



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICO**

TEMA:

**Estudio y dimensionamiento de un sistema de acoplamiento eléctrico
mecánico para el sistema de turbina con motor de 3 hp**

AUTOR:

VALERIANO CHOEZ, GEOVANNY CLEMENTE

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de
INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL INDUSTRIAL.**

TUTOR:

ING. ORLANDO PHILCO ASQUI, M.Sc.

Guayaquil, 20 de Septiembre del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Valeriano Choez, Geovanny Clemente**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero Eléctrico Mecánico con mención en Gestión Empresarial Industrial**.

TUTOR

Ing. Orlando PhilcoAsqui, M.Sc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando M.Sc.

Guayaquil, 20 de Septiembre del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTA DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Valeriano Choez, Geovanny Clemente**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**Estudio y dimensionamiento de un sistema de acoplamiento eléctricomecánico para el sistema de turbina con motor de 3 hp**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánico**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 20 de septiembre del 2017

EL AUTOR

Valeriano Choez, Geovanny Clemente



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, Valeriano Choez, Geovanny Clemente

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquila la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “**Estudio y dimensionamiento de un sistema de acoplamiento eléctrico mecánico para el sistema de turbina con motor de 3 hp**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 20 de Septiembre del 2017

EL AUTOR

ValerianoChoez, GeovannyClemente



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

Reporte Urkund



Reporte Urkund del trabajo de Titulación Estudio y dimensionamiento de un sistema de acoplamiento eléctrico mecánico para el sistema de turbina con motor de 3 hp. Del estudiante Geovanny Valeriano Choez, al 2% de coincidencias.

MSC. ORLANDO PHILCO ASQUI
TUTOR



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

**M.Sc. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO
DIRECTOR DE CARRERA**

**M.Gs. MONTENEGRO TEJADA, RAÚL
COORDINADOR DEL ÁREA**

**M.Sc. BOHORQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO
OPONENTE**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
INDICE DE TABLAS	XVIII
RESUMEN.....	XIX
ABSTRACT.....	XX
CAPÍTULO I: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.5 HIPÓTESIS.....	4
1.6 METODOLOGÍA	4
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	6
2.1 Campo Magnético Giratorio Trifásico.....	6
2.2 Par motor versus corriente de arranque.	9
2.3 Partes principales de un motor eléctrico trifásico.....	10
2.4 Clasificación de los motores eléctricos.	13
2.5 Motores de inducción de jaula de ardilla.....	16
2.6 Tipos de carcasas de los motores eléctricos.	17
2.6.1 Designación de velocidades nominales en motores de inducción.	17
2.6.2 Especificaciones de los motores eléctricos.....	18
2.7 Variadores de Velocidad.....	21

2.7.1	Conceptos básicos de semiconductores.....	21
2.7.2	El Diodo.....	22
2.7.3	El Rectificador Controlado de Silicio (SCR).....	23
2.7.4	El Tiristor de Apagado de Compuerta (GTO).....	24
2.7.5	El Tiristor Conmutado de Compuerta Simétrica (SGCT).....	24
2.7.6	Rectificador.....	25
2.7.7	Inversor.....	26
2.8	Funcionamiento básico del variador de velocidad.	29
2.8.1	Variables del motor relacionadas con el control de velocidad.	29
2.9	Métodos para controlar la velocidad de un motor de inducción.	30
2.9.1	Variación del número de polos	31
2.9.2	Variación del deslizamiento.	31
2.9.3	Variación de frecuencia de alimentación.	32
2.10	Variadores de velocidades unidireccionales o bidireccionales.	33
2.10.1	Control Escalar.	34
2.10.2	Control vectorial.....	35
2.10.3	Control Vectorial de Lazo Abierto.	36
2.10.4	Control Vectorial de Lazo Cerrado.....	37
2.11	Principales funciones de los variadores de velocidad electrónicos.....	38
2.12	Factores a considerar al diseñar un sistema de regulación de velocidad.	40
2.13	Ventajas de un variador de velocidad en el arranque de motores asíncronos	41
2.14	Desventajas del variador de velocidad en el arranque de motores asíncronos.	42
2.15	Aplicaciones de los variadores de velocidad.	42

CAPÍTULO III: COMPONENTES DEL MÓDULO MICROMASTER 440.....	45
3.1 Reconstrucción del Módulo Micromaster 440	45
3.2 Reconstrucción del Módulo Micromaster 440	46
3.3 Conexión y montaje de componentes en el módulo de pruebas.	47
3.4 Descripción de los componentes delMódulo.....	50
3.4.1 Variador de Frecuencia Micromaster 440.	50
3.4.2 Características del variador de velocidad.	51
3.4.3 Descripción del BOP (panel de control) y sus funciones	52
3.4.4 Cableado variador-motor.	54
3.4.5 Montaje del variador.	54
3.4.6 Conexión a la red de suministro.....	54
3.5 El Guardamotor.....	55
3.6 El Contactor	55
3.7 El Breaker de control	56
3.8 Motor de Inducción Trifásico.....	57
3.9 Sistema de Poleas con Correa/Banda.....	57
3.9.1 Ventajas de un Sistema de Poleas con Correa	59
3.9.2 Desventajas de un Sistema de Poleas con Correa.....	59
3.9.3 Cálculo de RPM con Polea	60
3.10 Ventilador tipo turbina.....	65
CAPÍTULO IV: FABRICACIÓN DE TURBINA PARA MOTOR AC.....	67
4.1 Eje de la turbina.....	67
4.2 Construcción de mecanismo para turbinas.....	69
4.3 Dimensionamiento de polea y banda.....	71
CONCLUSIONES	74

RECOMENDACIONES.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Distribución geométrica a 120° mecánicas de los devanados del estator.....	6
Figura 2. 2. Campo magnético formado por los devanados del estator.....	7
Figura 2. 3 Análisis del desfase a 120° eléctricos entre las corrientes por fase.....	7
Figura 2. 4. Giro del campo magnético en el estator	8
Figura 2. 5. Partes de un motor eléctrico	11
Figura 2. 6 Placa de características de un motor eléctrico	13
Figura 2. 7 Clasificación de los motores trifásicos.	14
Figura 2. 8. Rotor de jaula de ardilla.....	16
Figura 2. 9. Rotor devanado	16
Figura 2. 10. Triángulo de potencia	19
Figura 2. 11. Eficiencia de un motor	20
Figura 2. 12. Clases de aislamientos térmicos de los bobinados	21
Figura 2. 13. Símbolo del Diodo	22
Figura 2. 14. Circuito y Curva de funcionamiento del Diodo.....	22
Figura 2. 15. Símbolo del Tiristor.....	23
Figura 2. 16. Circuito y curva de funcionamiento del Tiristor	23
Figura 2. 17. Símbolo del GTO.....	24
Figura 2. 18. Circuito de funcionamiento del GTO.....	24
Figura 2. 19. El SGCT.....	25
Figura 2. 20. Función del rectificador.....	25
Figura 2. 21. Circuito de un rectificador trifásico.....	26
Figura 2. 22 Función del inversor.	26

Figura 2. 23. Circuito de un inversor trifásico.....	27
Figura 2. 24. Señal de una PW	28
Figura 2. 25. Reconstrucción de señal de pulsos a senoidal.	28
Figura 2. 26. Diagrama básico del variador de frecuencia.....	29
Figura 2. 27. Circuito equivalente del motor	30
Figura 2. 28. Curva torque versus deslizamiento en un motor de inducción.	32
Figura 2. 29. Curva de torque versus frecuencia en un motor de inducción.	32
Figura 2. 30. Los 4 estados posibles de una máquina en su grafico par- velocidad.....	33
Figura 2. 31. Regiones de torque y potencia constante.....	34
Figura 2. 32. Rotación del campo magnético en el rotor.....	35
Figura 2. 33. Distintas aplicaciones de los variadores de velocidad en la industria.	43
Figura 3. 1. Planosde módulo realizado en autocad	45
Figura 3. 2. Gabinete y Tubos de estructura del Módulo.	45
Figura 3. 3. Vista frontal y vista posterior del Módulo	46
Figura 3. 4. Reconstrucción del módulo Micromáster 440	47
Figura 3. 5. Enchufe de 32A - 12h - 4 pines.	47
Figura 3. 6. Diagrama de conexiones desde las borneras a cada componente.	48
Figura 3. 7. Diagrama de control del módulo de pruebas.	49
Figura 3. 8. Diagrama de fuerza del módulo de pruebas.	50
Figura 3. 9 Variador de frecuencia Micromaster 440.	51
Figura 3. 10. Panel de mando y la forma de remplazar el panel de operador.	53

Figura 3. 11. Guardamotor trifásico.	55
Figura 3. 12. Contactor Trifásico Siemens 35Amp.	56
Figura 3. 13. Breaker de control.	56
Figura 3. 14. Motor trifásico	57
Figura 3. 15. Sistemas de poleas con correa/banda.....	58
Figura 3. 16 Polea tensora.....	60
Figura 3. 17. Polea loca	60
Figura 3. 18. RPM con polea	61
Figura 3. 19. Velocidad del giro reducido.....	61
Figura 3. 20. Velocidad de giro estable.....	62
Figura 3. 21. Aumento de velocidad del giro.....	62
Figura 3. 22. Sentido de giros invertidos.....	62
Figura 3. 23 Modelos de ventiladores y sus características.....	66
Figura 4. 1. Construcción del eje de 1 pulgada.....	67
Figura 4. 2. Terminación del eje	68
Figura 4. 3 Limpieza y construcción de los componentes (polea y turbina) ..	68
Figura 4. 4. Construcción de mecanismo para transmisión de velocidad.	69
Figura 4. 5. Colocación de banda en las poleas	70
Figura 4. 6. Instalación de protector para transmisión con banda	70
Figura 4. 7 Banda y polea de eje motriz	71
Figura 4. 8. Bornes de conexión del sistema de carga para módulo Micromaster 440	72
Figura 4. 9. Acabado final con pintura anticorrosiva	72
Figura 4. 10. Conexión a módulo Micromaster 440	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Velocidades de motores asíncronos trifásicos, a una frecuencia de 60Hz.	9
Tabla 2. 2. Clasificación NEMA de los motores de inducción de jaula.	10
Tabla 3. 1. Funciones de los botones del BOP	53

RESUMEN

El presente trabajo es un re diseño del módulo Micromaster 440 ubicado en el laboratorio de control y Automatismo de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo FETD. Se describe el funcionamiento de elementos y equipos eléctricos de un sistema de turbina con motor de 3hp que es controlado mediante un variador de frecuencia. La metodología es descriptiva y empírica pues se debe detallar características y funcionamiento de un módulo denominado Micromaster 440 que esta fuera de uso por cuanto nunca tuvo operación con carga tan solo al vacío y con el transcurso de años se ha deteriorado. La propuesta de re diseño al módulo Micromaster 440 se lo efectúa gracias al conocimiento teórico de transmisión por poleas. Se realizan cálculos para determinar el eje motriz, la polea y la banda para soportar 1750 rpm dado por un motor 3hp alimentado a 440 voltios y 2 amperios. El resultado obtenido es acceder a verificar mediciones en vacío a plena carga, con una carga real de las que se encuentra en un accionamiento eléctrico industrial con motores trifásico.

PALABRAS CLAVES: Accionamiento eléctrico, Motor trifásico, Variador de Frecuencia, Turbina, Poleas, Transmisión de velocidad

ABSTRACT

The present work is a redesign of the module Micromaster 440 located in the control laboratory and Automation of the Faculty of Technical Education for Development FETD. It describes the operation of elements and electrical equipment of a turbine system with 3hp motor that is controlled by a frequency inverter. The methodology is descriptive and empirical since it is necessary to detail the characteristics and operation of a module called Micromaster 440 that is out of use because it never had operation with load only to the vacuum and with the course of years has deteriorated. The design proposal for the Micromaster 440 module is based on the theoretical knowledge of pulley transmission. Calculations are made to determine the drive shaft, pulley and belt to support 1750 rpm given by a 3hp motor fed at 440 volts and 2 amps. The result obtained is access to check measurements under vacuum at full load, with a real load that is in an industrial electric drive with three-phase motors.

Keywords: Electric drive, Three-phase motor, Frequency drive, Turbine, Speed transmission

CAPÍTULO I: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

En este trabajo de investigación se plantea el diseño e implementación de una turbina para un motor de 3 hp, de esta manera se desea obtener un accionamiento eléctrico con carga, en el laboratorio de control y automatismo de la FETD existe un módulo denominado Micromaster 440, se lo ha denominado así por cuanto tiene un variador de frecuencia, este es un equipo, utilizado para realizar variaciones de velocidad y sirve en procesos industriales como transportadores, en elevadores, etc. su variación de frecuencia hace que las revoluciones o giros del eje de un motor pueda aumentar o disminuir si varía dicha frecuencia de operación.

Los motores son una parte fundamental de cualquier sistema eléctrico porque tiene la función de realizar un trabajo eléctrico mecánico y además se encarga de realizar los movimientos mecánicos en cualquier proceso industrial.

El módulo Micromaster 440 incorporado a la turbina, permitirá verificar mediciones en vacío a plena carga, con una carga real de las que se encuentra en el medio industrial.

Por tanto, con estos criterios, los estudiantes sabrán cómo seleccionar un equipo de estas características y sus diferentes usos en la industria. Las diferentes industrias escogen estas tecnologías porque en su mayoría han visto que los beneficios en la parte de funcionabilidad y económico, son las adecuadas para las áreas que la requieren ya que se adaptan a cualquier área de trabajo.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Ante la necesidad de los estudiantes de las Carreras de Electrónica y Eléctrico Mecánico de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo FETD, de realizar pruebas con los dispositivos eléctricos y electrónicos en el módulo Micro Master 440, de practicar en los laboratorios de accionamiento y laboratorio de máquinas, me han motivado para escoger el tema “estudio y dimensionamiento de un sistema de acoplamiento eléctrico mecánico para el sistema de turbina con motor de 3 hp”.

En las pruebas mencionadas, solo se podría visualizar arranques de motores pero en vacío, con el módulo que se va a implementar los estudiantes podrán visualizar el trabajo físico del motor pero con una carga y así podrán realizar comparación de amperajes en vacío y a plena carga. Sin embargo, con la implementación de este módulo los estudiantes podrán ver cómo trabajan los equipos eléctricos y electrónicos, como *breakers*, variadores, motor, etc. Además, podrán verificar el funcionamiento de un sistema eléctrico mecánico con bandas y el funcionamiento de turbinas o ventiladores.

También se tendrá un módulo nuevo, donde se va a poder realizar diferentes mediciones. Además, se prevé que en el futuro el módulo pueda mejorarse sus equipos de instrumentación y programación, los cuales darán mayor funcionalidad y aprendizaje para los estudiantes.

1.3 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

Existe escasa pruebas y ensayos en el módulo Micro master 440 del laboratorio de accionamiento de la FETD. Las pruebas que se realizan en dicho módulo solo se pueden visualizar el arranque del motor de 3HP pero en vacío, es decir, sin una carga.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio y dimensionamiento de un sistema de acoplamiento eléctrico mecánico, para el sistema de turbinas con motor de 3hp para el módulo (micro master 440 siemens) que se encuentra en el laboratorio de automatización.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir el funcionamiento del motor trifásico, variador de frecuencia, como también el funcionamiento de las turbinas.
2. Rediseñar el módulo micro máster 440 que se encuentra en el laboratorio de accionamiento para el funcionamiento con una carga acoplada.
3. Implementar el sistema de acoplamiento para una turbina para el módulo micro master con motor de 3 hp.

1.5 HIPÓTESIS

La adaptación de una carga al módulo Micro master 440 con motor 3hp permitirá realizar pruebas más reales, esto quiere decir que se puede medir y comprobar cálculos teóricos con los medidos en una práctica del motor con una carga.

1.6 METODOLOGÍA

Los objetivos mencionados anteriormente se llevaron a cabo a través de los siguientes métodos de investigación:

- Método analítico, se ha revisado cada uno de los elementos que van a

intervenir en el proyecto. Además, se ha realizado una comparación entre los elementos para ver su funcionalidad para el proyecto.

- Métodos de comprobación y observación, mediante estos métodos se obtuvo los resultados de las diversas pruebas y objetivos planteados.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA

2.1 Campo Magnético Giratorio Trifásico.

En los motores eléctricos se utiliza el principio magnético, el cual da origen a un imán y éste se logra al alimentar las bobinas del motor con corriente alterna, pues, a este imán se le conoce como electroimán. El campo magnético que se va a producir en el rotor, se va a producir mediante la aplicación de voltaje alterno al estator, lo cual generará una corriente que fluirá por los devanados del estator.

Es importante mencionar que la polaridad (negativa o positiva) del campo magnético desarrollado en los devanados dependerá de la dirección del flujo de la corriente, y la intensidad del campo será directamente proporcional a la cantidad de corriente aplicada.

Para poder lograr el objetivo del campo magnético giratorio, es necesario tener al menos dos devanados por fase, como se observa en las figuras 2.1 y 2.2, donde, A1 es un devanado y A2 es otro devanado, pero los dos están alimentados por la misma fase (Pernía, 2011; Area Tecnología, 2010; Serway, 2014; Saucedo, 2015)

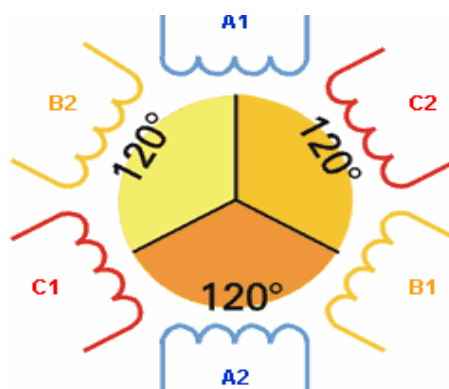


Figura 2. 1 Distribución geométrica a 120° mecánicos de los devanados del estator

Fuente: (Pernía, 2011)

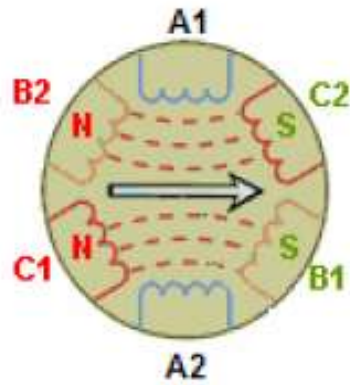


Figura 2. 2. Campo magnético formado por los devanados del estator.

