

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE
SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL
DESARROLLO
TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del título de:

Ingeniero Eléctrico-Mecánico con Mención en Gestión Empresarial
Industrial

Tema:

“Rediseño y construcción del Módulo de Pruebas de un Variador de Frecuencia y
elaboración de la guía de prácticas para su uso en el Laboratorio de Control de
Movimiento”

Integrantes:

Ulises Horacio Molina Alvarado
Carlos Christian Cruz Freire

Director de Tesis:

Ing. Luis Torres Pino

GUAYAQUIL - ECUADOR

2011 -2012

TEMA:

“Rediseño y construcción del Módulo de Pruebas de un Variador de Frecuencia y elaboración de la guía de prácticas para su uso en el Laboratorio de Control de Movimiento”

Presentada a la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Carrera de Ingeniería Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial, de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

INTEGRANTES:

Ulises Horacio Molina Alvarado

Carlos Christian Cruz Freire

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos y optar por el título de:

Ingeniero Eléctrico Mecánico con Mención en Gestión Empresarial Industrial.

Ing. Manuel Romero Paz
Decano de la Facultad de Educación Técnica

Ing. Luis Córdova Rivadeneira
Director de Carrera

Ing. Luis Torres Pino
Director de Tesis

Ing. Orlando Pilco
Profesor Revisor

Ing. Oscar Carrasco
Profesor Revisor

DEDICATORIA:

La presente tesis la dedicamos con mucho Amor:
A nuestros padres, esposa e hijos por el apoyo incondicional que nos han brindado
durante nuestra vida estudiantil y ahora en nuestros anhelos profesionales.

AGRADECIMIENTO:

Un profundo agradecimiento a Jehová Dios y a nuestros padres al habernos dado la vida y estar junto a nosotros en todo momento. Gracias por darnos la visión a nuestro futuro y confiar en nosotros.

Gracias a nuestras esposas e hijos por habernos apoyado y brindado su comprensión, al pasar limitado tiempo junto a ellos, durante todo el periodo de estudios.

A las autoridades de la Facultad Técnica para el Desarrollo por habernos dado el apoyo necesario, a nuestros maestros por ayudarnos a entender los conocimientos impartidos, y en especial a nuestro Director de Tesis el Ing. Luis Torres Pino.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis abre perspectivas futuras para el desarrollo de este tipo de proyectos, el cual consistió en diseñar y reconstruir un nuevo Módulo de Pruebas de un Variador de Frecuencia donde se aplicó la norma técnica establecida en las especificaciones IEC 62208 para la elaboración de tableros eléctricos, se cumplió con el propósito principal de dar a los estudiantes de las carreras de Ingeniería Eléctrico-Mecánica y Control y Automatismo, una herramienta más para realizar las prácticas en el Laboratorio de Control de Movimiento de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo. Y como complemento se elaboró y entregó una Guía de Prácticas, con la cual los estudiantes podrán desarrollar la programación general y de las entradas y salidas analógicas y digitales del Variador de Frecuencia *Micro Master 440*, conocer los métodos de regulación de velocidad con una entrada analógica, con el panel BOP o con el *software Starter* y analizar el comportamiento del motor trifásico cuando varía su velocidad.

ABSTRACT

The thesis opens up future prospects for development of this project, which was to design and rebuild a new Test Module Frequency Drive where we applied the established technical standard IEC 62208, specifications for the manufacture of electrical panels, met the primary purpose of giving students the of Engineering Electrical - Mechanics and Control and Automation, one more tool for practice in the Motion Control Laboratory of the Faculty of Technical Education for Development. As complement was developed and delivered a Practices Guide, with which students can develop general programming and analog and digital inputs and outputs del Frequency Drive Micro Master 440, know the methods of speed control with an analog input with the BOP or the Starter software and analyze the behavior of three-phase motor when its speed varies.

ÍNDICE GENERAL

GENERALIDADES

CAPITULO 1. DATOS GENERALES

1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Justificación.....	1
1.4 Hipótesis	3
1.5 Objetivos del proyecto.....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivos específicos	4
1.6 Metodología.....	4
1.7 Proceso de investigación.....	5
1.7.1 Investigación y Diseño del Módulo de Pruebas.....	5
1.7.2 Desarrollo del Módulo de Pruebas	5
1.7.3 Construcción, ensayos y localización final del Módulo de Pruebas.....	5
1.7.4 Costo-Beneficio	5

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

CAPITULO 2. MOTORES ELÉCTRICOS INDUSTRIALES

2.1 Historia de los circuitos trifásicos.....	6
2.2 Campo magnético giratorio trifásico.....	6
2.3 Par motor versus corriente de arranque.....	8
2.4 Partes principales de un motor eléctrico trifásico.....	9

2.5	Clasificación de los motores eléctricos.....	11
2.5.1	Clasificación de los motores de inducción de jaula de ardilla, de acuerdo con el enfriamiento y el ambiente de trabajo	13
2.5.2	Tipos de carcasas de los motores eléctricos	14
2.6	Designación de velocidades nominales en motores de inducción	14
2.7	Especificaciones de los motores eléctricos	15
2.8	Capacidad del aislamiento térmico de los bobinados	17
2.9	Aplicaciones de los motores trifásicos	17
2.10	Averías frecuentes en motores trifásicos y sus posibles soluciones	18

CAPITULO 3. VARIADORES DE VELOCIDAD

3.1	Conceptos básicos de semiconductores	19
3.1.1	El Diodo.....	19
3.1.2	El Rectificador Controlado de Silicio (SCR).....	20
3.1.3	El Tiristor de Apagado de Compuerta (GTO)	20
3.1.4	El Tiristor Conmutado de Compuerta Simétrica (SGCT).....	21
3.1.5	Rectificador	21
3.1.6	Inversor	22
3.2	Teoría básica de los variadores de velocidad	24
3.2.1	Funcionamiento básico del variador de velocidad.....	24
3.2.2	Variables del motor relacionadas con el control de velocidad	25
3.3	Métodos para controlar la velocidad de un motor de inducción.....	25
3.3.1	Variación del número de polos	26
3.3.2	Variación del deslizamiento.....	26
3.3.3	Variación de frecuencia de alimentación.....	27

3.4 Variadores de velocidad unidireccionales o bidireccionales	27
3.5 Tecnología de los variadores existentes en el mercado	28
3.5.1 Control Escalar	28
3.5.2 Control Vectorial	30
3.5.2.1 Control Vectorial de Lazo Abierto	30
3.5.2.2 Control Vectorial de Lazo Cerrado	31
3.6 Instalación de un variador de frecuencia	32
3.6.1 Cableado variador-motor	33
3.6.2 Montaje del variador	33
3.6.3 Conexión a la red de suministro.....	33
3.7 Factores a considerar, al diseñar un sistema de regulación de velocidad	34
3.8 Ventajas de un variador de velocidad en el arranque de motores asíncronos.....	34
3.9 Desventajas del variador de velocidad en el arranque de motores asíncronos.....	35
3.10 Principales funciones de los variadores de velocidad electrónicos.....	35
3.11 Aplicaciones de los variadores de velocidad.....	37

