N°2.13.

$$n_{sinc} = \frac{120f_e}{P}$$

Por lo que:

$$f_r = (n_{sinc} - n_m) \frac{P}{120f_e} f_e$$

$$f_r = \frac{P}{120} (n_{sinc} - n_m)$$

Ejemplo:

Un motor asincrónico de 380 V, 3 Hp, 4 polos, 50 Hz, conectado en Y, tiene un deslizamiento a plena carga de un 5% y una potencia de 2,2 kW.

- 1) ¿Cuál sería la velocidad sincrónica del motor?
- 2) ¿Cuál sería la velocidad del rotor con carga nominal?
- 3) ¿Cuál sería la frecuencia del rotor con carga nominal?
- 4) ¿Cuál es el par en el eje del motor con carga nominal?

1) La velocidad sincrónica del motor sería:

$$n_{\text{sinc}} = \frac{120f_e}{P}$$
$$n_{\text{sinc}} = \frac{120(50 \text{ Hz})}{4 \text{ polos}}$$
$$n_{\text{sinc}} = 1500 \text{ RPM}$$

2) La velocidad del rotor sería:

Teniendo en cuenta que  $5\% = 0.05$

$$n_m = (1 - s)n_{\text{sinc}}$$
$$n_m = (1 - 0.05)(1500 \text{ RPM})$$
$$n_m = 1425 \text{ RPM}$$

3) La frecuencia del rotor sería:

$$f_r = sf_e$$
$$f_r = (0.05)(50 \text{ Hz})$$
$$f_r = 2.5 \text{ Hz}$$

También se puede encontrar la frecuencia del rotor con la siguiente ecuación:

$$f_r = \frac{P}{120}(n_{\text{sinc}} - n_m)$$

$$f_r = \frac{4 \text{ polos}}{120} (1500 \text{ RPM} - 1425 \text{ RPM})$$

$$f_r = 2.5 \text{ Hp}$$

4) El par en el eje del motor seria:

$$T_{carga} = \frac{P_{sal}}{\omega_m}$$

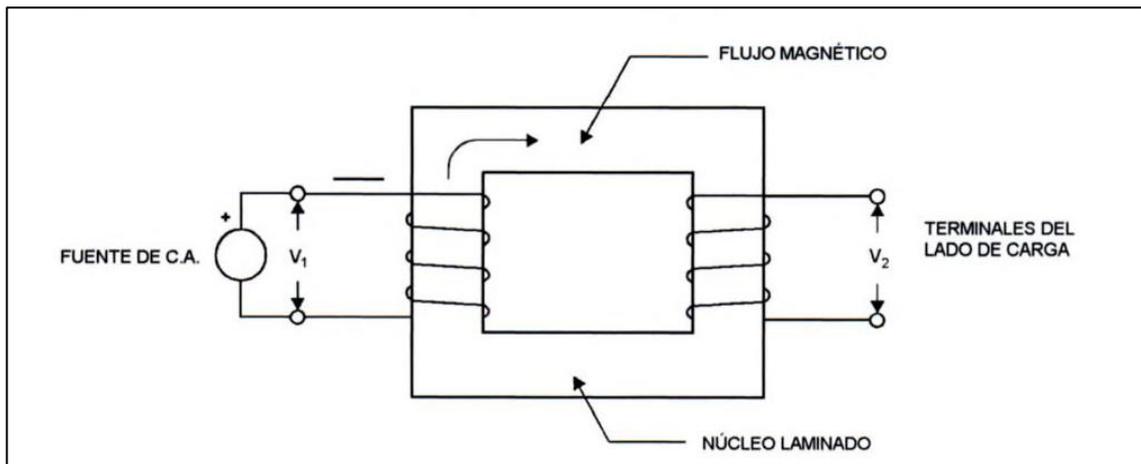
$$T_{carga} = \frac{(3 \text{ Hp})(2200 \text{ W/Hp})}{(1425 \text{ RPM})(2\pi \text{ rad/r})(1 \text{ min}/60\text{s})}$$

$$T_{carga} = 44.23 \text{ Nm}$$

## 2.4 FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR

La función de este dispositivo es que cambia la potencia eléctrica alterna de un nivel de voltaje a potencia eléctrica alterna con otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético. Que consta de dos o más bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Estas bobinas normalmente no están conectadas en forma directa y la única conexión entre las bobinas es el flujo magnético común que se encuentra dentro del núcleo. Entonces uno de los devanados del transformador se conecta a una fuente de energía eléctrica alterna y el segundo y quizás el tercero suministra energía eléctrica a las cargas.

**Figura N°2.8. Esquema básico de un transformador**



Fuente: Harper (2004)

El devanado del transformador que se conecta a la fuente potencia se llama devanado primario o de devanado de entrada y el devanado que se conecta a la carga se llama devanado secundario o salida, si existe un tercer devanado en el transformador este se llamaría devanado terciario.

## **2.5 COMPONENTES DE UN TRANSFORMADOR**

- Circuito magnético (núcleo)
- Circuito eléctrico (bobina)
- Sistema de aislamiento
- Tanque herrajes y accesorios

### **2.5.1 CIRCUITO MAGNÉTICO (NÚCLEO)**

Es un componente del transformador que sirve para conducir el flujo magnético generado el cual une magnéticamente los circuitos eléctricos del transformador. Y el circuito magnético se conoce comúnmente como núcleo.

### **2.5.2. CIRCUITO ELÉCTRICO (BOBINA)**

Las bobinas son un componente de los circuitos eléctricos del transformador la función de las bobinas primarias es crear un flujo magnético para inducir en las bobinas secundarias una fuerza electromotriz y transferir potencia eléctrica del primario al secundario mediante el principio de inducción electromagnética.

### **2.5.3. SISTEMA DE AISLAMIENTO**

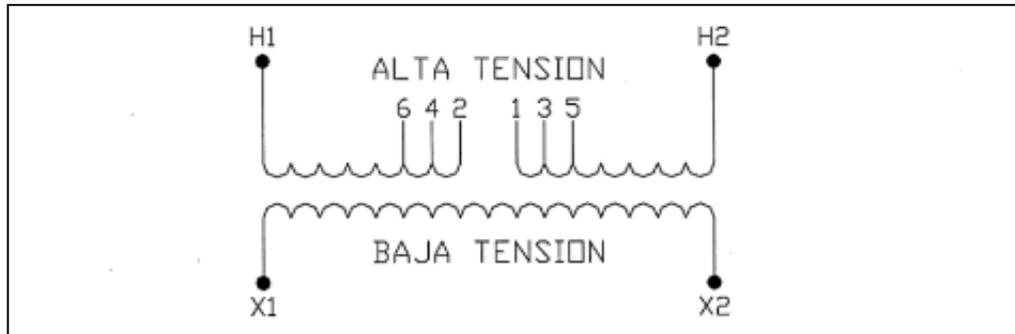
Este componente aísla los devanados del transformador entre ellos y a tierra, así como las partes cercanas al núcleo y a las partes de acero que forman la estructuras

### **2.5.4. TANQUE Y ACCESORIOS**

Los transformadores deben estar contenidos en un tanque hermético, con objetos de preservar el aceite ya que este tiene la función de dieléctrico y también de refrigerante, del conjunto núcleo-bobina. El transformador debe permanecer perfectamente sellado desde una temperatura de  $-5^{\circ}\text{C}$  a un máximo  $105^{\circ}$  en la parte superior del líquido aislante.

