



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI
EXTENSIÓN CHONE
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA
TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIA LA OBTENCIÓN DE TITULO DE
INGENIERO ELECTRICO

TEMA:

“IMPLEMENTACION DE MODULO DIDACTICO DE CONTROL SELSYN PARA DOS MOTORES SINCRÓNICOS DE ½ HP CON CONEXIONES EXTERNAS Y SU APORTE AL LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ EXTENSIÓN CHONE”.

AUTORES:

CASTRO ZAMBRANO GUILLERMO REMIGIO

INTRIAGO VÉLEZ JOSE LUIS

TUTOR:

ING. ÁNGEL JOSÉ LOOR MARCILLO

CHONE – MANABI-ECUADOR

2015

Ing. José Loor Marcillo, Docente de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí campus Chone, en calidad de Tutor de Titulación,

CERTIFICO:

Que la presente tesis de grado titulada: **“IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL SELSYN PARA DOS MOTORES SINCRÓNICOS DE ½ HP CON CONEXIONES EXTERNAS Y SU APORTE AL LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ - EXTENSIÓN CHONE”**, ha sido exhaustivamente revisado en varias reuniones, se encuentra listo para su presentación y apto para su defensa.

Las opiniones y conceptos vertidos en esta Trabajo de Titulación son fruto de la perseverancia y originalidad de sus autores: Castro Zambrano Guillermo Remigio e Intriago Vélez José Luis siendo de su exclusiva responsabilidad.

Chone, Abril 2015.

Ing. José Loor Marcillo

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La responsabilidad de las opiniones, investigaciones, resultados, conclusiones y recomendaciones presentados en esta investigación, es exclusividad de sus autores.

José Luis Intriago Vélez

Guillermo Remigio Castro Zambrano



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

EXTENSIÓN CHONE

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

INGENIERO ELÉCTRICO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación sobre el tema **“IMPLEMENTACION DE MODULO DIDACTICO DE CONTROL SELSYN PARA DOS MOTORES SINCRONICO DE ½ HP CON CONEXIONES EXTERNAS Y SU APORTE AL LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI COMPUS CHONE”**, elaborado por los egresados **Intriago Vélez José Luis y Castro Zambrano Guillermo Remigio** de la escuela de Ingeniería Eléctrica.

Dr. Víctor Jama Zambrano
DECANO

Ing. José Loor Marcillo
TUTOR DE TITULACION

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

SECRETARIA

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. A mi familia, quienes son el pilar fundamental de tan anhelado sueño, a mis padres, hermanos y todas aquellas personas que de una u otra manera supieron inculcar en mí la esperanza, el coraje y la perseverancia para lograr superar todas las adversidades y lograr este objetivo.

José Luis.

DEDICATORIA

Con Amor dedicó este trabajo a:

Mi Padre, Rodolfo Castro que desde el cielo me colma de bendiciones y a mi Madre Victoria Zambrano que me ha brindado el apoyo constante, que con amor y fortaleza me enseña a ser una persona de ética y valores.

Mis hijos, Johel y Jesús, motores de mi vida, razón para seguir avanzando como ejemplo de superación.

Y, a mi esposa Ángela María con quién decidí compartir mi vida y juntos alcanzar nuestros anhelos, formando una familia bendecida por Dios.

Guillermo Remigio

AGRADECIMIENTO

Gratitud infinita a Dios por las maravillas que nos da día a día. A nuestros padres que supieron influenciar en nosotros la humildad y responsabilidad. A nuestras familias por estar siempre apoyándonos en las diferentes pruebas que Dios nos da.

A la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí extensión Chone paralelos Tosagua por habernos acogido en su institución y obtener el título universitario. A sus diferentes catedráticos por enseñarnos y transmitirnos sus conocimientos.

Guillermo Remigio y José Luis

ÍNDICE	Pág.
Página de título o Portada.....	i
Página de aprobación del tutor.....	ii
Páginas de autorías de la tesis.....	iii
Página de aprobación del tribunal de grado.....	iv
Dedicatoria.....	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Indice.....	viii-xi
1. Introducción.....	1
2. Planteamiento del Problema.....	2
2.1.Contextos.....	2
2.1.1. Contexto Macro.....	2
2.1.2. Contexto Meso.....	3
2.1.3. Contexto Micro.....	3
2.2. Formulación del Problema.....	4
2.3.Delimitación del Problema.....	4
2.4.Interrogantes de la Investigación.....	4
3. Justificación.....	5-6
4. Objetivos.....	7
4.1.Objetivo General.....	7
4.2.Objetivos Específicos.....	7

CAPITULO I

5. Marco Teórico.....	8
5.1.Control Selsyn.....	8
5.1.1. Principios de los controles remotos.....	9
usando sistema SELSYN	
5.1.2. Transmisor.....	9-10
5.1.3. Receptor.....	10
5.1.4. Funcionamiento del control selsyn.....	11

5.1.5.	Conexiones.....	11-12
5.1.6.	Conexiones de los diferentes tipos de transformadores.....	12
	a) Conexiones transformador monofásico.....	12
	b) Conexiones trifásicos.....	12-13
	c) Conexión estrella-estrella.....	13
	d) Conexión estrella-delta.....	13
	e) Conexión delta-estrella.....	13
	f) Conexión delta-delta.....	13-14
5.1.7.	Características de funcionamiento.....	14
5.1.8.	Principio del control remoto con sistema Selsyn.....	14-15
5.1.9.	Procedimiento.....	15
	a) Experimento de Laboratorio.....	15-17
5.2.	Motores Síncronos.....	18-19
5.2.1.	Principios de funcionamiento.....	19-21
5.2.2.	Funcionamiento de un motor síncrono.....	21
5.2.3.	Motor de inducción con rotor bobinado.....	21-25
5.2.4.	Motor de inducción jaula de ardilla.....	25-27
5.2.5.	Ventajas de los motores síncronos.....	27
5.2.6.	Característica constructivas.....	28
	a) Carcasas.....	28
	b) Estator.....	28-29
	c) Rotor.....	29
	d) Cojinetes.....	30
5.2.7.	Circuito equivalente.....	30
5.2.8.	Arrancadores para motores trifásicos.....	31
5.2.9.	Arrancador magnético.....	31-32
5.2.10.	Arrancador de motor sincrónico.....	33-34
	a) Arranque por medio de reducción de frecuencia.....	34
	b) Arranque con motor primario.....	34
	c) Arranque con devanado de amortiguamiento.....	34

d) Arranque automático.....	35
e) Arranque en estrella-estrella.....	35-36
f) Arranque delta-delta.....	36
g) Arranque delta-estrella.....	36-37
5.2.11. Par o momento de torsión de ajuste a sincronismo.....	37-38
5.2.12. Motor bajo carga.....	38-39
5.2.13. Par o momento de torsión de relactancia.....	39-40
5.2.14. Excitación y potencia reactiva.....	41-42
a) Curvas V.....	42-44
5.2.15 Motor síncrono en comparación con el motor de Inducción.....	45-46
5.2.16. Capacitor síncrono.....	46
5.2.17. Reactancia y frecuencia.....	46
a) Reactancia Inductiva.....	46-47
b) Reactancia Capacitiva.....	47-48
5.2.18. Construcción del módulo.....	48
a) Descripción del módulo didáctico.....	48-49
b) Diseño del proceso del módulo didáctico.....	50
• Diseño y construcción del cuerpo Del módulo.....	50
• Conexión de los motores de inducción Trifásicos.....	51
c) Corte y armado del módulo.....	51-52
d) Instrumento de medición.....	53
• Voltímetro.....	53
• Amperímetro.....	54

CAPITULO II

6. Hipótesis.....	55
6.1. Variables.....	55

CAPITULO III

7. Metodología.....	56
---------------------	----

7.1. Tipos de Investigación.....	56
7.2. Nivel de la Investigación.....	56
7.3. Método.....	56
7.4. Técnica de Recolección de Información.....	57
7.5. Población y Muestra.....	57
7.5.1. Población.....	57
7.5.2. Muestra.....	57
8. Marco Administrativo.....	58
8.1. Recursos Humanos.....	58
8.2. Recursos Financieros.....	58
CAPITULO IV	
9. Resultados obtenidos y análisis de resultados.....	59-75
10. Comprobación de la hipótesis	
CAPITULO V	
11. Conclusiones.....	76
12. Recomendaciones.....	77
13. Bibliografía	78
14. Anexos.....	79

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la investigación cumple dos propósitos fundamentales: Producir conocimientos, que es la parte de la investigación básica y Resolver problemas prácticos que es la investigación aplicada.

Durante el transcurso de los diferentes semestres de la carrera de ingeniería eléctrica se dio la idea de desarrollar una investigación con motores sincrónicos con la finalidad de ampliar para el estudiante controles remotos, en los que se puedan utilizar dos o más motores, de esta manera se disminuye el uso del recurso humano y hacer más volumen de productividad.

El sistema de control SELSYN nos va permitir mejorar, controlar, aumentar la producción en cualquier industria por cuanto vamos a disminuir el riesgo laboral al contratar menos personal y a su vez aumentar significativamente el volumen de producción.

El diseño y construcción de un módulo didáctico de pruebas para motores trifásicos con controles SELSYN permitirá realizar los diferentes tipos de controles a través de conductores N° 10AWG en forma didáctica y práctica, con lo que se obtiene un estudio con mayor fortaleza en el proceso enseñanza aprendizaje.

Las conexiones externas del control SELSYN para dos motores sincrónicos de $\frac{1}{2}$ HP contribuirá para que los estudiantes y docentes puedan aplicar todos los emplazamientos y materiales que se utilizan en este sistema y además para implementar el laboratorio de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí-campos Chone.

Capítulo I comprende el marco teórico referente al Control Selsyn y motores síncronos, en este capítulo se conceptualizan las teorías, especificaciones y características sobre temas específicos y relevantes de este trabajo de titulación. Conoceremos los diferentes manejos y el funcionamiento del control Selsyn así como las diferentes partes de los motores síncronos.

Capítulo II se planteará una hipótesis para verificar mediante una investigación su contenido, y así poder llegar a una conclusión y tratar de arribar a una verdad y posteriormente a su comprobación.

Capítulo III en este capítulo se especifican la metodología aplicada para la recolección de información, la misma que encierra diversos tipos de técnicas, herramientas, y niveles de investigación por parte de los autores de este trabajo. De igual forma en este punto se darán a conocer detalles de los recursos humanos y financieros que se utilizaron.

Capítulo IV a través de la investigación realizada se pudo obtener datos de las diferentes encuestas realizadas a los estudiantes de carrera de Ingeniería Eléctrica de 9º semestre de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí extensión Chone. , y se pudo comprobar la hipótesis planteada anteriormente.

Capítulo V como resultado de la investigación se elaboran las conclusiones como recomendaciones que van dirigidas a los encargados, estudiantes y docentes que van a ser uso de este módulo didáctico en el laboratorio de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí extensión Chone.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La matriz productiva de nuestro país no se desarrolla por la falta de implementar estos controles que disminuyen los gastos para proporcionar a nuestros productos valor agregado, pasando de simples creadores de materia prima a procesadores de productos elaborados.

El sector productivo de la zona centro de Manabí es mayormente artesanal, el mismo que se encuentra exento de maquinaria, dinero y asesoramiento en todos los ámbitos. A nivel nacional estamos limitados de maquinaria apta para aprovechar las riquezas que por naturaleza gozamos, debido a que somos productores de diferentes materias primas que no sabemos sacarla provecho, por el contrario las exportamos para posteriormente adquirirlas al doble de su valor.

Por esta razón queremos incluir el control SELSYN a nuestras industrias para abaratar costos y aumentar los niveles de producción, los mismos que generarán mayores productos para exportar y generar por consiguiente riquezas como: empleos y tributos al erario nacional.

2.1.CONTEXTOS

2.1.1. Contexto Macro

Que a través de este diseño nos permita evolucionar en el desarrollo científico y tecnológico a nivel Global sobre controles remotos en las industrias.

Las industrias a nivel mundial solamente se encuentran desarrolladas en el llamado Primer Mundo, mientras que los países en desarrollo se encuentran monopolizadas por dichos estamentos; es ahí donde los controles SELSYN se introducen para generar mayor riqueza y bienestar a la humanidad.

2.1.2. Contexto Meso

Geográficamente posicionado Ecuador, presenta diversos tipos de clima por esta razón disfrutamos de un sinnúmero de productos que no se encuentran en otro lado del mundo y para exportarlos necesitamos de arduo proceso de manufacturación, por lo que las industrias deben incluir controles remotos (SELSYN) que faciliten y mejoren los procesos de transformación.

2.1.3. Contexto Micro

En la investigación realizada en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí se pudo comprobar que es necesaria la implementación de controles SELSYN para abaratar costos de producción y comercialización de nuestros productos a nivel local, provincial y nacional. En nuestra provincia no existen registros de la aplicación de controles remotos SELSYN y su incorporación en el medio registrará un aumento de la taza productiva, lo que contribuirá al desarrollo productivo de nuestro cantón y de la provincia, y de manera particular en el laboratorio de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí extensión Chone.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo aporta la implementación de un módulo didáctico de control SELSYN para dos motores sincrónicos de ½ hp con conexiones externas y su aporte al laboratorio de ingeniería eléctrica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí extensión Chone?

2.3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Campo: Eléctrico

Área: Motores sincrónicos

Aspecto:

- a) Implementación de módulo didáctico de control Selsyn
- b) Motores sincrónicos de ½ Hp con conexiones externas

Delimitación temporal: La investigación se realizó en los períodos del Primer semestre de 2015

Delimitación espacial: La investigación se realizó en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí Extensión Chone.

Problema: Falta de sistemas industrializados SELSYN a control remoto.

2.4. INTERROGANTES DE LA INVESTIGACIÓN

¿Qué es el control SELSYN?

¿Cómo funciona un control SELSYN?

¿Qué son los motores síncronos de ½ Hp?

¿Cómo se acopla los motores sincrónicos?

3. JUSTIFICACIÓN

La elaboración del presente proyecto se justifica desde los siguientes puntos de vista conocidos. Toma interés porque por medio del estudio de este módulo se ejecutará prácticas de todo tipo con respecto a los controles SELSYN y cómo aportará para el aprendizaje de los estudiantes de la escuela de ingeniería eléctrica.

Es de importancia porque permitirá que los docentes empleen módulos didácticos de enseñanzas integrales de su labor educativa de manera que puedan colaborar con su aprendizaje dándoles herramientas útiles e importantes para despertar su énfasis e interés en diversos tipos de estudio mediante la utilización de módulos didácticos. Además toma importancia debido a que cubrirá los principios de controles automáticos para motores en forma práctica, el mismo que hace uso limitado de matemáticas colocando más énfasis en la comprensión física de las teorías involucradas.

Es factible el desarrollo de la investigación por cuanto los autores poseen los conocimientos técnicos necesarios, además se cuenta con el apoyo de los directivos de la extensión Chone, de igual manera se poseen los recursos necesarios. Además brindará muchos beneficios en el mejoramiento de la calidad educativa de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí campus Chone. Es de gran utilidad, porque además la presente investigación servirá de pauta para nuevas investigaciones, donde la ejecución de módulos didácticos de enseñanza se convertirá en un pilar fundamental para el desarrollo intelectual de los estudiantes.

Será de gran ayuda pedagógica a catedráticos y estudiantes, porque a consecuencia de esto el estudiante logrará un mayor entendimiento de los principios de controles de máquinas eléctricas a distancias. La característica innovadora de este trabajo de investigación, pretende atender el área académica – práctica de la educación superior, concediéndole la importancia que merece; está orientada y planificada especialmente como una estrategia metodológica que busca afianzar aprendizajes significativos y funcionales.