CAPITULO 4. SENSORES Y TRANSDUCTORES

4.1 El sensor.....	40
4.1.1 La Termocupla	40
4.1.1.1 La Termocupla estándar	43
4.1.1.2 La Termocupla práctica	43
4.1.1.3 Características de las termocuplas	46
4.1.2 La Termoresistencia (RTD)	47
4.1.2.1 Características de las Termoresistencias.....	48
4.1.2.2 Tipos de Termoresistencias	49

4.1.2.3 La Termoresistencia de uso general.....	49
4.1.3 Termocupla versus termoresistencia.....	50
4.2 Transductores.....	50
4.2.1 Características estáticas	51
4.2.2 Características dinámicas.....	51
4.2.3 Clasificación de los transductores.....	52
4.2.3.1 Transductor de temperatura.....	53
4.2.3.1.1 Termistor.....	53
4.2.3.1.2 Termopar.....	54
4.2.3.2 Transductor de fuerza.....	54
4.2.3.3 Transductor de velocidad.....	54
4.2.3.4 Transductor de aceleración	55
4.2.3.5 Transductor de desplazamiento	55
4.2.4 Aplicaciones de los transductores	55

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROCESO

CAPITULO 5. CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE PRUEBAS

5.1 Rediseño del Nuevo Módulo de Pruebas.....	57
5.2 Construcción del Módulo de Pruebas.....	58
5.3 Conexión y montaje de componentes en el Módulo de Pruebas	59
5.4 Descripción de los componentes del Módulo de Pruebas	64
5.4.1 Variador de frecuencia Micromaster 440.....	64
5.4.1.1 Principales características del variador de velocidad utilizado	65
5.4.1.2 Descripción del BOP y sus funciones.....	65
5.4.2 El Guardamotor.....	66

5.4.3 El Contactor.....	67
5.4.4 El Breaker de control.....	68
5.4.4 El Analizador de red	68
5.4.6 El Transductores universal	69
5.4.6.1 Diagrama de conexión de transductor 4114	69
5.4.7 La Resistencia Térmica Diferencial (RTD).....	70
5.4.5 El Motor de inducción trifásico	71
5.4.8 La Computadora Portátil.....	72

CAPITULO 6. PRÁCTICAS DE LABORATORIO

6.1 Practica N°1 Puesta en servicio rápida con BOP (Panel Básico del Operador).....	73
6.1.1 Procedimiento.....	73
6.1.2 Reporte.....	76
6.1.3 Pregunta	77
6.2 Practica N°2 Configuración de comunicación y marcha rápida con PC.....	78
6.2.1 Procedimiento.....	78
6.2.2 Reporte.....	91
6.2.3 Preguntas.....	91
6.3 Practica N°3 Arranque e inversión de giro de un motor con el variador de frecuencia utilizando las entradas y salidas digitales	92
6.3.1 Procedimiento.....	93
6.4 Practica N°4 Obtención de variación inversa de la temperatura mediante la variación de frecuencia automática utilizando el lazo de control cerrado.....	98
6.4.1 Procedimiento	98
6.4.2 Reporte.....	99

6.4.3 Preguntas.....	99
6.5 Practica N°5 Configuración del variador para trabajar en manual/automático y su utilización en un lazo de control abierto.....	99
6.5.1 Procedimiento	100
6.5.2 Preguntas.....	108

CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones	109
7.2 Recomendaciones	110
7.2.1 Seguridad	111
7.2.2 Mantenimiento de los equipos	111

ANEXOS

A.1 Tabla de Costos de los elementos y materiales del proyecto.....	112
A.2 Diagrama de bloques del Variador MICROMASTER 440	113
A.3 Diagrama de conexiones del Módulo de Pruebas	114
A.4 Diagrama de control del Módulo de Pruebas.....	115
A.5 Diagrama de fuerza del Módulo de Pruebas	116
A.6 Funciones de los botones del BOP.....	117
A.7 Módulo de Pruebas terminado (vista exterior).....	118
A.8 Módulo de Pruebas terminado (vista interior)	119

BIBLIOGRAFIA	120
--------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Vista exterior del tablero original.....	2
Figura 1.2 Vista interior del tablero original	2
Figura 1.3 Bosquejo de vista frontal del nuevo Módulo de Pruebas	3
Figura 1.4 Bosquejo de vista posterior del nuevo Módulo de Pruebas.....	3
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.....	6
Figura 2.3 Análisis del desfases a 120° eléctricos entre las corrientes por fase....	7
Figura 2.4 Giro del campo magnético en el estator	7
Figura 2.5 Partes de un motor eléctrico	9
Figura 2.6 Placa de características de un motor eléctrico.....	11
Figura 2.7 Clasificación de los motores trifásicos.....	12
Figura 2.8 Rotor jaula de ardilla	13
Figura 2.9 Rotor devanado.....	13
Figura 2.10 Triángulo de potencia.....	16
Figura 2.11 Eficiencia de un motor	16
Figura 2.12 Clases de aislamientos térmicos de los bobinados	17
Figura 3.1 Símbolo del Diodo.....	19
Figura 3.2 Circuito y Curva de funcionamiento del diodo	19
Figura 3.3 Símbolo del Tiristor.....	20
Figura 3.4 Circuito y Curva de funcionamiento del Tiristor	20
Figura 3.5 Símbolo del GTO	21
Figura 3.6 Circuito de funcionamiento del GTO.....	21
Figura 3.7 Fotografía de un SGCT	21
Figura 3.8 Función del rectificador.....	21

Figura 3.9 Circuito de un rectificador trifásico.....	22
Figura 3.10 Función del inversor.....	22
Figura 3.11 Circuito de un inversor trifásico.....	23
Figura 3.12 Señal de una PWM.....	23
Figura 3.13 Reconstrucción de señal de pulsos a senoidal.....	24
Figura 3.14 Diagrama básico del variador de frecuencia.....	24
Figura 3.15 Circuito equivalente del motor.....	25
Figura 3.16 Curva torque versus deslizamiento en un motor de inducción.....	27
Figura 3.17 Curva torque versus frecuencia en un motor de inducción.....	27
Figura 3.18 Los 4 estados posibles de una máquina en su gráfico par-velocidad.....	28
Figura 3.19 Regiones de torque y potencia constante.....	28
Figura 3.20 Rotación del campo magnético en el motor.....	30
Figura 3.21 Instalación típica de un variador de frecuencia.....	32
Figura 3.22 Distintas aplicaciones de los variadores de velocidad en la industria.....	38
Figura 4.1 Efecto <i>Seebeck</i> en las termocuplas.....	40
Figura 4.2 La fuerza electromotriz térmica de una termocupla.....	41
Figura 4.3 Circuito de una termocupla.....	41
Figura 4.4 Sistema electrónico de compensación de unión de referencia.....	41
Figura 4.5 Unión soldada en el punto de medición.....	43
Figura 4.6 Unión compacta en el punto de medición.....	46
Figura 4.7 Esquema de una RTD.....	48
Figura 4.8 Configuraciones de termoresistencias.....	49
Figura 4.9 Conexiones de termoresistencias de tres o cuatro hilos.....	49
Figura 4.10 Esquema de Termoresistencias de uso general.....	50
Figura 4.11 Esquema del funcionamiento de un transductor.....	51