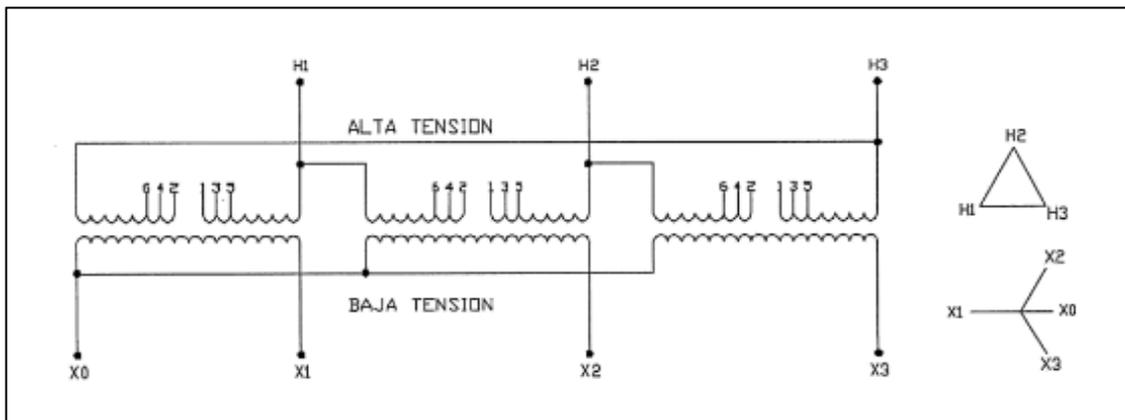
## 2.6 ESQUEMAS ELÉCTRICOS DE LOS TRANSFORMADORES

Figura N°2.9. Esquema eléctrico de un transformador monofásico



Fuente: Avelino (2008)

Figura N°2.10 Esquema eléctrico de un transformador trifásico



Fuente: Avelino (2008)

## 2.7 FUNCIONAMIENTO DEL DINAMO ELÉCTRICO

Es un generador eléctrico destinado a la transformación de flujo magnético en electricidad mediante el fenómeno de la inducción electromagnética, generando una corriente continua.

### 2.7.1 PARTES DE UN DINAMO

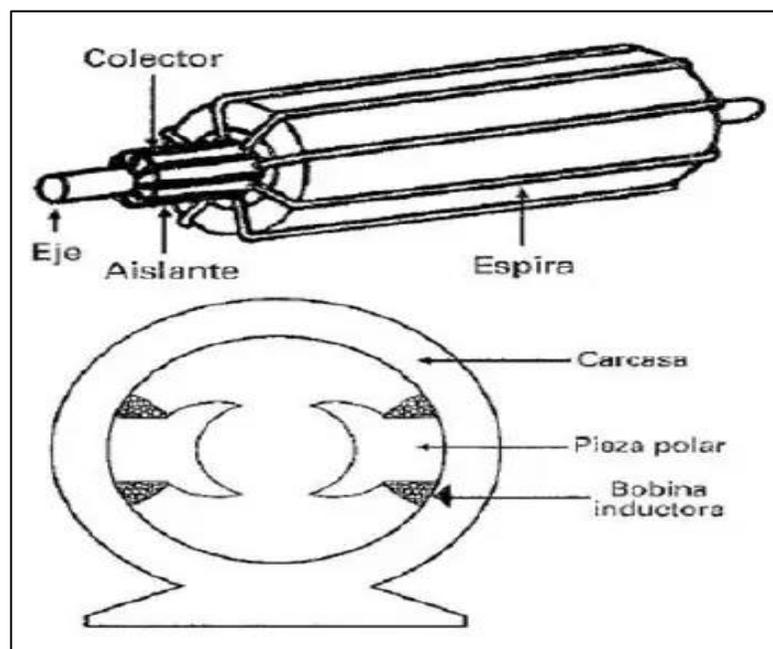
Las Partes fundamentales de un dinamo son las siguientes:

- INDUCTOR
- EL INDUCIDO
- EL COLECTOR

### 2.7.2 INDUCTOR

El inductor es fijo y se sitúa en el estator parte estática o sin movimiento de la máquina. Está formado por un electroimán de dos polos magnéticos en las maquinas bipolares, o de varios pares de polos en las multipolares, el bobinado y las piezas polares de hierro dulce del electroimán están rodeado por una carcasa o culata de fundición o de acero moldeado que sirve de soporte a la maquina y permite el cierre del circuito magnético

**Figura N°2.11. Inductor de un dinamo**



Fuente: Zamalloa (2018)

### 2.7.3 EL INDUCIDO

Es una parte móvil y se sitúa en el rotor, parte que se mueve en sentido giratorio de la máquina. Están compuesta de un núcleo magnético en forma de cilindro y constituido por chapas magnéticas apiladas, con el fin de evitar la pérdida por histéresis y corriente

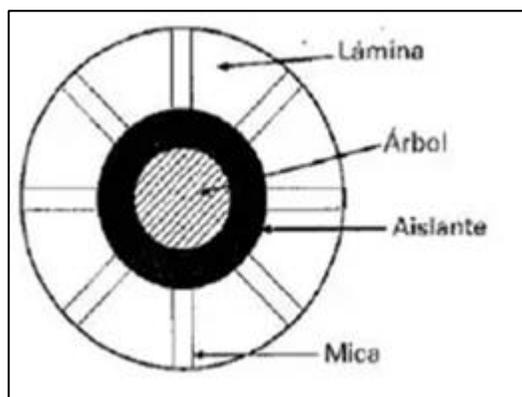
parasitas, donde se bobinan las espiras con conductores de cobre esmaltados y el núcleo de chapas dispone de una serie de ranuras donde se aloja los bobinados del inducido. Entonces el núcleo queda fijado a un eje, cuyos extremos se desliza apoyados en cojinetes fijos a la carcasa. De esta forma el inducido se sustenta entre las piezas polares del inductor, pudiendo ser impulsado en un movimiento rotatorio rápido.

#### 2.7.4 EL COLECTOR

En el eje del inducido se fija el colector de delgas formado por láminas de cobre electrolítico con el fin de poderle conectar los diferentes circuitos del inducido. Y las delgas se aíslan del eje y entre sí por hojas de mica. Donde la corriente se recoge en el colector con ayuda de dos o varios contactos deslizantes de grafitos o de carbón puro, llamado escobillas.

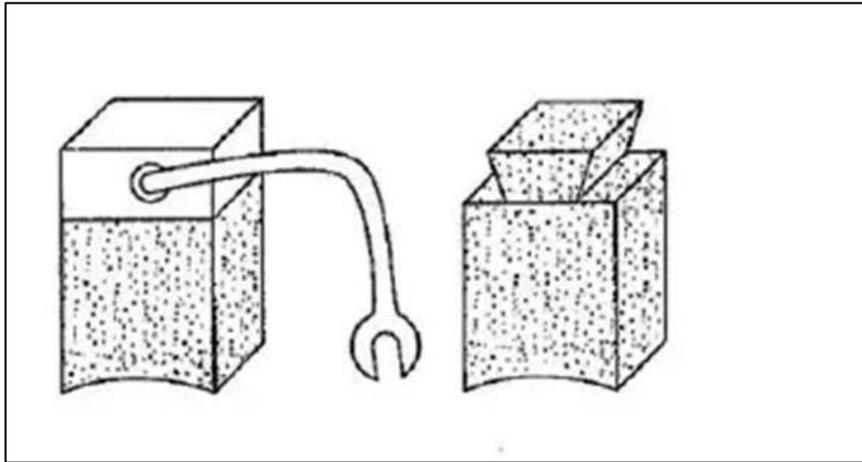
Cada escobilla se monta en una porta escobilla, que asegura la presión de esta contra el colector mediante muelles. De las escobillas parten los conductores que se conectan a la placa de bornas del dinamo, de donde se conectara al circuito exterior. Dada la fricción a la que se somete a las escobillas, se produce un desgaste progresivo de las mismas que limita su vida útil, teniendo que reponerlas cada cierto periodo de tiempo.