El laboratorio de la carrera de Ingeniería Eléctrica no cuenta con un equipo de esta naturaleza por lo tanto toma relevancia este proyecto; a la vez que los conceptos tales como acoples magnéticos vienen a ser particularmente interesante debido a que el estudiante pueda comandar motores eléctricos.

El presente trabajo investigativo cumple la Misión de la escuela de ingeniería eléctrica que es la de formar profesionales con preparación académica de acuerdo a los avances científicos-técnicos, capaces de resolver problemas inherentes a su profesión y a las necesidades sociales.

Contribuye con la Visión de la escuela de Ingeniería Eléctrica, ya que es un centro de formación de profesionales de la ingeniería eléctrica de calidad con capacidad crítica, analítica para instalar fuentes de generación, dirigir empresas e instituciones acorde con las nuevas tecnologías para mejorar el servicio eléctrico de la región y del país.

Se debe supervisar, controlar y manejar motores síncronos a distancia con el control SELSYN para abaratar costos de producción y disminuir el recurso humano haciendo más efectivo su accionar para lo cual ha sido creado e implementar esta tecnología en el laboratorio de prácticas de la escuela de Ingeniería Eléctrica extensión Chone.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Establecer la Implementación de un módulo didáctico de control Selsyn para dos motores sincrónicos de $\frac{1}{2}$ Hp con conexiones externas y su aporte al laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí extensión Chone, durante el primer quimestre del 2015.

4.2. Objetivos Específicos

- Investigar el control SELSYN
- Proporcionar datos e información sobre las técnicas de los controles automáticos a distancia Selsyn.
- Implementar el material didáctico para el funcionamiento de los controles automáticos Selsyn.
- Disponer de datos y cálculos para el control de motores sincrónicos de $\frac{1}{2}$ hp controlados a distancia.
- Establecer e implementar las técnicas de los controles selsyn aplicado a los motores sincrónicos.

CAPITULO I

5. MARCO TEÓRICO

5.1. CONTROL SELSYN

Selsyn es el uso de la función de auto-sintonización va a entrar en una esquina por el voltaje de CA o el voltaje de CA en una pequeña esquina del motor de inducción, el sistema de servo se utiliza para medir el ángulo de los sensores de desplazamiento. Señal de ángulo de Selsyn se puede utilizar para lograr la transmisión de larga distancia, la transformación, y recibir instrucciones. Dos o más contacto eléctrico a través del circuito, conectados entre sí mecánicamente dos o una pluralidad de ángulo del eje se cambia automáticamente para mantener la misma, o una rotación sincrónica. Este comportamiento se conoce como el motor de las propiedades de todos los pasos. En el sistema de servo, uno genera una señal usada selsyn llamado la máquina de envío, una de la señal recibida utilizado selsyn llama receptores. Selsyn ampliamente utilizado en metalurgia, la navegación y la otra ubicación y la orientación de los sistemas de indicador de sincronización y de artillería, del sistema servo de radar.

Señal de ángulo de Selsyn se puede utilizar para lograr la transmisión de larga distancia, la transformación, y recibir instrucciones. Dos o más contacto eléctrico a través del circuito, conectados entre sí mecánicamente dos o una pluralidad de ángulo del eje se cambia automáticamente para mantener la misma, o una rotación sincrónica. Este comportamiento se conoce como el motor de las propiedades de todos los pasos. En el sistema de servo, uno genera una señal usada selsyn llamado la máquina de envío, una de la señal recibida utilizado selsyn llama receptores. Selsyn ampliamente utilizado en metalurgia, la navegación y la otra ubicación y la orientación de los sistemas de indicador de sincronización y de artillería, del sistema servo de radar.

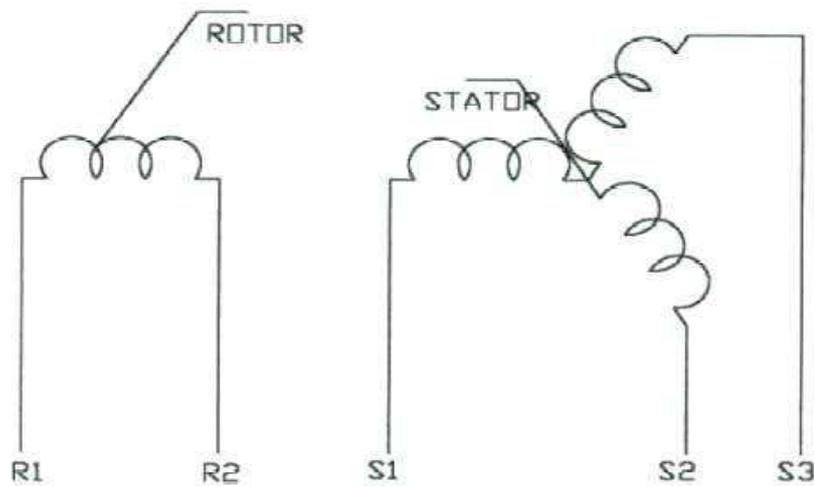


Fig 1. Devanados del motor

5.1.1. Principios de los controles remotos usando sistema SELSYN

Francisco Espinoza (2012): Son dispositivos electromecánicos usados para la transmisión de datos de posiciones angulares o torque entre las localizaciones remotas. El sistema típico consiste en un transmisor y un receptor, conectados por tres alambres, y alimentado por una sola fase de 110 VAC. Ninguna conexión mecánica existe entre las unidades. El transmisor y receptor pueden ser mecanismos idénticos. La rotación en un lugar creará la misma rotación en el otro. La exactitud es típicamente de más/menos un grado, dependiendo del torque de fricción de la carga. Un transmisor puede manejar múltiples receptores¹

5.1.2. Transmisor

Synchro (texto). Entrada: Rotor coloca mecánicamente o manualmente por la información que debe transmitirse. Salida: salida eléctrica del estator identificación de la posición del rotor se suministra a un receptor de par, el transmisor de par diferencial o un receptor diferencial de par. Un transmisor puede voltear varios receptores, si el torque es un factor, el transmisor debe ser físicamente más grande a la fuente de la corriente adicional.

¹ Espinoza F, (2011) CONTROL SELSYN. http://www.academia.edu/7478235/SYNCR0_1

El transmisor es un aparato, estático de inducción electromagnética destinado a transformar un sistema de corriente alterna, en otros sistemas de corriente alterna, de intensidad o tensión, generalmente diferentes pero de la misma frecuencia. Está constituido por un circuito magnético sobre el que se arrollan las bobinas aisladas entre sí, y del núcleo. El devanado de entrada está conectado a la fuente de energía y se llama devanado primario, mientras que el que suministra la energía está conectado a la carga y se llama devanado secundario, la transmisión de energía del devanado primario al devanado secundario se efectúa por medio del flujo magnético alterno producido por el primario.

5.1.3. Receptor

Synchro (texto). De entrada: datos de posición de ángulo eléctrico TX o TDX suministrado al estator. Salida: Rotor asume posición determinada por la entrada eléctrica suministrada. El receptor seguirá la posición angular de los transmisores, y crea el torque para manejar una carga a un lugar remoto. En este caso el receptor está actuando como un motor sincronizado con el transmisor.

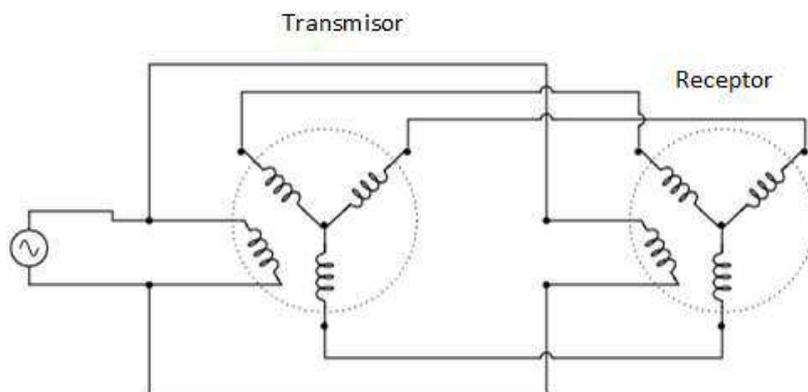


Fig 2. Transmisor-Receptor

5. 1.4. Funcionamiento del Control Selsyn

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2009). Selsyn es el uso de la función de auto-sintonización va a entrar en una esquina por el voltaje de CA o el voltaje de CA en una pequeña esquina del motor de inducción, el sistema de servo se

utiliza para medir el ángulo de los sensores de desplazamiento. Señal de ángulo de Selsyn se puede utilizar para lograr la transmisión de larga distancia, la transformación, y recibir instrucciones. Dos o más contacto eléctrico a través del circuito, conectados entre sí mecánicamente dos o una pluralidad de ángulo del eje se cambia automáticamente para mantener la misma, o una rotación sincrónica. Este comportamiento se conoce como el motor de las propiedades de todos los pasos. En el sistema de servo, uno genera una señal usada selsyn llamado la máquina de envío, una de la señal recibida utilizado selsyn llama receptores. Selsyn ampliamente utilizado en metalurgia, la navegación y la otra ubicación y la orientación de los sistemas de indicador de sincronización y de artillería, del sistema servo de radar.

5.1.5. Conexiones

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. La mayor parte saliente estructura de tipo polo utiliza sólo en alta frecuencia, un tamaño más grande cuando se utiliza la estructura de tipo de polos salientes (Figura 1). Estator y el conjunto del núcleo del rotor, respectivamente, bobinados de excitación completa a paso monofásicos y trifásicos. Devanado trifásico se distribuye toda conexión en estrella paso, la diferencia de fase en la línea del eje espacial 120° . Devanados del rotor a través de anillos colectores y escobillas de los conductores para el cableado selsyn contacto; cableado conduce a través de método de acoplamiento electromagnético para no-contacto selsyn, que, indicadores de rendimiento sin fricción de contacto y la interferencia de radio, pero la estructura compleja y la baja tasa de utilización. Con dos de la misma modelo de ángulo de selsyn momento puede ser formado sistema de indicación simultáneamente. Uno de el transmisor y el otro el receptor (Figura 2). Ambos utilizan la misma excitación de poder. Saneamiento y la fase correspondiente. Cuando el transmisor de ángulo del eje de accionamiento principal activada θ_1 , θ_2 ángulo de la ubicación del receptor, el transmisor enteros bobinados paso de cada fase de EMF. Dado que las dos esquinas son diferentes, todo el paso de los devanados de cada devanado de fase la corriente fluye a través de un equilibrado, se produce campo magnético pulsante, el par electromagnético

en el $M = M_m \sin \delta$ del rotor (mm con selsyn estructura electromagnética de la transferencia máxima momento; $\delta = \theta_1 - \theta_2$), lo que provocó las girado receptor hasta que el ángulo del transmisor es la misma. Par electromagnético Selsyn es pequeño, por lo general $M = (2,94 \sim 108) \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{cm} / \text{grado}$, sólo puede conducir el indicador de línea u otras cargas ligeras. Selsyn Momento puede estar compuesta de un trabajo diferencial. Entonces hay dos máquinas emisora, un receptor diferencial. Transmisor receptor corner para los dos suma algebraica. Bajo ciertas condiciones la próxima estación transmisora puede controlar múltiples receptores, llamados funcionamiento en paralelo selsyn momento.²

5.1.6. Conexiones de los diferentes tipos de transformadores

a) Conexiones transformador monofásico.- La conexión más simple de las conexiones de los transformadores es la conexión monofásica. Un método sencillo de llevar las terminales de los devanados primarios y secundarios a las boquillas que llevan al exterior del tanque del transformador. Para proporcionar flexibilidad en las conexiones, las bobinas de los devanados primarios y secundarios, se arreglan en dos secciones, cada sección de una bobina tiene el mismo número de espiras, por lo tanto, genera el mismo voltaje. Las dos primeras secciones se conectan por lo general juntas, dentro del tanque y únicamente dos son llevadas al exterior del tanque a través de las boquillas, las cuales las aíslan de la tapa.

b) Conexiones trifásicas.- La transformación se puede realizar por medio de tres transformadores monofásicos en conexión trifásica o por medio de transformadores trifásicos. Los métodos de conexión de los devanados para la conexión trifásica son los mismos, ya sea que se usen tres devanados en un transformador trifásico, o bien tres transformadores monofásicos por separado, en conexión trifásica. Las conexiones trifásicas más comunes son las denominadas DELTA Y ESTRELLA.

² Fraile, J (2003). MÁQUINAS ELÉCTRICAS. Quinta Edición.

c) Conexión ESTRELLA-ESTRELLA.- Las corrientes en los devanados en estrella son iguales a las corrientes en la línea. Si las tensiones entre línea y neutro están equilibradas y son sinusoidales, el valor eficaz de las tensiones respecto al neutro es igual al producto de $1/3$ por el valor eficaz de las tensiones entre línea y línea y existe un desfase de 30° entre las tensiones de línea a línea y de línea a neutro más próximas. Las tensiones entre línea y línea de los primeros y secundarios correspondientes en un banco estrella-estrella, están casi en concordancia de fase. Por tanto, la conexión en estrella será particularmente adecuada para devanados de alta tensión, en los que el aislamiento es el problema principal, ya que para una tensión de línea determinada las tensiones de la fase de la estrella sólo serían iguales al producto $1/3$ por las tensiones del triángulo.

d) Conexión ESTRELLA-DELTA.- La conexión estrella-delta es contraria a la conexión delta-estrella; por ejemplo en sistema de potencia, la conexión delta-estrella se emplea para elevar voltajes y la conexión estrella-delta para reducirlos. En ambos casos, los devanados conectados en estrella se conectan al circuito de más alto voltaje, fundamentalmente por razones de aislamiento. En sistemas de distribución esta conexión es poco usual, salvo en algunas ocasiones para distribución a tres hilos.

e) Conexión DELTA-ESTRELLA.- La conexión delta-estrella, de las más empleadas, se utiliza en los sistemas de potencia para elevar voltajes de generación o de transmisión, en los sistemas de distribución (a 4 hilos) para alimentación de fuerza y alumbrado.

f) Conexión DELTA-DELTA.- se utiliza esta conexión cuando se desean mínimas interferencias en el sistema. Además, si se tiene cargas desequilibradas, se compensa dicho equilibrio, ya que las corrientes de las carga se distribuyen uniformemente en cada uno de los devanados. La conexión delta-delta de transformadores monofásicos se usa generalmente en sistemas cuyos voltajes no son muy elevados especialmente en aquellos en que se debe mantener la continuidad de unos sistemas. Esta conexión se emplea tanto para elevar la

tensión como para reducirla. En caso de falta o reparación de la conexión delta-delta se puede convertir en una conexión delta abierta-delta abierta.

5.1.7. Características de funcionamiento

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2009). Los motores Selsyn se pueden utilizar para lograr la transmisión de larga distancia, la transformación, y recibir instrucciones. Dos o más contacto eléctrico a través del circuito, conectados entre sí mecánicamente dos o una pluralidad de ángulo del eje se cambia automáticamente para mantener la misma, o una rotación sincrónica. Este comportamiento se conoce como el motor de las propiedades de todos los pasos. En el sistema de servo, uno genera una señal usada selsyn llamado la máquina de envío, una de la señal recibida utilizado selsyn llama receptores. Selsyn ampliamente utilizado en metalurgia, la navegación y la otra ubicación y la orientación de los sistemas de indicador de sincronización y de artillería, del sistema servo de radar.

5.1.8. Principio del control remoto con sistema Selsyn

Un movimiento mecánico puede ser transmitido hasta cierta distancia usando ejes y otros engranajes mecánicos, razones prácticas limitan la transmisión de potencia mecánica a distancias largas, es en tales casos donde el sistema selsyn es particularmente útil.