Fuente:(Pernía, 2011)

Considerando una señal en intervalos de 60° eléctricos, se observa que al final de cada intervalo, se repite la condición anterior; sólo que ahora la fase que tiene el cruce por cero, no es la fase A y el campo del motor ha rotado 60° mecánicos, tal como se puede observar en las figuras 2.3 y 2.4.

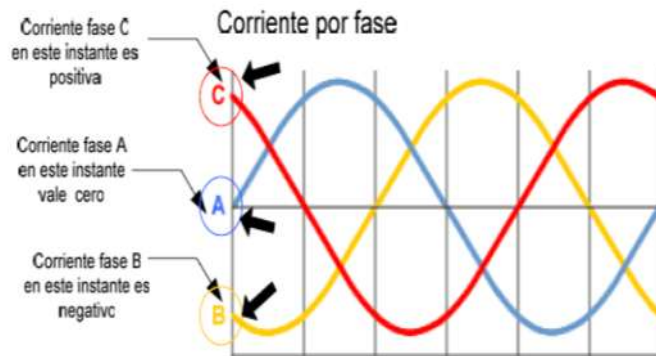


Figura 2. 3Análisis del desfase a 120° eléctricos entre las corrientes por fase.

Fuente:(Pernía, 2011)

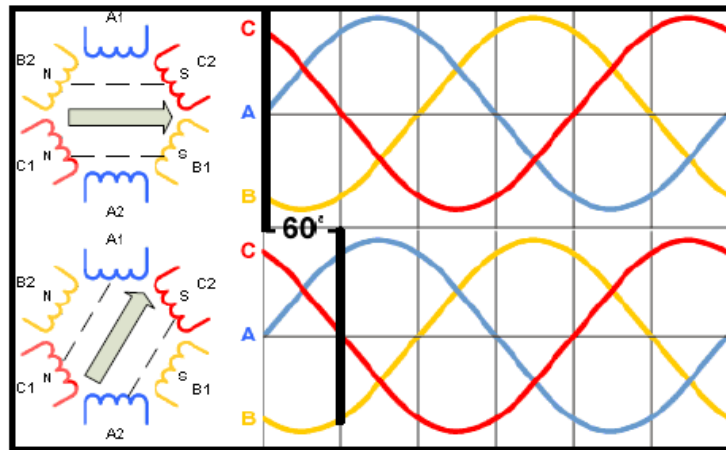


Figura 2. 4. Giro del campo magnético en el estator

Fuente:(Pernía, 2011)

De esta manera, al final de los 6 intervalos, el campo magnético del estator habría girado 360° , a la velocidad a la que gira el campo magnético, pues, se la conoce como la velocidad síncrona (N_s), que depende de la frecuencia de la red (f) y del número de polos que posee el motor (p). En la siguiente ecuación se pueden ver los parámetros explicados anteriormente:

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

Las bobinas o devanados que se utilicen por fase en el estator es la que determina el número de polos de un motor, cuyo mínimo es dos. Si el número de polos es mayor, la velocidad síncrona disminuye y viceversa.

En la tabla 2.1 se puede observar las velocidades síncronas con su correspondiente número de polos que debe poseer el motor. Es importante notar que el número de polos siempre es una cantidad par. Los motores más utilizados en las industrias son los asíncronos, en ellos la velocidad del rotor es siempre inferior a la de sincronismo. En esta misma tabla se muestran velocidades estándar para motores asíncronos trifásicos, que trabajan a una frecuencia de 60Hz.

Numero de polos (pares)	Velocidad de sincronismo (R.P.M.)	Velocidad del Rotor (R.P.M.)
2	3600	3500
4	1800	1750
6	1200	1165
8	900	875
10	720	705

Tabla 2. 1.Velocidades de motores asíncronos trifásicos, a una frecuencia de 60Hz.

Fuente: El autor

2.2 Par motor versus corriente de arranque.

El par de arranque o momento de rotación del motor depende del tipo de conexión a la red. Si se conecta directamente a la tensión de alimentación el par es elevado, este par debe ser mayor en cada instante al par resistente, para obtener un par acelerador; en consecuencia, la variedad en el diseño de rotores para motores de inducción dan diversas características de la curva par-deslizamiento. La suma de todos los pares constituye el momento de rotación resultante de la máquina, llamado par motor. Los fabricantes han desarrollado numerosas variaciones del diseño del rotor, estas variaciones tienen por consecuencia pares de arranque mayores o menores al diseño normal y distintas corrientes de arranque.

Para distinguir entre los tipos disponibles, la Asociación Nacional de Manufactureros Eléctricos de los Estados Unidos (NEMA) ha desarrollado un sistema de identificación con letras en la cual cada tipo de motor de inducción de jaula de ardilla, se fabrica de acuerdo con una determinada norma de diseño, denominada clase e identificada con una letra y las ha dividido en cinco clases; en base a las propiedades de construcción(Pernía, 2013), Las mismas se describen en la siguiente tabla 2.2:

Clase NEMA	Par de arranque (# de veces el nominal)	Corriente de Arranque (# de veces la nominal)	Regulación de Velocidad (%)	Nombre de clase del motor
A	1.5-1.75	5-7	2-4	Normal
B	1.4-1.6	4.5-5	3.5	De propósito general
C	2-2.5	3.5-5	4-5	De doble jaula alto par
D	2.5-3.0	3-8	5-8, 8-13	De alto par alta resistencia
F	1.25	2-4	mayor de 5	De doble jaula, bajo par y baja corriente de arranque.

Tabla 2. 2. Clasificación NEMA de los motores de inducción de jaula.

Fuente: (NEMA, 2017)

2.3 Partes principales de un motor eléctrico trifásico.

En toda máquina se pueden distinguir los aspectos constructivos y los tipos de materiales. Al respecto, se muestra en la figura 2.5 y estos se pueden dividir en tres grupos:

- Materiales activos:
 - Materiales magnéticos de alta permeabilidad, hierro, acero, chapa al silicio.
 - Materiales eléctricos conductores, cobre, aluminio.
- Aislantes, que se encargan de canalizar las corrientes y evitar fugas.
- Materiales para la lubricación, ventilación, transmisiones mecánicas.

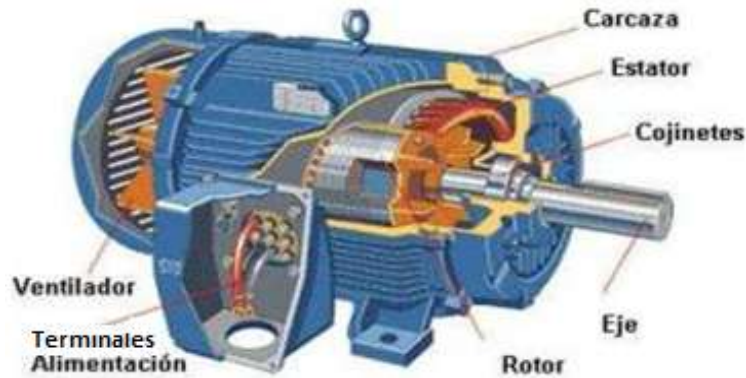


Figura 2. 5. **Partes de un motor eléctrico**

Fuente: (Sector Electricidad, 2017)

A continuación, se describen cada una de las partes de un motor eléctrico.

- **El estator.-** En él se aloja tres bobinas, desfasadas entre sí 120° . Cada una de las bobinas se conecta a cada fase de un sistema trifásico y dan lugar a un campo magnético giratorio. El núcleo está formado por láminas de acero al silicio y laminado en frío u otro material magnético, libre de envejecimiento, alta permeabilidad y bajas pérdidas por histéresis. Las láminas llevan películas aislantes en sus superficies, las cuales no son afectadas por el aire caliente o aumentos de temperatura propios del funcionamiento del motor y presentan superficies suaves. La carcasa, es aterrizada para evitar la electrostática. La estructura del núcleo minimiza las pérdidas por corrientes parásitas.

- **El rotor.-** Es la parte móvil giratoria que se localiza en el interior del estator. Está hecho a base de placas apiladas y montado sobre el eje del motor. Dispone de unas ranuras donde van colocados los conductores que forman la bobina de inducido que están cerrados sobre sí mismos constituyendo un circuito cerrado. Al ser afectados los conductores por un campo magnético variable se generan en ellos f.e.m. que dan lugar a corrientes eléctricas. Al circular las corrientes eléctricas por los conductores dentro del campo magnético, aparecen fuerzas que obligan

al rotor a moverse siguiendo al campo magnético. Desde el punto de vista constructivo se distinguen dos formas:

- **Rotor de jaula de ardilla.-** Está constituido por barras de cobre o de aluminio y unidas en sus extremos a dos anillos del mismo material.
 - **Rotor bobinado o de anillos rozantes.-** El rotor está constituido por tres devanados de hilo de cobre conectados en un punto común. Los extremos están conectados a tres anillos de cobre que giran solidariamente con el eje (anillos rozantes). Haciendo contacto con los tres anillos van las escobillas que se conectan a los devanados con unas resistencias que permiten regular la velocidad de giro del motor.
-
- **Escobillas o Carbones.-** Las escobillas, se usan solo en motores asíncronos con rotor devanado; son fabricadas de carbón prensado y calentado a una temperatura de 1200°C. Se apoyan rozando continuamente contra el colector gracias a los resortes, que se incluyen. El material con que están fabricadas las escobillas, produce un roce suave equivalente a una lubricación.
 - **Porta Carbones.-** Son elementos que sujetan y canalizan el movimiento de los carbones. Los que se deslizan libremente en su caja siendo obligadas a apoyarse sobre el colector por medio de un resorte que carga al carbón con una tensión determinada.
 - **Devanados.-** Los devanados del rotor y estator, son de cobre de conductividad 99.9 % mínimo a 60°C. Los devanados deben constituir una unidad sólida, para lo cual son sometidos a los procesos de prensado y curados necesarios. El espesor mínimo del aislamiento entre capas va de acuerdo a la capacidad del motor. Los materiales

adicionales tales como pegantes, cintas, etc.; tienen características aislantes y térmicas.

- **Entrehierro.-** Es el espacio de aire que separa el estator del rotor y que permite que pueda existir movimiento y ventilación entre las dos partes.
- **El aislamiento.-** La vida de un motor está determinada por la vida de su aislamiento. Este sistema tiene como función aislar los devanados del motor entre sí y la continuidad con tierra, es decir, los elementos de este sistema aíslan las partes conductoras de corriente en el rotor y en el estator con respecto a las chapas de acero.
- **Placa de características.-** En ella se recogen las características más importantes del motor que determinan entre otros su potencia y capacidad de uso. En la figura 2.6 se puede ver al respecto.



Figura 2. 6Placa de características de un motor eléctrico

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la FETD

2.4 Clasificación de los motores eléctricos.

Los motores eléctricos más comúnmente utilizados en la industria, son los motores eléctricos trifásicos asíncronos de jaula de ardilla. Sin embargo, se

ha considerado las clasificaciones de motores eléctricos, de la siguiente manera:

- **Motores de corriente continua (CC/DC).**- Son motores que utilizan corriente continua proveniente de un fuente de alimentación como pilas o baterías. La misma polaridad y las cargas eléctricas circulan en la misma dirección.
- **Motores de corriente alterna monofásicos (CA/AC).**- Son motores que utilizan corriente alterna con una fase más un neutro. Estos motores se los encuentra en los electrodomésticos y funcionan con la corriente de red habitual en la que la magnitud y la dirección varían cíclicamente en forma de onda senoidal.
- **Motores de corriente alterna trifásicos.**- Este es el tipo de motores más utilizado en ámbitos industriales. Utilizan tres fases de corriente alterna y es la que provee un uso más eficiente de los conductores. Las tres ondas están desfasadas entre si 120° y el retorno de los circuitos se acopla en un punto, neutro (en sistemas equilibrados el neutro se puede omitir)

De los tres tipos expuestos anteriormente, se estudiará en detalle el tercero; en el medio industrial se alimentan con varios niveles de voltaje, pero todos a 60 Hz. En la figura 2.7 muestra la clasificación de los motores trifásicos, según la velocidad de giro del rotor en síncronos y asíncronos.

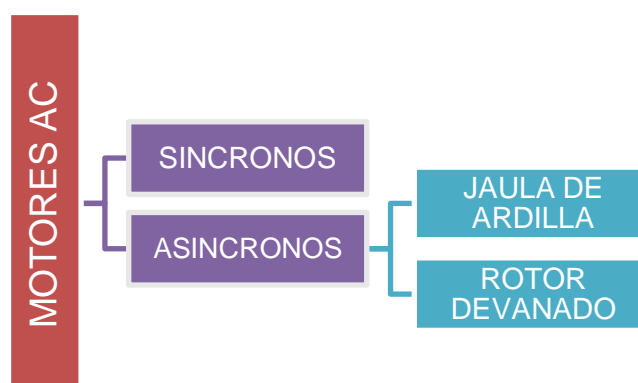


Figura 2. 7Clasificación de los motores trifásicos.

Fuente:El autor

Por otro lado, los asíncronos se clasifican según la construcción de su rotor en jaula de ardilla (figura 2.8) y rotor devanado (figura 2.9).

- Motores trifásicos síncronos.- En los motores síncronos la velocidad de giro es constante y viene determinada por la frecuencia de la tensión de la red eléctrica a la que esté conectado y por el número de polos del motor, siendo conocida esa velocidad como “velocidad de sincronismo”.
- Motores trifásicos asíncronos.- Los motores asíncronos o también llamados de inducción, son aquellos en que el campo magnético inducido por el estator gira a una velocidad denominada de “sincronismo”, mientras que la velocidad del rotor es algo inferior. El hecho de que el rotor gire más despacio que el campo magnético originado por el estator, se debe a que si el rotor girase a la velocidad de sincronismo, esto es, a la misma velocidad que el campo magnético giratorio, el campo magnético dejaría de ser variable con respecto al rotor, con lo que no aparecería ninguna corriente inducida en el rotor, y por consiguiente no aparecería un par de fuerzas que lo impulsarán a moverse.

La velocidad de rotor no es la misma en todos los motores, puede variar en mayor o menor medida. Como regla general, cuanto más potencia tiene el motor, más se acerca la velocidad del rotor a la velocidad de sincronismo. El motor con rotor Jaula de Ardilla (figura 2.8) es el más utilizado de estos motores asíncronos, ya que al no tener bobinado el rotor (figura 2.9), y poseer barras metálicas, se vuelve menos delicado y es más fácil de realizar su mantenimiento.

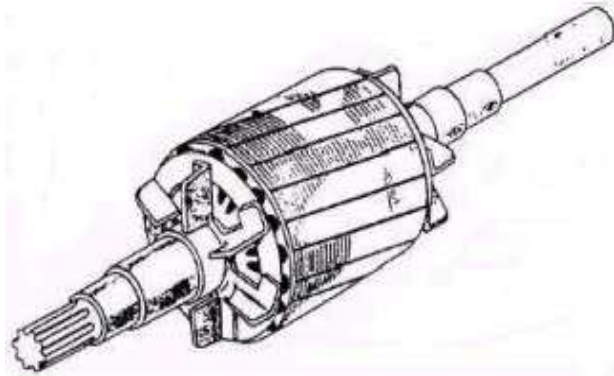


Figura 2. 8. **Rotor de jaula de ardilla**

Fuente:(Chapman, 1993)

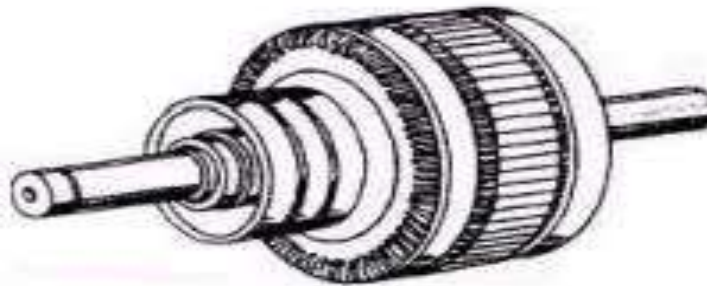


Figura 2. 9. **Rotor devanado**

Fuente:(Chapman, 1993)

2.5 Motores de inducción de jaula de ardilla

Los motores eléctricos, se pueden clasificar también de acuerdo a los métodos de enfriamiento y el ambiente en que funcionan. La temperatura ambiente juega un papel muy importante en la capacidad y selección del tamaño del motor, parte importante es que la temperatura ambiente influye en la elevación permisible de temperatura por sobre los 40° C normales. Así, un motor que trabaje a una temperatura ambiente de 75° C empleando aislamiento clase B tiene un aumento permisible de temperatura de 55° C. Si trabajara a su temperatura ambiente normal de 40 ° C, se podría permitir un aumento de temperatura a 90° C, sin dañar su aislamiento.

La hermeticidad del motor afecta a su capacidad. Una máquina con una carcasa totalmente abierta con un ventilador interno en su eje, permite un fácil paso de aire succionado y desplazado. Este proceso origina una temperatura final de trabajo en los devanados, menor en comparación a la de una máquina totalmente cerrada que evita el intercambio de aire con el exterior. Por ello se tiene una clasificación de los motores por el tipo de carcasa.

2.6 Tipos de carcasas de los motores eléctricos.

La NEMA reconoce los siguientes tipos de carcasas para motores eléctricos:

- Carcasa a prueba de agua.
- Carcasa a prueba de ignición de polvos.
- Carcasa a prueba de explosión.
- Carcasa a prueba de salpicaduras.
- Carcasa a prueba de goteo.
- Carcasa totalmente cerrada.
- Carcasa protegida para intemperie.
- Carcasa abierta.