**Figura N°2.12. Colector de delgas**



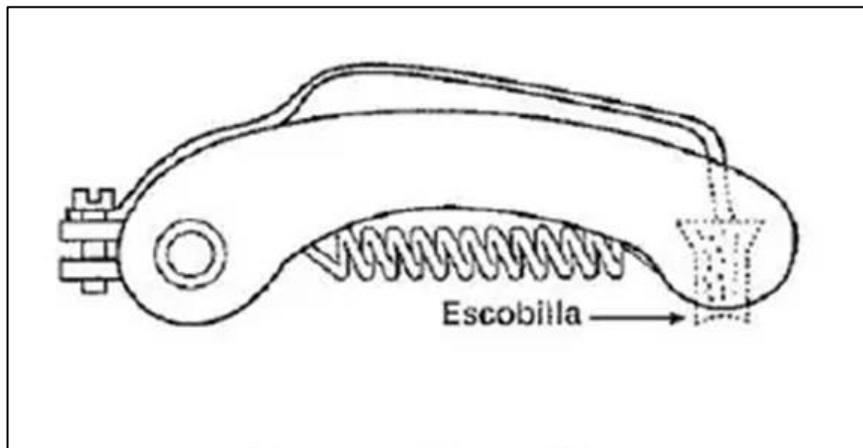
Fuente: Zamalloa (2018)

**Figura N°2.13. Escobillas**



Fuente: Zamalloa (2018)

**Figura N°2.14. Porta escobillas**

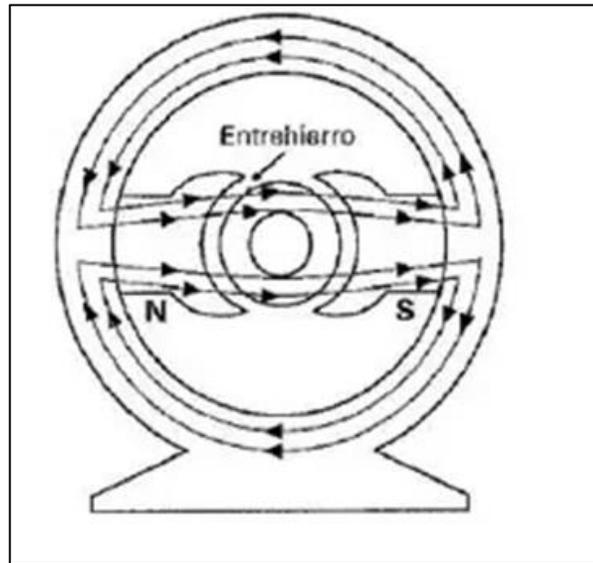


Fuente: Zamalloa (2018)

### **3.6 CIRCUITO MAGNÉTICO DE UN DINAMO**

Es un circuito recorrido por las líneas de fuerzas del campo magnético del inductor. Estas se cierran a través de las piezas polares del electroimán, el inducido y la carcasa o culata del dinamo. Y es importante hacer que las líneas de fuerza deben transcurrir por un pequeño espacio no ferromagnético existente entre las piezas polares y el entrehierro.

**Figura N°2.15. Circuito magnético de un dinamo**



Fuente: Zamalloa (2018)

## **2.8 FUERZA ELECTROMOTRIZ GENERADA POR UN DINAMO**

El valor de la fuerza electromotriz se obtiene aplicando el principio de inducción electromagnética, por lo que dependerá del flujo magnético que corten los conductores, así como de lo rápido que lo hagan y del número de ellos. Y La variable que relaciona la fuerza electromotriz de un dinamo se expresa en la siguiente ecuación:

### **Ecuación N°2.14.**

$$E = \Phi n N \frac{p}{a} \times \frac{t}{60}$$

- E = Fuerza electromotriz (V)
- F = Flujo por polo (Wb)
- n = n° de conductores del inducido
- N = Velocidad de giro del inducido (RPM)
- a = pares de circuitos del inducido
- p = pares de polos

## **CAPÍTULO III**

### **MÓDULO DE APRENDIZAJE DE UN GENERADOR SÍNCRONO**

En este capítulo se mostrará como se realizó el módulo de aprendizaje del generador sincrónico, su funcionamiento y análisis de datos.

#### **3.1 COMPONENTES DEL MÓDULO DE APRENDIZAJE DE UN GENERADOR SÍNCRÓNICO**

Este módulo será realizado de tal manera que sea fácil la manipulación de este y facilitar la comprensión del funcionamiento del generador sincrónico.

Los componentes del módulo son:

- Variador de frecuencia, que permite variar los (Hz)
- Motor trifásico de 380V y 2,2kW,
- Generador/motor Sincrónico de 2,2kW, 1500 (RPM)
- Variac, que permite variar la tensión (Voltaje)
- Transformador de relación 1-1 de conexión estrella-estrella
- Tablero eléctrico
- rectificadores de corriente alterna – continua
- Dinamo eléctrico o freno dinámico
- Resistencia variable de 220V
- Motor eléctrico de 500W

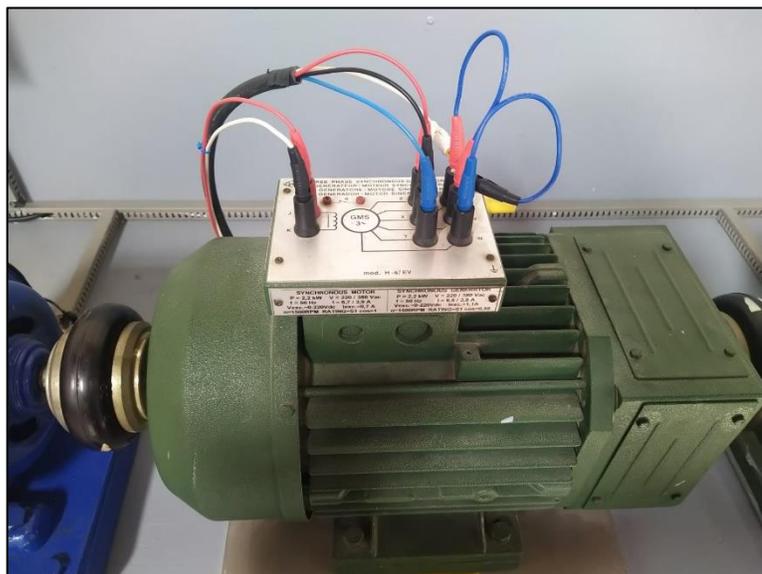
En la figura N°3.1 se observa un variac, el cual permite ir regulando la cantidad de tensión eléctrica que se le entrega al circuito.

**Figura N°3.1. Variac**



En la figura N°3.2. se observa un motor/generador sincrónico el cual será utilizado en el módulo de aprendizaje teniendo 2,2kW, 4 polos, 1500 RPM, con una frecuencia de 50Hz, un cos de 0,88 y una corriente eléctrica de 6,6A en 220V o bien 3,8A en 380V.