Como ejemplo el sistema selsyn permite la transmisión y duplicación exacta de movimientos mecánicos entre dos lugares muy separados mediante el uso de conductores en vez de ejes. El sistema básico consiste de un transmisor y de un receptor conectado entre sí por conductores y excitados por una fuente ac.

El transmisor convierte movimientos mecánicos en señales eléctricas, mientras que el receptor transforma señales eléctricas en movimientos mecánicos. El transmisor y el receptor son máquinas de inducción de rotor bobinado, que poseen estatores trifásicos y rotores monofásicos el bobinado del rotor está conectado a

una fuente de potencia ac. Monofásica y los estatores están simplemente conectados uno con otro. Los rotores se deberán alinear automáticamente en la misma posición cuando son excitados. Los voltajes respectivos de las tres fases son idénticos y no hay circulación de corriente en los estatores.

Sin embargo si el rotor del transmisor es girado un pequeño ángulo, los voltajes inducidos en los bobinados del estator del transmisor no son iguales a los del receptor, este desbalanceo causa la circulación de corrientes en los bobinados de los estatores, las cuales crean un campo magnético que fuerza al rotor del receptor a tomar la misma posición del rotor del transmisor.

Dependiendo del tamaño del transmisor y del receptor, se pueden transmitir grandes fuerzas por medio de los cables de interconexión. En la mayoría de los casos el transmisor y el receptor de un sistema selsyn son muy pequeños porque sólo interesa transmitir una información de posición, (posición de la antena del radar, dirección del viento, etc).

5.1.9. Procedimiento

a) Experimento de laboratorio

Usando motor de rotor bobinado, fuente de potencia y medidores, conectar el circuito (fig.). Observe que los terminales del rotor 7 y 8 estén conectados a la salida variable ac, de 0-120V de la fuente de potencia.

Abriendo la parte frontal del módulo del motor para permitirle mover el rotor con la mano. Conecte la fuente de potencia y ajústela a 110V como lo debe indicar el voltímetro de la fuente de potencia.

Observe los tres voltajes del estator E1, E2 y E3. Cuidadosamente alcance el eje del motor y gírelo manualmente con cuidado, observe cómo el voltaje de los tres bobinados del estator varía cuando el rotor cambia de posición. Gire el eje del motor hasta que E1 alcance su máximo valor, mida los tres voltajes inducidos en el estator.

$$E_1 = 120 \text{ V}_{ac}, E_2 = 115 \text{ V}_{ac}, E_3 = 115 \text{ V}_{ac}$$

b) Gire el eje del rotor hasta que E, alcance su máximo valor, mida los tres voltajes inducidos en el estator.

$$E_1 = 250 \text{ V}_{ac}, E_2 = 115 \text{ V}_{ac}, E_3 = 120 \text{ V}_{ac}$$

c) Regrese el rotor hasta que E, alcance su mínimo valor, mida los tres voltajes inducidos en el estator.

$$E_1 = 120 \text{ V}_{ac}, E_2 = 110 \text{ V}_{ac}, E_3 = 110 \text{ V}_{ac}$$

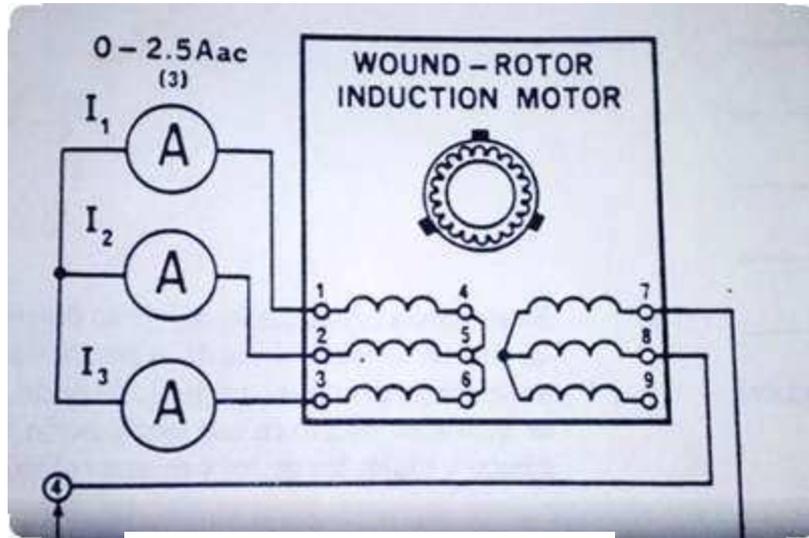
d) Regrese el voltaje del afuente de potencia a cero y apague la fuente

1. Conecte el circuito mostrando en la fig 4. Observe que tenga un medidor de corriente en serio con cada uno de los terminales del estator.
2. A) Baje la parte frontal del módulo del motor.

B) Conecte ña fuente de potencia y ajústela a 50 V_{ac} , como lo indicará el voltímetro

C) Cuidadosamente alcance el eje del rotor y gírelo suavemente. Observe si las tres corrientes del estator varían cuando el eje cambia de posición.

D) Gire el eje del rotor hasta que la corriente I, esté en el valor máximo, mida tres corrientes.



Rotor
Motor de inducción

Fig 3. Circuito Selsyn

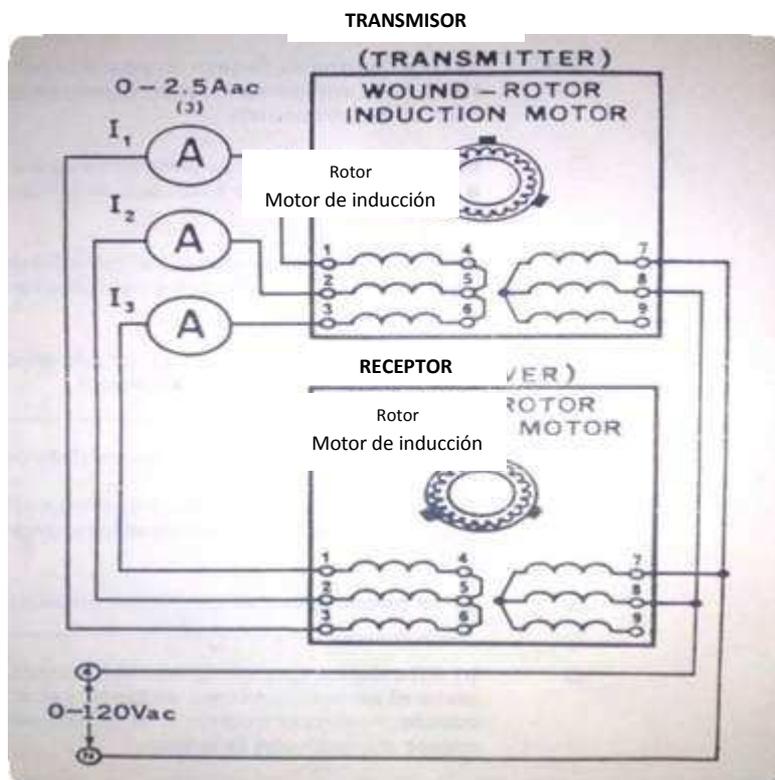


Fig 4. Diagrama Selsyn

5.2. MOTORES SÍNCRONOS DE ½ HP CON CONEXIONES EXTERNAS.

Los motores síncronos toman su nombre de la velocidad sincrónica que es la velocidad natural con la cual gira el campo magnético del estator, como se estudió antes, la velocidad sincrónica depende estrictamente del número de polos y de la frecuencia de la potencia aplicada.

Como el motor de inducción, el motor sincrónico usa el campo magnético rotativo, pero se diferencia en que el torque desarrollado no depende de las corrientes inducidas en el rotor. Brevemente, el principio de operación del motor sincrónico es el siguiente: se aplica una fuente polifásica de AC al bobinado del estator y se produce un campo magnético rotativo.

A los bobinados del rotor se les aplica una fuente de potencia DC creándose un campo magnético fijo, el motor es construido para que al poseer estos dos campos magnéticos reaccionan el uno con el otro causando que el rotor gire a la misma velocidad sincrónica que la del campo magnético rotativo. Cuando se le aplique carga al eje del motor la velocidad del rotor caerá momentáneamente por debajo de la velocidad sincrónica pero deberá girar de nuevo a la velocidad sincrónica.

La caída de velocidad es similar a pesar que el rotor está unido al campo magnético rotativo mediante una banda de caucho elástico, una carga más pesada hará que la banda se alargue atrasando la posición del rotor del campo magnético pero el rotor continúa girando a la misma velocidad. Si la carga aplicada es demasiado grande hará que el rotor salga de sincronismo con el campo magnético, como consecuencia el rotor no girará a la misma velocidad, se dice que el motor está sobrecargado.

El motor sincrónico no puede arrancar por sí mismo, el rotor es pesado y desde el reposo no es posible engancharlo con el campo magnético rotativo para que gire. Por ésta razón todos los motores síncronos tienen alguna clase de dispositivo de arranque. Un arrancador simple sería otro motor que impulse al sincrónico a una

velocidad aproximada al 90% de su velocidad sincrónica. El motor que impulsa es desconectado en ese instante y el rotor del motor sincrónico se engancha con el campo magnético giratorio. El método de arranque más común es que el rotor del motor sincrónico incluye una jaula de ardilla. Este se comporta como un motor de inducción impulsando el motor cerca de la velocidad sincrónica. La jaula de ardilla es útil aún después de que el motor ha alcanzado la velocidad sincrónica, a causa de que ella tiende a amortiguar las oscilaciones del motor causadas por los cambios repentinos de la carga. El módulo del motor/generador sincrónico posee una jaula de ardilla en el rotor.

Los motores síncronos son máquinas síncronas que se utilizan para convertir potencia eléctrica en potencia mecánica de rotación. La característica principal de este tipo de motores es que trabajan a velocidad constante que depende solo de la frecuencia de la red y de otros aspectos constructivos de la máquina. A diferencia de los motores asincrónicos, la puesta en marcha requiere de maniobras especiales a no ser que se cuente con un sistema automático de arranque. Otra particularidad del motor síncrono es que al operar de forma sobreexcitado consume potencia reactiva y mejora el factor de potencia.

5.2.1 Principios de Funcionamiento

Si a un alternador trifásico se le retira la máquina motriz y se alimenta su estator mediante un sistema trifásico de corriente alterna se genera en el estator un campo magnético giratorio, cuya velocidad sabemos que es:

$$N = 60 f/p$$

Dónde:

F= es la frecuencia de la red

P= es el número de pares de polos del rotor.

Si en estas circunstancias, con el rotor parado, se alimenta el devanado del mismo con corriente continua se produce un campo magnético rotórico fijo, delante del

cual pasa el campo magnético del estator. Los polos del rotor están sometidos ahora a atracciones y repulsiones en breves periodos de tiempo, por parte de los polos del estator pero el rotor no consigue girar, a lo sumo vibrará.

Al llevar el rotor a la velocidad de sincronismo, haciéndolo girar mediante un motor auxiliar, al enfrentarse polos de signo opuestos se establece un enganche magnético que les obliga a seguir girando juntos, pudiendo ahora retirar el motor auxiliar. Este enganche magnético se produce ya que el campo giratorio estático arrastra por atracción magnética al rotor en el mismo sentido y velocidad.

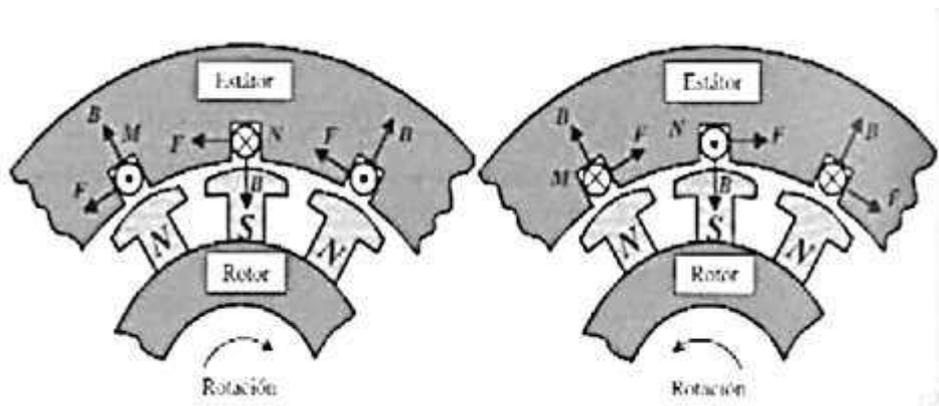


Fig 5. Principio de funcionamiento del motor síncrono

La corriente de campo del motor produce un campo magnético de estado estacionario B_R un conjunto trifásico de voltajes se aplica al estator de la máquina, que produce un flujo de corriente trifásica en los devanados inducidos produciendo un campo magnético uniforme rotacional B_s .

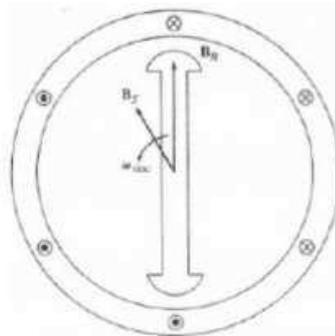


Fig 6. Campos Magnéticos de un Motor de dos Polos

Entonces, hay dos campos magnéticos presentes en la máquina, y el campo rotórico tenderá a alinearse con el campo estatórico así como dos barras magnéticas tenderán a alinearse si se colocan una cerca de la otra.

Puesto que el campo electromagnético del estator es rotante (CMR), el campo magnético del rotor y el rotor tratarán constantemente de emparejarse con el CMR; es decir el principio básico de operación del motor sincrónico es que el rotor persigue el campo magnético rotante del estator (CMR), sin emparejarse del todo con él.

5.2.2 Puesta en funcionamiento de un motor síncrono

En primer lugar se procede a dar una alimentación trifásica al motor síncrono, la cual produce un campo magnético giratorio (CMR).

Se procede a hacer girar el rotor hasta alcanzar la velocidad síncrona puede ser mediante un motor de lanzamiento auxiliar, después la excitatriz alimenta de CC al rotor, es decir se da una corriente de excitación, la cual se encarga de crear un campo magnético en el rotor el cual será constante.

Entonces se logra que los campos producidos interactúen produciéndose el correcto funcionamiento del motor síncrono.

5.2.3. Motor de inducción con rotor bobinado

Desde hace un tiempo se está familiarizado con los campos magnéticos rotativos producidos por fuentes monofásicas. Las compañías electrificadoras generalmente, generan y transmiten energía trifásica. Para el uso residencial la potencia monofásica se obtiene de una de las fases de las líneas de transmisión trifásica. Los motores trifásicos (polifásicos) son de uso común en la industria y las compañías electrificadoras normalmente suministran energía trifásica a los usuarios industriales.

La creación de un campo magnético rotativo por un estator es similar al principio de un motor de fase partida o de un motor bifásico (con condensador de marcha). En el sistema trifásico, un campo magnético rotativo es creado por un sistema de corrientes trifásicas en lugar de dos.

Cuando al estator de un motor trifásico se le aplica un sistema trifásico de potencia circulan corrientes en los tres devanados del estator creando un campo magnético rotativo. Estas tres corrientes de excitación suministran la energía reactiva para la creación del campo magnético rotativo. Ellas también suministran la potencia de pérdidas en el motor tanto en el cobre como en el hierro.