Figura 4.12 Componentes de un sistema electrónico de medida y control.....	52
Figura 4.13 Esquema unifilar de los tipos de transductores y sus componentes	56
Figura 5.1 Base del Módulo para el motor	57
Figura 5.2 Puerta del gabinete	57
Figura 5.3 Gabinete del Módulo	57
Figura 5.4 Tubos de la estructura del Módulo	57
Figura 5.5 Vista frontal del Módulo.	58
Figura 5.6 Vista posterior del Módulo.....	58
Figura 5.7 Doblado de planchas metálicas	58
Figura 5.8 Construcción y pulido de gabinete.	58
Figura 5.9 Corte de tubos cuadrados	59
Figura 5.10 Mediciones finales del modulo.....	59
Figura 5.11 Enchufe de 32A-12h-4 pines.....	59
Figura 5.12 Módulo de pruebas terminado (vista exterior)	60
Figura 5.13 Módulo de pruebas terminado (vista interior).....	60
Figura 5.14 Diagrama de conexiones desde las borneras a cada componente	61
Figura 5.15 Diagrama de control del Módulo de Pruebas	62
Figura 5.16 Diagrama de fuerza del Módulo de Pruebas	63
Figura 5.17 Variador de frecuencia Micromaster 440.....	64
Figura 5.18 Panel de mando	65
Figura 5.19 Manera de como reemplazar el panel de operador.....	65
Figura 5.20 Guardamotor trifásico.....	67
Figura 5.21 Contactor trifásico Siemens 35 Amp.....	67
Figura 5.22 Breaker de control	68
Figura 5.23 Analizador de red SACI	68

Figura 5.24 Diagrama de conexión del Analizador	68
Figura 5.25 Transductor universal	69
Figura 5.26 Diagrama de conexión del transductor 4114.....	69
Figura 5.27 Señales de salida.....	70
Figura 5.28 Alimentación del transductor	70
Figura 5.29 Termoresistencia utilizada en el módulo de pruebas.....	70
Figura 5.30 Esquema del motor eléctrico	71
Figura 5.31 Diagrama de conexiones del motor 9 terminales 220/440 V	71
Figura 5.32 Computadora TOSHIBA con el Software Starter	72
Figura 6.1 Curva V/f de la Práctica # 1	77
Figura 6.2 Búsqueda de unidad de accionamiento	78
Figura 6.3 Poner nombre al nuevo proyecto.....	79
Figura 6.4 Búsqueda de interface (a)	79
Figura 6.5 Búsqueda de interface (b).....	80
Figura 6.6 Configuración de la velocidad de transmisión	80
Figura 6.7 Conexión y enlace Pc - Variador.....	81
Figura 6.8 Solicitando la conexión y enlace Pc - Variador	81
Figura 6.9 Estableciendo la conexión online Pc - Variador	82
Figura 6.10 Establecida la conexión online e inicio de reconfiguración	82
Figura 6.11 Configuración de parámetros del motor (a)	83
Figura 6.12 Configuración de parámetros del motor (b)	83
Figura 6.13 Selección del tipo de regulación del motor (a).....	84
Figura 6.14 Selección del tipo de regulación del motor (b).....	84
Figura 6.15 Deshabilitar la opción de <i>encoder</i> de impulsos.....	85
Figura 6.16 Selección de modo de operación V/F.....	85

Figura 6.17 Se inhabilita las consignas de marcha manual	86
Figura 6.18 Configurar los parámetros de control del variador.....	86
Figura 6.19 Autoconfiguración de los parámetros del variador	87
Figura 6.20 Selección de puesta en marcha del equipo	87
Figura 6.21 Seleccionar: Dejar girar el motor	88
Figura 6.22 Configuración de velocidad de transmisión y el medio de comunicación..	88
Figura 6.23 Habilidad de la puesta en marcha del equipo	89
Figura 6.24 Fijación de las consignas de velocidad.....	89
Figura 6.25 Configuración para visualización de datos (a)	90
Figura 6.26 Configuración para visualización de datos (b).....	90
Figura 6.27 Creación de un nuevo proyecto	93
Figura 6.28 Insertar unidad de accionamiento.....	93
Figura 6.29 Escoger como unidad de accionamiento Micromaster 440.....	94
Figura 6.30 Configuración de datos del motor	94
Figura 6.31 Habilidad de entradas digitales y analógicas.....	95
Figura 6.32 Configuración de las entradas digitales.....	95
Figura 6.33 Direccionamiento de las entradas digitales	96
Figura 6.34 Visualización de estado de control de las salidas digitales	96
Figura 6.35 Guardado de proyecto	97
Figura 6.36 Se carga el proyecto en la memoria del variador	97
Figura 6.37 Creación de una nueva práctica.....	100
Figura 6.38 Creación de un nuevo proyecto	100
Figura 6.39 Escoger como unidad de accionamiento Micromaster 440.....	101
Figura 6.40 Configuración de datos del motor	101
Figura 6.41 Habilidad de entradas digitales y analógicas.....	102

Figura 6.42 Configuración de las entradas digitales.....	102
Figura 6.43 Direccionamiento de las entradas digitales	103
Figura 6.44 Visualización de estado de control de las salidas digitales	103
Figura 6.45 Configuración de parámetros en manual y automático	104
Figura 6.46 Configuración de entradas digitales	104
Figura 6.47 Configuración de salida analógica (a).....	105
Figura 6.48 Configuración de salida analógica (b).....	105
Figura 6.49 Configuración de entrada analógica 1	106
Figura 6.50 Configuración de entrada analógica 2	106
Figura 6.51 Configuración de entrada analógica (consigna)	107
Figura 6.52 Guardamos la práctica	107
Figura 6.53 Cargamos la práctica al variador	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Velocidades de motores asíncronos trifásicos, a una frecuencia de 60 Hz.....	8
Tabla 2.2 Clasificación NEMA de los motores de inducción jaula de ardilla.....	9
Tabla 2.3 Posibles averías en los motores trifásicos y sus posibles soluciones.....	18
Tabla 4.1 Características de las distintas termocuplas.....	44
Tabla 4.2 Tolerancias de calibración para termocuplas estándar.....	45
Tabla 4.3 Rango de temperaturas de las RTD	47
Tabla 5.1 Funciones de los botones del BOP	66
Tabla 5.2 Valores de resistencia equivalente según la temperatura aplicada	71
Tabla 5.3 Tolerancias de termoresistencias	71
Tabla 6.1 Puesta en marcha rápida del variador con BOP.....	74
Tabla 6.1 Mediciones realizadas en Práctica # 1	77
Tabla 6.2 Mediciones realizadas en Práctica # 4.....	98

GENERALIDADES

CAPITULO 1. DATOS GENERALES.

1.1 Introducción.

El rediseño del Módulo de Pruebas de un Variador de Frecuencia, permitirá entregar un equipo que será un gran aporte al Laboratorio de Control de Movimiento de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil y a los estudiantes de las carreras de Ingeniería Eléctrico Mecánica y Control y Automatismo, lo cual les permitirá utilizar, una de las tecnologías actuales.