**Figura N°3.2. Motor/generador sincrónico**



En la figura N°3.3 se observa un motor asincrónico. El que será utilizado en el módulo de aprendizaje del generador sincrónico es de 4 polos, 3Hp, 1500 RPM, 2,2kW, 50Hz y una corriente eléctrica de 3,9 A con 380V.

**Figura N°3.3. Motor Asincrónico**



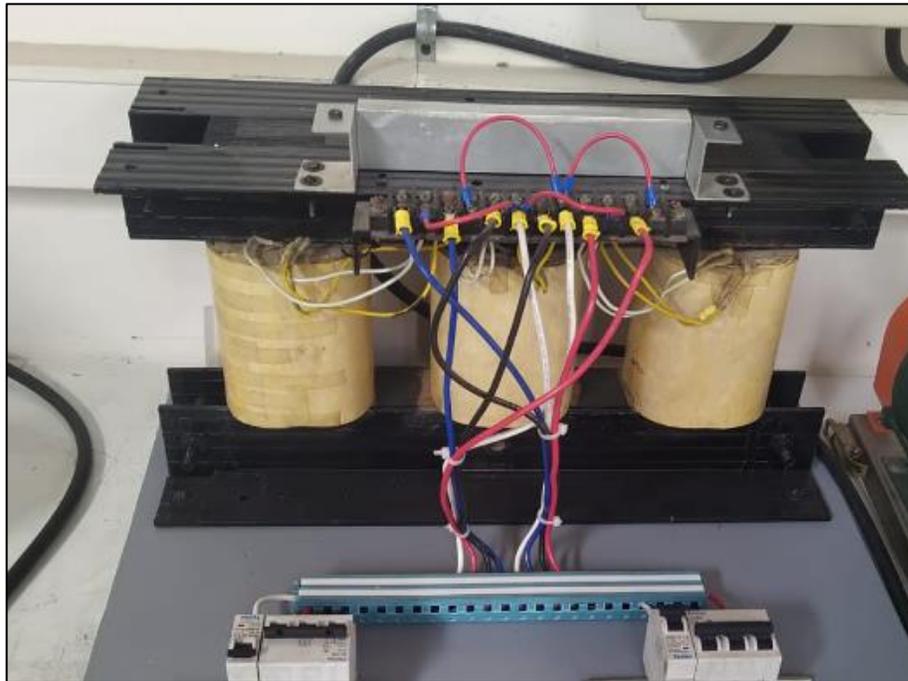
En la figura N°3.4 se observa un variador de frecuencia, el cual permite regular la frecuencia entregada en un margen de 40Hz a 60HZ.

**Figura N°3.4. Variador de Frecuencia**



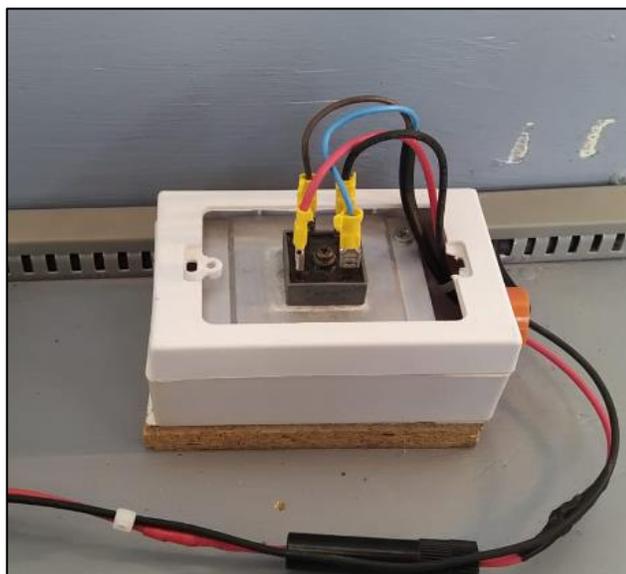
En la figura N°3.5 se observa un transformador sin chasis, por lo que se pueden observar sus conexiones y partes teniendo una conexión estrella – estrella y una relación de 1 – 1.

**Figura N°3.5. Transformador**



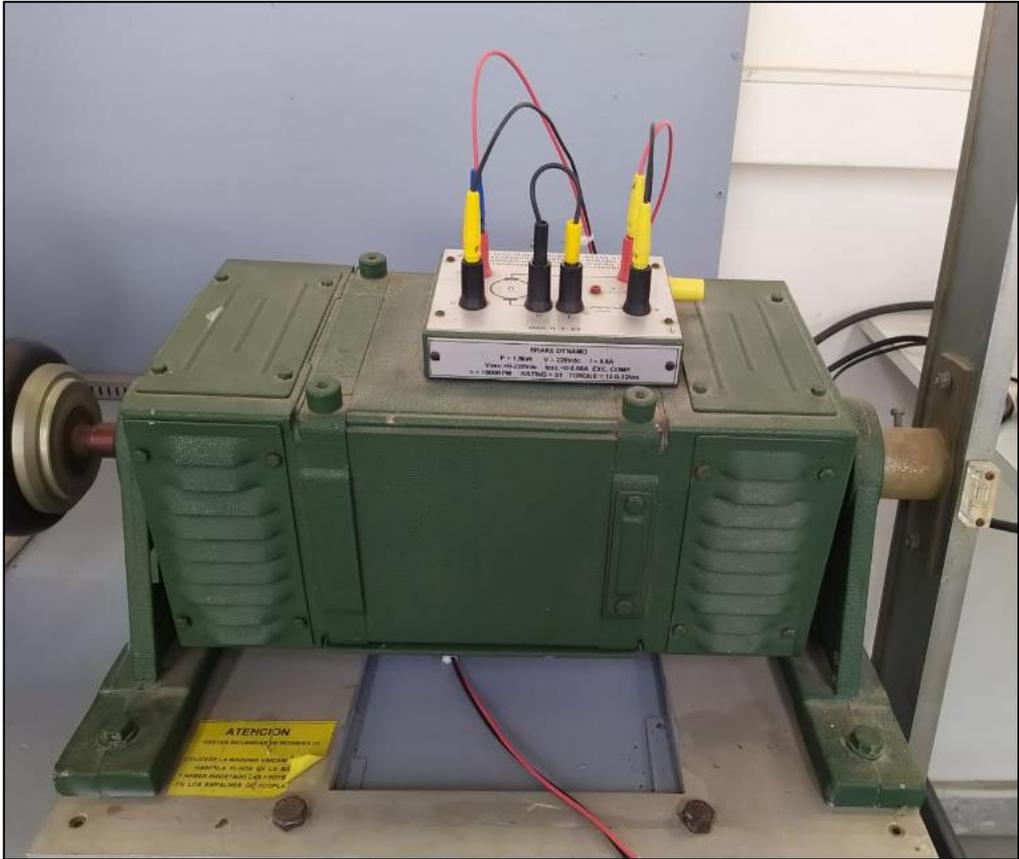
En la figura N°3.6 se observa un rectificador, el cual transforma la corriente alterna en corriente continua, mediante un puente de diodo rectificador.