La velocidad del campo magnético rotativo está determinada enteramente por la frecuencia de la fuente de potencia trifásica, y es conocida como la velocidad sincrónica. La frecuencia de los sistemas eléctricos de potencia es mantenida exactamente constante por las compañías electrificadoras, por consiguiente la velocidad sincrónica del campo del estator (en r/min) permanece constante.

El rotor bobinado, consiste en un rotor con tres devanados en lugar de las barras conductoras del rotor de jaula de ardilla, es éste caso, las corrientes son inducidas en los devanados que se encuentran cortocircuitados. Sin embargo, la ventaja de usar devanados es la posibilidad de sacar los terminales al exterior mediante anillos deslizantes y agregar resistencias de modo que se puede controlar la magnitud de las corrientes en los devanados.

El campo magnético rotativo induce los voltajes alternos en las bobinas del rotor. Cuando el está en reposo la frecuencia de los voltajes inducidos en el rotor es igual a la de la fuente de potencia. Si el rotor gira por efecto de algún medio externo en la misma dirección del campo magnético rotativo, la velocidad a la cual el campo magnético corta los conductores del rotor disminuye, el voltaje y la frecuencia del voltaje inducido disminuyen. Cuando el rotor gire a la misma velocidad y en la misma dirección del campo magnético rotativo, el voltaje inducido y la frecuencia deberán caer a cero (el rotor gira a la velocidad sincrónica). Si el rotor gira a la velocidad sincrónica pero en la dirección opuesta a

la del campo magnético rotativo del estator, el voltaje inducido, y también su frecuencia, serán el doble de los valores que tenían con el rotor en reposo.

Puesto que el rotor deberá ser impulsado por un motor externo en éste experimento de laboratorio, se deberá tener presente que para una velocidad determinada del rotor el valor del voltaje inducido y su frecuencia deberán ser las mismas que si el rotor girará por sí mismo.

En un experimento de laboratorio previo vimos cómo una gran magnitud de voltaje se induce en el bobinado del rotor en circuito abierto, y que éste voltaje varía linealmente con el deslizamiento en r/min, llegando a cero a la velocidad sincrónica.

Si el bobinado del rotor es cortocircuitado una corriente de gran magnitud deberá circular debido al voltaje inducido. Para suministrar ésta corriente en el rotor la corriente en el estator deberá aumentar por encima del nivel normal de la corriente de excitación.

La potencia consumida en VA en el devanado del rotor (y en la circuitería asociada) deberá ser suministrada por el bobinado del estator. Se debe por lo tanto tener en consideración lo siguiente:

- a) En reposo o a bajas velocidades, las corrientes de estator y rotor y el torque deberán ser altos.
- b) A velocidad sincrónica, la corriente del rotor y el torque serán cero, y por el estator circulará solamente la corriente de excitación.
- c) Para cualquier otra velocidad del motor, las corrientes y el torque estarán entre éstos dos valores extremos.

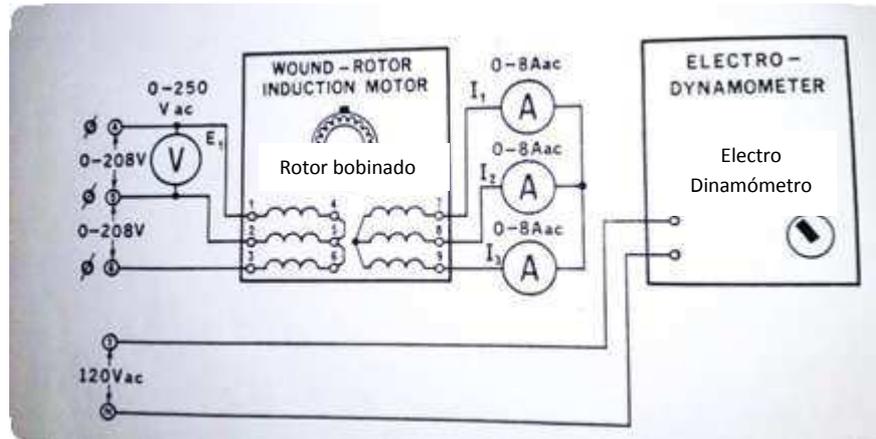


Fig 6. Diagrama de salida Selsyn

Los tres terminales del bobinado del rotor son llevados al exterior mediante anillos deslizantes montados en el eje del rotor.

Las escobillas que hacen contacto con los anillos son las que ayudan a obtener del motor del rotor bobinado su máxima ventaja. Conectando resistencias exteriores a las escobillas, es posible obtener un torque máximo superior al que se obtiene en un motor jaula de ardilla.

En el arranque, la resistencia de los reóstatos es incluida en el circuito del rotor, obteniéndose así un alto torque de arranque.

Cuando el motor está cerca de la velocidad normal de operación, la resistencia se reduce gradualmente hasta cuando se elimina totalmente para la velocidad de plena carga. Aunque el torque de arranque del motor del rotor bobinado es elevado, no es tan eficiente como el motor con rotor jaula de ardilla a plena carga, puesto que la resistencia de los bobinados del rotor son siempre menores que la de la jaula en motor jaula de ardilla.

Una característica especial del motor del rotor bobinado es la variación de la velocidad al variar la carga. Mediante la variación de la resistencia del reóstato exterior, es posible variar el porcentaje de deslizamiento, variando por lo tanto la velocidad del motor.

Lo anterior significa que para velocidades por debajo de la normal y para una misma carga el motor trabaja con una eficiencia y hp reducidos. En resumen, debido a la mayor resistencia del rotor éste es más susceptible de cambiar la velocidad cuando varíe la carga.

5.2.4. Motor de inducción jaula de ardilla

El más simple y por ello el más ampliamente usado rotor para motores de inducción es el rotor jaula de ardilla, del cual el motor de inducción toma su nombre. El rotor jaula de ardilla consiste de un núcleo laminado, con ranuras longitudinales en la periferia. Barras sólidas de cobre o aluminio son prensadas o fundidas por dentro de las ranuras, en los extremos del rotor y mediante anillos fundidos o soldados se cortocircuitan las barras formando una estructura sólida. Puesto que la resistencia de las barras de la jaula es mucho menor que la resistencia del núcleo de hierro, no es necesario un aislamiento especial entre el hierro y las barras. En algunos rotores las barras y los anillos en los extremos son fundidos como una sola masa junto con el hierro. Los elementos cortocircuitados forman bobinados por los cuales circulan altas corrientes inducidas por el campo magnético del estator.

Comparándolo con un complejo y complicado rotor bobinado o con la armadura de un motor DC, el rotor jaula de ardilla es relativamente simple.

Es un rotor fácil de construir, y esencialmente libre de mantenimiento durante el funcionamiento normal. En los motores jaula de ardilla la separación entre la superficie del rotor y el estator es un entrehierro muy pequeño. EL ancho de este entrehierro es en realidad una pequeña tolerancia necesaria. Esto garantiza que el campo magnético es de una magnitud elevada.

Cuando la energía se conecta a un motor de inducción práctico, se crea un campo magnético rotativo, de acuerdo a alguno de los principios que se estudiaron previamente. Como las líneas de campo magnético comienzan a girar cortan las barras cortocircuitadas de la jaula de ardilla generando en ellas un voltaje por

inducción electromagnética. Debido a la baja resistencia de éstas barras y por estas en cortocircuito circulan por ellas corrientes de magnitud elevada. Las corrientes del rotor crean así su propio campo magnético, éste flujo crea polos magnéticos propios del rotor, los cuales son atraídos por los polos del campo giratorio del estator, por consiguiente el rotor gira con el campo magnético principal o del estator.

El torque de arranque del motor de inducción jaula de ardilla básicamente es bajo, a causa de que en reposo la jaula presenta una comparativamente alta reactancia (XL) con respecto a su resistencia (R). Bajo estas condiciones es de esperar que la corriente del rotor atrase con respecto al voltaje en cerca de 90° . Diremos que el factor de potencia del motor en el arranque es muy bajo. Significa esto que el motor como carga es ineficiente y que toma poca potencia activa de la red de energía para su operación.

A desprecio de la ineficiencia, se produce torque y el motor comienza a girar. En el inicio del giro las diferencia de velocidades entre el campo magnético rotativo y el rotor, o deslizamiento, va desde un valor máximo 100% a un valor intermedio, digamos un 50% a medida que el deslizamiento disminuye, la frecuencia del voltaje del rotor también disminuye, debido a que el campo magnético corta las barras de la jaula a una velocidad relativa menor, a su vez esto se traduce en que la reactancia total del rotor disminuye también, y por lo tanto el factor de potencia del motor aumenta. Esto se refleja en un aumento del torque y por lo tanto en un incremento de la velocidad.

Cuando el deslizamiento llega a un valor del 2 al 10% el motor estabiliza su velocidad. Esto se debe a que cuando el motor trata de aumentar su velocidad disminuye sincrónica, la inducción se reduce reduciendo a la vez el torque. Así el motor presenta un control automático de velocidad característica similar a la del motor DC en derivación.

5.2.5. Ventajas de los motores síncronos

Las aplicaciones de los motores síncronos en la industria, la mayoría de las veces, resultan en ventajas económicas y operacionales considerables, debido a sus características de funcionamiento. Las principales ventajas son:

a) Corrección del factor de potencia: Los motores síncronos pueden ayudar a reducir los costos de energía eléctrica y mejorar el rendimiento del sistema de energía, corrigiendo el factor de potencia en la red eléctrica donde están instalados. En pocos años, el ahorro de energía eléctrica puede igualarse al valor invertido en el motor.

b) Velocidad constante: Los motores síncronos mantienen la velocidad constante tanto en las situaciones de sobrecarga como durante momentos de oscilaciones de tensión, respetándose los límites del conjugado máximo (pull-out).

c) Alto rendimiento: En la conversión de energía eléctrica en mecánica es más eficiente, generando mayor ahorro de energía. Los motores síncronos son proyectados para operar con alto rendimiento en un amplio rango de velocidad y para proveer un mejor aprovechamiento de energía para una gran variedad de cargas.

d) Mayor estabilidad en la utilización con convertidores de frecuencia: Puede actuar en un amplio rango de velocidad, manteniendo la estabilidad independiente de la variación de carga (ej.: laminadoras, extrusoras de plástico, etc.).

5.2.6. Características Constructivas

a) Carcasas.- su función principal es la de adoptar y proteger el motor, alojando también el paquete de chapas y devanados del estator. Pueden ser construidas en los tipos horizontal y vertical y con grado de protección de acuerdo con las necesidades del ambiente. La carcasa está construida en chapas y perfiles de acero soldado, formando un conjunto sólido y robusto que es la base estructura de la máquina. Todo el conjunto de la carcasa recibe un tratamiento de normalización para alivio de tensiones provocadas por las soldaduras.

Ese tipo de construcción proporciona excelente rigidez estructural de manera de soportar esfuerzos mecánicos provenientes de eventuales cortocircuitos y vibración, capacitando al motor para atender las más severas necesidades.



Fig 7. Carcasas

b) Estator.- Constituido por un paquete laminado de chapas de acero silicio de alta calidad, con ranuras para alojar el devanado del estator, que opera con alimentación de potencia en corriente alterna para generar el campo magnético giratorio.



Fig 8. Estator

c) Rotor.- El rotor puede ser construido con polos lisos o salientes dependiendo de las características constructivas del motor y de su aplicación. El rotor completo está formado por la estructura que compone o soporta los polos, los devanados de campo y la jaula de arranque, que son las partes activas giratorias del motor síncrono.

Los polos del campo son magnetizados a través de la corriente CC de la excitatriz o directamente por anillos recolectores y escobillas. En funcionamiento, los polos se alinean magnéticamente por el entrehierro y giran en sincronismo con el campo giratorio del estator. Los ejes son fabricados en acero forjado y mecanizados según las especificaciones. La punta de eje normalmente es cilíndrica o bridada.



Fig 9. Rotor

d) Cojinetes.- En función de la aplicación, los motores sincrónicos pueden ser suministrados con cojinetes de rodamiento o cojinetes de deslizamiento.

- **Cojinete de rodamiento.-** Estos cojinetes están normalmente constituidos por rodamiento de esferas o de rodillos cilíndricos, dependiendo de la rotación y de los esfuerzos axiales y radiales a los que son sometidos, en algunas aplicaciones pueden ser utilizados rodamientos especiales. Los cojinetes de rodamientos pueden ser lubricados con aceite o grasa.
- **Cojinete de deslizamiento.-** Los cojinetes de deslizamiento pueden tener lubricación natural (auto-lubricables) o lubricación forzada (lubricación externa).

5.2.7. Circuito equivalente

Ya que el motor síncrono es igual físicamente al generador, las ecuaciones básicas de velocidad, potencia y par son las mismas. La única diferencia es que el sentido de flujo de potencia (y por lo tanto el sentido de la corriente de

carga) es opuesto para el motor. Consideremos un motor síncrono funcionando en régimen estacionario con una tensión por fase U . Suponemos que la reactancia de dispersión es constante, que se pueden despreciar las pérdidas en el hierro y que el entre hierro es uniforme. En la figura 3 se puede ver el circuito eléctrico equivalente (diagrama de Blondel) que representa al motor síncrono conectado a la red en el cual el estator se comporta como el primario de un transformador.

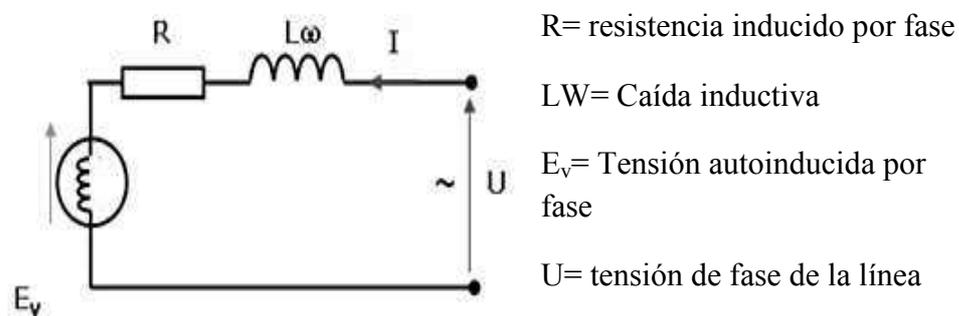


Fig 9. Circuito equivalente de un motor síncrono trifásico

5.2.8. ARRANCADORES PARA MOTORES TRIFÁSICOS

5.2.9. Arrancador magnético

En el experimento anterior se han estudiado las características de los diferentes tipos de motores: jaula de ardilla, de rotor bobinado y síncrono.

Para estos experimentos se han usado las salidas de voltaje variables 220V.

Por razones de simplicidad y económicas, la industria no usa esa clase de fuentes de potencia para cada uno de los motores. Siempre que sea posible los motores se conectan directamente a las líneas de energía a través de una protección de sobrecarga para el motor.

El método más simple de arrancar un motor, es el llamado arrancador manual, que es un interruptor de conectado/desconectado en serie con algún dispositivo de

sobrecarga que coloca en posición de desconectado en caso de que la corriente tomada por el motor sobrepase un cierto valor predefinido.

La sobrecarga es un dispositivo con característica inversa de tiempo, el cual permite el paso de altas corrientes por períodos cortos, como el caso de la corriente de arranque, pero desconecta cuando corrientes mayores a la predefinida duran un cierto período prolongado.

Otro dispositivo de arranque es el arrancador magnético, el cual es muy usado en el arranque de motores 3 de inducción. En la figura 10 se muestra un arrancador magnético típico con luz piloto. Cuando el botón pulsador de arranque se presiona momentáneamente, circula corriente desde una fase por los pulsadores de paro y arranque, la bobina y el contacto de la sobrecarga, a otra fase diferente.