1.2 Planteamiento del problema.

El medio industrial actual y las nuevas tecnologías, obligan a los que poseen sistemas antiguos a renovar y actualizarse, es por esto que la carrera de Ingeniería Eléctrico-Mecánica de la Facultad Técnica para el Desarrollo, constituye un pilar fundamental en la formación integral de los estudiantes, la cual tiene como finalidad dar a conocer a los mismos los principios básicos de los diferentes tipos de tecnologías, mostrando así las múltiples aplicaciones que brinda este campo.

La formación de los estudiantes, debe estar constituida por una enseñanza práctica; ya que el crecimiento energético mundial de la industria requiere de un control mucho más eficiente de la energía eléctrica; de allí la importancia de reducir los consumos picos de corriente de arranque de un motor eléctrico. Eso es lo ofrecido, en el uso de la tecnología de los equipos diseñados para regular la velocidad en máquinas de inducción y sincrónicas de mediana y alta potencia. Las mediciones que se capturen deben ser con el más alto nivel de operatividad, para determinar dicho ahorro energético.

1.3 Justificación.

El propósito de mostrar a los estudiantes una clase interactiva, acorde a las exigencias educativas actuales, fue la motivación para realizar este trabajo, el cual consistió en rediseñar el Módulo original de pruebas de un variador de frecuencia (figuras 1.1 y 1.2) que se encontraba en el Laboratorio de Electricidad y que en la actualidad no estaba

siendo usado en ninguna de las prácticas de los Laboratorios de la Facultad de Educación Técnica; para así reconstruir el nuevo panel modular portátil y su guía de prácticas, serán utilizados en el Laboratorio de Control de Movimiento; los mismos que permitirán realizar las practicas con el Micromaster-440 de Siemens y con el motor trifásico, como una herramienta de control que ayudará al estudiante a practicar en cuanto a su programación y funcionamiento, lo cual se lograba en muchos casos en capacitaciones dadas por un determinado proveedor. El proyecto, toma mayor envergadura al considerar que los bancos de pruebas de los sistemas antiguos, lograban solo variación de velocidad de los motores DC. Con ello se incrementa el conocimiento, no solo teórico, sino práctico de uno de los equipos más utilizados en las industrias para la regulación de velocidad en motores AC.

Los conocimientos teóricos adquiridos en clases por los estudiantes, podrán asimilarlos mejor, al aplicarlos en una condición real y muy ligada al ámbito industrial, aumentando los conocimientos prácticos con los que egresa un estudiante, al tener una herramienta y familiarizándolo con los controles eléctricos, en lo que respecta a procesos industriales, obteniendo una mejor formación técnico-profesional.



Figura 1.1.- Vista exterior del tablero original



Figura 1.2.- Vista interior del tablero original

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

1.4 Hipótesis.

El desarrollo del presente trabajo consistió en elaborar una herramienta práctico-didáctica (figuras 1.3 y 1.4) como ayuda para las materias de: “Automatización Industrial”, “Máquinas II”, “Controles Industriales” y Computación Aplicada a los Procesos” para el mejor aprendizaje de las mismas; se contará con una Computadora portátil Toshiba del Laboratorio de Electricidad, en la cual se realizará la programación del variador de velocidad MICROMASTER-440 de Siemens, teniendo como premisa impartir la materia al estudiante de forma interactiva aplicando los conocimientos adquiridos en la obtención de datos y resultados a través del software STARTER, como una de las bondades que tiene este equipo y así familiarizar al estudiante con la diversas variables de control, optimizando su operación y buen desarrollo. Todo esto obliga a desarrollar nuevos métodos de aprendizaje que vayan de la mano con la tecnología actual y de esta manera contribuir con la Universidad para que esta entregue a la sociedad un Profesional más competitivo y con una formación integral.

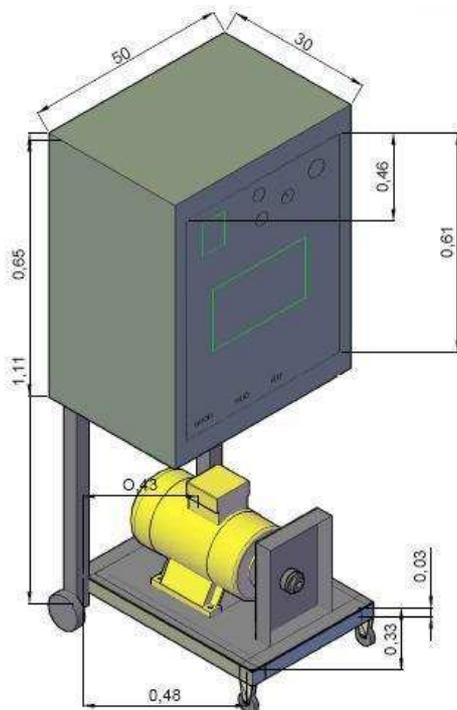


Figura 1.3 Bosquejo de vista frontal del nuevo Módulo de Pruebas.

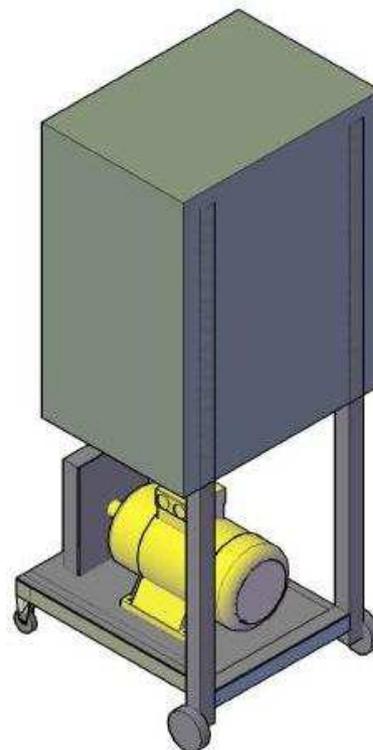


Figura 1.4 Bosquejo de vista posterior del nuevo Módulo de Pruebas.

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

1.5 Objetivos del proyecto

1.5.1 Objetivo general.

Realizar el rediseño del módulo de pruebas de un variador de frecuencia existente en el Laboratorio de Electricidad de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, construir un nuevo Panel Modular Portátil y elaborar una Guía de Prácticas, para ser utilizados en el Laboratorio de Control de Movimiento.

1.5.2 Objetivos específicos.

- Construir un Módulo de Pruebas de un Variador de Frecuencia, que permita a los estudiantes de las carreras de Ingeniería Eléctrico-Mecánica y Control y Automatismo, realizar prácticas en el Laboratorio de Control de Movimiento de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo y asimilar mejor los conocimientos teóricos adquiridos en las aulas.
- Facilitar al docente una herramienta importante para la enseñanza, mediante la entrega de la Guía de Prácticas, la misma que le ayudará a los estudiantes a desarrollar las habilidades y aplicación de esta tecnología en su vida laboral.
- Enseñar al estudiante a realizar la programación y conexiones de entradas y salidas analógicas y digitales, el comportamiento del variador de frecuencia MICRO MASTER-440 en las diversas prácticas y del motor trifásico; conocer los métodos de regulación de velocidad de un variador de frecuencia y con ello saber cuáles pueden ser su gama de aplicaciones.