2.6.1 Designación de velocidades nominales en motores de inducción.

El deslizamiento en la mayor parte de los motores de inducción de jaula de ardilla a la velocidad nominal, es de alrededor de un 5%, no pueden alcanzar velocidades mayores a 3600 r.p.m. a 60 Hz, las velocidades son múltiplos de los inversos del número de polos en el estator (Tabla 2.1). En general, se prefieren los motores de alta velocidad a los de baja velocidad, de la misma potencia y voltaje, debido a que:

- Son de menor tamaño y en consecuencia de menor peso.

- Tienen mayor par de arranque.
- Tienen mayores eficiencias.
- A la carga nominal, tienen mayores factores de potencia.
- Son menos costosos.

Por estas razones se suele dotar de cajas de engranajes o embrague a los motores de inducción de jaula de ardilla para permitir velocidades de eje sobre 3600 r.p.m. y por debajo de 200 r.p.m. En muchos usos o aplicaciones industriales en capacidades de menor potencia, la caja de engranajes o de embrague va incorporada en la caja del motor, formando una unidad integral con este.

2.6.2 Especificaciones de los motores eléctricos.

Existen una gran variedad de motores en el mercado, diseñados para distintas aplicaciones. Las características de diseño, se muestran a través de sus especificaciones técnicas, las mismas que se describen a continuación:

- **Voltaje de trabajo.-** Es el voltaje de alimentación que hay que proporcionarle al motor para que su funcionamiento sea óptimo. Siempre hay un rango de operación en el voltaje especificado por el fabricante. Si se llega a alimentar al motor fuera del rango de operación, el motor simplemente no funcionará o puede quemarse. Los voltajes de alimentación típicos de los motores trifásicos son: 208, 220, 240, 440, 480, 600 V, etc.
- **Frecuencia.-** Es la frecuencia del voltaje de alimentación para la cual el motor fue diseñado. En el continente americano los motores trabajan a 60Hz.
- **Potencia desarrollada.-** Es la potencia mecánica que desarrolla el motor en el eje a plena carga. La potencia de los motores trifásicos va desde 1/2 Hp hasta 15.000 Hp.

- **Número de fases.-** Es el número de fases del voltaje de alimentación al motor. Si el motor es monofásico el número de fases es 1; para el caso trifásico, el número es 3.
- **Velocidad nominal.-** Es la velocidad a la cual el motor girará cuando el motor esté a plena carga (100%). Las velocidades nominales son menores a la velocidad síncrona. Si en la placa de un motor se dice que la velocidad es de 1781r.p.m., es porque se tiene un motor de 4 polos, en donde su velocidad síncrona es 1800r.p.m. a 60Hz.
- **Corriente nominal.-** Es la corriente por fase del motor, cuando está operando a plena carga. Éste es un valor muy importante, porque sirve para dimensionar las protecciones del motor y seleccionar los conductores con los que se alimentará al motor.
- **Factor de potencia.-** El factor de potencia es un indicador de eficiencia del consumo de energía de la red. La potencia eléctrica es una potencia compleja y ésta es conformada por una potencia real y una potencia reactiva. El triángulo de potencia eléctrica ayuda a entender esto (Figura 2.10). Donde S es la Potencia Compleja, P es la Potencia Real, y Q es la Potencia Reactiva. La magnitud de la potencia compleja está dada por la siguiente ecuación:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

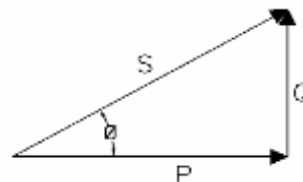


Figura 2. 10.Triángulo de potencia

Fuente: El autor

- **Eficiencia.-** Es la razón entre la potencia de salida y la potencia de entrada. El motor es un equipo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica; en el proceso de conversión existen pérdidas, así la potencia mecánica de salida, no es igual a la potencia eléctrica de entrada (figura 2.11). La eficiencia del motor también se puede definir como se

muestra en la siguiente ecuación, en donde T es el torque o par de salida (N-m), y N es la velocidad de rotación del motor (R.p.m.), V es el voltaje entre fases, FP es el factor de potencia e I es la corriente de línea:

$$\text{Eficiencia} = \text{eff} = \frac{P_o}{P_{oi}}$$

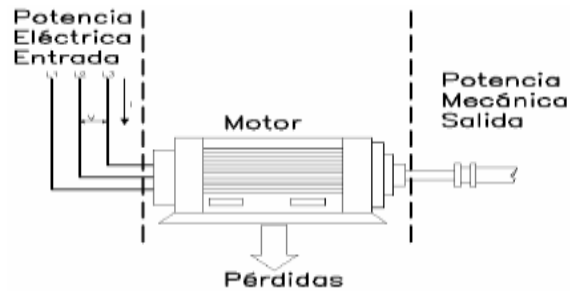


Figura 2. 11. **Eficiencia de un motor**

Fuente: El autor

- **Factor de servicio.**- Es el valor que indica la placa al cuál puede trabajar un motor por encima de la potencia nominal. O sea, cuando un motor indica que tiene un factor de servicio (Fs.) de 1.0, es que el motor está diseñado para trabajar óptimamente, al 100% de su potencia nominal. Si tuviera un Fs=1.2, el motor estaría diseñado para trabajar hasta 20%, arriba de su potencia nominal. El Fs se usa para el cálculo de los conductores de alimentación.

Capacidad del aislamiento térmico de los bobinados.

La NEMA ha establecido clases de aislamiento térmico para los bobinados (figura 2.12), para clasificar a los motores por su resistencia térmica. Lo que indicaría cuales son los aumentos máximos de temperatura, que podría soportar el motor en condiciones de trabajo. Por tanto, estos se clasifican en: Clase A, Clase B, Clase F y Clase H.

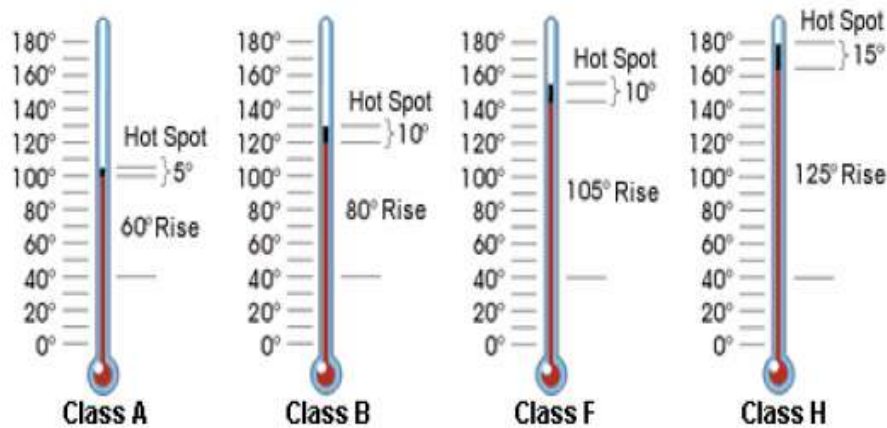


Figura 2. 12. Clases de aislamientos térmicos de los bobinados

Fuente:(NEMA, 2017)

Cuando las especificaciones de un motor indican que es clase de F, significa que trabajando a una temperatura ambiente de 40°C, podría tener un incremento máximo de temperatura de 105°C, con un margen de 10°C arriba de esa temperatura. O sea, que la temperatura máxima permisible para los bobinados sería de 145°C con 10°C de margen.

2.7 Variadores de Velocidad

2.7.1 Conceptos básicos de semiconductores.

Los semiconductores son dispositivos electrónicos que permiten el control de las señales eléctricas. La aplicación de éstos para el caso de los variadores de velocidad es en el rectificador y en el inversor. Los semiconductores se pueden dividir en dos grupos:

- **Los semiconductores no controlados.-** Son aquellos que no necesitan una señal externa para que funcionen. Un semiconductor no controlado es el Diodo, los demás se basan en el principio del diodo.
- **Los semiconductores controlados.-** Son aquellos que necesitan una señal externa para que funcionen. Un semiconductor controlado es el tiristor (SCR), los demás se basan en el principio del tiristor.

Los semiconductores más utilizados en el control de motores son los siguientes:

2.7.2 El Diodo.

Conocer el funcionamiento del diodo facilitará entender el funcionamiento de los demás semiconductores. En la figura 2.13 se puede observar el 'símbolo del diodo', los otros semiconductores son una variante de él, incluyendo los más utilizados en los controles modernos de motores. A continuación, en la figura 2.14 indica el funcionamiento básico del diodo.

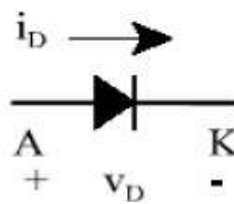


Figura 2. 13. Símbolo del Diodo

Fuente:(Robert, 1997)

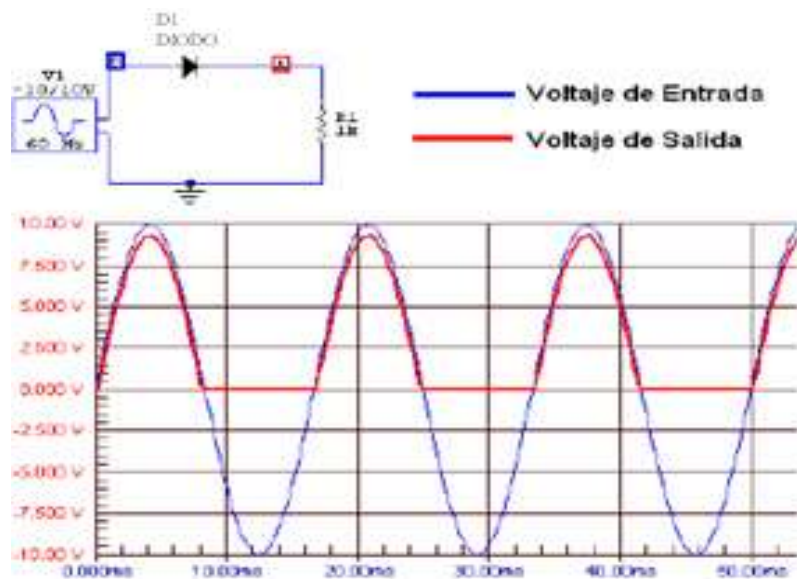


Figura 2. 14. Circuito y Curva de funcionamiento del Diodo

Fuente: (Robert, 1997)

El diodo solamente deja pasar la corriente en una dirección (de ánodo: A a cátodo: K) cuando el voltaje V_d es superior a 0.7 el voltaje de

alimentación. En pocas palabras, la parte positiva del voltaje la deja pasar y la negativa no la deja pasar.

2.7.3 El Rectificador Controlado de Silicio (SCR).

El SCR es conocido también como tiristor (ver figura 2.15), es un tipo de semiconductor controlado que funciona similar al diodo (ver figura 2.16), solo que éste necesita de una señal externa para su activación, a esta señal se le llama señal de disparo. El SCR funciona igual que el diodo cuando se le dé una señal de disparo a G (Compuerta) desde un dispositivo externo.

Al activarse el tiristor conduce si el voltaje entre A y K es positivo y dejará de conducir cuando el voltaje entre A y K se vuelva negativo.

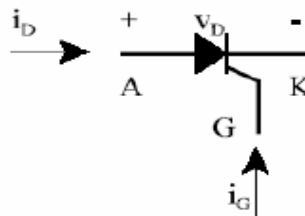


Figura 2. 15. Símbolo del Tiristor

Fuente: (Robert, 1997)

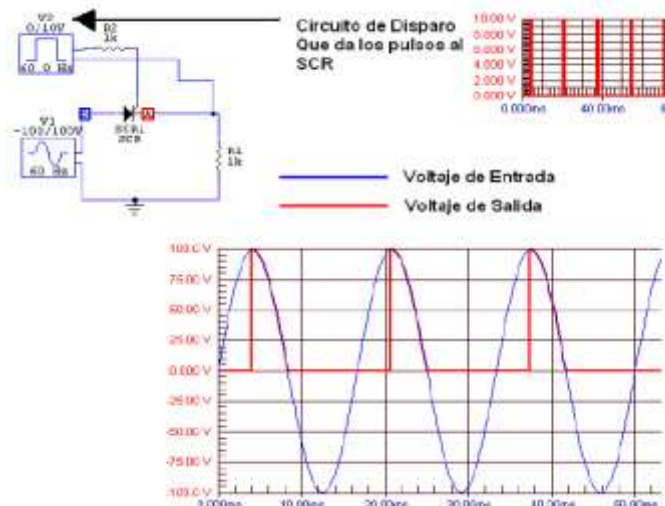


Figura 2. 16. Circuito y curva de funcionamiento del Tiristor

Fuente: (Robert, 1997)

2.7.4 El Tiristor de Apagado de Compuerta (GTO).

El GTO opera de una manera similar al SCR, con la única variante que al darle un pulso negativo a la compuerta (G), se puede hacer que el tiristor se apague o deje de conducir cuando el voltaje entre A y K es positivo.

En la figura 2.17 se puede ver su símbolo y en la figura 2.18, el circuito de disparo.

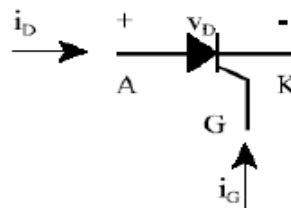


Figura 2. 17. Símbolo del GTO

Fuente: (Robert, 1997)

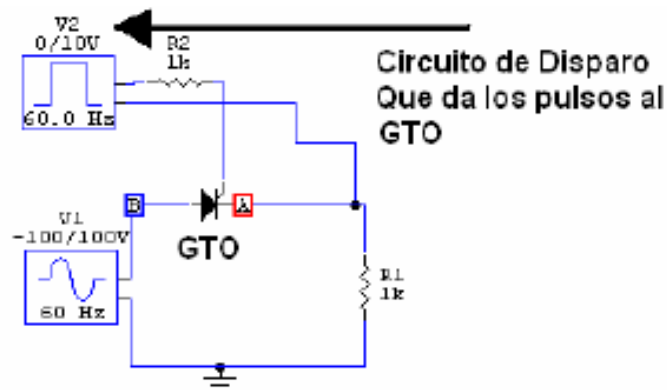


Figura 2. 18. Circuito de funcionamiento del GTO.

Fuente: (Robert, 1997)

2.7.5 El Tiristor Conmutado de Compuerta Simétrica (SGCT).

El SGCT es la última generación de semiconductores controlados (ver figura 2.19). Es una mejora del GTO; pues, tiene un disparador controlado por medio de microprocesador y está diseñado para interrumpir voltajes hasta los 6500V y corrientes hasta los 1500A.

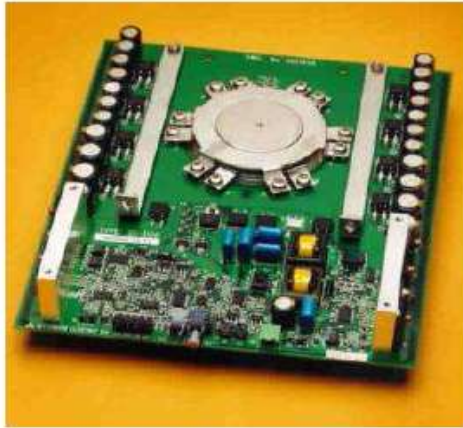


Figura 2. 19. El SGCT.

Fuente: (Robert, 1997)

2.7.6 Rectificador.

El rectificador es un dispositivo que convierte una señal senoidal de corriente alterna (AC) a una señal de corriente continua (DC), tal como se muestra en la figura 2.20.

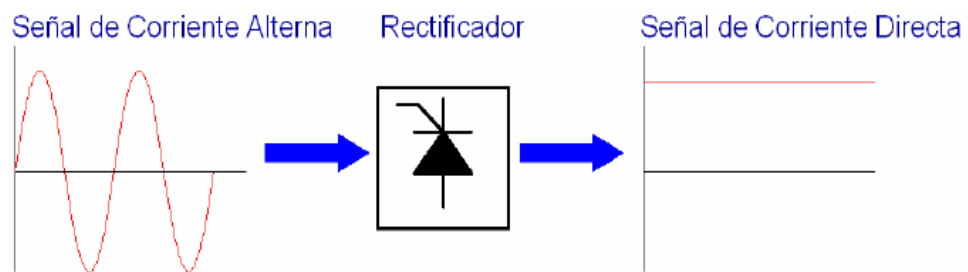


Figura 2. 20. Función del rectificador.

Fuente: (Robert, 1997)

Los dispositivos encargados de hacer la rectificación son los semiconductores. Hay varios tipos de rectificadores, desde no controlados con diodos, hasta rectificadores controlados construidos con SCR's, GTO's y los más modernos hechos con SGCT.

La figura 2.21 muestra el diagrama de un rectificador trifásico que utilizan los variadores de frecuencia.

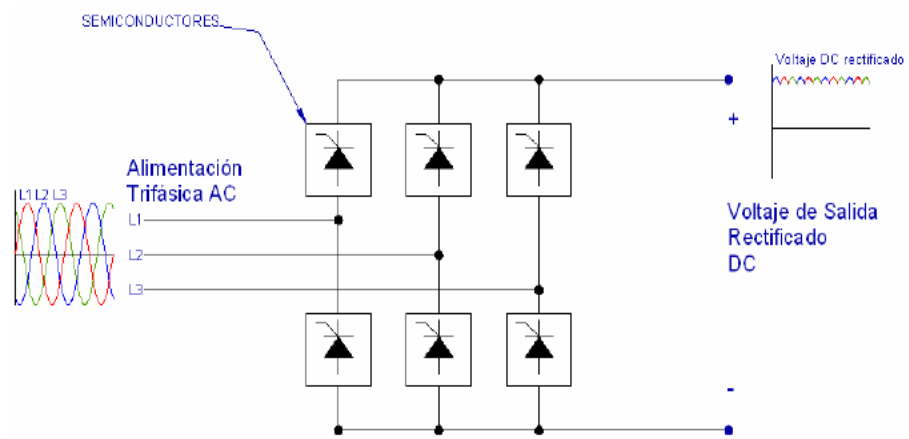


Figura 2. 21. Circuito de un rectificador trifásico.