Al energizar la bobina M cierra los contactos de potencia M del lado de la carga y el contacto auxiliar M en paralelo con el pulsador de arranque. El pulsador puede soltarse y la bobina continúa energizada.

Esto recibe el nombre de sostenimiento o enclavamiento eléctrico. Si el motor se sobrecarga y toma una corriente superior a la normal, los elementos calentadores del dispositivo de sobrecarga abren los contactos de la sobrecarga O/L, los cuales cortan la energía de la bobina y desconectan el motor al abrir los contactos M. La misma acción ocurre cuando el pulsador normalmente cerrado de paro en pulsado.

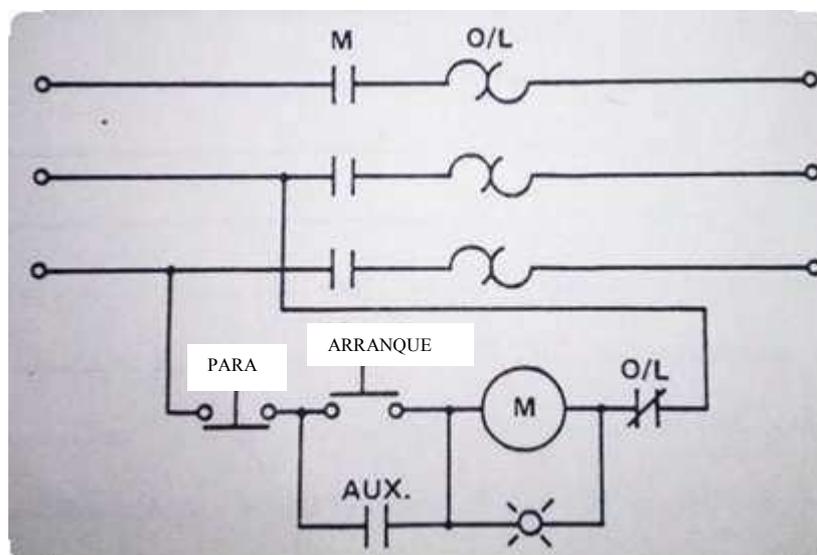


Fig 10. Arrancador Magnético

5.2.10. Arrancador de motor sincrónico

Como ya se debe suponer un motor sincrónico no puede ser arrancado automáticamente de igual forma que como un motor de jaula de ardilla.

Como se vio en la experiencia anterior durante el arranque, el rotor debe conectarse a resistencias exteriores para prevenir la aparición de voltajes extremadamente altos, cuando el rotor está cerca de la velocidad sincrónica las resistencias deben desconectarse y se conecta corriente i_d , en el devanado del rotor con el fin de llevar el rotor a la velocidad sincrónica, y engancharlo en sincronismo con el campo magnético rotativo.

Varios métodos se usan para determinar el momento preciso en el cual la corriente i_d , se debe conectar.

Un método, de control de motores industriales. Usa un relé de control de frecuencia de deslizamiento. Este relé mide indirectamente la velocidad del motor al detectar la frecuencia de deslizamiento, y aplica la i_d , en el momento preciso cuando un polo del rotor está ligeramente adelantado de un polo del estator de polaridad diferente.

Un método más simple es el arrancador de tiempo-definido: en éste caso, el motor es arrancado como un motor de jaula de ardilla, y cuando ha transcurrido suficiente tiempo para que el motor haya alcanzado una velocidad cercana a la velocidad sincrónica, un relé con retardo de tiempo aplica la i_d , al bobinado de excitación del rotor.

Otro arrancador simple para motores sincrónicos es descrito en éste experimento de laboratorio. Hace uso de un dispositivo medidor de corriente y energiza un relé cuando la corriente del estator ha bajado a un valor predeterminado, y coloca la excitación i_d al rotor.

El arrancador de motor sincrónico consiste de un arrancador de 3 de voltaje pleno, un dispositivo sensor de corriente, de un relé de excitación y de una fuente de 120

V. Esta fuente consiste de un transformador de aislamiento y de un rectificador de onda completa cuando el motor alcanza aproximadamente el 90% de la velocidad sincrónica, la corriente de línea cae a un cierto valor, y el dispositivo sensor de corriente cierra un relé, que conecta la excitación cd, al bobinado de campo del motor, esto engancha el motor en sincronismo.

a) Arranque por medio de reducción de frecuencia

Jesús Fraile Mora (2003). Si los campos magnéticos del estator en un motor síncrono giran a una velocidad lo suficientemente baja, no habrá ningún problema para que el rotor se acelere y se enlace con el campo magnético del estator. Entonces, se puede incrementar la velocidad de los campos magnéticos del estator aumentando gradualmente la frecuencia hasta su valor nominal de 50 Hz. Para esto pueden utilizar accionadores de estado sólido como ciclo convertidores.

b) Arranque con motor primario

Para llevar al motor a su velocidad síncrona se le puede adjuntar un motor de arranque externo. Una vez alcanzada esta velocidad, se conecta la máquina en paralelo a la red y se desconecta el motor primario del eje. El motor de arranque puede tener valores nominales mucho más pequeños que el motor que arranca ya que sólo debe superar la inercia de la máquina síncrona en vacío.

c) Arranque con devanado de amortiguamiento

Éste es el método más popular de arranque. Recibe el nombre de devanado amortiguador porque reduce las oscilaciones que se producen en los procesos transitorios de las máquinas: acoplamiento a la red, vibraciones bruscas de carga eléctrica o mecánica, etc. Los devanados de amortiguamiento son barras especiales dispuestas en ranuras hechas en la cara del rotor en un motor y en cortocircuito en cada extremo con un anillo (figura 10). Esto crea un rotor del tipo jaula de ardilla y el motor arranca como si fuera un motor asincrónico trifásico.

d) Arranque automático

Mediante el siguiente circuito se puede arrancar al motor de forma automática. Primero se cierra el interruptor 1 que alimenta al estator del motor. En el instante de arranque el rotor tiene la frecuencia de la red (alta frecuencia). En el circuito del rotor, que alimenta la resistencia de arranque, para que ésta absorba la tensión elevada de las bobinas de los polos, aparece una diferencia de potencial a los bornes de la reactancia. Esta diferencia de potencial alimenta una bobina del relé polarizado, que mantiene abierto los contactos del mismo. La máquina arranca como motor asíncrono debido a la jaula de ardilla que poseen los polos del rotor. A medida que aumenta la velocidad, la frecuencia del rotor disminuye, por consiguiente disminuye la diferencia de potencial a los bornes de la reactancia hasta que ésta no puede mantener el yugo del relé, ya cercana a la velocidad de sincronismo, y cierra los contactos de él. Al cerrarse este contacto se alimenta la bobina del contacto, quien cierra los interruptores 2 y abre el 3 quedando de esta manera alimentado el rotor por corriente continua y funcionando en sincronismo³

d) Arranque en estrella-estrella

Este arranque se basa en conectar el motor en estrella sobre una red donde debe conectarse a otra estrella. De esta forma durante el arranque los devanados del estator están a una tensión $\sqrt{3}$ veces inferior a la nominal. Supongamos que tenemos un motor de 400/230 y una red de 230 (V). El motor debe sobre esta red, de conectarse en triángulo y sus devanados soportan 230 (V). Fíjate en Fig. donde podemos ver que su corriente de arranque es 15 (A), si se arranca de forma directa en triángulo sobre 230 (V).

Por lo tanto, la conexión en estrella será particularmente adecuada para devanados de alta tensión, en los que el aislamiento es el problema principal, ya que para una tensión en línea determinada las tensiones de fase de la estrella sólo serían iguales al producto $1/\sqrt{3}$ por las tensiones en el triángulo.

³ Jesus Friela Mora (2003)

f) Arranque delta-delta

Este arranque se basa en conectar el motor en triángulo a una red donde existe otra conexión en triángulo.

Se utiliza esta conexión cuando se desean mínimas interferencias en el sistema. Además, si se tiene cargas desequilibradas, se compensa dicho equilibrio, ya que las corrientes de la carga se distribuyen uniformemente en cada uno de los devanados. La conexión delta-delta de transformadores monofásicos se usan generalmente en sistemas cuyos voltajes no son muy elevados especialmente en aquellos en que se debe mantener la continuidad de unos sistemas. Esta conexión se emplea tanto para elevar la tensión como para reducirla.

En caso de falla o reparación de la conexión delta-delta se puede convertir en una conexión delta abierta-delta abierta.

g) Arranque delta-estrella

Irving L. Kosow (Máquinas eléctricas y transformadores. Segunda Edición). En una conexión en estrella, los devanados del motor de inducción se conectan desde las fases de alimentación al neutro. En una conexión en triángulo o malla, los devanados se conectan entre las fases de alimentación. Una conexión en estrella crea una mayor tensión en los devanados del motor de inducción trifásico que una conexión en delta. Un arrancador con la capacidad de utilizar conexiones tanto en estrella como en delta, también conocido como una conexión de estrella de arranque en delta, arranca el motor de tres fases mediante una conexión en estrella, luego se transfiere a una conexión en delta cuando el motor alcanza una velocidad establecida. Una desventaja de la conexión estrella-triángulo es la reducción de tensión y el par de arranque bajo que puede tener un efecto adverso en los dispositivos o bombas que tienen un elevado par de arranque. Una conexión estrella-triángulo es más compleja que una conexión de línea directa, ya que utiliza un interruptor de velocidad y temporizadores. El motor de inducción requiere una descarga para empezar y otra cuando se realizan las transferencias de

conexión estrella-delta desde estrella a delta. El método estrella-delta es a menudo conviene para la aceleración parcial.

5.2.11. Par o momento de torsión de ajuste a sincronismo

En cuanto el motor está funcionando cerca de la velocidad síncrono, el rotor es excitado con la corriente directa.

Esto produce polos N y S alternos alrededor de la circunferencia del rotor. Si en este instante los polos quedan frente a polos de polaridad opuesta en el estator, se crea una fuerte atracción magnética entre ellos.

Esta atracción mutua mantiene juntos los polos del rotor y del estator, y el rotor es literalmente obligado a sincronizarse con el campo rotatorio. Por ella, el momento de torsión desarrollado en este instante se llama momento de torsión de ajuste a sincronismo.

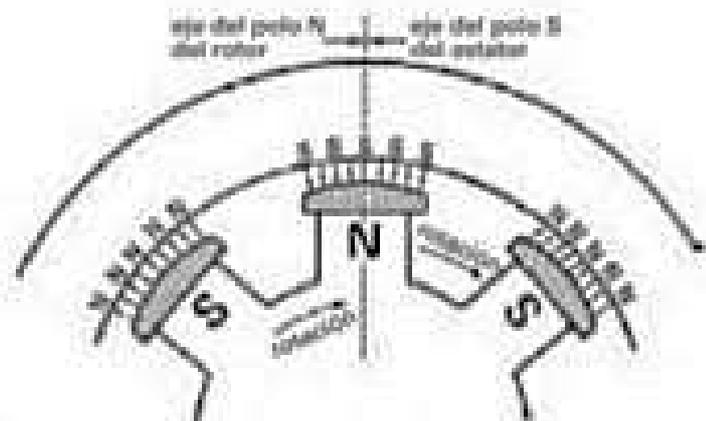


Fig 11. Par torsión

El par o momento de torsión de ajuste a sincronismo de un motor síncrono es poderosos, pero la corriente directa se debe aplicar en el instante correcto. Por ejemplo, si los polos emergentes N, S del rotor están opuestos a los polos N, S del

estator, la repulsión magnética resultante producirá un violento choque mecánico. El motor se desacelerará de inmediato y los cortocircuitos se activarán.

En la práctica, los arrancadores de motores síncronos están diseñados para detectar el instante preciso en que se deberá aplicar la excitación. Entonces el motor se acelera automáticamente y se sincroniza con el campo rotatorio.

Básicamente, un motor síncrono gira a causa de la atracción magnética entre los polos del rotor y los polos opuestos del estator.

Para invertir la dirección de rotación, simplemente se intercambian dos líneas cualesquiera conectadas al estator.

5.2.12. Motor bajo carga

Cuando un motor síncrono funciona sin carga, los polos del rotor están directamente opuestos a los del estator y sus ejes coinciden: Sin embargo, si aplicamos una carga mecánica, los polos del rotor se retrasan un poco respecto a los polos del estator, pero el rotor continúa girando a velocidad síncrona.

El ángulo mecánico entre los polos se incrementa progresivamente conforme incrementamos la carga. No obstante, la atracción magnética mantiene el rotor ligado al campo rotatorio y el motor desarrolla un par o momento de torsión cada vez más poderoso conforme se incrementa el ángulo.

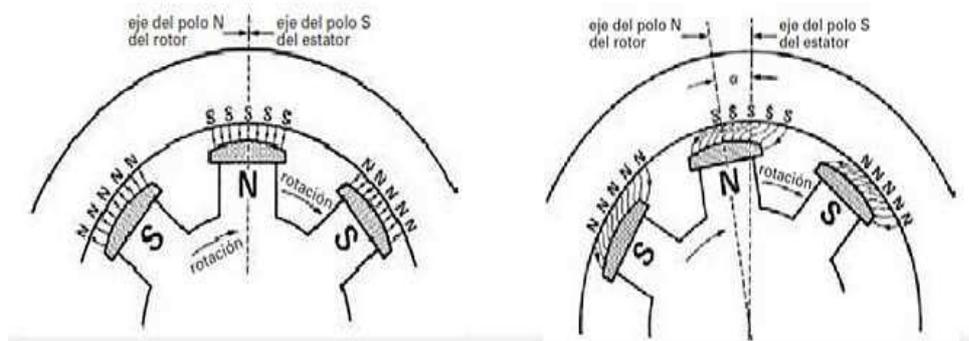


Fig 12. Par bajo carga

Si la carga mecánica excede el par o momento de torsión crítico o límite del motor, los polos del rotor se apartan repentinamente de los polos del estator y el motor se detiene.

Un motor que se desincroniza crea una perturbación importante en la línea, por lo que se activan de inmediato los cortacircuitos.

Esto protege el motor porque tanto el devanado de jaula de ardilla como el del estator se sobrecalientan rápidamente y la máquina deja de funcionar a velocidad síncrona.

El ángulo mecánico entre los polos del rotor y del estator tiene una relación directa con la corriente del estator. Conforme se incrementa el ángulo, la corriente aumenta. La fmm de los polos del rotor depende de la excitación de cd I_x , mientras que la del estator depende de la corriente alterna que fluye en los devanados.

El par o momento de torsión crítico generalmente es (1.5 a 2.5) veces el par o momento de torsión nominal a plena carga.

5.2.13. Par o momento de torsión de reluctancia

Si se reduce gradualmente la excitación de un motor síncrono cuando está funcionando sin carga, el motor continúa funcionando a velocidad síncrona aun cuando la corriente de excitación sea cero.

La razón es que el flujo producido por el estator cruza el corto entre hierro entre los polos salientes y el estator en lugar de hacerlo por el entrehierro mucho más largo entre los polos. En otras palabras, como la reluctancia del circuito magnético es menor en el eje de los polos salientes, el flujo se concentra como se muestra en la figura.

A causa de este fenómeno, el motor desarrolla un par o momento de torsión de reluctancia.

Si se aplica una carga mecánica al eje, los polos del rotor se retrasarán con respecto a los del estator, y el flujo a través del estator tendrá la forma mostrada

en la figura. Por lo tanto, se puede desarrollar un considerable momento de torsión de reluctancia sin ninguna excitación de cd.