1.6 Metodología.

Los objetivos indicados anteriormente se los llevó a cabo a través de los siguientes métodos de investigación:

- Método analítico, cada uno de los elementos, se revisó por separado. Se los estudió y examinó, para ver las relaciones entre los mismos.
- Métodos de comprobación y observación, en base a estos se obtuvieron los resultados de las diversas pruebas y objetivos planteados.

1.7 Proceso de la investigación.

En la investigación y el desarrollo de la tesis, se siguieron los siguientes puntos:

1.7.1 Investigación y Diseño del Módulo de Pruebas.

En el estudio realizado a los variadores existentes en el mercado, se encuentra el Máster Driver Micromaster 440 de Siemens, entre uno de los más utilizados en las empresas; además se realizó el estudio de los elementos de protección utilizados, así como los incluidos en el lazo de control. El Módulo de Pruebas, en lo que se refiere a su estructura y circuitos eléctricos fueron diseñados por los dos integrantes de este trabajo de tesis, con la ayuda del programa de diseño Autocad.

1.7.2 Desarrollo del Módulo de Pruebas.

El cableado eléctrico, montaje de equipos y pruebas han sido realizadas bajo la supervisión del Ing. Luis Torres y además hubo la necesidad de prepararse tomando una capacitación de Micromaster 440 en el centro SITRAIN de Siemens para conocer la configuración del variador y uso del programa Starter.

1.7.3 Construcción, ensayos y localización final del Módulo de Pruebas.

Se lo construyó en un taller de metalmecánica, con intervención directa de los **dos** integrantes de este trabajo de tesis. Se realizó el montaje y conexión de los diversos elementos; los ensayos de funcionamiento se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Electricidad, de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Y la localización final del Módulo de Pruebas es el Laboratorio de Control de Movimiento.

1.7.4 Costo-Beneficio.

El costo benéfico que tendrá la Facultad Técnica es notable, ya que para tener un módulo con estas características la Universidad hubiese tenido que contratar a técnicos para la reconstrucción, el montaje, cableado y puesta en marcha del equipo. Además sumarle el costo de la capacitación que tendrían que recibir el docente para transmitírsela a los alumnos. El modelo construido mantiene la misma estética que los módulos existentes en el Laboratorio de Control de Movimiento.

FUNDAMENTACIÓN TEORICA

CAPITULO 2. MOTORES ELÉCTRICOS INDUSTRIALES

2.1 Historia de los circuitos trifásicos.

Nikola Tesla, un inventor Serbio–Americano y quien descubrió el principio del campo magnético rotatorio en 1882, el cual es la base de la maquinaria de corriente alterna. Él inventó el sistema de motores y generadores de corriente alterna polifásica que dan energía al planeta. Sus inventos ayudan a hacer posible la electrificación de la industria y al desarrollo de las comunidades. El descubrimiento del campo magnético rotatorio producido por las interacciones de corrientes de dos y tres fases en un motor fue uno de sus más grandes logros y la base para la creación del motor de inducción. La conversión de electricidad en energía mecánica es posible debido a los motores eléctricos.

2.2 Campo magnético giratorio trifásico.

El motor eléctrico utiliza el principio magnético, por ello debe generar un imán y esto se logra al alimentar las bobinas del estator con corriente alterna, a este imán se le conoce como electroimán; es decir, un imán creado con energía eléctrica. El campo magnético que se desarrollará en el estator, será producido 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.

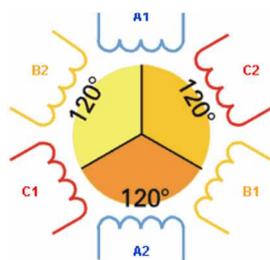


Figura 2.1 Distribución geométrica a 120° mecánicos de los devanados del estator.

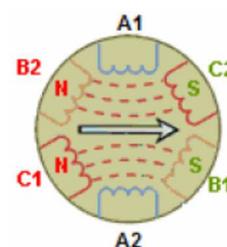


Figura 2.2 Campo magnético formado por los devanados del estator.

Fuente:

http://www.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/Apuntes_EyM/Capitulo_8_Motores_de_Induccion.pdf

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, como se puede observar en las figuras 2.3 y 2.4.

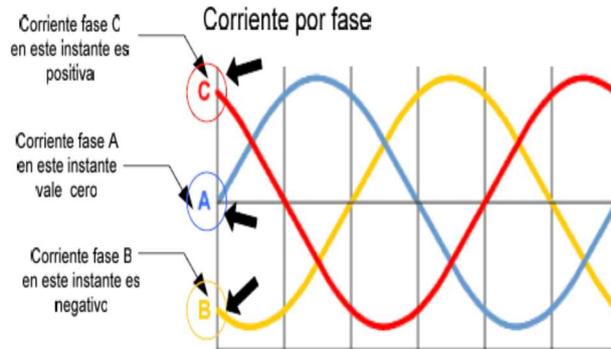


Figura 2.3 Análisis del desfase a 120° eléctricos entre las corrientes por fase.

Fuente:

http://www.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/Apuntes_EyM/Capitulo_8_Motores_de_Induccion.pdf

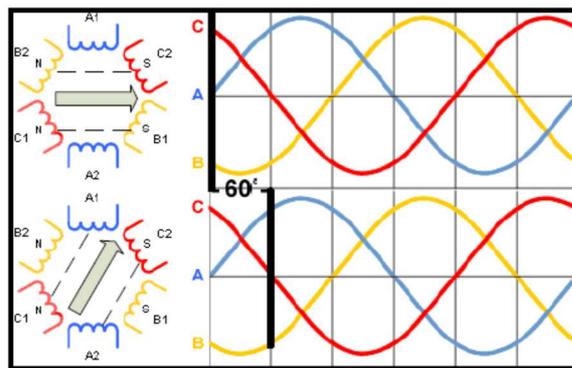


Figura 2.4 Giro del campo magnético en el estator.

Fuente:

http://www.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/Apuntes_EyM/Capitulo_8_Motores_de_Induccion.pdf

Así, al final de los 6 intervalos, el campo magnético del estator habría girado 360°. La velocidad a la que gira el campo magnético, es conocida 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). Los parámetros indicados se describen en la siguiente ecuación:

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

La cantidad de 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 muestran 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:

http://www.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/Apuntes_EyM/Capitulo_8_Motores_de_Induccion.pdf

2.3 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, las mismas que se describen en la 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: <http://www.nema.org/stds/mg1.cfm>.

2.4 Partes principales de un motor eléctrico trifásico.

En toda máquina se pueden distinguir los aspectos constructivos y tipos de materiales, los mismos que se muestran 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.