Fuente: (Robert, 1997)

La idea es convertir la señal trifásica alterna a una señal de corriente directa para su posterior procesamiento, que consiste en convertirlo en voltaje AC, pero con distinta frecuencia y voltaje para alimentar al motor, y así poder variar su velocidad de rotación.

2.7.7 Inversor.

El inversor es la parte donde el voltaje rectificado DC se convierte a una señal de voltaje y corriente AC (ver figura 2.22). La señal convertida posee distinta frecuencia y magnitud de voltaje que el de la señal que entra al rectificador.

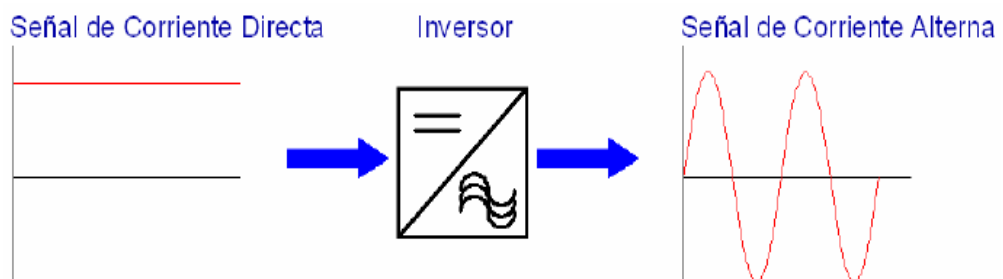


Figura 2. 22Función del inversor.

Fuente: (Robert, 1997)

El inversor también funciona a base de conmutación de semiconductores, solo que en esta ocasión los semiconductores no pueden ser del tipo no controlados, porque se necesita una secuencia de conmutación para poder lograr la conversión de corriente directa a corriente alterna.

En la figura 2.23 muestra el diagrama básico del inversor trifásico utilizado en la mayoría de variadores de frecuencia.

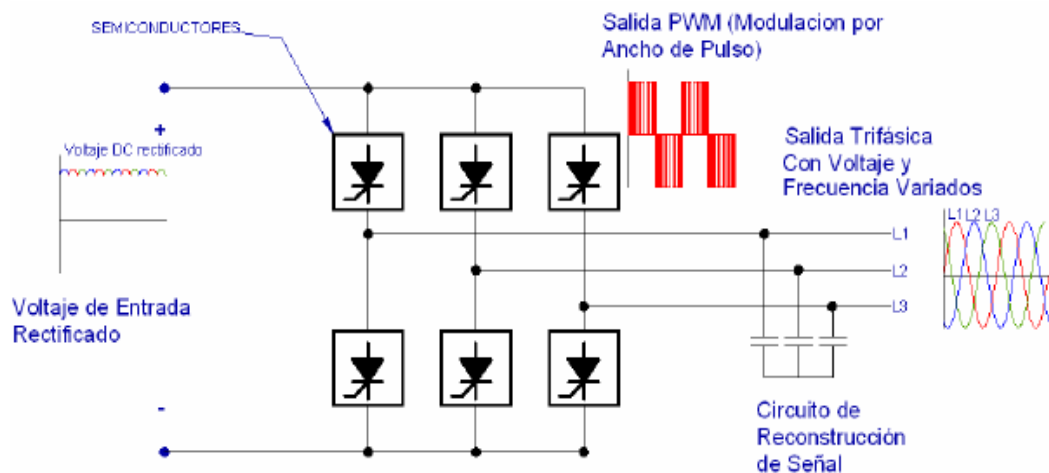


Figura 2. 23. Circuito de un inversor trifásico.

Fuente: (Robert, 1997)

El inversor trifásico interrumpe la señal DC, realizando un proceso de troceado por medio de los semiconductores controlados, y así a la salida del circuito inversor se obtiene una señal de Modulación por Ancho de Pulso (PWM).

En la figura 2.24 muestra la señal típica modulada por pulsos.

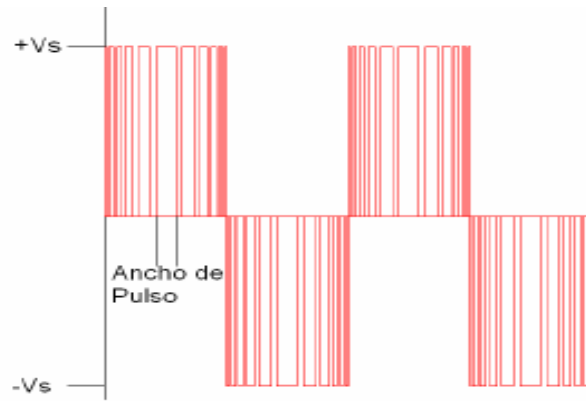


Figura 2. 24. Señal de una PW

Fuente: (Robert, 1997)

El inversor por medio de los semiconductores interrumpe a una frecuencia muy alta la señal de voltaje, de manera que vaya tomando la forma de la señal mostrada en la figura 2.25. Esta se compone de pulsos de voltaje con una magnitud constante, pero con distinto ancho de pulso, este también es la señal de voltaje que se le aplicará al motor.

Los pulsos con menor ancho son asignados a bajos niveles de voltaje; en cambio, los pulsos de mayor ancho son asignados a altos niveles de voltaje. La señal que el motor reconstruye no es puramente senoidal, pero sí lo más parecido a una señal senoidal.

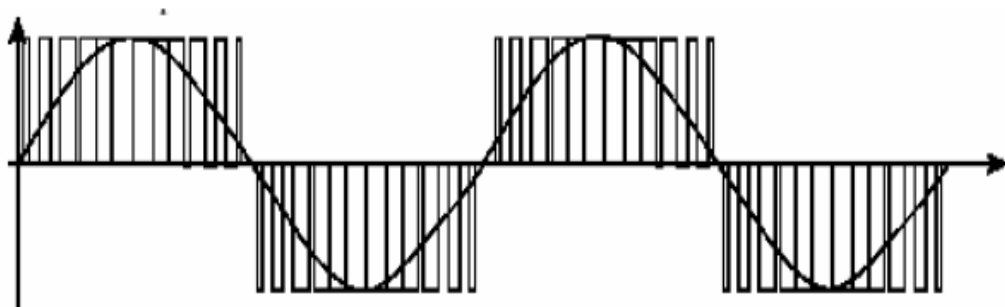


Figura 2. 25. Reconstrucción de señal de pulsos a senoidal.

Fuente: (FRAILE MORA, 2008)

2.8 Funcionamiento básico del variador de velocidad.

El variador es un controlador de velocidad para el motor, donde su función básica es modificar la señal de alimentación del motor para controlar su velocidad. En la figura 2.26 indica el proceso de variación de la señal de alimentación.

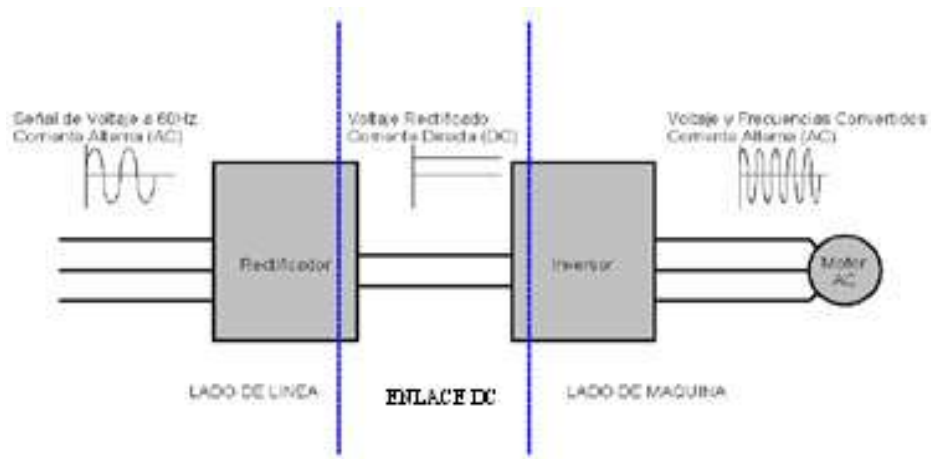


Figura 2. 26. Diagrama básico del variador de frecuencia.

Fuente: (FRAILE MORA, 2008)

La secuencia de conversión es la siguiente:

1. La alimentación AC a 60Hz se conecta al rectificador.
2. El rectificador convierte el voltaje AC de 60Hz, a voltaje DC.
3. El inversor convierte el voltaje DC a voltaje AC, pero con distinta frecuencia y magnitud de voltaje para poder controlar la velocidad del motor.

2.8.1 Variables del motor relacionadas con el control de velocidad.

Para comprender las variables del motor que se manipulan para el control de velocidad, es necesario conocer las partes que componen el circuito equivalente del motor AC; las mismas que se muestran en la figura 2.27.

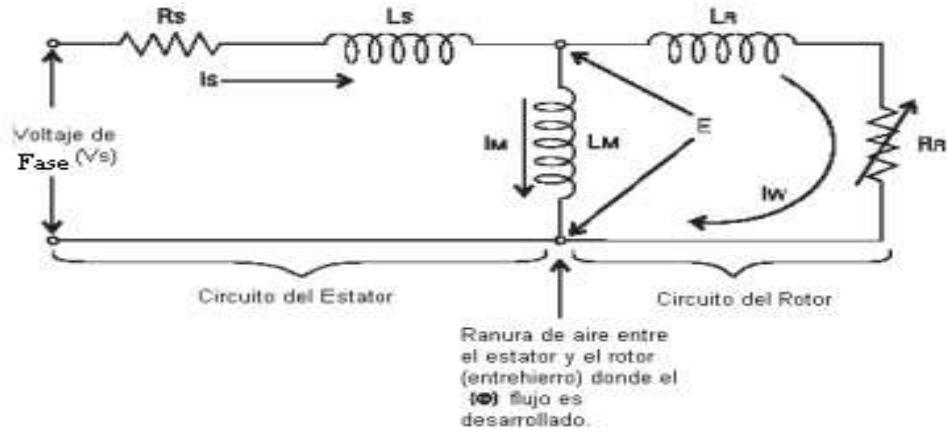


Figura 2. 27. Circuito equivalente del motor

Fuente: (FRAILE MORA, 2008)

Dónde:

V_s : Voltaje de fase aplicado a las terminales del motor.

R_s : Resistencia del Estator

L_s : Inductancia del Estator

I_s : Corriente del Estator

E : Voltaje Inducido en el Rotor

L_M : Inductancia de Magnetización

I_M : Corriente de Magnetización

R_R : Resistencia del Rotor

L_R : Inductancia del Rotor

I_w : Corriente del Rotor o de Trabajo, porque es la que genera Torque.

2.9 Métodos para controlar la velocidad de un motor de inducción.

El desarrollo de sistemas para controlar la velocidad en motores de inducción, se ha venido dando desde hace muchos años. La velocidad en los motores de inducción depende de la velocidad del campo magnético giratorio, su expresión es la siguiente:

$$N = N_s (1 - S) = \frac{120f (1 - S)}{p}$$

Dónde:

p = números de polos de la máquina.

S = deslizamiento del motor.

f = frecuencia de alimentación al estator.

De la ecuación anterior, se puede observar que es posible variar la velocidad del motor de tres formas:

- a) Cambiando el número de polos (p)
- b) Cambiando el deslizamiento (S)
- c) Cambiando la frecuencia de alimentación (f)

2.9.1 Variación del número de polos

La variación del campo magnético rotatorio, está determinado por el número de polos del estator, por lo que si varían éstos, se puede tener un control de velocidad.

Existen tres formas de variar el número de polos:

- Métodos de los polos consecuentes.
- Estator con bobinado múltiple.
- Modulación de la amplitud (PAM)

2.9.2 Variación del deslizamiento.

Mediante la variación de la resistencia del rotor (aplicable solo para las máquinas de rotor bobinado) es posible conseguir variar la velocidad del motor y consiste en agregar resistencias adicionales al circuito del rotor. Esto incrementa las pérdidas en el rotor, provocando que aumente el deslizamiento y reduzca la velocidad del motor, y como consecuencia cambian las características del torque del motor. Las desventajas de insertar

resistencias adicionales al circuito del rotor en un motor de inducción, son la pobre regulación de velocidad y el bajo valor de rendimiento que se obtiene para deslizamientos altos, lo cual se muestra en la figura 2.28.

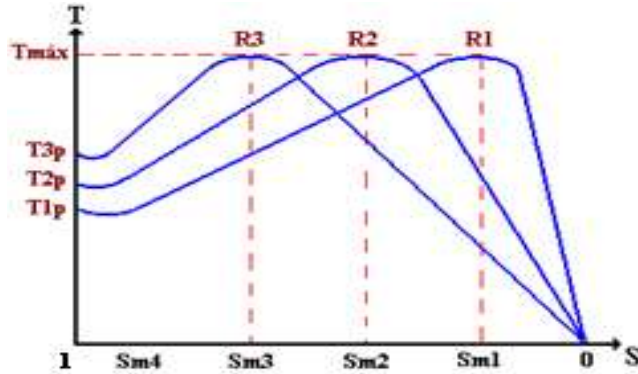


Figura 2. 28. Curva torque versus deslizamiento en un motor de inducción

Fuente: (FRAILE MORA, 2008)

2.9.3 Variación de frecuencia de alimentación.

La variación de la velocidad de un motor de inducción, también se logra modificando la frecuencia de la tensión de alimentación, lo que produce un cambio en la velocidad del campo giratorio (velocidad sincrónica). Al variar la frecuencia, se varía la magnitud de la tensión, de este modo se mantiene la densidad de flujo constante, o lo que es lo mismo la relación de voltaje – frecuencia (V/f) debe mantenerse constante. De esta manera el torque desarrollado se mantendrá constante (ver figura 2.29).

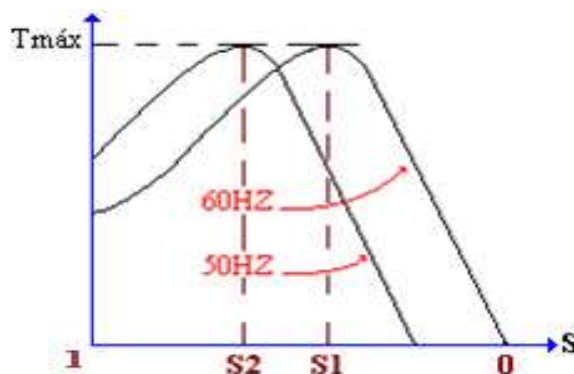


Figura 2. 29. Curva de torque versus frecuencia en un motor de inducción.

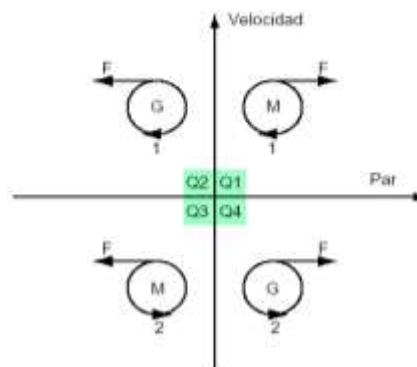
Fuente:FRAILE MORA(2008)

Dónde: $(S1 < S2)$

2.10 Variadores de velocidades unidireccionales o bidireccionales.

Según el tipo de convertidor electrónico se puede hacer funcionar un motor en un solo sentido de rotación, y se llaman unidireccionales, o en los dos sentidos de giro y se llaman bidireccionales. Los variadores son reversibles cuando pueden recuperar la energía del motor al funcionar como generador (modo frenado). La reversibilidad se obtiene: retornando la energía hacia la red (puente de entrada reversible) o disipando la energía recuperada en una resistencia con una chopper de frenado.

La figura 2.30 muestra las cuatro situaciones posibles de la gráfica par-velocidad de una máquina. Cuando la máquina funciona como generador recibe una fuerza de arrastre; este estado se utiliza especialmente para el frenado. La energía cinética disponible en el eje de la máquina, o se transfiere a la red de alimentación, o se disipa en las resistencias, o, para pequeñas potencias, en la misma máquina, como pérdidas.



Sentidos rotación	Funcionamiento	Par -C-	Velocidad -n-	Producto C.n	Cuadrante
1 (horario)	Como motor	si	si	si	1
	Como generador		si		2
2 (antihorario)	Como motor			si	3
	Como generador	si			4

Figura 2. 30. Los 4 estados posibles de una máquina en su grafico par-velocidad

Fuente: Informáticos(2016)

2.10.1 Control Escalar.

El control escalar de velocidad de un motor, es un control V/f, es en el cual la velocidad del motor es controlada por la frecuencia aplicada. Como se puede observar en la figura 2.31, si se desea variar la frecuencia por debajo de la nominal, se tiene que trabajar en la región de torque constante, donde el voltaje inducido aplicado al motor tiene que variar con la misma proporción que la frecuencia para mantener la relación de flujo del motor V/f constante. Esta variación se hace de forma lineal, donde la potencia del motor es directamente proporcional a la frecuencia.