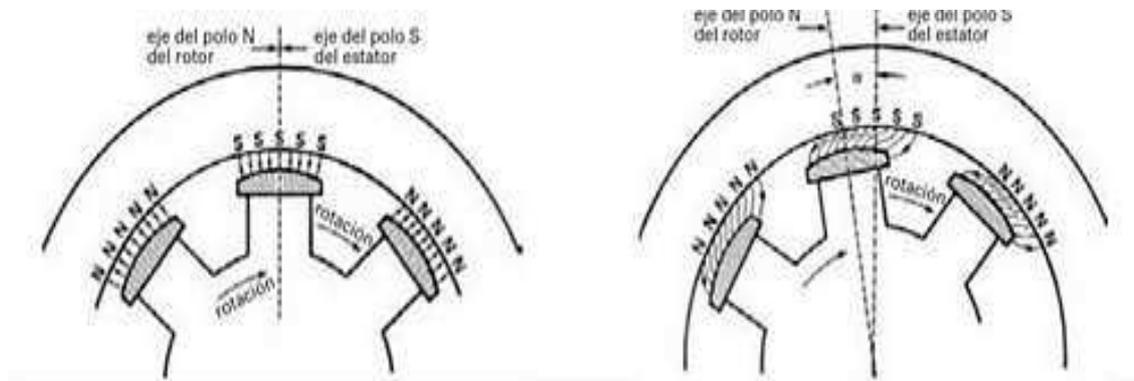


Fig 13. Par de Reluctancia

El par o momento de torsión de reluctancia llega a ser cero cuando los polos del rotor están a la mitad entre los polos del estator. La razón es que los polos N y S del estator atraen a los polos salientes en direcciones opuestas como se observa en la figura.

Por consiguiente, el momento de torsión de reluctancia es cero precisamente en el ángulo con el que el par o momento de torsión regular T alcanza su valor máximo.

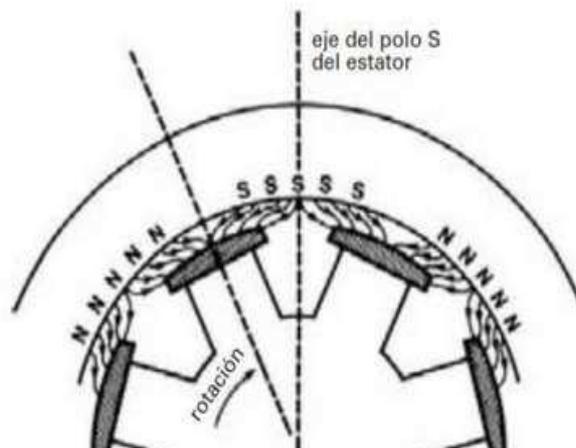


Fig 14. Par motor máximo-ángulo

5.2.14. Excitación y potencia reactiva

Considere un motor síncrono conectado en Y a una fuente trifásica cuyo voltaje de línea E_L es fijo. Las corrientes de línea I producen una fuerza magneto motriz U_A en el estator. Por otra parte, el rotor produce una fuerza magneto motriz de Cd, U_R . El flujo induce un voltaje E_A de línea a neutro en el estator. Si omitimos la pequeñísima caída IR en el estator, entonces $E_A=E$. Sin embargo, como E es fijo, el flujo también lo es, como en el caso de un transformador.

La fmm requerida para crear el flujo constante puede ser producida por el estator o por el rotor o por ambos. Si la corriente de excitación I_X del rotor es cero, todo el flujo tiene que ser producido por el estator, que debe absorber una potencia reactiva considerable de la línea trifásica. Pero si excitamos el rotor con una corriente directa I_X ; la fmm del rotor ayuda a producir una parte del flujo constante, y se absorbe menos potencia reactiva de la línea de CA. Si elevamos gradualmente la excitación, con el tiempo el rotor producirá por sí mismo todo el flujo requerido. El estator ya no absorberá más potencia reactiva, por lo que el factor de potencia del motor se volverá unitario.

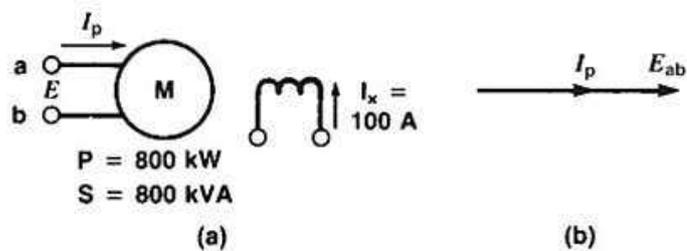
La mayoría de los motores síncronos están diseñados para operar con un factor de potencia unitario. Sin embargo, si también tienen que suministrar potencia reactiva, en general se diseñan para operar con un factor de potencia a plena carga de 0.8 (adelantado).

Un motor diseñado para un factor de potencia de 0.8 puede suministrar potencia reactiva igual a 75% de su carga mecánica nominal.

Los motores diseñados para operar con factores de potencia adelantados son más grandes y más costosos que los motores de factor de potencia unitario. La razón es que para una capacidad de caballos de fuerza dada, tanto la corriente directa de excitación como la corriente del estator son más altas.

- a) **Curvas V.-** suponga que un motor síncrono está operando con su carga mecánica nominal. Necesitamos examinar cómo funciona cuando la excitación es variada.

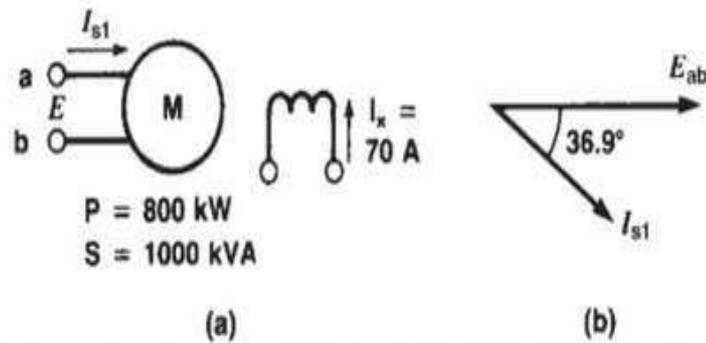
Como un cambio en la excitación no afecta la velocidad, la potencia mecánica permanece fija. Ajustemos primero la excitación I_x para que el factor de potencia sea unitario, y para obtener el diagrama fasorial mostrado en la figura. Supongamos que $I_x=100$ A y $P= 800$ Kw.



- Motor síncrono que opera con factor de potencia unitario y una carga mecánica de 800kW.
La excitación de campo es de 100^a
- El diagrama fasorial muestra la corriente en fase con el voltaje

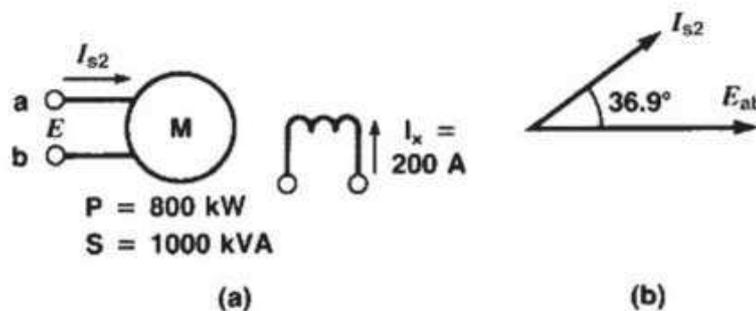
Si reducimos la excitación a 70 A, el motor absorberá potencia reactiva de la línea además de la potencia activa. Supongamos que S se incrementa a $S= 100$ KVA. Como resultado la corriente de línea se incrementará de I_p a I_{s1} . Observe que el componente de I_{s1} en fase con E_{ab} es igual que antes porque el motor continúa desarrollando la misma potencia mecánica.

La corriente I_{s1} se retrasa con respecto a E_{ab} , por lo que el factor de potencia se retrasa. La corriente de campo I_x en el rotor es más pequeña que antes, pero la potencia aparente S absorbida por el estator es mayor.



- Excitación de campo reducida a 70 A pero con la misma carga mecánica. El motor absorbe potencia reactiva de la línea.
- El diagrama fasorial muestra la corriente retrasada con respecto al voltaje.

Se incrementa la excitación a $I_x = 200$ A, el motor suministra potencia reactiva a la línea a la que se está conectando. La potencia aparente es nuevamente mayor que en el caso de factor de potencia unitario. Se supone que $S = 1000$ KVA. La corriente de línea se vuelve I_{s2} y se adelanta a E_{ab} . Sin embargo, el componente en fase de I_{s2} sigue siendo igual a I_p porque la potencia mecánica es la misma.



- Excitación de campo elevada a 200 A pero con la misma carga mecánica. El motor suministra potencia reactiva a la línea.
- El diagrama fasorial muestra la corriente adelantada respecto al voltaje.

Variando la excitación de esta manera, podemos graficar la potencia aparente del motor síncrono como una función de la corriente directa de excitación. Esto da una curva en V como se observa en la figura.

La curva en V siempre se muestra para una carga mecánica fija. En este caso, la curva en V corresponde a plena carga.

También se muestra la curva en V sin carga, para ilustrar la gran potencia reactiva que puede ser absorbida o suministrada con sólo cambiar la excitación.

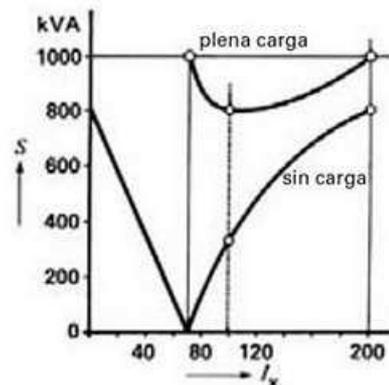


Fig 14. Curvas en V sin carga y a plena carga de un motor síncrono de 1000hp

5.2.15 Motor síncronos en comparación con el motor de inducción

Los motores de inducción tienen propiedades excelentes para velocidades superiores a 600 r/min. Pero a bajas velocidades se tornan pesados y costosos, además de que su eficiencia y factores de potencia son relativamente bajos.

Los motores síncronos son particularmente atractivos como impulsores de baja velocidad porque el factor de potencia siempre se puede ajustar a 1.0 y la eficiencia es alta. Aunque su construcción es más compleja, con frecuencia su peso y costo son menores que los de los motores de inducción de igual potencia y velocidad. Esto es particularmente cierto para velocidades inferiores a 300 r/min.

Un motor síncrono puede mejorar el factor de potencia de una planta al mismo tiempo que soporta su carga nominal. Además, se puede hacer que su par o momento de torsión de arranque sea considerablemente más grande que el de un motor de inducción. La razón es que la resistencia del devanado de jaula de ardilla puede ser alta sin que se afecte la velocidad o la eficiencia a velocidad síncrona.

En la figura se comparan las propiedades de un motor de inducción de jaula de ardilla y un motor síncrono que tiene la misma capacidad nominal. La principal diferencia radica en el par o momento de torsión de arranque.

Los convertidores electrónicos de alta potencia que generan frecuencias muy bajas nos permiten poner a funcionar motores síncronos a velocidades ultrabajas.

Por lo tanto, lo enormes motores en el rango de los 10MW impulsan trituradoras, hornos de secado rotatorios y molinos de bolas de velocidad variable.

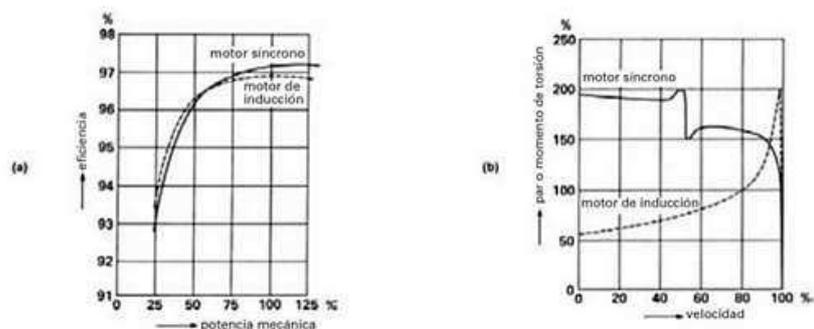


Fig 15. Curva de comparación motor síncrono- motor de inducción.

5.2.15. Capacitor síncrono

Un capacitor síncrono es en esencia un motor síncrono que funciona sin carga. Su único propósito es absorber o suministrar potencia reactiva en un sistema trifásico para estabilizar el voltaje.

La máquina actúa como un enorme capacitor (o inductor) trifásico cuya potencia reactiva se puede variar cambiando la excitación de cd.

La mayoría de los capacitadores síncronos tienen capacidades que van de 20 a 200 Mvar y muchos son enfriados por hidrógeno.

Son arrancados como los motores síncronos. Sin embargo, si el sistema no puede suministrar la potencia de arranque requerido, se utiliza un motor pony (pequeña) para acelerarlos a la velocidad síncrona.

5.2.16. Reactancia y Frecuencia

a) Reactancia Inductiva

En un circuito inductivo cd, la inductancia afecta la corriente solamente cuando la corriente cambia de valor.

Cuando un circuito cd, es energizado, la inductancia se opone al aumento de la corriente, cuando el circuito cd, es desenergizado la inductancia se opone a la disminución de la corriente. Sin embargo al flujo de la corriente cd, en estado permanente sólo se le opone la resistencia del circuito.

En un circuito inductivo de ac, la corriente cambia permanentemente, por lo que induce permanentemente una f.e.m, de autoinducción, y como la f.e.m de autoinducción se opone a los cambios continuos de la corriente, éste efecto se mide en ohmios.

La oposición de la inductancia al flujo de la corriente se llama reactancia inductiva y se representa por el símbolo X_L . La corriente que circula en un circuito que contiene solamente reactancia inductiva es:

$$I = E / X_L \text{ A}$$

Dónde:

I= corriente eficaz en amperios.

E= Voltaje eficaz en los terminales de la reactancia en voltios.

X_L = Reactancia inductiva en ohmios.

El valor de la reactancia inductiva de un circuito cualquiera depende de inductancia del circuito y de la velocidad de cambio de la corriente. La velocidad de cambio de la corriente depende de la frecuencia del voltaje aplicado.

La reactancia inductiva en ohmios puede ser calculada de la fórmula:

$$X_L = \pi fL.$$

Dónde

$$\pi = 3.14$$

f= frecuencia en Hertz.

L= inductancia en henrios

b) Reactancia Capacitiva

Reactancia capacitiva es la oposición presentada por un condensador o un circuito capacitivo al flujo de la corriente. La corriente que circula por un condensador es directamente proporcional a la capacitancia y a la velocidad de cambio del voltaje aplicado.

La velocidad de cambio del voltaje depende de la frecuencia de la fuente. Entonces, si cualquiera de la frecuencia o de la capacidad de un circuito aumenta el flujo de corriente aumentada.

Esto equivale a decir que si cualquiera de la frecuencia o de la capacitancia aumenta la oposición disminuye. Entonces, la reactancia capacitiva, que es la oposición a que fluya la corriente es inversamente proporcional a la frecuencia y a la capacitancia.

La reactancia capacitiva X_C , se mide en ohmios como la reactancia inductiva o la resistencia, y se puede calcular por la fórmula:

$$X_C = 1/2\pi fC$$

Dónde:

$\pi = 3.1$

f= frecuencia en Hertz

C= capacitancia en faradios

5.2.17. Construcción del módulo

a) Descripción del módulo didáctico

El presente módulo didáctico está principalmente dividido en partes móviles y prácticos para realizar las diferentes conexiones que hemos estudiado en forma teórica; consta en un primer nivel para almacenar todas las herramientas que se utilizan para las pruebas y elaboración de este módulo.

En el segundo nivel se encuentran los dos motores trifásicos de inducción empernadas a un cartón prensado de 9mm; estos motores trifásicos cuentan con sus distintos tipos de conexiones para la realización de los diferentes tipos de experimentos que vamos a estudiar.