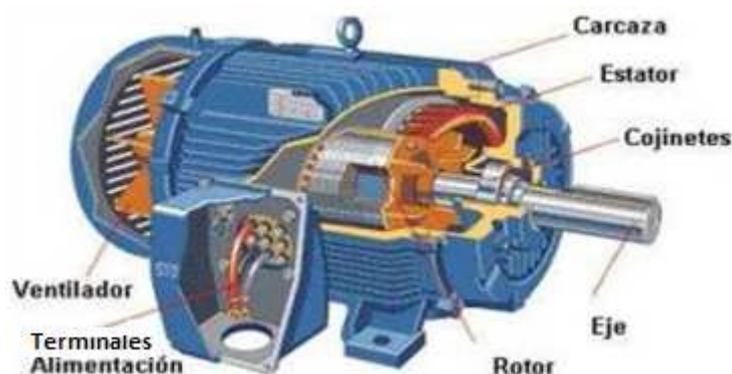


Figura 2.5 Partes de un motor eléctrico

Fuente: <http://javier-bermeo-castaño.blogspot.com/2011/02/motor-asincroo.html>

El estator.- En él se alojan 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 (figura 2.6).

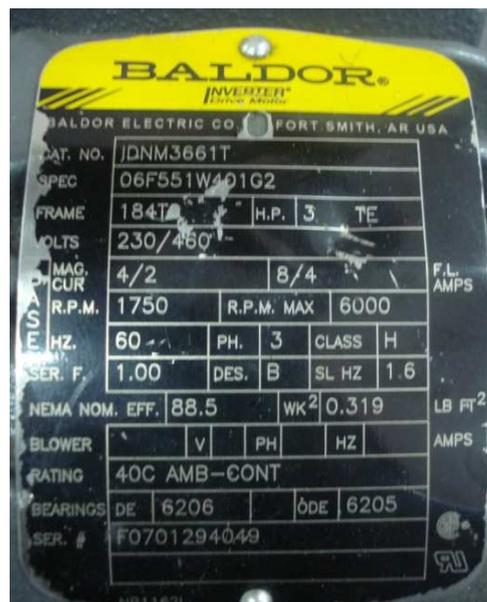


Figura 2.6 Placa de características de un motor eléctrico

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

2.5 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, estudiaremos a detalle el tercero; en el medio industrial se alimentan con varios niveles de voltaje, pero todos a 60 Hz. En la figura 2.7 se muestra la clasificación de los motores trifásicos, según la velocidad de giro del rotor en síncronos y asíncronos. Los asíncronos se clasifican según la construcción de su rotor en jaula de ardilla (figura 2.8) y rotor devanado (figura 2.9).



Figura 2.7 Clasificación de los motores trifásicos.

Fuente:

http://www.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/Apuntes_EyM/Capitulo_8_Motores_de_Induccion.pdf

- 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.

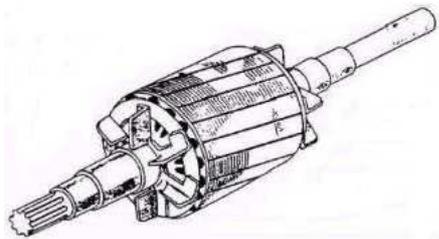


Figura 2.8 Rotor de jaula de ardilla

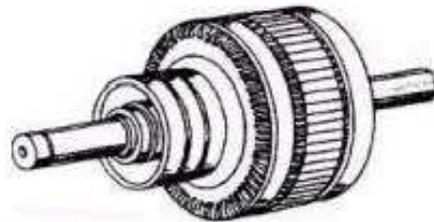


Figura 2.9 Rotor devanado

Fuente:

http://www.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/Apuntes_EyM/Capitulo_8_Motores_de_Induccion.pdf

2.5.1 Clasificación de los motores de inducción de jaula de ardilla, de acuerdo con el enfriamiento y el ambiente de trabajo.

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.

2.5.2 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 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.

2.7 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 (Tabla 2.1)
- **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 es dada por la siguiente ecuación:

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

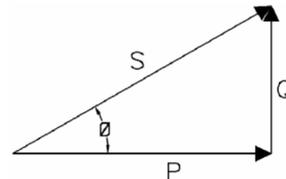


Figura 2.10 Triángulo de potencia

Fuente:

http://www.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/Apuntes_EyM/Capitulo_8_Motores_de_Induccion.pdf

- **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:

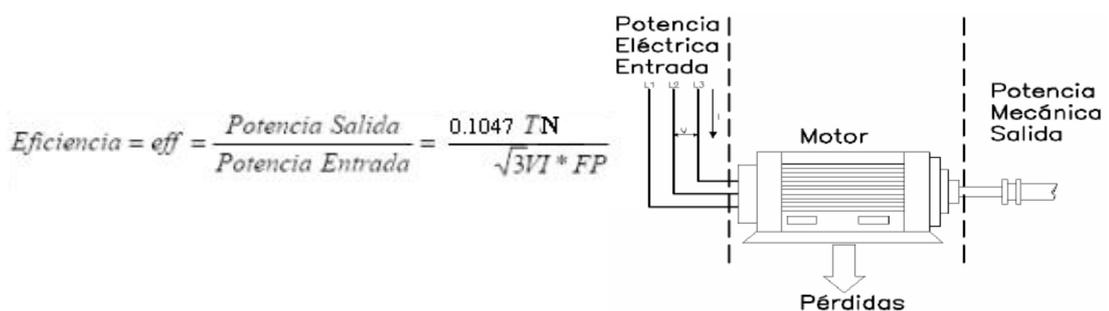


Figura 2.11 Eficiencia de un motor

Fuente:

http://www.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/Apuntes_EyM/Capitulo_8_Motores_de_Induccion.pdf

- **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.

2.8 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. Las clasificaciones son: Clase A, Clase B, Clase F y Clase H.

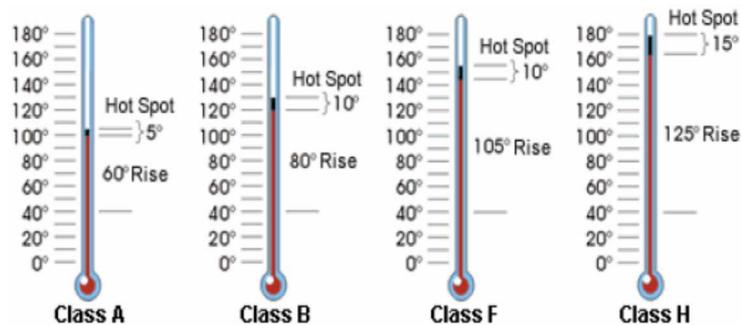


Figura 2.12 Clases de aislamientos térmicos de los bobinados.

Fuente: <http://www.nema.org/stds/mg1.cfm>.

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.