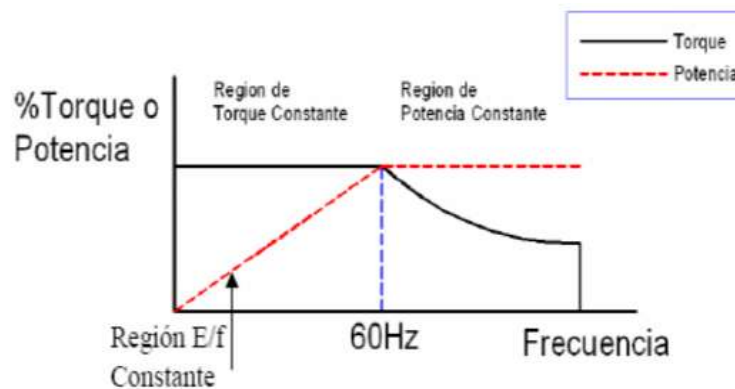


Figura 2. 31. Regiones de torque y potencia constante

Fuente:FRAILE MORA(2008)

De una manera simple, la carga entregada en el eje de un motor eléctrico asincrónico trifásico de corriente alterna es directamente proporcional a la tensión de alimentación e inversamente proporcional a la frecuencia de alimentación; mientras que su velocidad es proporcional a la frecuencia de la tensión de alimentación:

$$\text{Carga} = K * V / f$$

Dónde:

K = Constante de proporcionalidad

V = Tensión de alimentación

f = Frecuencia de alimentación

Un variador de frecuencia alimentado desde la red pública, con salida trifásica y variación de la frecuencia de salida desde 0 a 60 Hz, a fin de establecer la velocidad del motor y la tensión de salida proporcional a la frecuencia seleccionada (V/F), se dispone de torque constante e igual al nominal en el eje de motor para cualquier velocidad de operación. A frecuencia nominal de salida, la tensión de salida sería la nominal del motor trifásico estándar conectado en estrella. En un variador construido bajo este principio los ensayos demostrarán un excelente comportamiento en el control de la velocidad y torque desde frecuencia nominal hasta el 5% de la velocidad nominal (aproximadamente 90 rpm. para un motor de 4 polos). En menores velocidades disminuye la capacidad de disponer la carga nominal, asegurando el comportamiento en torque debido a que K deja de ser constante en ese rango de velocidad. A fin de permitir el arranque del sistema, se realiza el refuerzo de la tensión de salida desde 0 al 5% de la frecuencia nominal, asegurando disponer del torque necesario. Este valor de refuerzo de tensión es empírico y deberá ajustarse caso por caso en aquellas instalaciones que requieran disponer de torques importantes en baja velocidad. Una vez superado el umbral de velocidad nominal, el variador controla el torque nominal.

2.10.2 Control vectorial.

El control vectorial de la velocidad de un motor modifica la frecuencia y el voltaje de alimentación. En la figura 2.32 muestra esquemáticamente la rotación del campo magnético giratorio en el rotor.

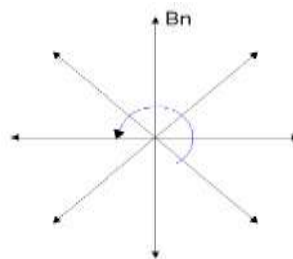


Figura 2. 32. Rotación del campo magnético en el rotor.

Fuente:Chapman(1993)

Para controlar el vector de campo magnético giratorio, que es quien desarrolla el movimiento del motor, por eso el nombre de control vectorial o control de campo orientado.

2.10.3 Control Vectorial de Lazo Abierto.

Si se imagina al motor eléctrico con un rotor compuesto por un imán asociado, montado solidario al eje del rotor, de forma que al acercarse otro imán (construido por el variador a través del bobinado de estator) la repulsión entre ambos imanes genera el movimiento del eje, se comprenderá que el imán construido a través del estator deberá en todo momento tener la posición y la magnitud adecuadas para asegurar la rotación correcta del motor en cualquier estado de carga.

La forma de obtener el imán del estator, es crear un vector de flujo magnético en el entrehierro del motor, por lo tanto el circuito de salida del variador debe generar en todo instante una onda de salida en tensión y frecuencia para dicho fin. El proceso se conoce como modulación vectorial de etapa de salida del variador a partir de cálculos realizados en la etapa de control micro procesada del variador.

Dichos cálculos consisten, entre otros, en determinar la posición del rotor del motor (posición teórica del imán de rotor) y de la magnitud de su flujo a partir de medir las corrientes en el motor y de conocer datos característicos del motor utilizado. Los mismos son ingresados, por el operador en la configuración de los datos del motor, previo a la puesta en marcha del variador y por un proceso de auto sintonía que el motor realiza automáticamente con el variador.

Al configurar el variador, en realidad se está dando las características del motor e informando al variador que los algoritmos de control debe utilizar; valores inexactos o incorrectos pueden ocasionar un mal funcionamiento del variador como por ejemplo una mala respuesta dinámica.

Por este método se utiliza los microprocesadores estándar de la industria, se logra un excelente control del torque, desde la velocidad nominal del motor hasta 1% de dicha velocidad nominal.

2.10.4 Control Vectorial de Lazo Cerrado.

Existen diversas aplicaciones que requieren distribuir el torque nominal, con el motor detenido, por ejemplo aplicaciones en medios de transporte vertical como grúas y ascensores, también otros dispositivos industriales como bobinadores, des-bobinadores, tractores de material, entre otros.

Dadas las alinealidades del motor asincrónico cuando gira a baja velocidad, la realización de los cálculos vectoriales consiste en el uso de microprocesadores de mayor capacidad de cálculo y software más complejo. En el estado del arte actual, es más económico, realizar la medición de la posición del rotor en lugar de calcularla a través de algoritmos en el microprocesador. Por lo tanto, para control del torque en toda la gama de velocidad (aun detenido) los variadores incorporan la medición, a través de un transductor, de la posición del rotor. Los elementos más comunes utilizados actualmente, debido a su costo y simplicidad, son los *encoders* incrementales.

La inclusión del dispositivo de medición o realimentación de la posición del rotor genera un lazo cerrado de control de la velocidad y el torque del motor que dio su nombre característico a esta tecnología de variadores. A pesar de no ser las únicas, son quizás las más comunes en función del estado actual de la tecnología y su costo.

Ellas se diferencian entre sí, fundamentalmente por:

- Su capacidad para controlar el torque en toda la gama de velocidades del motor.
- Su rapidez de respuesta.

Sin embargo, dichas diferencias no son una figura de mérito, calidad o confiabilidad. Simplemente tienen rangos de aplicación diferentes y requieren para un funcionamiento satisfactorio una correcta selección en función de la aplicación.

2.11 Principales funciones de los variadores de velocidad electrónicos.

Aceleración controlada.- La aceleración del motor se controla mediante una rampa de aceleración lineal o en S. Generalmente, esta rampa es controlable y permite por tanto elegir el tiempo de aceleración adecuado para la aplicación.

Variación de velocidad.- Un variador de velocidad no puede ser al mismo tiempo un regulador. En este caso, es un sistema rudimentario, que posee un mando controlado mediante las magnitudes eléctricas del motor con amplificación de potencia, pero sin bucle de realimentación (es lo que se llama en bucle abierto). La velocidad del motor se define mediante un valor de entrada (tensión o corriente) llamado consigna o referencia, para un valor dado de la consigna, esta velocidad puede variar en función de las perturbaciones (variaciones de la tensión de alimentación, de la carga, de la temperatura). El margen de velocidad se expresa en función de la velocidad nominal.

Regulación de la velocidad.- Un regulador de velocidad, es un dispositivo controlado y posee un sistema de mando con amplificación de potencia y un bucle de alimentación denominado bucle abierto. La velocidad del motor se define mediante una consigna o referencia. El valor de la consigna se compara permanentemente con la señal de alimentación, (imagen de la velocidad del motor). Esta señal la suministra un generador tacométrico o un generador de impulsos colocado en un extremo del eje del motor. Si se detecta una desviación, como consecuencia de una variación de velocidad, las magnitudes aplicadas al motor (tensión y/o frecuencia) se corrigen automáticamente para volver a llevar la velocidad a su valor inicial.

Gracias a la regulación, la velocidad es prácticamente insensible a las perturbaciones. La precisión de un regulador se expresa generalmente en % del valor nominal de la magnitud a regular.

Desaceleración controlada.- Cuando se desconecta un motor, su deceleración se debe únicamente al par resistente de la máquina (deceleración natural). Los arrancadores y variadores electrónicos permiten controlar la deceleración mediante una rampa lineal o en S, generalmente independiente de la rampa de aceleración. Esta rampa puede ajustarse de manera que se consiga un tiempo para pasar de la velocidad de régimen fijada a una velocidad intermedia o nula.

Si la deceleración deseada es más rápida que la natural, el motor debe desarrollar un par resistente, que se debe sumar al par resistente de la máquina; se habla entonces de frenado eléctrico, el cual puede efectuarse reenviando energía a la red de alimentación, o disipándola en una resistencia de frenado. Si la deceleración deseada es más lenta que la natural, el motor debe desarrollar un par motor superior al par resistente de la máquina y continuar arrastrando la carga hasta su parada.

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

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

Protección integrada.- Los variadores modernos aseguran tanto la protección térmica de los motores como su propia protección. A partir de la medida de la corriente y de una información sobre la velocidad (si la ventilación del motor depende de su velocidad de rotación), un microprocesador calcula la elevación de temperatura de un motor y suministra una señal de alarma o de desconexión en caso de calentamiento excesivo. Además, los variadores y especialmente los convertidores de frecuencia, están dotados de protecciones contra:

- Los cortocircuitos entre fases y entre fase y tierra.
- Las sobretensiones y las caídas de tensión.
- Los desequilibrios de fases.
- El funcionamiento en monofásico.

2.12 Factores a considerar al diseñar un sistema de regulación de velocidad.

- ✓ Límites en la gama de regulación.
- ✓ Progresividad o flexibilidad de regulación.
- ✓ Rentabilidad económica.
- ✓ Estabilidad de funcionamiento a una velocidad dada.
- ✓ Sentido de la regulación (aumento o disminución de la velocidad nominal).
- ✓ Carga admisible a las diferentes velocidades.
- ✓ Tipo de carga (par constante, potencia constante, etc.).
- ✓ Condiciones de arranque y frenado.
- ✓ Condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc.).
- ✓ Tipo de motor (potencia, corriente, voltaje, etc.).
- ✓ Rangos de funcionamiento (velocidad máxima y mínima).

- ✓ Aplicación mono o multimotor.
- ✓ Consideraciones de la red (micro-interrupciones, fluctuaciones de tensión, armónicos, factor de potencia, corriente de línea disponible, entre otros).

2.13 Ventajas de un variador de velocidad en el arranque de motores asíncronos

Las ventajas son las siguientes:

- Los variadores reflejan hacia la red un buen factor de potencia (Fp), con eso la red no se afecta y no se debe preocupar por bajo Fp o por bancos de capacitores.
- El segundo motivo en el que los variadores, pueden ayudar a controlar el consumo eléctrico, es al tener los variadores una función de arranque suave, se logra eliminar los picos de demanda que generan los motores en el arranque. Un motor consume de 6 a 7 veces su corriente nominal (I_n) en arranque directo, mientras que conectado a un variador solamente consume 2 a 3 veces su I_n . Si estos arranques y paros continuos se dan en las horas de mayor demanda; puede representar un pago adicional por consumos picos. La ventaja sobre los arrancadores suaves, es que cuando estos llegan al voltaje nominal del motor, entra a trabajar el contactor de *bypass* y el motor queda conectado directamente a la red, reflejando el factor de potencia real.
- Existen aplicaciones en donde los variadores de frecuencia sí pueden ahorrar energía, en un 30% y algunos hasta el 50%; en aplicaciones de bombas o ventiladores que no giren a su velocidad nominal, durante todo el tiempo de trabajo. De esta manera, se consigue un ahorro de energía cuando el motor funcione parcialmente cargado, con acción directa sobre el factor de potencia.
- El variador de velocidad no tiene elementos móviles, ni contactos.
- La conexión del cableado es muy sencilla.

- Permite arranques suaves, progresivos y sin saltos.
- Controla la aceleración y el frenado progresivo.
- Limita la corriente de arranque.
- Permite el control de rampas de aceleración y deceleración regulables.
- Puede detectar y controlar la falta de fase a la entrada y salida de un equipo. Con esto se tiene una protección adicional al motor.
- Puede controlarse directamente a través de un autómatas o microprocesador.
- Se obtiene un mayor rendimiento del motor.
- Permite ver las variables (tensión, frecuencia, r.p.m., entre otros).

2.14 Desventajas del variador de velocidad en el arranque de motores asíncronos.

Las desventajas son las siguientes:

- Es un sistema costoso, pero rentable a largo plazo.
- Requiere estudio de las especificaciones del fabricante.
- Requiere un tiempo prudente, para realizar la programación.

2.15 Aplicaciones de los variadores de velocidad.

Los motores son un eslabón de los procesos industriales aplicándose éstos en bombas, ventiladores, bandas transportadoras, molinos etc. En éstos la variación de la velocidad se vuelve necesaria para desarrollar muchas de sus aplicaciones, y trabajar sólo a la velocidad nominal del motor se convierte en una limitante.

Para poder realizar la variación de velocidad en los motores, se utilizan los variadores de velocidad, los cuales se encargan de controlar el funcionamiento del motor, regulando su velocidad para ajustarla a la demandada del proceso, tal como se muestra en la figura 3.33 a, b, y c).

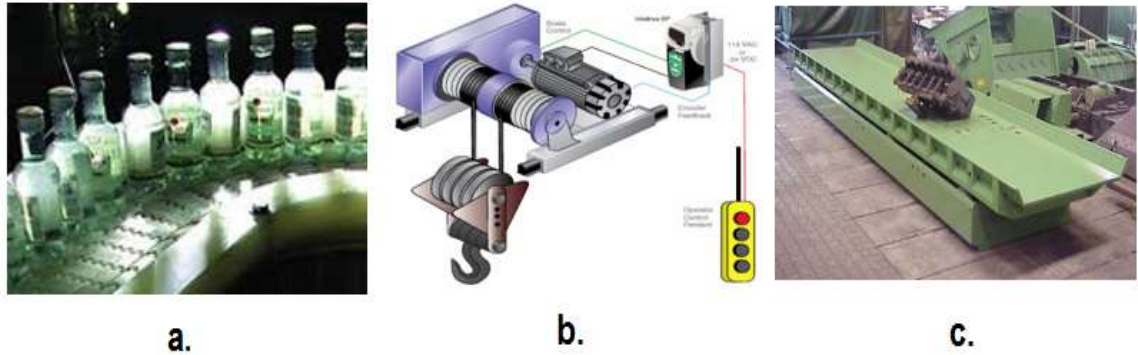


Figura 2. 33. Distintas aplicaciones de los variadores de velocidad en la industria.

Fuente: El autor

Los variadores de frecuencia y sus principales aplicaciones son las siguientes:

- ✚ **Transportadoras:** Controlan y sincronizan la velocidad de producción de acuerdo al tipo de producto que se transporta, para dosificar, para evitar ruidos y golpes en transporte de botellas y envases, para arrancar suavemente y evitar la caída del producto que se transporta.
- ✚ **Bombas y ventiladores centrífugos:** Controlan el caudal, se usa en sistemas de presión constante y volumen variable. En este caso se obtiene un gran ahorro de energía porque el consumo varía con el cubo de la velocidad, o sea que para la mitad de la velocidad, el consumo es la octava parte de la nominal.
- ✚ **Bombas de desplazamiento positivo:** Control de caudal y dosificación con precisión en la velocidad. Tales como: bombas de tornillo o de engranaje. Para transporte de pulpa de fruta, pasta, concentrados mineros, aditivos químicos, chocolates, miel, barro, etc.
- ✚ **Ascensores y elevadores:** Para arranque y parada suaves manteniendo la carga del motor constante, y diferentes velocidades para aplicaciones distintas.
- ✚ **Extrusoras:** Se obtiene una gran variación de velocidades y control total de la carga del motor.

- ✚ **Centrífugas:** Se consigue un arranque suave evitando picos de corriente y velocidades de resonancia.
- ✚ **Prensas mecánicas y balancines:** Se consiguen arranques suaves y mediante velocidad baja en el inicio de la tarea, se evitan los desperdicios de materiales.
- ✚ **Máquinas textiles:** Para distintos tipos de materiales, inclusive para telas que no tienen un tejido simétrico se pueden obtener velocidades del tipo *Random* para conseguir telas especiales.
- ✚ **Compresores de aire:** Se obtienen arranques suaves con máxima carga y menor consumo de energía en el arranque.
- ✚ **Pozos petrolíferos.** Se usan para bombas de extracción, con velocidades de acuerdo a las necesidades de variación de caudal

CAPÍTULO III: COMPONENTES DEL MÓDULO MICROMASTER 440

3.1 Reconstrucción del Módulo Micromaster 440

Para la construcción del módulo micromaster 440 se consideran las medidas de cada uno de los elementos que forman el circuito de control para el motor eléctrico de 3hp. En las figuras 3.1 y 3.2 muestran planos del módulo realizado en Autocad.

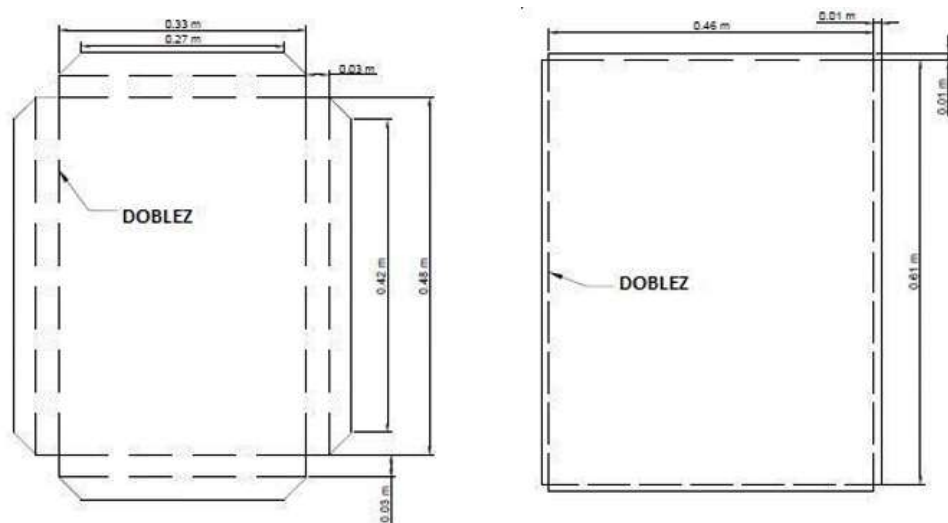


Figura 3. 1. Planos de módulo realizado en autocad

Fuente: El autor

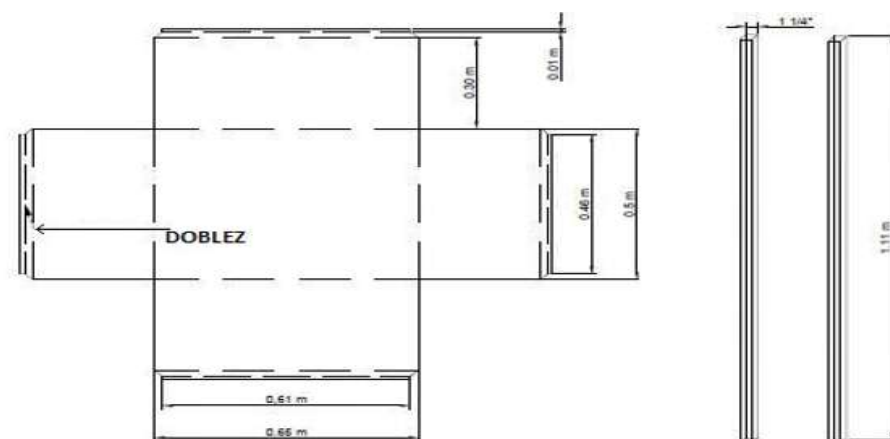


Figura 3. 2. Gabinete y Tubos de estructura del Módulo.