En la parte superior encontramos una plancha de mica transparente con sus diferentes protecciones, fuentes de alimentación y también los aparatos de medición como: voltímetro, amperímetro, ésta plancha no se encuentra remachada sino empernada para su fácil desmontaje y reparar cualquier avería que se presente en un futuro incierto.

Nuestra investigación y realización del módulo didáctico de control Selsyn para motores sincrónicos nos permitirá ayudar en el aprendizaje académico y profesional a los estudiantes de las escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí extensión Chone.

El fin de este trabajo es dejar constancia para las futuras generaciones las diferentes conexiones trifásicas en motores de inducción y que los estudiantes sepan diferenciar estas y otras formas de aprender de manera práctica y fácil el control Selsyn, debido a que existe poca información en internet y libros sobre el tema. Por esta razón este módulo servirá de mucho provecho tanto para catedráticos y alumnos.

b) Diseño del proceso del módulo didáctico

El módulo didáctico de control Selsyn para dos motores sincrónicos con conexiones externas para prueba de laboratorio se ha diseñado en varias etapas:

Diseño y construcción del cuerpo del módulo: Está diseñado en una forma de vitrina metálica con compartimientos en forma de gavetas construidos con los siguientes materiales:

- tubos cuadrados de hierro
- Plancha de acero
- Mica transparente



Fig. 16. Tubos cuadrados de hierro



Fig. 17. Plancha de acero



Fig. 18. Mica transparente

- **Conexión de los motores de inducción trifásicos:**

El conexionado se lo realizara median plus colocados en la parte frontal de la caja elaborado de mica transparente definido cada uno con sus devanados, el cual se lo realizará con conductores de cobre N° 10AWG el mismo que debe ser flexible para su fácil manejo y conexiones.

c) Corte y armado del módulo

Empezamos cortando el tubo de hierro cuadrado de 1 pulg. x 1.5 de espesor en las diferentes medidas que diseñamos el módulo, una vez cortado el tubo se procedió a soldar cada parte del módulo dándole la forma inicial o esquelética.

Obtenida la parte inicial se procedió a colocar una base de fondo y se comenzó a darle una mano de pintura, esto se lo realizó para que las partes no puedan oxidarse, para asentar las bases de los motores se instaló una plancha de cartón prensado de 9mm y los empernamos; se hizo de esta manera para su fácil manejo de los motores. Se colocó la mica de una manera cuidadosa por ser de tipo sensible y se la emperno a los tubos metálicos y se inició con el taladro de la misma para sí instalar el plus donde se colocaron las bananas e iniciar así las conexiones de los motores trifásicos.



Fig. 19. Soldada del esqueleto del módulo

Para el montaje de la lámina de hierro a la forma esquelética se la realizó con remaches y finalmente se procedió al pintado total.



Fig. 20. Remachado del módulo

El panel frontal para las respectivas conexiones se realizará con mica transparente, el panel está muy bien señalado con cada una de sus salidas.

Los motores trifásicos síncronos de inducción van a tener sus conexiones muy bien reglamentadas para que el estudiante pueda aprender y realizar las diferentes pruebas en el laboratorio con facilidad y la ayuda que sus catedráticos les puedan proporcionar.



Fig. 21. Motores trifásicos

d) Instrumentos de medición

Voltímetro: es un instrumento de medida el cual mide la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico. La unidad de medida son los voltios (V), para realizar las diferentes medidas tenemos que conectar el voltímetro en paralelo con el receptor de corriente e intercalarlo entre los puntos de los que queremos saber su diferencia de potencial. Tenemos tipos de voltímetros según el tipo de corriente (continua o alterna), la exactitud que precisemos, etc.

El voltímetro debe contar con una resistencia interna lo más alta que sea posible, de modo que su consumo sea bajo, y así permitir que la medición de la tensión del voltímetro se realice sin errores. Para poder cumplir con este requerimiento, los voltímetros que basan su funcionamiento en los efectos electromagnéticos de la corriente eléctrica, poseen unas bobinas con hilo muy fino y de muchas espiras, a fin de que, aun contando con una corriente eléctrica de baja intensidad, el aparato cuente con la fuerza necesaria para poder mover la aguja.



Fig. 22. Voltímetro

Amperímetro: es un aparato de medida que está destinado a medir la intensidad de la corriente eléctrica. Normalmente, la escala de medida viene dada en

amperios, que es la unidad de medida de la intensidad eléctrica. En algunos casos puede venir la escala en miliamperios, estos aparatos se utilizan para medir señales muy débiles, para realizar esta medida se conecta en serie con el receptor de corriente y se intercala en el conductor por el cual circula la intensidad de corriente que se ha de medir. Dependiendo de la exactitud requerida en las medidas, el tipo de corriente que queramos medir (continua-alterna) y el empleo al que se destine los aparatos, podemos distinguir diferentes sistemas de medidas. Para medir la corriente que circula por un conductor también se emplea las pinzas amperimétricas, que tiene la ventaja de que no hay hacer ninguna conexión.

Actualmente los amperímetros utilizan un conversor analógico/digital para la medida de la caída de la tensión sobre un resistor por el que circula la corriente a medir. La lectura del conversor es leída por una microprocesador que realiza los cálculos para presnetar en un display numérico el valor de la corriente circulante, sobre la graduación en amperios original.



Fig. 23. Amperímetro

CAPITULO II

6. HIPÓTESIS

La implementación de módulo didáctico de control selsyn se acoplará para los motores síncronos de $\frac{1}{2}$ Hp con conexiones externas y su aporte al laboratorio de ingeniería eléctrica de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí extensión Chone.

6.1. VARIABLE

6.2.1. Variable Independiente (causa)

Implementación de módulo didáctico de Control Selsyn

6.2.2. Variable Dependiente (efecto)

Motores Síncronos de $\frac{1}{2}$ Hp con conexiones externas

6.2.3. Variable Operacional

Acoplará.

CAPITULO III

7. METODOLOGÍA

7.1 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

- Bibliográfica
- Investigación de campo

7.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

El nivel del presente trabajo es cuasi experimental: porque a través del estudio, análisis y aplicación de las normas y técnicas observadas en el proceso, se cumple el objetivo que consiste en la implementación y diseño de un módulo didáctico de control SELSYN para dos motores de ½ hp con conexiones externas y su aporte en el laboratorio de ingeniería eléctrica de la ULEAM extensión Chone.

7.3 MÉTODO

Los tipos de métodos que se utilizaron en esta investigación serán los métodos inductivos-deductivo, analítico-sintético, a más de las técnicas empíricas como las de observación científica, la encuesta y la entrevista.

La encuesta permitirá establecer parámetros en porcentajes sobre la importancia del tema. EL método analítico sintético, que nos permitió dividir el trabajo, lo que facilita una mejor comprensión del tema escogido.

7.4 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Las técnicas que se utilizaron en la obtención de la información fueron la encuesta y la observación la misma que fue dirigida a los estudiantes de 9º Semestre “de la Escuela de Ingenieros Eléctricos de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ext. Chone del periodo lectivo 2015-2016.

Tipo de estudio.	Encuesta a Universidad.
Fecha de levantamiento.	Abril 2015
Población objetivo.	Estudiantes de la carrera de Ing. Eléctrica paralelos Tosagua.
Análisis.	Conocimientos sobre controles SELSYN para motores sincrónicos.

OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN: Se obtuvo de fichas técnicas, encuesta, observaciones, textos de ingeniería eléctrica y electrónica, tesis de grado realizadas por estudiantes profesionales en la actualidad, revistas de colegios profesionales y las diferentes consultas a la ciudadanía.

7.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

7.5.1. POBLACIÓN.- La población a utilizar en esta investigación son los estudiantes de la escuela de Ingeniería eléctrica de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

7.5.2. MUESTRA.- Se considera el 100% de la población de la que constituyen 64 estudiantes del 9^{no} Semestre de la Extensión Chone.

8. MARCO ADMINISTRATIVO

8.1. Recursos humanos

Para la realización de este trabajo se utilizaron recursos humanos y financieros.

- ✓ Tutor: Ing. José Loor Marcillo
- ✓ Autores de este trabajo: Guillermo Remigio Castro y José Luis Intriago.
- ✓ Estudiantes del 9^{no} semestre de Ingeniería Eléctrica

8.2 RECURSOS FINANCIEROS

Para realizar el análisis de costo del equipo construido hay que tomar en cuenta que instrumento de esta naturaleza no se construya en el país, por lo que su diseño, dirección y ejecución es exclusiva de los autores de este trabajo.

Por lo tanto el costo de mano de obra puede considerarse fuera de los costos del equipo construido.

9.1.2. Presupuesto.

Los materiales y elementos utilizados con sus respectivos costos se detallan a continuación.

PRESUPUESTO			
ELEMENTOS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
Módulo	1	450,00	450,00
Motores de inducción	2	520,00	1040,00
Conductor Nº 10AWG	40	0,80	32,00
Terminales bananas	60	0,80	48,00
Amperímetros	3	18,00	54,00
Voltímetros	3	25,00	75,00
Contactador	1	17,00	17,00
Relé	1	25,00	25,00
Protección eléctrica	1	28,00	28,00
Construcción	U	200,00	200,00
Papel A4	1 resma	4,50	4,50
Viáticos	8	20,00	160,00
		SUBTOTAL	2133,50
		VARIOS	200
		TOTAL	2333,50

Los recursos económicos utilizados en la investigación, son autofinanciados por el equipo investigador.

CAPITULO IV

9. RESULTADOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS DE DATOS

¿Cree usted necesario el análisis e implementación de un control selsyn en el laboratorio de la escuela de ingeniería eléctrica de la ULEAM-CHONE?

ALTERNATIVAS	CANTIDAD DE RESPUESTAS	%
SI	60	93%
NO	4	7%
TOTAL	64	100%



Fuente: Estudiantes de 9ºSemestre de la Escuela de Ingeniería Eléctrica extensión Chone.
Autores: Guillermo Castro Zambrano y José Luis Intriago Vélez.

ANÁLISIS

El 93% de la muestra seleccionada consideran que si es necesario la implementación del módulo didáctico en el laboratorio de la escuela de ingeniería eléctrica.

Que el 7% de la muestra seleccionada informa que no es necesario la implementación del módulo.

2. ¿Conoce Ud. que son los controles selsyn?

ALTERNATIVAS	CANTIDAD DE RESPUESTAS	%
SI	13	18%
NO	51	82%
TOTAL	64	100%



Fuente: Estudiantes de 9ºSemestre de la Escuela de Ingeniería Eléctrica extensión Chone.
Autores: Guillermo Castro Zambrano y José Luis Intriago Vélez.

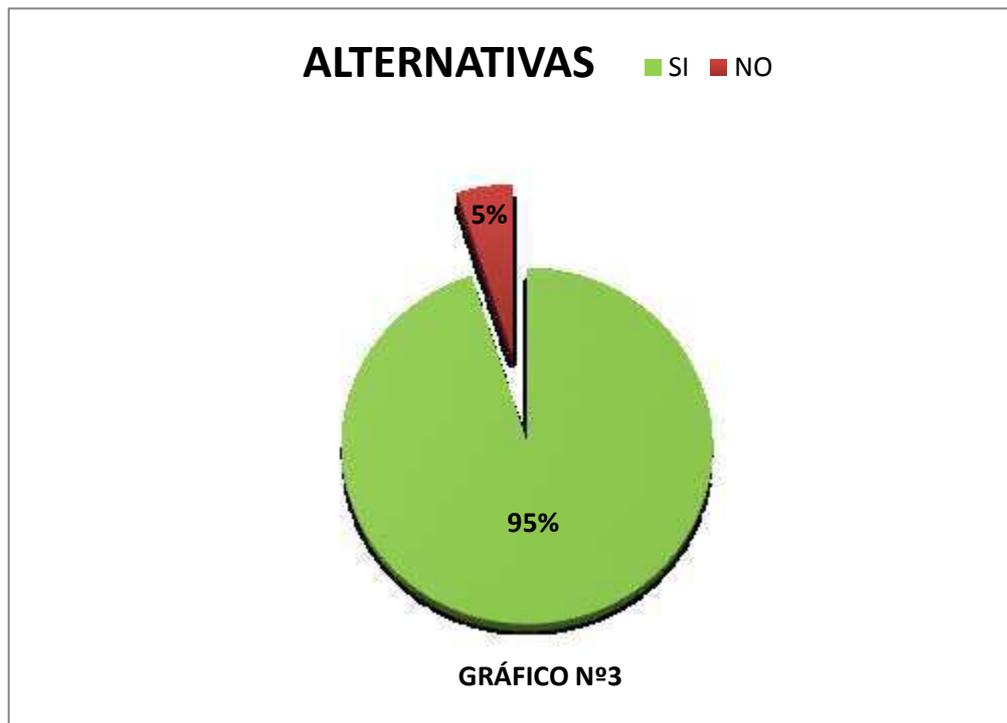
ANÁLISIS:

El trabajo investigativo nos indica, que el 82% de la muestra seleccionada no tienen conocimiento alguno sobre los controles selsyn.

Que el 18% de la muestra seleccionada consideran si conocer a cerca de los controles Selsyn.

3. ¿Desearía conocer las ventajas de los controles selsyn?

ALTERNATIVAS	CANTIDAD DE RESPUESTAS	%
SI	61	95%
NO	3	5%
TOTAL	64	100%



Fuente: Estudiantes de 9ºSemestre de la Escuela de Ingeniería Eléctrica extensión Chone.
Autores: Guillermo Castro Zambrano y José Luis Intriago Vélez.

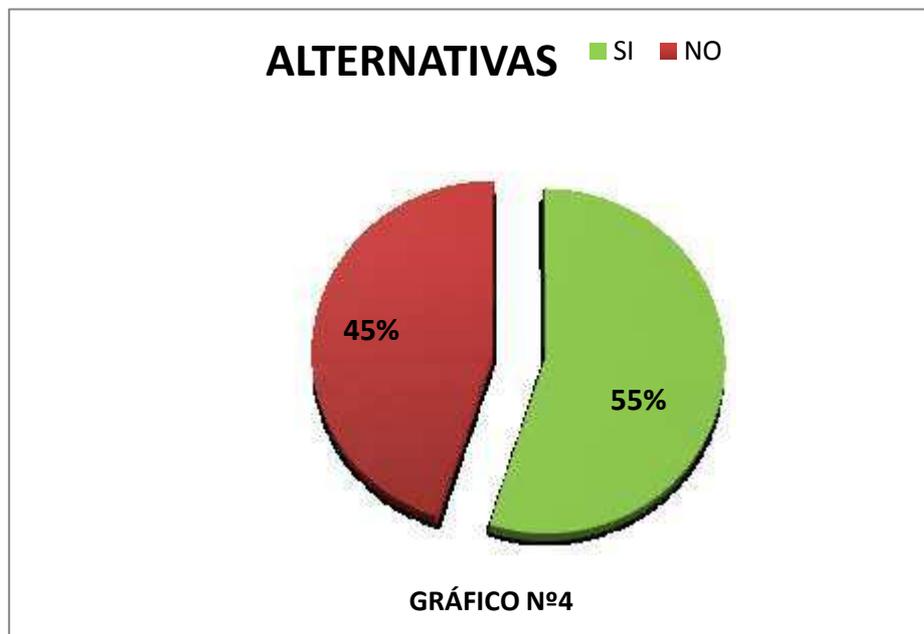
ANÁLISIS:

El trabajo investigativo nos indica, que el 95% de la muestra seleccionada informan no conocer a cerca de las ventajas de los controles selsyn

Que el 5% de la muestra seleccionada indican conocer a cerca de las ventajas de los controles Selsyn

4. ¿Desearía Ud. Maniobrar motores de inducción trifásica a través de controles automáticos selsyn?