2.9 Aplicaciones de los motores trifásicos.

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

2.10 Averías frecuentes en motores trifásicos y sus posibles soluciones.

El motor trifásico está entre los más utilizados en la industria, por sus características de robustez y economía. En la tabla 2.3 se describen las posibles averías en los motores trifásicos asíncronos o de inducción y sus posibles soluciones:

Posibles Causas	Posibles Soluciones
No hay tensión en la red de alimentación.	Comprobar la tensión de la red y verificar que no existan conexiones flojas.
Fusibles fundidos o termo magnético, diferencial, disparado.	Revisar, ¿por qué dispararon las protecciones? (falla a tierra, cortocircuito, etc.) y normalizarlos.
Relé térmico o guarda motor disparado.	Revisar, ¿por qué dispararon las protecciones? (demasiada carga al motor o problema en el mismo). Y luego normalizarlos.
Sub-tensión de alimentación.	Comprobar la tensión en las bornes del motor con el mismo a plena carga, comprobar que la caída de tensión no sea menor a la permitida y verificar que la sección de los cables de alimentación sea la correcta.
Conexiones del equipo de control equivocadas.	Comprobar el esquema de conexiones del equipo y corregir los posibles errores.
Terminales o conexiones flojas.	Ajustar las conexiones flojas y comprobar el resto de conexiones, ¡Mucho, cuidado con el torque aplicado!
Circuito abierto o cortocircuito en las bobinas del estator.	Intentar reparar si se dispone de los medios adecuados. Determinar si está el bobinado en cortocircuito y de ser así, debe llevarlo a rebobinar.
Contacto a tierra del bobinado del motor.	Localizar el contacto a tierra y proceder a repararlo.
Rodamientos o cojinetes duros.	Determinar si hay que engrasar o sino cambiar cojinetes.
Equipo de control defectuoso.	Proceder a reparar equipo de control o reemplazarlo.
El motor funciona con una sola fase.	Verificar el circuito de fuerza, averiguar ¿por qué no recibe el motor las otras dos fases? y corregir el problema.

Tabla 2.3 Posibles averías en los motores trifásicos y sus posibles soluciones

Fuente: Elaborada por el grupo de Tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

CAPITULO 3. VARIADORES DE VELOCIDAD

3.1 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:

3.1.1 El Diodo.

Conocer el funcionamiento del diodo, facilitará entender el funcionamiento de los demás semiconductores. En la figura 3.1 se indica el símbolo del diodo, los otros semiconductores son una variante de él, incluyendo los más utilizados en los controles modernos de motores. El funcionamiento básico del diodo, se indica en la figura 3.2:

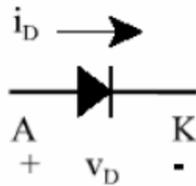


Figura 3.1 Símbolo del Diodo.

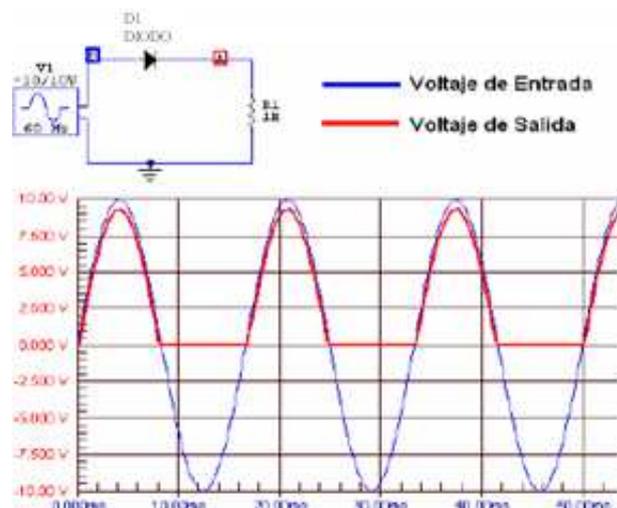


Figura 3.2 Circuito y Curva de funcionamiento del Diodo.

Fuente: Boylestad Robert L.- 1997- Electrónica: Teoría de circuitos- México. Prentice Hall, 6a Edición.

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.

3.1.2 El Rectificador Controlado de Silicio (SCR).

El SCR (figura 3.3) conocido también como tiristor, es un tipo de semiconductor controlado que funciona similar al diodo (figura 3.4), 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.

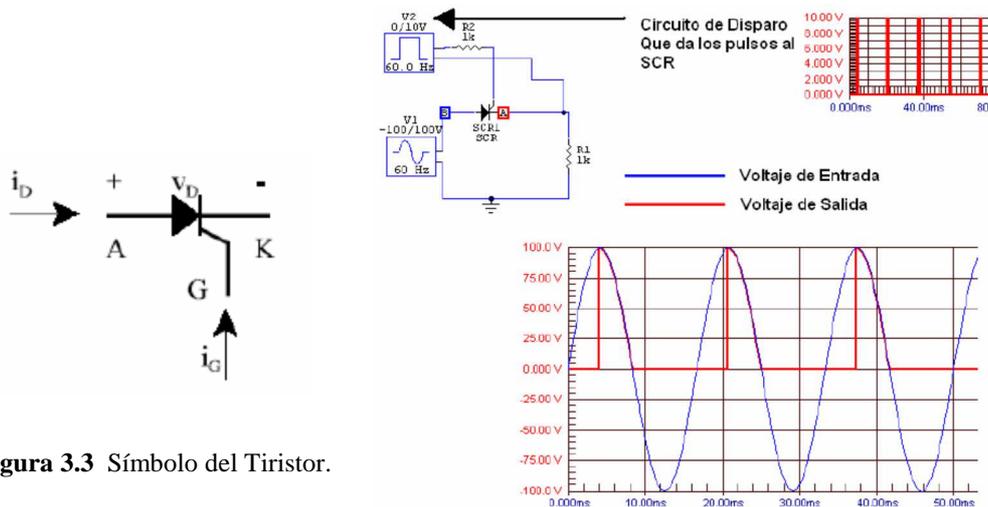


Figura 3.3 Símbolo del Tiristor.

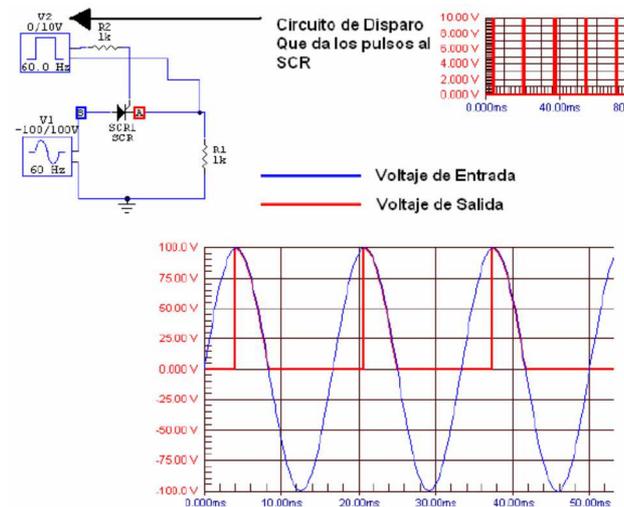


Figura 3.4 Circuito y curva de funcionamiento del Tiristor.

Fuente: Boylestad Robert L.- 1997- Electrónica: Teoría de circuitos- México. Prentice Hall, 6a Edición.

3.1.3 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. Su símbolo se indica en figura 3.5 y su circuito de disparo en la figura 3.6.