Fuente: El autor

En la figura 3.3 muestran el diseño en 3d con las medidas respectivas, según el diseño antes mencionado.

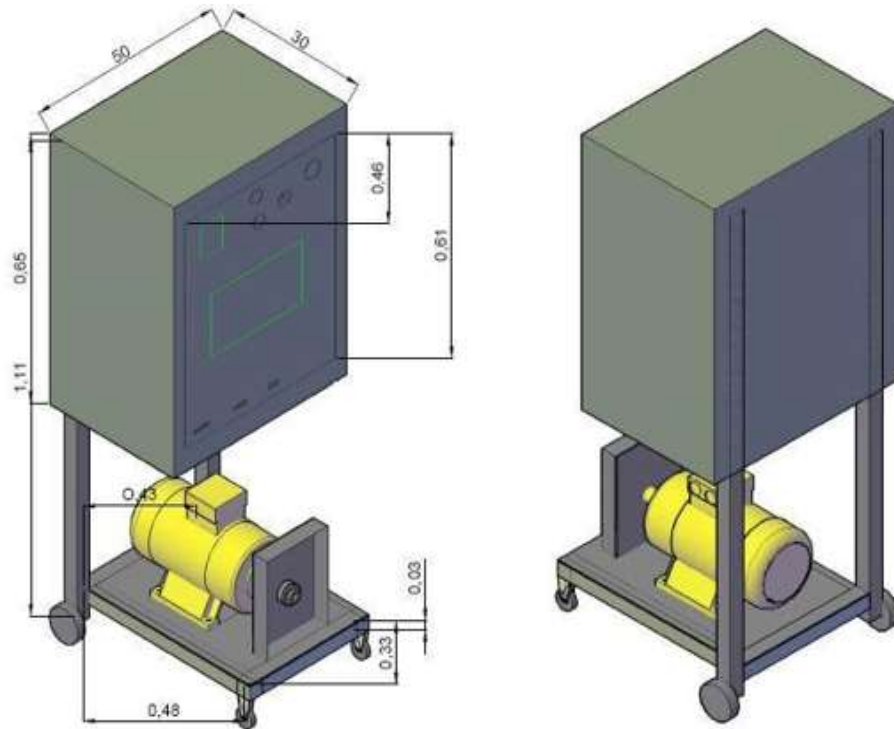


Figura 3. 3.Vista frontal y vista posterior del Módulo

Fuente:El autor

3.2Reconstrucción del Módulo Micromaster440

En la construcción del módulo de pruebas se realizó un taller de metalmecánica (ver figura 3.4). Para el gabinete y la base se utilizó plancha de hierro negro de 1.5mm y para la estructura se usó tubos cuadrados de 1¼"x1,5 mm.



Figura 3. 4. Reconstrucción del módulo Micromáster 440

Fuente: El autor

El gabinete que contiene los elementos y conexiones cuenta con las siguientes medidas: Ancho: 50 cm, Alto: 65 cm, Profundidad: 30 cm. y las medidas totales del Módulo son: Ancho: 50 cm, Alto: 110 cm, Profundidad: 30 cm.

3.3 Conexión y montaje de componentes en el módulo de pruebas.

Para comprender mejor, a continuación, se describe la conexión de componentes que se encuentran en el módulo Micromaster440. La alimentación eléctrica al módulo se la realiza a través de un enchufe de 32A - 12h - 4 pines (ver figura 3.5), el mismo que alimenta al guardamotor con 230V-3 ϕ . Luego éste al contactor, para luego continuar hacia el variador de frecuencia MicroMaster 440 y así realizar la regulación de velocidad al motor trifásico de 3HP - 230VAC.



Figura 3. 5. Enchufe de 32A - 12h - 4 pines.

Fuente: El autor

El módulo del Micromaster440 está compuesto internamente por equipos de protección, equipos de control y componentes de medición, los cuales están conectados por borneras y cables, las borneras están divididas en grupos para que sea más fácil su conexión.

En las siguientes figuras (3.7, 3.8 y 3.9) se puede observar el diseño de control, fuerza y equipos, según su ubicación dentro del módulo.

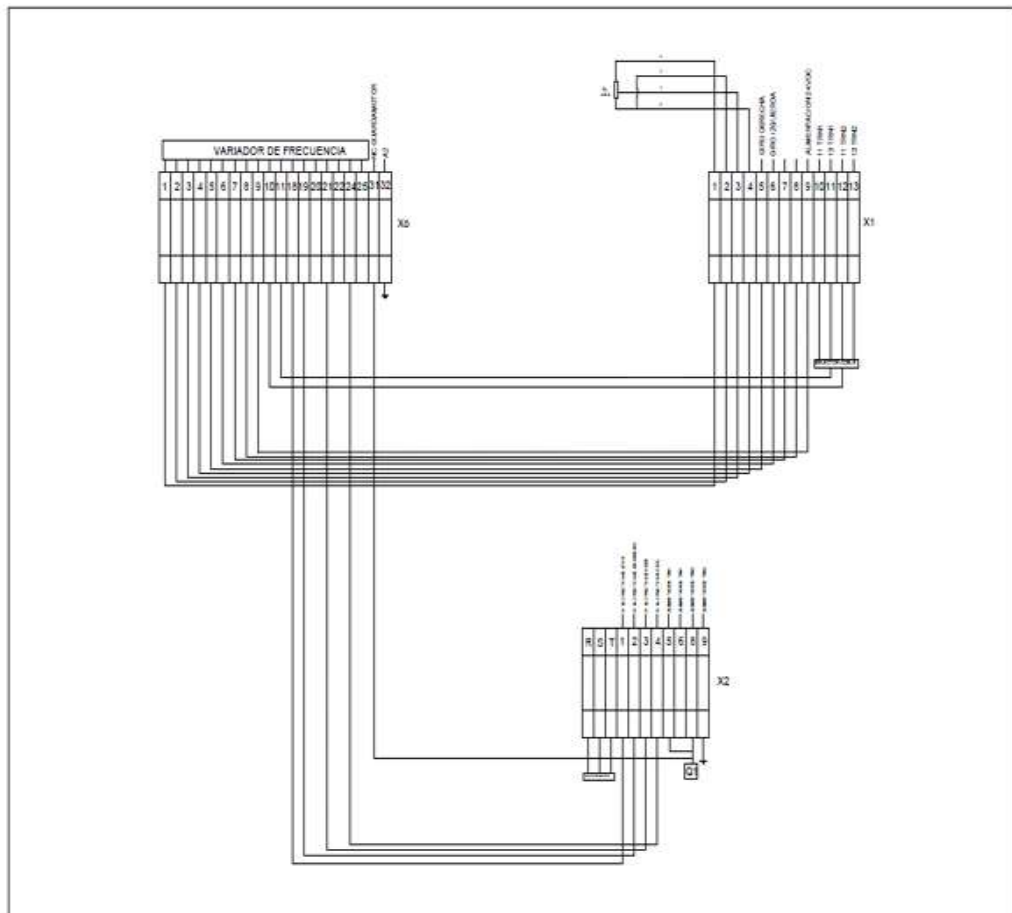


Figura 3. 6. Diagrama de conexiones desde las borneras a cada componente.

Fuente: El autor

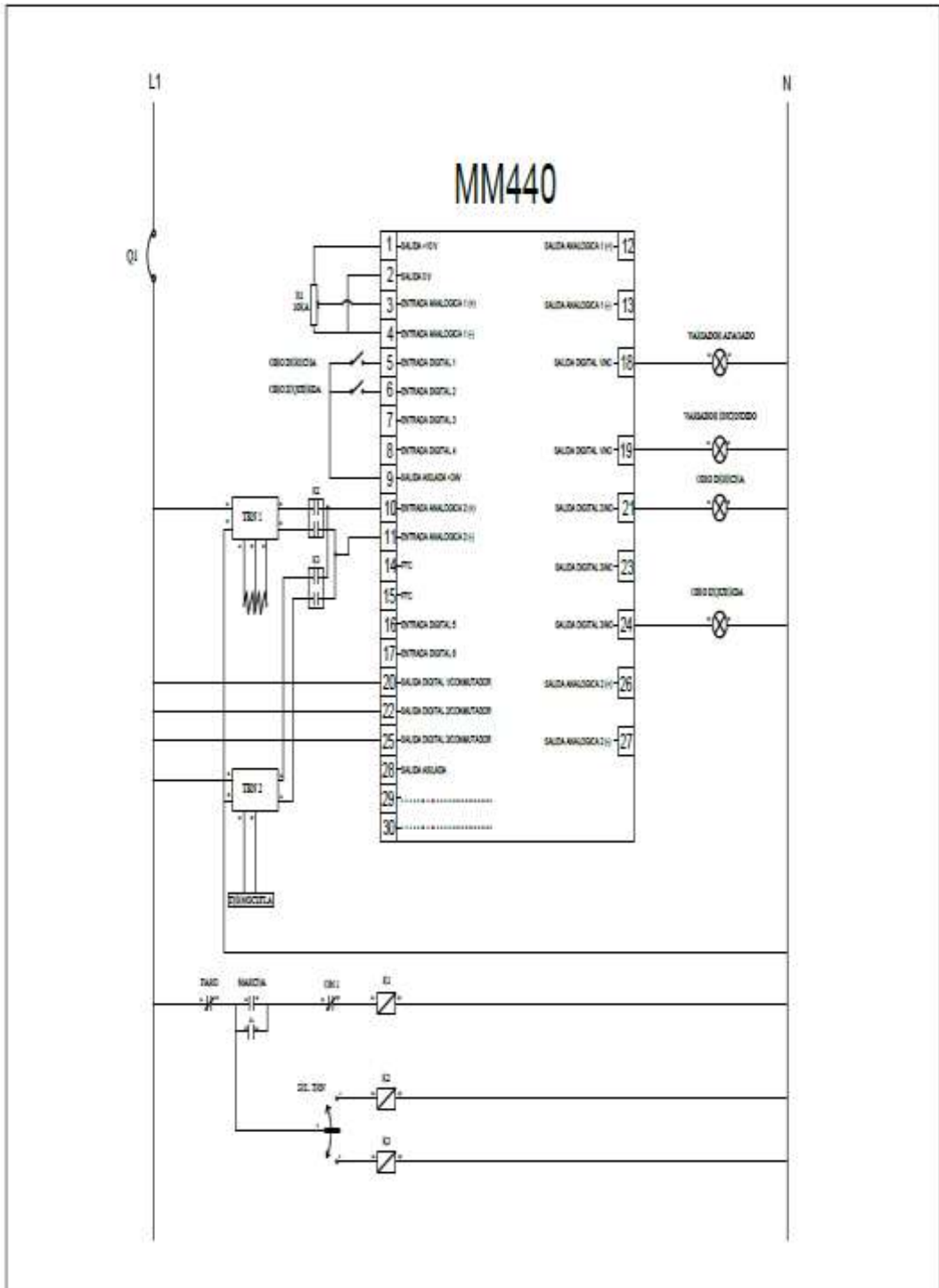


Figura 3. 7. Diagrama de control del módulo de pruebas.

Fuente:El autor

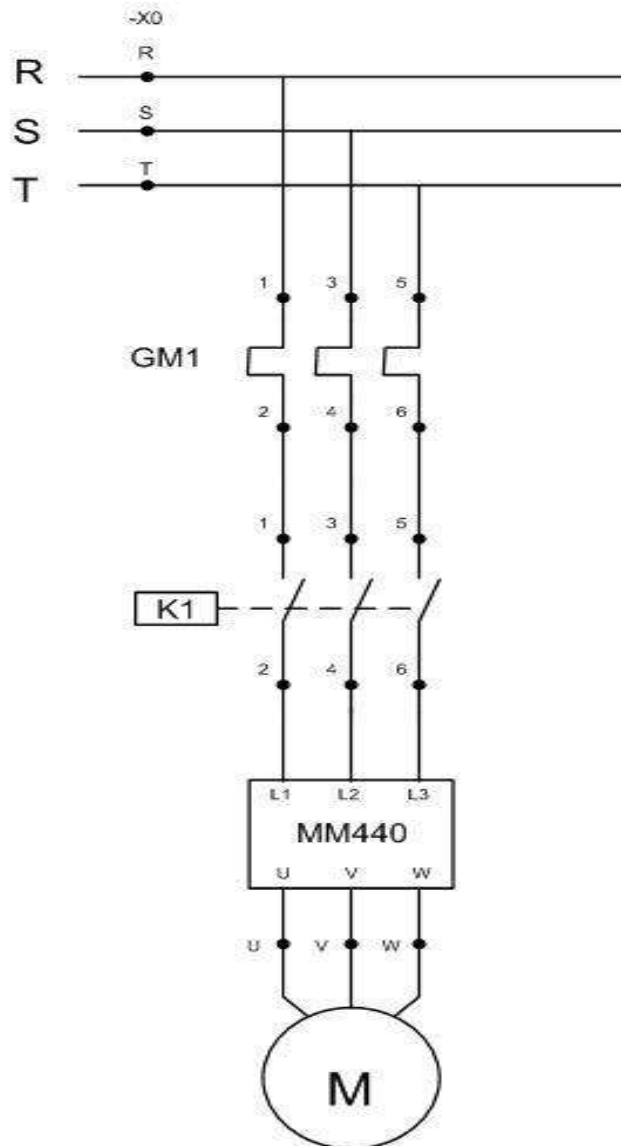


Figura 3. 8. Diagrama de fuerza del módulo de pruebas.

Fuente:El autor

3.4 Descripción de los componentes delMódulo.

3.4.1 Variador de Frecuencia Micromaster 440.

Este tipo de variador de frecuencia se caracteriza por su versatilidad y sencillez al ponerlo en servicio, debido a una gestión optimizada de control y datos. Las terminales de control integradas junto con la unidad de control,

proporcionan información fácilmente comprensible acerca del estado de accionamiento exacto.

Otras interfaces como RS232 o PROFIBUS, permiten aplicaciones multipunto (hasta para 32 estaciones) y el enlace a los sistemas de PC y de visualización modernos. El variador de frecuencia se encarga del control para la variación de velocidad del motor de inducción; para ello se utilizó el MICROMASTER 440 (ver figura 3.9), con el software STARTER utilizado para la programación de Variadores Siemens.

La comunicación es con protocolo de interface en serieuniversal (USS-*UniversellesSeriellesSchnittstellenProtokoll*), por medio de un cable con conectores tipo RS232 y USB. El software facilita la programación del variador, el cual se puede visualizar el comportamiento del motor al momento de arrancar; como así también se pueden ver y corregir las fallas en caso de una mala programación o alguna avería.



Figura 3. 9Variador de frecuencia Micromaster 440.

Fuente:(SIEMENS, 2017)

3.4.2 Características del variador de velocidad.

Las principales características del variador son las siguientes:

Fácil de instalar, programar y poner en servicio.

- Diseño robusto en cuanto a CEM.
- Puede funcionar en alimentación de línea IT.
- Tiempo de respuesta a señales de mando rápido y repetible.
- Amplio número de parámetros que permite la configuración de varias aplicaciones.
- Conexión sencilla de cables.
- Relés de salida.
- Salidas analógicas (0 – 20 mA.).
- 6 entradas digitales NPN/PNP aisladas y conmutables.
- Entradas analógicas: AIN1: 0 – 10 V, 0 – 20 mA. y -10 a +10 V.
- AIN2: 0 – 10 V, 0 – 20 mA.
- Las 2 entradas analógicas se pueden utilizar como la 7ma y 8va entrada digital
- Tecnología BiCo.
- Diseño modular para configuración extremadamente flexible.
- Altas frecuencias de pulsación para funcionamiento silencioso del motor.
- Información de estado detallado y funciones de mensaje integradas.
- Comunicación con PC o control con panel BOP (Panel Básico del Operador).

3.4.3 Descripción del BOP (panel de control) y sus funciones

El panel de control nos permite ingresar al programa del variador y así programar los parámetros de arranque del variador, según las características de la carga, tal como muestra el panel de cómo se lo instala y se retira del variador. Ver figura 3.10.

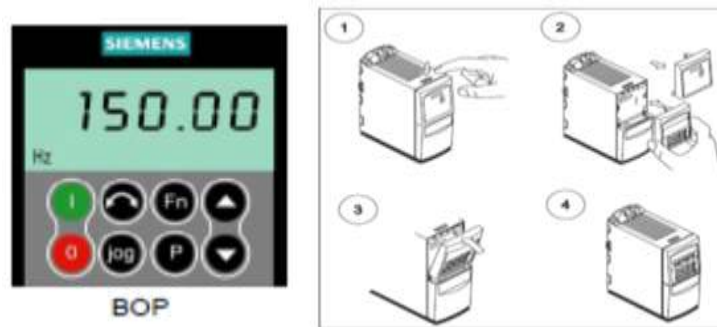


Figura 3. 10. Panel de mando y la forma de remplazar el panel de operador

Fuente:(SIEMENS, 2017)

A continuación, en la tabla 3.1 las funciones de los botones del BOP.