ALTERNATIVAS	CANTIDAD DE RESPUESTAS	%
SI	36	55%
NO	28	45%
TOTAL	64	100%



Fuente: Estudiantes de 9ºSemestre de la Escuela de Ingeniería Eléctrica extensión Chone.
Autores: Guillermo Castro Zambrano y José Luis Intriago Vélez.

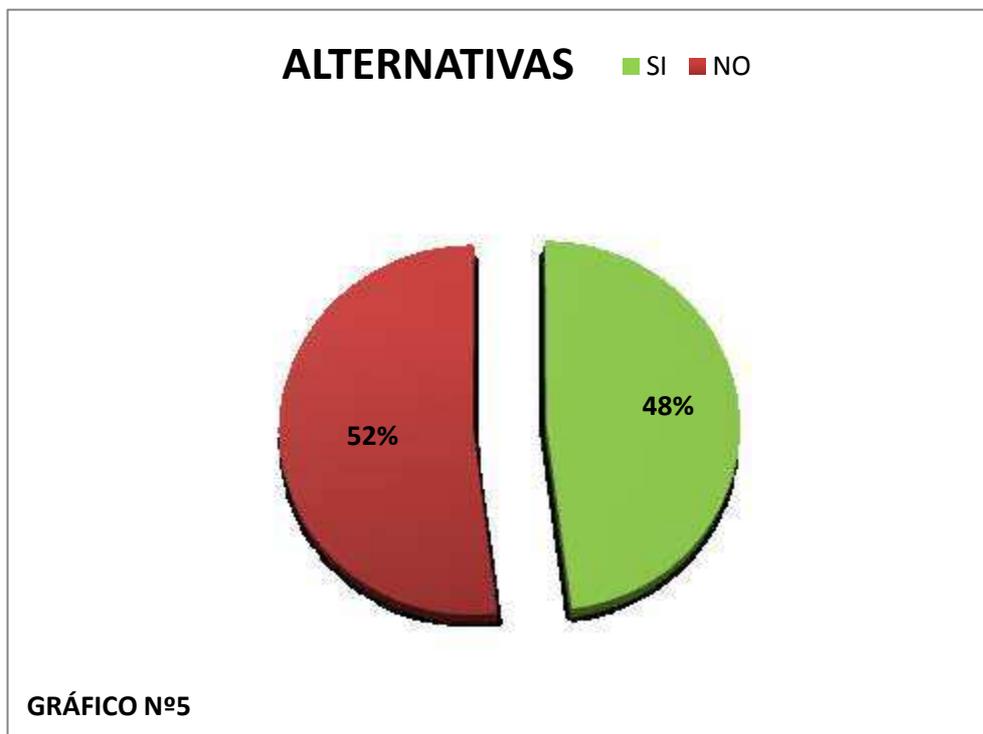
ANÁLISIS:

Qué el 55% de la muestra seleccionada piensan que si es factible y desean maniobrar motores de inducción trifásicos a través de controles automáticos selsyn.

Que el 45% de la muestra seleccionada consideran que no desean maniobrar motores de inducción trifásicos a través de controles automáticos selsyn.

5. ¿Cree Ud. Posible gobernar motores eléctricos en conjunto sin bandas de transmisión de movimiento?

ALTERNATIVAS	CANTIDAD DE RESPUESTAS	%
SI	30	48%
NO	34	52%
TOTAL	64	100%



Fuente: Estudiantes de 9ºSemestre de la Escuela de Ingeniería Eléctrica extensión Chone.
Autores: Guillermo Castro Zambrano y José Luis Intriago Vélez.

ANÁLISIS:

Que el 48% de la muestra seleccionada indican que sí creen posible gobernar motores eléctricos en conjunto sin bandas de transmisión de movimiento

Que el 52% de la muestra seleccionada informan que no creen posible gobernar motores eléctricos en conjunto sin bandas de transmisión de movimiento.

6. ¿Sabe Ud. El funcionamiento de los motores trifásicos de inducción?

ALTERNATIVAS	CANTIDAD DE RESPUESTAS	%
SI	10	27%
NO	54	73%
TOTAL	64	100%



Fuente: Estudiantes de 9ºSemestre de la Escuela de Ingeniería Eléctrica extensión Chone.
Autores: Guillermo Castro Zambrano y José Luis Intriago Vélez.

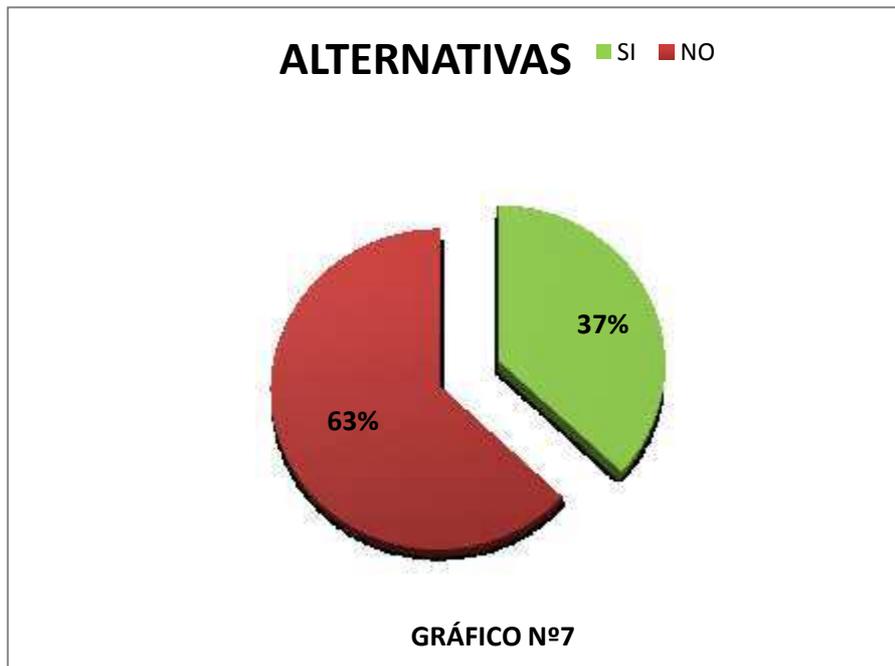
ANÁLISIS:

Que el 73% de la muestra seleccionada informan que no tiene conocimiento acerca del funcionamiento de los motores trifásicos de inducción.

Que el 27% de la muestra seleccionada informan que si saben a cerca del funcionamiento de los motores trifásicos de inducción.

7. ¿Conoce Ud. Los diferentes conexiones de los motores trifásicos?

ALTERNATIVAS	CANTIDAD DE RESPUESTAS	%
SI	19	37%
NO	46	63%
TOTAL	64	100%



Fuente: Estudiantes de 9ºSemestre de la Escuela de Ingeniería Eléctrica extensión Chone.
Autores: Guillermo Castro Zambrano y José Luis Intriago Vélez.

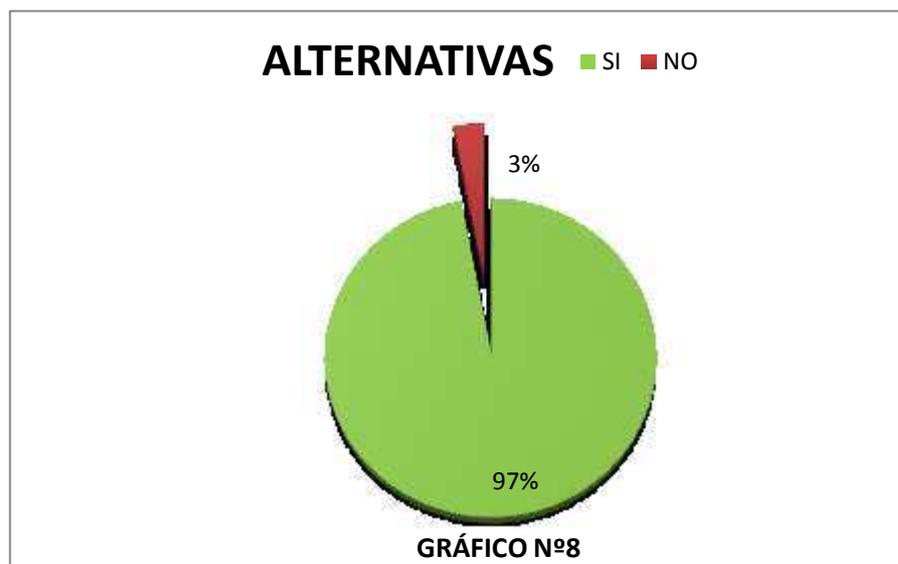
ANÁLISIS:

Que el 63% de la muestra seleccionada manifiestan no conocer los diferentes tipos de conexiones de los motores trifásicos.

Que el 37% de la muestra seleccionada manifiestan que si conocen los diferentes tipos de conexiones de los motores trifásicos.

8. ¿Considera usted. Positivo que los egresados de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí campus Chone paralelo Tosagua, realicen módulos de esta naturaleza en la elaboración de sus proyecto de titulación?

ALTERNATIVAS	CANTIDAD DE RESPUESTAS	%
SI	64	97%
NO	0	3%
TOTAL	64	100%



Fuente: Estudiantes de 9ºSemestre de la Escuela de Ingeniería Eléctrica extensión Chone.
Autores: Guillermo Castro Zambrano y José Luis Intriago Vélez.

ANÁLISIS:

Que el 100% de la muestra seleccionada considera positivo que los egresados de la escuela de ingeniería eléctrica de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí campus Chone realicen módulos de esta naturaleza en la elaboración de sus proyectos de titulación.

10.COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Una vez analizados e interpretados los resultados de las encuestas y comparados con los objetivos planteados, se pudo comprobar que la hipótesis: “El control SELSYN aporta en los motores sincrónicos con sus conexiones externas para mejorar el desempeño profesional de estudiantes y profesores”, SE CUMPLE, la misma que queda demostrada en la siguiente investigación de campo:

En la pregunta uno de la encuesta aplicada a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica el 93% respondió que es necesario el análisis y construcción de un control selsyn en el laboratorio de la escuela de ingeniería eléctrica de la ULEAM-CHONE, ya que con esta nueva herramienta se logrará incrementar las destrezas en la asignatura de controles automáticos.

Con los datos obtenidos en la segunda pregunta observamos que el 82% de los estudiantes de la escuela de Ingeniería Eléctrica de la ULEAM-Chone, no tienen conocimiento de los que son los controles selsyn, sin embargo también nos damos cuenta que existe gran interés sobre el tema indagado; debido a que en la tercera pregunta el 95% de los estudiantes encuestados desean conocer las ventajas que ofrece este sistema en los motores trifásicos, pues lo consideran un tema innovador, poco conocido y que no se encuentra en el mercado.

Con los datos analizados la hipótesis planteada es positiva y de esto se puede examinar que en los motores sincrónicos de inducción trifásica se puede maniobrar con control selsyn y con sus conexiones externas podrá aportar para mejorar el desempeño profesional de estudiantes y profesores.

CAPITULO V

11. CONCLUSIONES

Al terminar el proceso de investigación de la tesis podemos expresar que a través de la elaboración de ella hemos adquirido experiencias y anécdotas únicas que nos permiten consolidar nuestros conocimientos y alcanzar todos los objetivos propuestos con éxito.

Finiquitamos con los siguientes parámetros que:

- La construcción del módulo servirá de instrumento de conocimiento, para los estudiantes de Ingeniería Eléctrica.
- Formará parte del equipo de enseñanza-práctica del Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.
- A los docentes que imparten sus conocimientos le servirá de gran ayuda al impartir su cátedra a los estudiantes.
- La administración del módulo es de fácil manejo y comprensión.
- Ayuda a conocer las diferentes conexiones de los motores eléctricos trifásicos de una forma práctica para la vida profesional.

12. RECOMENDACIONES

Al concluir las actividades de la investigación, y elaboración de las conclusiones se pueden realizar las siguientes sugerencias que:

- Es necesario expandir los conocimientos hacia la investigación, proponiendo proyectos de carácter sustentable y renovable apuntando hacia el mejoramiento de la calidad de las destrezas en los estudiantes.
- El presente módulo se mantenga en óptimas condiciones con la finalidad que se conserven para el beneficio de prácticas del estudiante.
- Se debe Instaurar la mayor cantidad de módulos prácticos en el laboratorio para que los estudiantes ensayen e investiguen.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Wildi, T (2001) **Motores Eléctricos**-Segunda Edición.
- ENCICLOPEDIA CEAC DE ELECTRICIDAD, Electrotecnia general, segunda edición. Barcelona España 1999.
- ENCICLOPEDIA CEAC DE ELECTRICIDAD, Motores Eléctricos, Segunda edición. Barcelona España 1999.
- LAB-VOLT (2000). Manual de máquinas trifásicas, segunda edición. Canadá.
- SYNCHRO, Transformadores.
- MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA ASÍNCRONAS, Volumen 3
- Cortés, M. Curso moderno de máquinas rotativas: máquinas de corriente.
- Bayarre, H (2004). Metodología de la Investigación en la APS.
- Wildi, T (1986). TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS Y MÁQUINAS A.C. Volumen 4. Colombia
- Fraile, J (2003). MÁQUINAS ELÉCTRICAS. Quinta Edición.

WEBGRAFÍA

- [Www.monografia.com](http://www.monografia.com)

ANEXOS

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

EXTENSIÓN CHONE



ENCUESTA DIRIGIDA A LOS ESTUDIANTES Y CATEDRÁTICOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LAS UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ EXTENSIÓN CHONE.

Objetivo: “Establecer principios de funcionamiento de los controles automáticos a distancia SELSYN para motores sincrónicos de ½ HP con conexiones externas y su aporte al laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí-extensión Chone en el año 2015.”

Instrucciones: Mucho agradeceré se sirva responder con sinceridad marcando una x dentro del paréntesis de la alternativa de su elección.

1.- DATOS INFORMATIVOS

1.1. Lugar y fecha, Chone de 2015

1.2. Ubicación: Rural () Urbana (x) Urbana marginal ()

1.3. Parroquia: Chone

1.4. Responsables: José Luis Intriago y Guillermo Remigio Castro.

CUESTIONARIO

1. ¿Cree usted necesario el análisis y construcción de un control selsyn en el laboratorio de la escuela de ingeniería eléctrica de la ULEAM-CHONE?

SI ()

NO ()

2. ¿Conoce Ud. que son los controles selsyn?

SI () NO ()

3. ¿Desearía conocer las ventajas de los controles selsyn?

SI () NO ()

4. ¿Desearía Ud. Maniobrar motores de inducción trifásico a través de controles automáticos selsyn?

SI () NO ()

5. ¿Cree Ud. Posible gobernar motores eléctricos en conjunto sin bandas de transmisión de movimiento?

SI () NO ()

6. ¿Sabe Ud. El funcionamiento de los motores trifásicos de inducción?

SI () NO ()

7. ¿Conoce Ud. Los diferentes conexiones de los motores trifásicos?

SI () NO ()

8. ¿Considera usted. Positivo que los egresados de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí campus Chone paralelo Tosagua, realicen módulos de esta naturaleza en la elaboración de sus proyecto de titulación?

SI () NO ()

ANEXO 1 ARMADO DEL MÓDULO



El equipo investigador está puliendo los bordes del modulo



Trabajando en soldaduras



ANEXO 2
INSTRUMENTO DE MEDIDA
AMPERÍMETRO-VOLTÍMETRO



ANEXO 3

MOTORES TRIFÁSICOS