**Figura N°3.6. Rectificador**



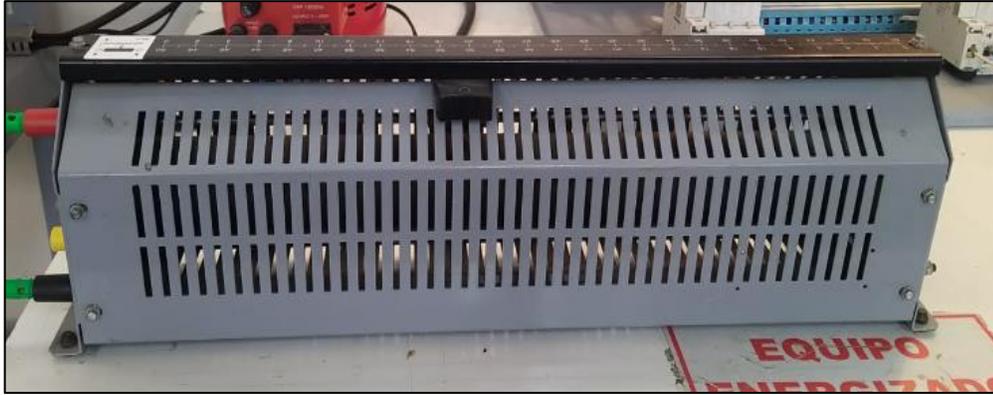
En la figura N°3.7 se muestra un dinamo eléctrico, que está siendo alimentado por un variac. Este dinamo genera un campo electromagnético inverso al giro del generador, lo cual permite ponerle resistencia al movimiento de este, debido a que están alineados entre sí y la energía sobrante es dirigida a una resistencia variable.

**Figura N°3.7. Dinamo**



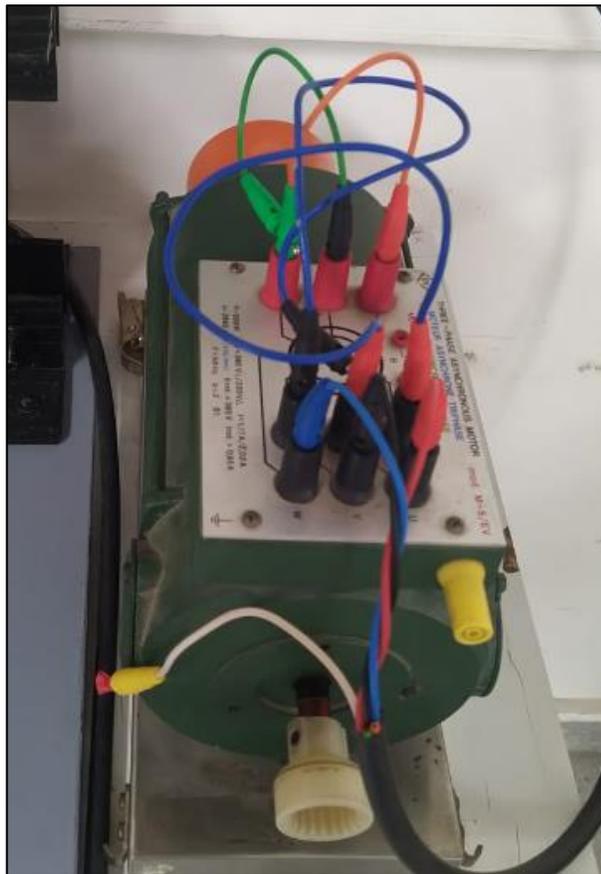
En la figura N°3.8 se observa una resistencia eléctrica variable de 50kΩ.

**Figura N°3.8. Resistencia variable**



En la figura N°3.9 se observa un motor asincrónico de 2840 RPM, 2 polos, 500W, 0,6Hp y una corriente de 1,11A en 380V.

**Figura N°3.9. Motor asincrónico secundario**

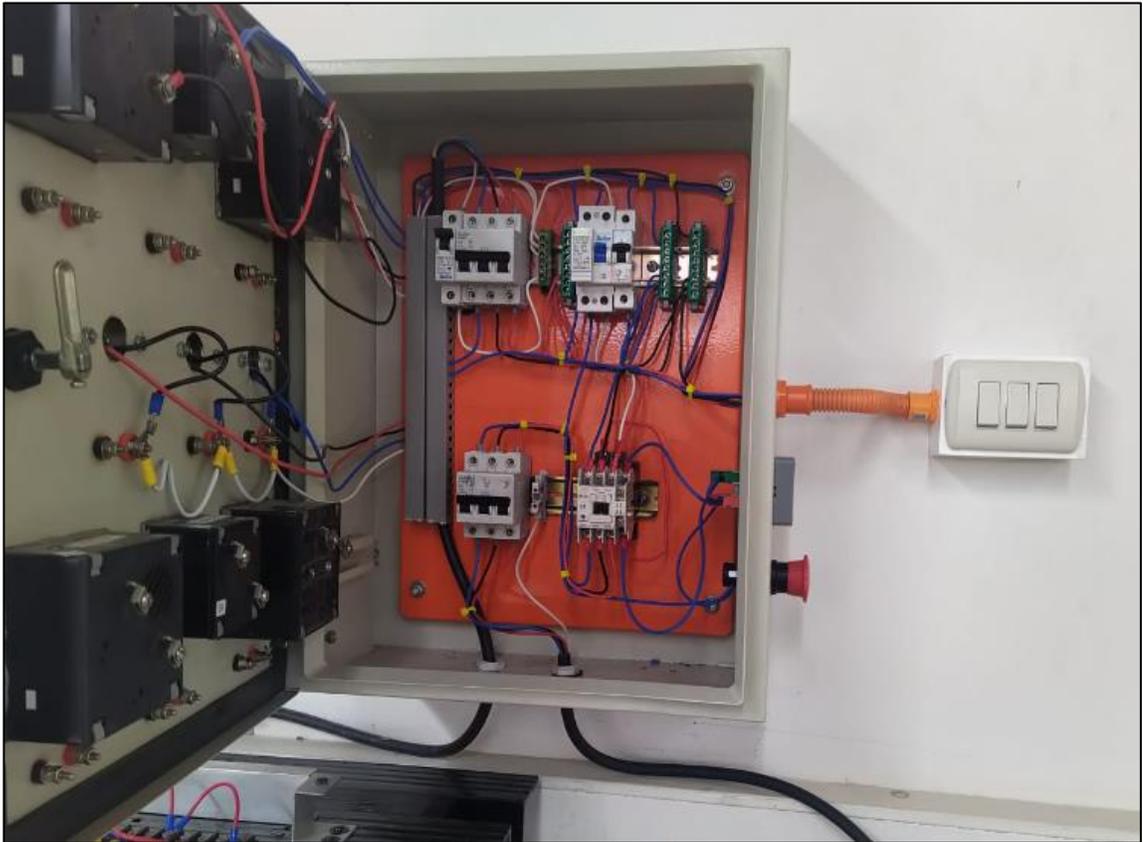


En la figura N°3.10 se observa un tablero de control, el cual permite observar las variaciones eléctricas de Voltaje, Amperaje y Frecuencia. Teniendo 3 ampolletas y un motor asincrónico con sus respectivas protecciones los cuales nos sirven para dar una carga eléctrica al generador y observar cómo varían los datos eléctricos con los medidores analógicos y la cantidad de lúmenes que producen las ampollitas.