Panel/botón	Función	Efectos
	Indicación de estado	La pantalla de cristal líquido muestra los ajustes actuales del convertidor.
	Marcha	Al pulsar este botón se arranca el convertidor. Por defecto está bloqueado este botón. Para habilitar este botón, ajustar P0700 o P0719 de la siguiente forma: BOP: P0700 = 1 ó P0719 = 10 ... 16 AOP: P0700 = 4 ó P0719 = 40 ... 46 en interface BOP P0700 = 5 ó P0719 = 50 ... 56 en interface COM
	Parada	OFF1 Pulsando este botón se para el motor siguiendo la rampa de deceleración seleccionada. Por defecto está bloqueado; para habilitarlo → véase botón "Marcha". OFF2 Pulsando el botón dos veces (o una vez prolongada) el motor se para de forma natural (por inercia). Esta función está siempre habilitada.
	Invertir sentido de giro.	Pulsar este botón para cambiar el sentido de giro del motor. El Inverso se indica mediante un signo negativo (-) o un punto decimal intermitente. Por defecto está bloqueado; → véase botón "Marcha".
	Jog motor	Pulsando este botón en estado "Isto" el motor arranca y gira a la frecuencia Jog preseleccionada. El motor se detiene cuando se suelta el botón. Pulsar este botón cuando el motor está funcionando carece de efecto.
	Funciones	Este botón sirve para visualizar información adicional. Pulsando y manteniendo este botón apretado 2 segundos durante la marcha, desde cualquier parámetro, muestra lo siguiente: 1. Tensión del circuito intermedio (Indicado mediante d. unidades en V). 2. Corriente de salida (A) 3. Frecuencia de salida (Hz) 4. Tensión de salida (Indicada mediante o . unidades en V). 5. El valor que se seleccione en P0005 (si P0005 está ajustado para mostrar cualquiera de los valores de arriba (1 - 4) éste no se muestra de nuevo). Pulsando de nuevo circula la sucesión anterior. Función de salto Pulsando brevemente el botón Fn es posible saltar desde cualquier parámetro (rXXXX o PXXXX) a r0000, lo que permite modificar otro parámetro. Una vez retornado a r0000, si pulsa el botón Fn irá de nuevo al punto inicial Anular Cuando aparecen mensajes de alarma y error, se pueden anular, pulsando el botón Fn.
	Acceder a parámetros	Pulsando este botón es posible acceder a los parámetros.
	Subir valor	Pulsando este botón aumenta el valor visualizado.
	Bajar valor	Pulsando este botón disminuye el valor visualizado.
	Menú AOP	Llamada del menú en el AOP (solo si se dispone de AOP).

Tabla 3. 1. Funciones de los botones del BOP

Fuente:(SIEMENS, 2017)

3.4.4 Cableado variador-motor.

El cable entre el variador-motor es realmente una línea de transmisión, por donde circulan corrientes de alta frecuencia. Toda línea de transmisión tiene una atenuación (producto de la derivación capacitiva de energía a masa) que reduce la energía transmitida y que alcanza finalmente el motor. En las instalaciones donde el motor se encuentre lejos del variador (>100 metros) debe considerarse la utilización de conductores acorde a la capacidad o sobredimensionar el variador, para disponer de la energía necesaria para el motor.

No debe descartarse la posibilidad de resonancias, a una frecuencia de operación determinada, que se presenten como un cortocircuito al variador, actuando protecciones del mismo. Dicha línea también puede comportarse como antena radiante y perturbando por radiofrecuencia a otros equipos o instalaciones. Se recomienda minimizar dichos efectos racionalizando el cableado, separando señal de potencia y equipos entre sí utilizando conductores blindados con la conexión adecuada a masa, evitando la formación de lazos a masa que reducen el efecto del blindaje.

3.4.5 Montaje del variador.

El variador de velocidad debido a las energías internas en juego, puede considerarse como un emisor de radiofrecuencia. A fin de limitar este efecto el mismo debería estar conectado en un gabinete metálico que actúe como *Jaula de Faraday*, previendo la conveniente refrigeración térmica al equipo.

3.4.6 Conexión a la red de suministro.

Por el conductor de conexión del variador a la red de suministro circulan corrientes pulsantes que producen caídas alinéales en dicho cable. El fenómeno se denomina reinyección a la fuente, existiendo el riesgo de que, si hubiera otros equipos conectados a la misma línea, vean modificado o perturbado su funcionamiento. La minimización de la reinyección a la fuente

implica la correcta selección del cableado, componentes y distribución; por eso hay que considerar, la utilización de filtros que limiten dicho efecto. Los fabricantes incluyen dichos filtros, en las opciones ofrecidas con el variador.

Asimismo, existe el fenómeno de radiación en el cable, el cual debe tratarse como en los puntos descriptos anteriormente.

3.5 El Guardamotor

Este dispositivo tiene por finalidad, proteger de fallas termomagnéticas a un motor para cuando esté sobrecargado y si la corriente que circula por él es superior al valor que fue ajustado, allí entonces entrará en operación el guardamotor, desconectándolo de la red. Para este trabajo se lo utilizará como protección principal antepuesto al contactor de fuerza. En la figura 3.11 se muestra al guardamotor utilizado en el módulo de pruebas.



Figura 3. 11. Guardamotor trifásico.

Fuente:El autor

3.6 El Contactor

El contactores un elemento de maniobra que puede ser accionado a distancia y está constituido por las siguientes partes: carcasa, electroimán, bobina, núcleo, armadura y bloques de contactos principales y auxiliares. Para el efecto de este trabajo, permite el paso de voltaje de fuerza al variador; en caso de existir alguna falla, se podrá pulsar el botón de parada

de emergencia ubicado en la parte superior del Panel Modular Portátil, el mismo que lo des-energizará por estar alimentada su bobina desde el *breaker* de 1P 5A instalado en el circuito de control. Ver figura 3.12.



Figura 3. 12. Contactor Trifásico Siemens 35Amp.

Fuente:(SIEMENS, 2017)

3.7 El Breaker de control

Es el dispositivo de seguridad, utilizado para proteger el circuito eléctrico de un exceso de corriente. Su componente esencial es un elemento bimetálico que se dilata a una determinada temperatura. Pues, si la corriente del circuito excede del valor predeterminado, el *breaker* abre el circuito. Ver figura 3.13.



Figura 3. 13. *Breaker* de control.

Fuente:El autor

3.8 Motor de Inducción Trifásico.

Las características del motor de inducción trifásico, son los siguientes:

- Potencia: 3HP.Marca: Baldor
- Velocidad: 1730R.p.m.
- Voltaje: 220/440V Trifásico. Su diagrama de conexiones (figura 3.14).
- Factor de servicio: 1,5.
- Temperatura: 40° C ambiente- continuo
- Rodamientos de bolas.



Figura 3. 14. Motor trifásico

Fuente:El autor

3.9 Sistema de Poleas con Correa/Banda

El sistema de poleas con correa más simple consiste en dos poleas situadas a cierta distancia, que giran a la vez por efecto del rozamiento de una correa con ambas poleas. Las correas suelen ser cintas de cuero flexibles y resistentes. Es este un sistema de transmisión circular puesto que ambas poleas poseen movimiento circular.

En los sistemas de poleas con correa se tienen los siguientes elementos (ver figura 3.16), los cuales se detallan a continuación:

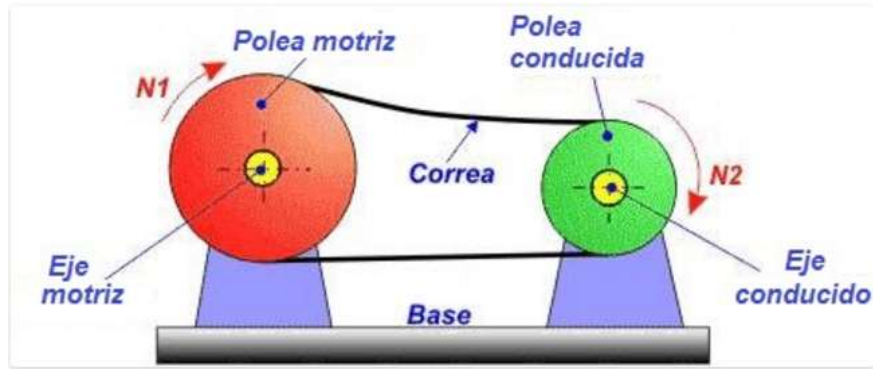


Figura 3. 15. Sistemas de poleas con correa/banda

Fuente:(EUDOTEC, 2013)

- **Eje motriz:** Es el eje que dispone del movimiento que queremos trasladar o transformar (en una lavadora sería el propio eje del motor).
- **Eje conducido:** Es el eje que tenemos que mover (en una lavadora sería el eje al que está unido el bombo).
- **Polea motriz:** Llamada también polea conductora, la que está unida al eje conductor (eje que tiene movimiento propio, causado por un motor, manivela).
- **Polea conducida:** Es la que está unida al eje conducido, es decir al eje que tenemos que mover.
- **La correa de transmisión:** Es una cinta o tira cerrada de cuero, caucho u otro material flexible que permite la transmisión del movimiento entre ambas poleas. La correa debe mantenerse lo suficientemente tensa pues, de otro modo, no cumpliría su cometido satisfactoriamente.
- **La base:** Es la encargada de sujetar ambos ejes y mantenerlos en la posición adecuada. En algunas máquinas este operador dispone de un mecanismo que permite aumentar o disminuir la distancia entre los ejes para poder tensar más o menos la correa(EUDOTEC, 2013).

3.9.1 Ventajas de un Sistema de Poleas con Correa

Los sistemas de poleas con correa muestran una serie de ventajas, las cuales hacen que hoy en día sean de uso frecuente. A continuación, se puede ver algunas de ellas:

1. Posibilidad de transmitir un movimiento circular entre dos ejes situados a grandes distancias entre sí.
2. Funcionamiento suave y silencioso.
3. Diseño sencillo y costo de fabricación bajo.
4. Si el mecanismo se cierra, la correa puede desprenderse y por tanto, se para. Este efecto contribuye a la seguridad probada de muchas máquinas que emplean este mecanismo como pueden ser taladros industriales.

3.9.2 Desventajas de un Sistema de Poleas con Correa

1. Este mecanismo ocupa demasiado espacio.
2. La correa puede patinar si la velocidad es muy alta con lo cual no se garantiza una transmisión efectiva.
3. La potencia que se puede transmitir es limitada.

Aplicaciones: Este mecanismo es fundamental en los motores de los automóviles, ya que la transmisión circular entre diferentes ejes de los mismos se hace con correas. Se ha escuchado muchas veces de la correa de transmisión (o de distribución) del carro. Pues bien, es esencial para el funcionamiento del ventilador de refrigeración, el alternador, etc.

Para ampliar la eficacia de este mecanismo, se pueden incorporar los siguientes operadores:

La polea tensora es una polea que apoya sobre la correa y permite aumentar o disminuir su tensión apropiadamente. No obstante, puede deslizarse sobre una guía a la que se sujeta mediante un tornillo que también hace de eje. Ver figura 3.16.

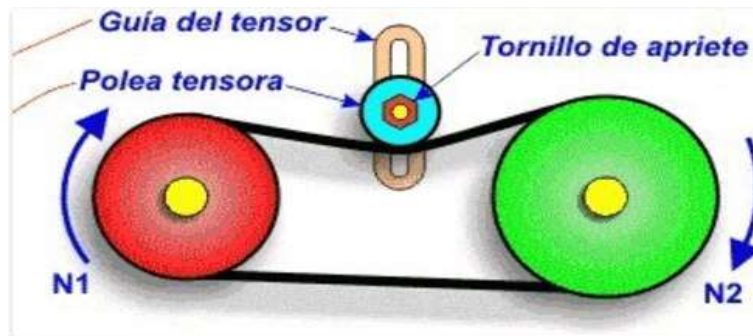


Figura 3. 16 Polea tensora

Fuente: (EUDOTEC, 2013)

La polea loca podría ser similar a una polea como la anterior o estar formada por dos poleas solidarias de igual o diferente diámetro que no mueven ningún eje motriz. Permiten enlazar dos correas y tensarlas, multiplicar velocidades, modificar la dirección de la fuerza. Ver figura 3.17.

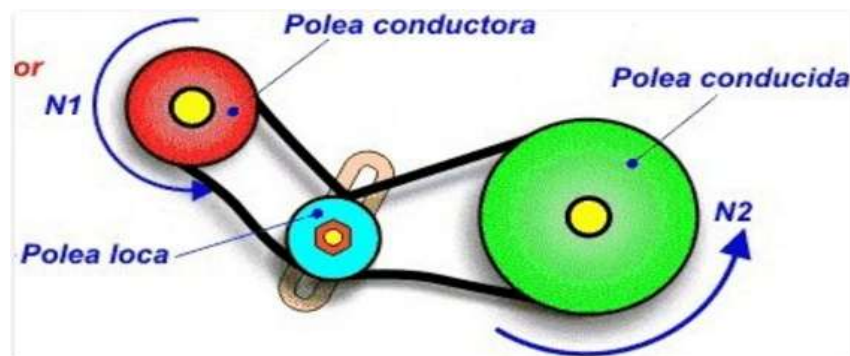


Figura 3. 17. Polea loca

(EUDOTEC, 2013)

3.9.3 Cálculo de RPM con Polea

La transmisión de movimientos entre dos ejes mediante poleas, está en función de los diámetros de éstas, cumpliendo en todo momento lo siguiente:

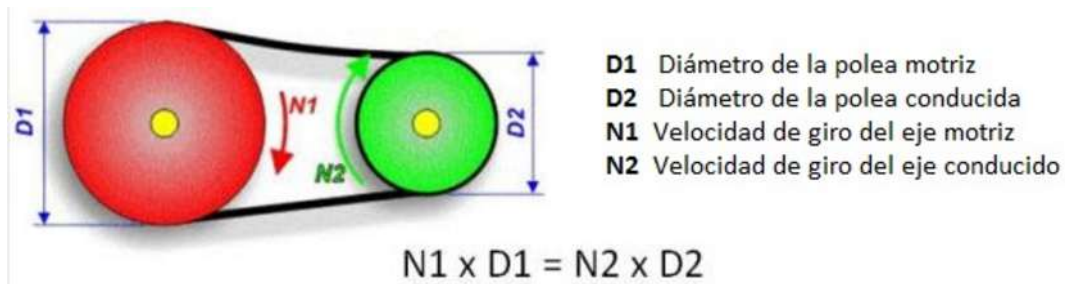


Figura 3. 18. RPM con polea

Fuente: (EUDOTEC, 2013)

Posibilidades en un sistema de poleas con correa

Teniendo en consideración la relación de velocidades que se establece en función de los diámetros de las poleas, con una correcta elección de diámetros se podrá aumentar, disminuir o mantener la velocidad de giro del eje conductor en el conducido.

Disminuir la velocidad de giro

Si el diámetro de la polea motriz es menor que el diámetro de la polea conducida, la velocidad de giro del eje conducido será menor que la del eje motriz. Ver figura 3.19.

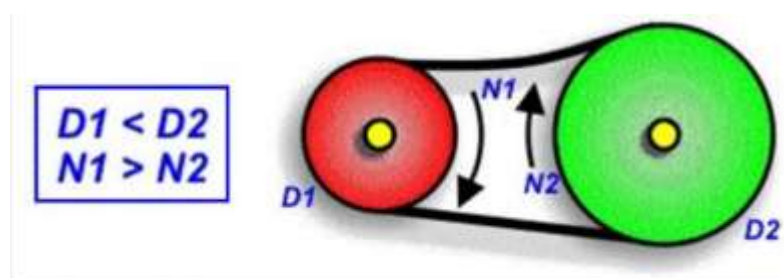


Figura 3. 19. Velocidad del giro reducido

Fuente:(EUDOTEC, 2013)

Mantener la velocidad de giro

Cuando las poleas tienen igual diámetro, las velocidades de los ejes serán también iguales. Ver figura 3.20.

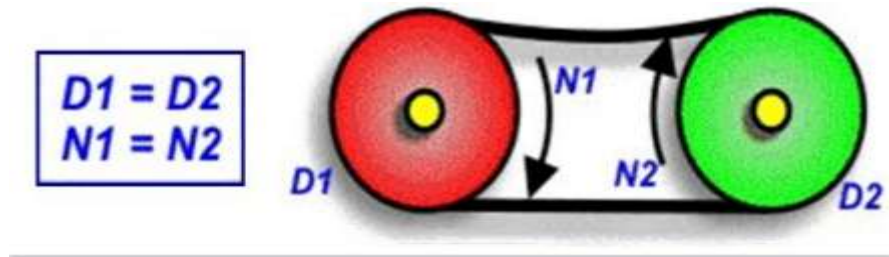


Figura 3. 20. Velocidad de giro estable

Fuente:(EUDOTEC, 2013)

Aumentar la velocidad de giro

Si la polea motriz tiene mayor diámetro que la conducida, la velocidad de giro aumenta. Ver figura 3.21.

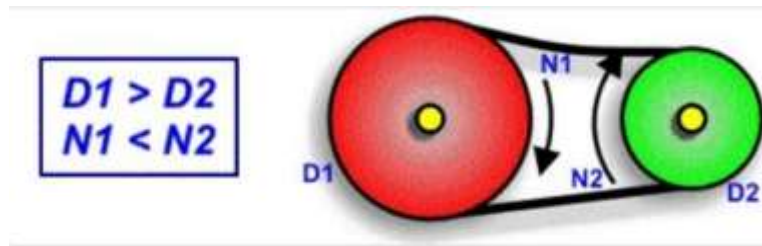


Figura 3. 21. Aumento de velocidad del giro

Fuente: (EUDOTEC, 2013)

Invertir el sentido de giro

Empleando poleas y correas también es posible invertir el sentido de giro de los dos ejes sin más que cruzar las correas. Ver figura 3.22.