**Figura N°3.10. Tablero eléctrico cerrado**



**Figura N°3.11. Tablero eléctrico abierto**

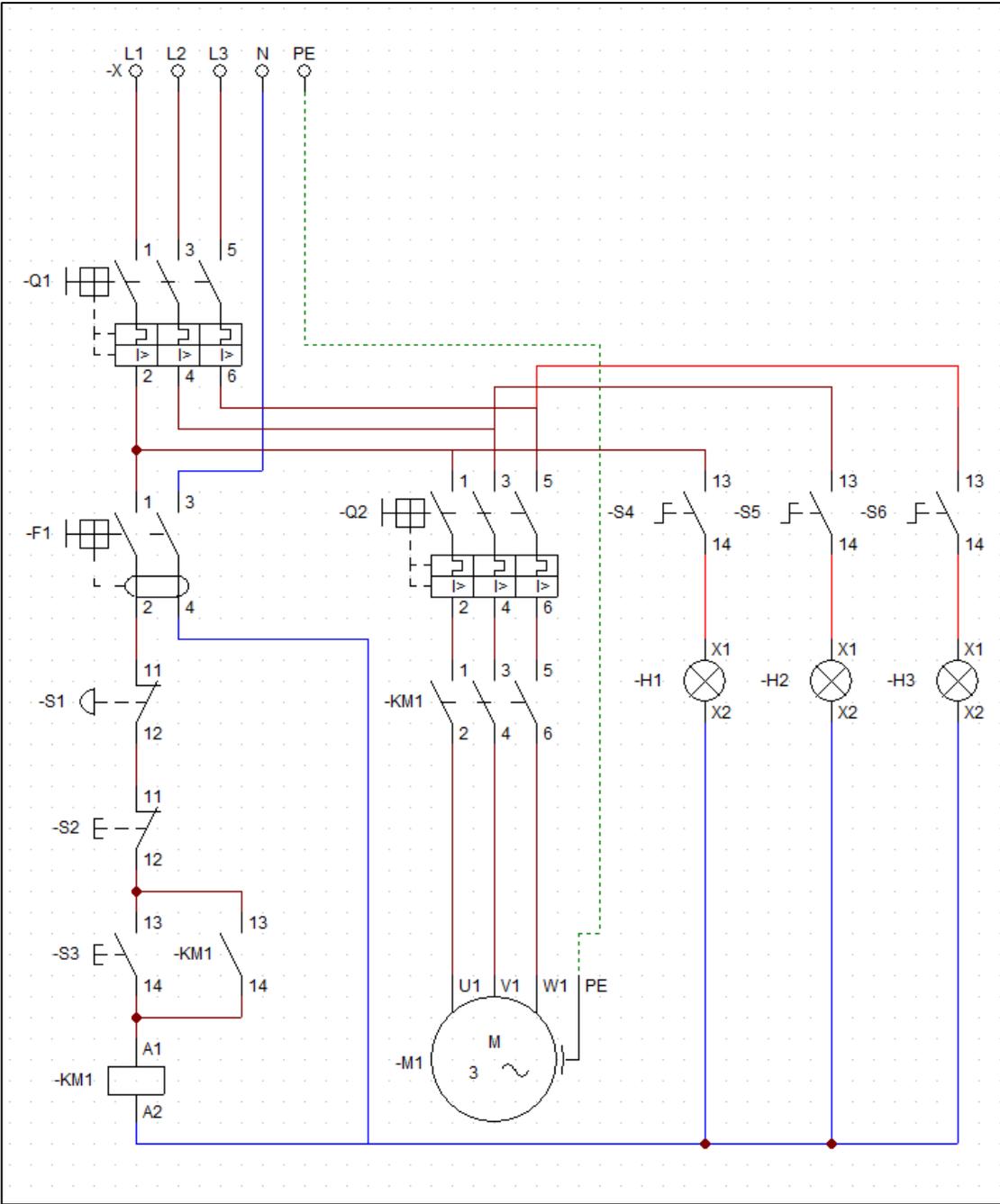


Este tablero funciona de la siguiente manera:

La alimentación del tablero proviene del generador sincrónico, que alimenta al transformador y este al tablero eléctrico. Primero la energía eléctrica pasa por una protección termomagnética general trifásica, la cual alimenta un disyuntor que protege el circuito de control, este disyuntor energiza un pulsador star, stop y un pulsador seta, esto alimenta un contactor trifásico que a su vez energiza una protección termomagnética la cual está destinada a proteger el motor asincrónico, aguas abajo. El disyuntor también energiza 3 ampolletas las cuales sirven para aplicar más cargas eléctricas al generador.

El plano eléctrico que tiene el tablero del módulo es el siguiente:

**Figura N°3.12. plano del tablero eléctrico**



### 3.2 DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DE APRENDIZAJE DEL GENERADOR SINCRÓNICO

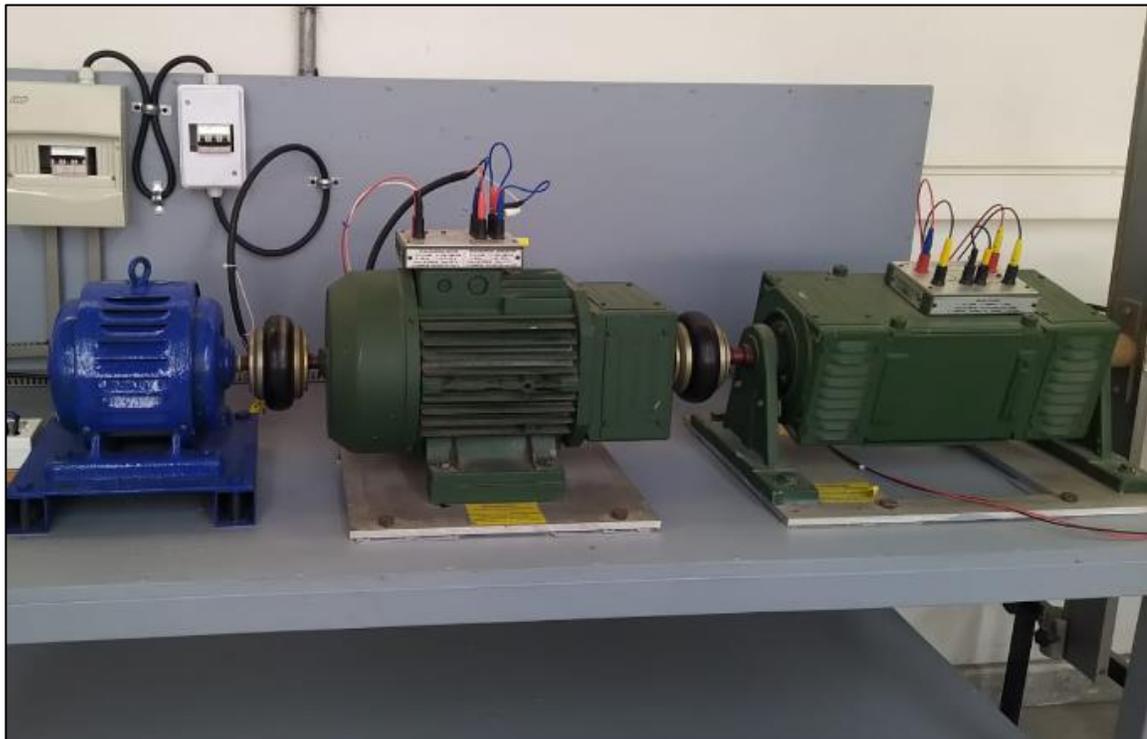
Los componentes del módulo están conectados de tal manera:

**Figura N°3.13. Alimentación del circuito**



El módulo de aprendizaje del generador sincrónico comienza con un variador de frecuencia, que alimenta un motor asincrónico. Esto está conectado por lo tanto al variar los Hz podemos acelerar o ralentizar ( disminuir), los RPM del motor y paralelo al variador de frecuencia se encuentra un variac, que pasa por un rectificador de corriente alterna a continua y alimenta los electroimanes del generador sincrónico, permitiendo regular el voltaje que se le inyecta a los electroimanes para aumentar la energía producida por el generador sincrónico.