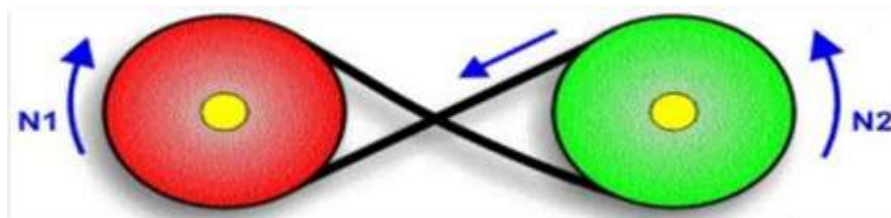


Figura 3. 22. Sentido de giros invertidos

Fuente:(EUDOTEC, 2013)

A continuación, se define la relación de transmisión (i) como la relación que existe entre la velocidad del eje conducido (N_2) y la velocidad del eje motriz (N_1).

$$i = \frac{\text{Velocidad del eje conducido}}{\text{Velocidad del eje conductor}} = \frac{\text{Diámetro de la polea conductora}}{\text{Diámetro de la polea conducida}}$$

$$i = \frac{N_2}{N_1} = \frac{D_1}{D_2}$$

Esta expresión es válida para todos los sistemas de transmisión circular que se tratarán en adelante.

La relación de transmisión, como su nombre indica, es una relación de dos cifras, no una división.

Ejemplo 1- Consideremos un sistema de modo que:

N_1 = velocidad de la polea motriz (entrada) es de 400 rpm.

N_2 = velocidad de la polea conducida (salida) es de 100 rpm.

Hallar la relación de transmisión y determinar si el sistema es reductor o multiplicador. En este caso, la relación de transmisión es:

$$i = \frac{N_2}{N_1} = \frac{100}{200} = \frac{1}{2} \text{ (tras simplificar) la relación es 1 a 2}$$

Una relación de transmisión 1:2 significa que la velocidad del eje conducido es cinco veces mayor que la del eje conductor.

La relación de transmisión también se puede calcular teniendo en cuenta el tamaño o diámetro de las poleas.

$$i = \frac{D_1}{D_2}, \text{ donde}$$

D_1 = diámetro de la polea motriz.

D_2 = diámetro de la polea conducida.

Sin embargo, se puede calcular la velocidad de los ejes, a partir de los tamaños de las poleas.

$$N1 * D1 = N2 * D2$$

Por Ejemplo:

Se tiene un sistema de poleas de modo que la polea conducida tiene 40 cm de diámetro y el motriz 8 cm de diámetro. Si el eje motriz gira a 200 rpm

- a. Halla la relación de transmisión
- b. Halla la velocidad del eje conducido
- c. ¿Es un reductor o un multiplicador?

Datos:

N1 = velocidad del eje motriz es de 200 rpm.

N2 = velocidad del eje conducido es la incógnita

D1 = diámetro de la polea motriz es 8 cm

D2 = diámetro de la polea conducida es 40 cm

Solución

a. $i = \frac{D1}{D2} = \frac{8}{40} = \frac{1}{5}$ La relación es de 1 a 5

b. $N1 * D1 = N2 * D2$

$$N2 = \frac{200 \text{ r.p.m} * 8 \text{ cm}}{40 \text{ cm}} = 40 \text{ rpm}$$

$$200 \text{ rpm} * 8 \text{ cm} = N2 * 40 \text{ cm}$$

$$N2 = 40 \text{ rpm}$$



Velocidad del eje conducido es 40 r.p.m.

c. Es un reductor porque la velocidad del eje conducido es menor que la velocidad del eje de motriz (N2 < N1).

3.10 Ventilador tipo turbina

En el mercado existen diversos tipos, modelos y marcas de ventiladores que se utilizan para la implementación de turbinas. Entre las marcas más destacadas para el sector industrial se encuentran: *Aether*, *Greenheck*, *York*, *Lennox* y *Dayton*.

Entre los tipos de ventiladores están los ventiladores axiales (aletas), extractores tipo hongo y ventiladores, ventiladores radiales y de media presión y extractores de una entrada los ventiladores de doble entrada. En la figura 3.23 se puede ver los diferentes modelos de ventiladores y sus respectivas características.

Modelos	Características
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ventilador centrífugo 9/9 de doble aspiración con motor directo. ✓ Turbina con álabes hacia delante. ✓ Ventilador envolvente de acero galvanizado. ✓ Ventiladores de doble aspiración. ✓ Con pies de soporte. ✓ Motor cerrado con protector térmico clase F. ✓ Monofásico 220V. 0,25KW / 0,33Cv. ✓ 900 revoluciones por minuto. ✓ Caudal 2700 m³/h ✓ Temperatura máxima del aire a transportar: - 20°C + 60°C.
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Envolvente en chapa de acero galvanizado. ✓ Turbina con álabes hacia adelante, en chapa de acero galvanizado. ✓ Rodamientos soportados con amortiguadores de goma para evitar vibraciones. ✓ Estructura cúbica de gran rigidez para reforzar la envolvente. ✓ Acabado anticorrosivo en chapa de acero galvanizado.

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Turbina con álabes hacia delante, en chapa de aluminio ✓ CMP/AL: Envoltente en chapa de aluminio ✓ CJMP/AL: Estructura en chapa de acero galvanizado
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Envoltente en chapa de acero ✓ Turbina con álabes a reacción, en chapa de acero ✓ Trampilla de inspección ✓ CBPC: con salida vertical

Figura 3. 23 Modelos de ventiladores y sus características

Fuente: (SODECA, 2017)

CAPÍTULO IV: FABRICACIÓN DE TURBINA PARA MOTOR AC

Para el diseño de la carga (turbina tipo ventilador) se realizó un diseño en *Autocad* para poder obtener un diseño adecuado con el módulo Micromaster 440, el cual se encuentra en el laboratorio de Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo de la FETD. Las medidas son de 120 cm de alto, 90 de ancho; pues, el módulo tiene en su composición un eje que fue sostenido por dos chumaceras de la turbina, en un lado del eje lleva una polea, lo cual se ajustó por medio de una banda al motor del módulo Micromaster 440.

4.1 Eje de la turbina

En la figura 4.1 se puede observar la fabricación del eje, el cual se realizó en un torno para poder obtener la medida requerida para la instalación de las chumaceras (rulimanes).



Figura 4. 1. Construcción del eje de 1 pulgada

Fuente: El autor

Para la construcción de este módulo se ha hecho referencia al diseño que se mencionó con anterioridad, pues, se procedió a realizar la construcción de la base que sostiene los componentes mecánicos como (la

turbina, el eje, las chumaceras, etc.). La base se hizo según las medidas mencionadas previamente.



Figura 4. 2. Terminación del eje

Fuente: El autor

En la figura 4.2 se puede ver la terminación del eje, después se procedió a realizar la verificación de su medida mediante la instalación de la chumacera para ver si el acabado es el indicado para que no presente ningún problema al momento de su operación cuando este acoplado todo el sistema.



Figura 4. 3 Limpieza y construcción de los componentes (polea y turbina)

Fuente: El autor

En la figura 4.3 se observa la limpieza y construcción de los diferentes componentes restantes para la fabricación del módulo de prueba.

4.2 Construcción de mecanismo para turbinas

En las siguientes figuras se aprecian el proceso de construcción del mecanismo para el accionamiento de turbina conectado al motor trifásico de 3HP. La turbina se lo puede denominar actuador, esta debe realizar los giros de aspas a través de un sistema de transmisión que utiliza poleas y una banda.

Este proceso representa la carga para el motor. Véase figuras 4.4, 4.5 y 4.6.



Figura 4. 4. Construcción de mecanismo para transmisión de velocidad.

Fuente: El autor

Se aprecia la turbina con eje y polea, según cálculos realizados, esta tiene polea debe tener dimensiones de 21 cm x 2cm.



Figura 4. 5. Colocación de banda en las poleas

Fuente: El autor



Figura 4. 6. Instalación de protector para transmisión con banda

Fuente: El autor

4.3 Dimensionamiento de polea y banda

En base a cálculos aplicados a transmisión con polea se determinó que la polea para eje motriz tendrá dimensiones de 21 cm x12 m para la polea de eje motriz. Y el número de la banda para el tipo de polea seleccionado.

Una transmisión por correa de transmisión bien diseñada será la potencia de transmisión durante muchos años con un mantenimiento mínimo. Como tal, la inversión en los cinturones de alta calidad reduce el coste total de propiedad de su maquinaria en el largo plazo.

Siendo las medidas: 21/32 pulgadas; longitud exterior: 63 pulgadas; altura total: 13/32 pulgadas; tipo de construcción: clásico; tipo de banda: cinturón con extremos unidos; material: EPDM; material del cordón de refuerzo: poliéster; resistencia: resistente al aceite; normas cumplidas: RMA, ISO 1813; fabricante N° de catálogo: 9003-2060 y N° comercial: B60. (Motion Industries, 2014)

A continuación, se puede apreciar en las siguientes figuras 4.7 la polea y la banda y 4.8 la disposición de bornes de conexión hacia el motor



Figura 4. 7Banda y polea de eje motriz

Fuente: El autor



Figura 4. 8. Bornes de conexión del sistema de carga para módulo Micromaster 440

Fuente: El autor



Figura 4. 9. Acabado final con pintura anticorrosiva

Fuente: El autor

Una vez finalizado la fabricación de la 'carga' se realiza una verificación de todo el sistema actual para comprobar si está apto para ser utilizado el acoplamiento de la carga. A su vez, se comprobaron las conexiones eléctricas, de dispositivos electrónicos (guarda motores,

breakers de protección, relés de control, variador de velocidad micro master drive 440, entre otros.)



Figura 4. 10. Conexión a módulo Micromaster 440

Fuente: El autor

De esta manera se ha finalizado el rediseño del módulo Micromaster 440 y la fabricación de un módulo que representa una carga para que el motor de 3hp no 'trabaje' en vacío. Se espera que los estudiantes asimilen de mejor forma la operación del módulo Micromaster 440.

CONCLUSIONES

Se ha efectuado el rediseño del módulo Micro master 440 y se ha cableado todo su sistema eléctrico para el módulo de carga.

El sistema de acoplamiento eléctrico mecánico de turbina fue diseñado para proporcionar a los estudiantes un mejor ejercicio y visualización del funcionamiento de los equipos eléctricos y mecánicos.

La programación del variador se lo ha realizado según los datos técnicos de la carga implementada.

El par de arranque o momento de rotación del motor depende del tipo de conexión a la red. Si se conecta directamente a la tensión de alimentación el par es elevado

Los motores de corriente alterna son utilizados en muchas aplicaciones industriales, tales como; industrias minera, metálica, cementera, petroquímica, entre otras distintas áreas; con el fin de lograr el movimiento de elementos como son: molinos, bandas transportadoras, trituradoras, mezcladoras y de esa manera, lograr el movimiento de estos elementos.

Los motores se acoplan a reductores de velocidad o engranajes, para realizar su objetivo y poder transferir su energía mecánica.

Las revoluciones por minuto del motor 3hp del módulo Micromaster es de 1750 rpm y el ventilador centrífugo fabricado de doble aspiración que se conectará por medio de una transmisión con polea al motor proporciona aproximadamente 800 revoluciones por minuto.

La turbina posee álabes hacia delante. Y puede operar como ventilador de doble aspiración y caudal 2700 m³/h. la Temperatura máxima del aire oscila entre: 5°C y 60°C.

RECOMENDACIONES

- El sistema de acoplamiento eléctrico mecánico debe operar con supervisión del profesor.
- No se debe acercar sustancias hacia los alabes de la turbina
- Se recomienda mantenimiento preventivo a la turbina
- Desde el momento en que detecte en el motor un ruido o vibraciones anómalas o calentamiento anómalo al nivel del rodamiento a pesar de estar correctamente engrasado, es preciso proceder a una verificación del estado de los rodamientos.
- Los rodamientos deteriorados deben sustituirse a la mayor brevedad posible para impedir que se produzcan daños más importantes a nivel de motor

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Area Tecnología. (2010). *MOTOR ELECTRICO*. Obtenido de <http://www.areatecnologia.com/EL%20MOTOR%20ELECTRICO.htm>.
- Chapman, S. J. (1993). *Máquinas Eléctricas*. Santafé de Bogotá: McGraw – Hill. 2a edición.
- e-ducativa. (2017). *Clasificación de las maquinas rotativas*. Obtenido de http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3016/html/22_clasificacin_de_las_mquinas_rotativas.html.
- Electrocomponentes y maquinas industriales. (2017). *Material eléctrico*. Obtenido de <https://electricousado.com/es/30-turbinas-y-ventiladores>.
- EUDOTEC. (2013). Obtenido de <https://eudotec.wordpress.com/2013/03/06/relacion-de-velocidades/>
- FRAILE MORA, J. (2008). *Variador de frecuencia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia.
- Informáticos, D. d. (2016). *Novedades*. Obtenido de <http://www.info-ab.uclm.es/>.
- NEMA. (2017). *Motors and Generators*. Obtenido de <http://www.nema.org/Standards/Pages/Motors-and-Generators.aspx>.
- OSHA. (2010). *Equipo de Protección Personal*. Obtenido de https://www.osha.gov/OshDoc/data_General_Facts/pppe-factsheet-spanish.pdf.
- Paritarios. (2017). *Equipos de Protección Personal*. Obtenido de https://www.paritarios.cl/especial_epp.htm
- Pernía, M. (2011). *Conceptos Básicos de motores monofasicos*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Marino_Pernia/publication/235752028_Motores_Monofasicos-conceptos_basicos/links/02bfe5131e98cea5f8000000/Motores-Monofasicos-conceptos-basicos.pdf

- Pernía, M. (2013). *MOTORES ASINCRONOS*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Marino_Pernia/publication/235752013_MOTORES_ASINCRONOS/links/0912f5131e7ec1e8e5000000/MOTORES-ASINCRONOS.pdf
- Robert, B. (1997). *Electrónica: Teoría de circuitos*. México: Prentice Hall, 6a Edición.
- Saucedo, L. (2015). *Instrumentos de Medición*. Obtenido de <http://www.fio.unam.edu.ar/Secretarias/Administrativa/conc/bibli/laboratorio/instrumentos-de-medicion-electrica.pdf>.
- Sector Electricidad. (2017). *Partes de un motor eléctrico AC o DC*. Obtenido de <http://www.sectorelectricidad.com/12573/partes-de-un-motor-electrico-ac-o-dc%EF%BB%BF/>
- Serway, R. (2014). *FEM y Circuitos DC*. Obtenido de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/FEM_y_Circuitos_DC_7447.pdf.
- Seso. (2017). *Noticias Internacionales de Seguridad y Salud Ocupacional*. Obtenido de <http://www.seso.org.ec/>.
- SIEMENS. (2017). *MICROMASTER en SINAMICS*. Obtenido de <http://w3.siemens.com/mcms/mc-drives/de/niederspannungsumrichter/micromaster-4/Seiten/von-micromaster-zu-sinamics.aspx>
- SODECA. (2017). *VENTILADORES CENTRÍFUGOS Y EXTRACTORES EN LÍNEA PARA CONDUCTOS*. Obtenido de <http://www.plcmadrid.es/wp-content/uploads/catalogos/SODECA/catalogo%20material%20electrico-Ventiladores-centr%C3%ADfuos-y-extractores-en-linea-para-conductos-sodeca.pdf>



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Valeriano Choez, Geovanny Clemente** con C.C: # **0924959380** autor del trabajo de titulación: **Estudio y dimensionamiento de un sistema de acoplamiento eléctrico mecánico para el sistema de turbina con motor de 3 hp** previo a la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico Mecánico con mención en Gestión Empresarial Industrial** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 20 de Septiembre del 2017

f. _____

Valeriano Choez, Geovanny Clemente

C.C: 0924959380



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Estudio y dimensionamiento de un sistema de acoplamiento eléctrico mecánico para el sistema de turbina con motor de 3 hp		
AUTOR	Valeriano Choez, Geovanny Clemente		
TUTOR	Ing. Orlando PhilcoAsquiMSc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico-Mecánica		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico Mecánico con mención en Gestión Empresarial Industrial		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	20 de Septiembre del 2017	No. DE PÁGINAS:	92
ÁREAS TEMÁTICAS:	Máquinas eléctricas, Variador Frecuencia, turbinas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Accionamiento eléctrico, Motor trifásico, Variador de Frecuencia, Turbina, Poleas, Transmisión de velocidad		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo es un re diseño del módulo Micromaster 440 ubicado en el laboratorio de control y Automatismo de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo FETD. Se describe el funcionamiento de elementos y equipos eléctricos de un sistema de turbina con motor de 3hp que es controlado mediante un variador de frecuencia. La metodología es descriptiva y empírica pues se debe detallar características y funcionamiento de un módulo denominado Micromaster 440 que esta fuera de uso por cuanto nunca tuvo operación con carga tan solo al vacío y con el transcurso de años se ha deteriorado. La propuesta de re diseño al módulo Micromaster 440 se lo efectúa gracias al conocimiento teórico de transmisión por poleas. Se realizan cálculos para determinar el eje motriz, la polea y la banda para soportar 1750 rpm dado por un motor 3hp alimentado a 440 voltios y 2 amperios. El resultado obtenido es acceder a verificar mediciones en vacío a plena carga, con una carga real de las que se encuentra en un accionamiento eléctrico industrial con motores trifásico.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR:	Teléfono: 0991783897	E-mail: geovanny_valeriano@hotmail.es	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):: DEL	Nombre: PhilcoAsqui Luis Orlando		
	Teléfono: +593-4-2202935 ext.2007		
	E-mail: luis.philco@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			