**Figura N°3.14. Alineación del módulo de aprendizaje.**



Se alinea un motor asincrónico para hacer funcionar el generador sincrónico que a la vez esta alineado con un freno dinámico eléctrico que se opondrá al giro del generador, llevando el excedente de energía eléctrica a una resistencia variable. El freno dinámico está siendo energizado por un variac, el cual antes de llegar al dinamo, pasa por un rectificador de corriente alterna a continua.

**Figura N°3.15. Final del modulo de aprendizaje.**

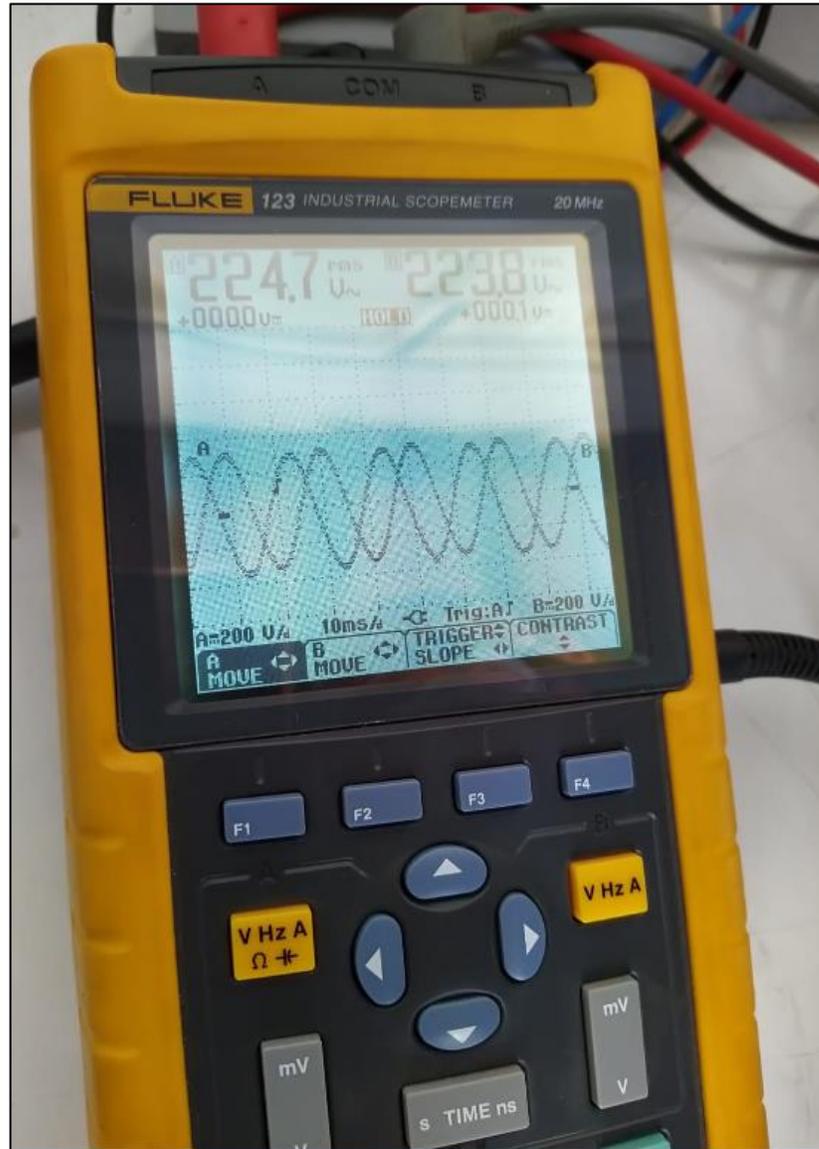


En esta etapa final del módulo se muestra una resistencia variable conectado a un freno dinámico, la cual ayuda a disipar la energía excedente producida por este mismo dinamo el cual es alimentado a través de un variac. Asimismo conectado al generador se encuentra un transformador como se observa en la imagen, este transformador alimenta un tablero de control el cual contiene 3 ampolletas y alimenta un motor asincronico, esto con el motivo de darle carga al generador sincrónico y observar sus cambios en los datos eletricos y en su velocidad de giro (RPM).

### 3.3 ANÁLISIS DE DATOS DEL MODULO DEL GENERADOR SINCRÓNICO

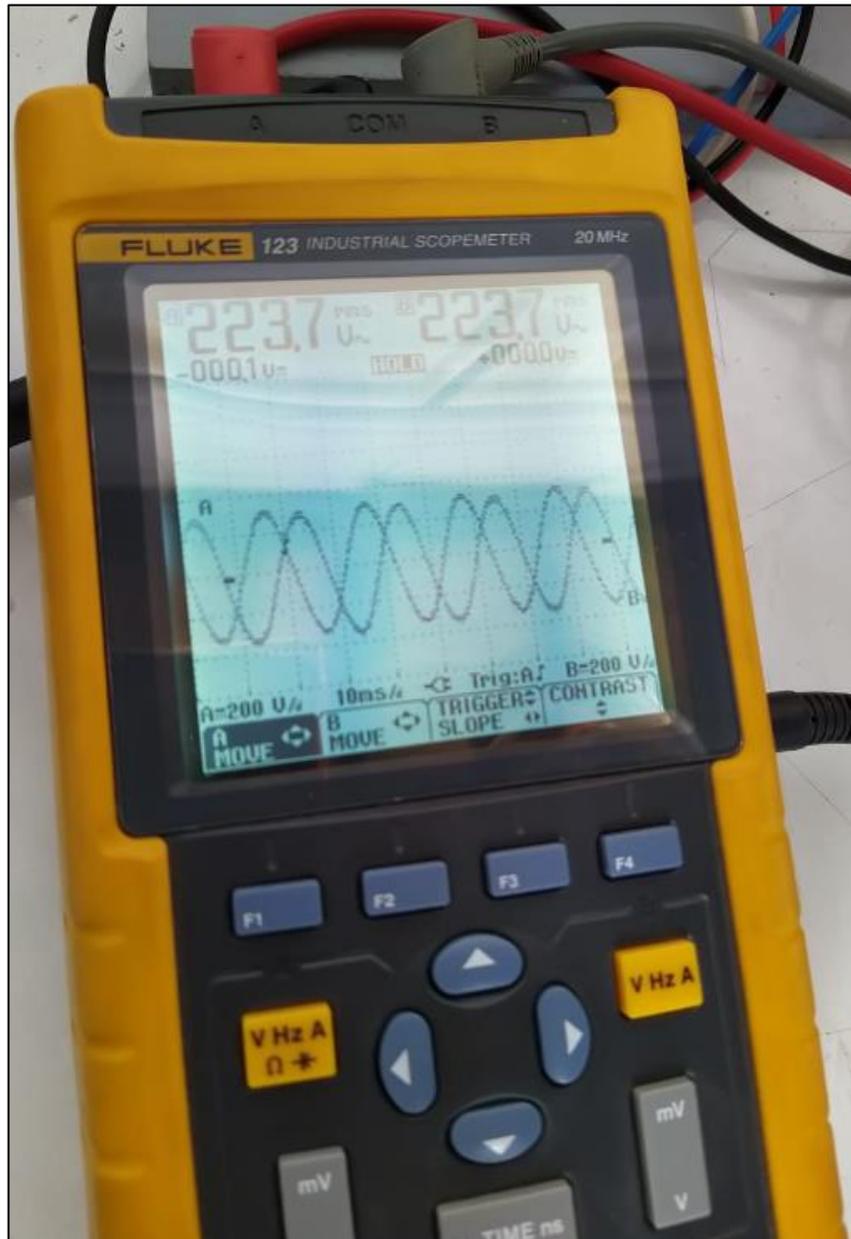
Se realizaron mediciones entre fase-fase y fase neutro al transformador de relación 1-1 y conexión estrella-estrella, con un medidor de calidad de energía.

**Figura N°3.16. Medición de fase 1 y fase 2 a la salida del transformador**



Se puede observar como se encuentran 2 ondas sinusoidales de la fase 1 y 2 del transformador, separadas por  $120^\circ$  las cuales marcan 224,7 V y 223.8 V, esto debido a que se les inyecta en la entrada 220 V y debido a que la relación del primario y secundario del transformador es de 1 a 1, este voltaje no se ve aumentado en la salida del transformador.

**Figura N°3.17. Medición de fase 1 y fase 3 a la salida del transformador**



Se puede observar como se encuentran 2 ondas sinusoidales de la fase 1 y 3 del transformador, separadas por  $240^\circ$  las cuales marcan 223,7 V y 223.7 V.

Se puede apreciar que al estar girando el rotor del generador sincrónico a 1500RPM y con una corriente continua de 110 V pasando por sus electroimanes, que es capaz de entregar una corriente eléctrica de 0,41 Amper por fase a una frecuencia de 50 Hz con 1 ampolleta de 90W por cada una de las fases y agregándole de carga un pequeño motor trifásico de 500W se puede apreciar como la intensidad eléctrica sube hasta 0,72 Amper, esto debido a que si bien la potencia nominal del motor es de 500W, este se encuentra girando en vacío es decir, sin aplicarle ningún tipo de carga o resistencia al giro del rotor del motor trifásico, esto nos da 0,31 Amper de consumo por fase del motor asincrónico trifásico, aplicando la ley de Ohm podríamos decir que:

**Ecuación N°3.1.**

$$P = V \times I$$

- P = Potencia (W)
- V = Voltaje (V)
- I = Intensidad (A)

Calculo de potencia de ampolleta:

$$P = V \times I$$

$$P = 220 \times 0,41$$

$$P = 90,2 \text{ W}$$

Esto quiere decir que la potencia de cada ampolleta es de 90 W por fase, dando un total de 270 W, sumados de las 3 ampolletas, no obstante, el cálculo para la potencia de una máquina trifásica es distinto.

Cómo se vera a continuación:

**Ecuación N°3.2.**

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi$$

- P = Potencia Activa
- V = Voltaje
- I = Amperaje
- $\cos\phi$  = Es la relación entre potencia activa y aparente, estos datos los da el fabricante en la placa de la máquina.

Sabiendo que consume 0,31 Amper, es un motor trifásico de 380V y tiene un  $\cos\phi$  de 0,87, debemos aplicar otra ecuación para encontrar la potencia en vacio de este motor. Podemos calcular la potencia en W del motor con el siguiente ejercicio:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi$$

$$P = \sqrt{3} \times 380 \text{ V} \times 0,31 \text{ A} \times 0,87$$

$$P = 178 \text{ W}$$

Esto comprueba que el motor trifásico tiene una potencia activa de 178 W en vacio o sin carga, la cual es considerablemente baja respecto a los 500 W de potencia maxima que da el fabricante en la placa del motor trifásico. También cabe recalcar que cuando un motor esta trabajando sin una carga, el factor de potencia se vera disminuido, lo que afectará la eficiencia de la red eléctrica.

## CONCLUSIÓN

Tras finalizado el módulo de aprendizaje del generador sincrónico, se logró completar los objetivos planteados para este proyecto. Se pudo observar cómo al ir agregando cargas eléctricas al generador sincrónico, la velocidad de rotación de este es disminuida y a su vez los valores eléctricos bajan debido a esto. Por el contrario, si aumentamos la velocidad de rotación del motor asincrónico y/o subimos la tensión inyectada a los electroimanes del generador, se aprecia como los valores eléctricos suben, afectando directamente a la cantidad de lúmenes que proyectan las ampollitas y disminuyendo o aumentando los RPM del motor asincrónico secundario alimentado por el generador. Realizar este módulo también permitió apreciar la relación que tiene el campo magnético de los imanes y la velocidad de la rotación que tiene el generador sincrónico con la cantidad de potencia que este puede ofrecer, entregando 0,72 Amper a 1500RPM y con un voltaje de 110V circulando por sus electroimanes. También se pudo observar y aprender no solo del generador sincrónico, sino que también de máquinas eléctricas cómo, el motor asincrónico, transformador y el freno dinámico. De esta manera viendo cómo se debía ir aumentando la frecuencia del motor asincrónico a medida que se le iba colocando más carga al generador. De esta manera manteniendo siempre los 1500RPM óptimos para el funcionamiento del módulo de aprendizaje del generador sincrónico. Esto permitiendo una mejor y fácil comprensión del generador sincrónico a los próximos estudiantes de electricidad que deseen aprender de estas máquinas eléctricas.

## BIBLIOGRAFÍA

Chapman, S. (2012). Máquinas eléctricas. México: Miguel Toledo

<https://ia903201.us.archive.org/8/items/266539159MaquinasElectricasChapman5taEdicionPdf/266539159-Maquinas-electricas-Chapman-5ta-edicion-pdf.pdf>

De la Torre, F. (2019). Unidad 4: Motor Asíncrono o de inducción. Universidad Nacional de Rosario: Dpto. de Electrotecnia

<http://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/16747/21505-19%20ACCIONAMIENTOS%20ELECTROMECA%20NICOS%20Motor%20Asincronico%20o%20de%20Induccion.pdf?sequence=3>

Harper, E. (2004). El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos. México: Limusa

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang\\_es&id=P62ebMavSIIC&oi=fnd&pg=PA1&dq=partes+de+un+transformador+&ots=Hy\\_KGDicfH&sig=XlWf\\_9l-ig1GdGUYtk1Cy6NTc04#v=onepage&q=partes%20de%20un%20transformador&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=P62ebMavSIIC&oi=fnd&pg=PA1&dq=partes+de+un+transformador+&ots=Hy_KGDicfH&sig=XlWf_9l-ig1GdGUYtk1Cy6NTc04#v=onepage&q=partes%20de%20un%20transformador&f=false)

Avelino, P. (2008). Transformadores de distribución (Teoría, cálculo, construcción y pruebas). México: Reverté, S.A.

<https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=kF8OEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP5&dq=transformador+trifásico+sus+componentes+&ots=TrfTe5b#v=onepage&q=transformador%20trifásico%20sus%20componentes&f=false>

Zamalloa, A. (10 de mayo de 2018). *El Dinamo*. Cusco-Perú. Universidad Alas Peruanas Recuperado de <https://es.scribd.com/document/447444967/Informe-Fisica-I-Dinamo>