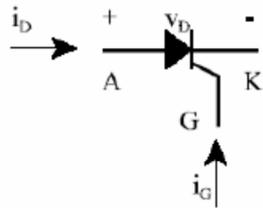


Figura 3.5 Símbolo del GTO

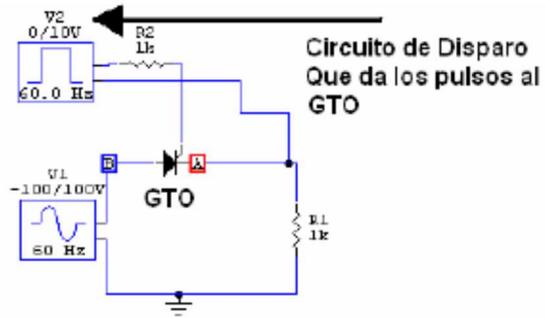


Figura 3.6 Circuito de funcionamiento del GTO.

Fuente: Boylestad Robert L.- 1997- Electrónica: Teoría de circuitos- México. Prentice Hall, 6a Edición.

3.1.4 El Tiristor Conmutado de Compuerta Simétrica (SGCT).

El SGCT es la última generación de semiconductores controlados (figura 3.7). Es una mejora del GTO. Tiene un disparador controlado por medio de microprocesador, y está diseñado para interrumpir voltajes hasta los 6500V y corrientes hasta los 1500A.

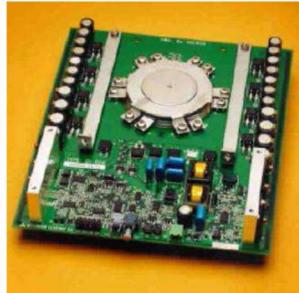


Figura 3.7 Fotografía de un SGCT.

Fuente: Boylestad Robert L.- 1997- Electrónica: Teoría de circuitos- México. Prentice Hall, 6a Edición.

3.1.5 Rectificador.

El rectificador es un dispositivo que convierte una señal senoidal de corriente alterna (AC) a una señal de corriente continua (DC) como se muestra en la figura 3.8.

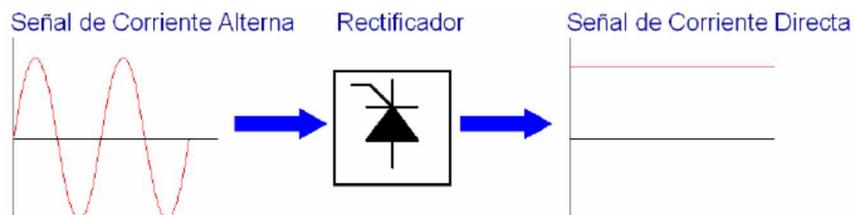


Figura 3.8 Función del rectificador.

Fuente: Boylestad Robert L.- 1997- Electrónica: Teoría de circuitos- México. Prentice Hall, 6a Edición.

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 3.9 muestra el diagrama de un rectificador trifásico que utilizan los variadores de frecuencia:

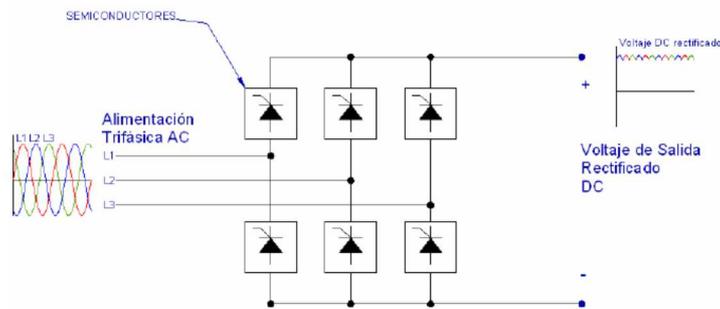


Figura 3.9 Circuito de un rectificador trifásico.

Fuente: Boylestad Robert L.- 1997- Electrónica: Teoría de circuitos- México. Prentice Hall, 6a Edición

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.

3.1.6 Inversor.

El inversor es la parte donde el voltaje rectificado DC se convierte a una señal de voltaje y corriente AC (figura 3.10). La señal convertida posee distinta frecuencia y magnitud de voltaje que el de la señal que entra al rectificador.

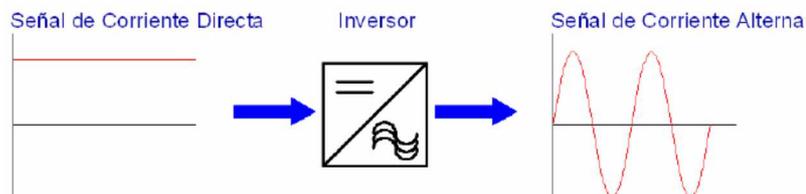


Figura 3.10 Función del inversor.

Fuente: Boylestad Robert L.- 1997- Electrónica: Teoría de circuitos- México. Prentice Hall, 6a Edición

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 3.11 se muestra el diagrama básico del inversor trifásico utilizado en la mayoría de variadores de frecuencia.

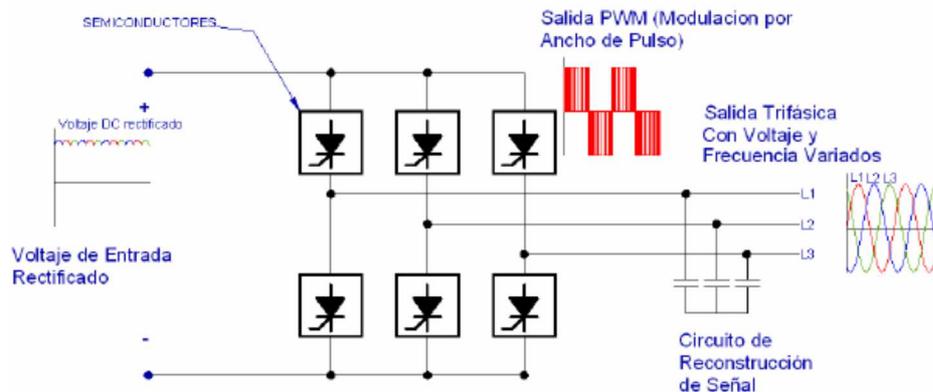


Figura 3.11 Circuito de un inversor trifásico.

Fuente: Boylestad Robert L.- 1997- *Electrónica: Teoría de circuitos- México. Prentice Hall, 6a Edición*

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). La señal típica modulada por pulsos tiene la forma mostrada en la figura 3.12.

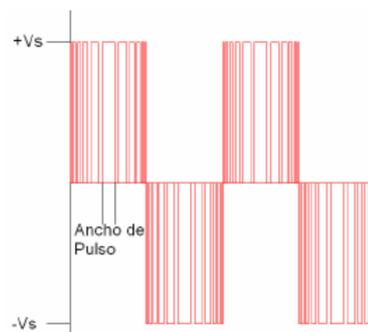


Figura 3.12 Señal de una PWM.

Fuente: Boylestad Robert L.- 1997- *Electrónica: Teoría de circuitos- México. Prentice Hall, 6a Edición*

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 3.13, esta se compone de pulsos de voltaje con una magnitud constante, pero con distinto ancho de pulso. Esta 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 si lo más parecido a una señal senoidal.

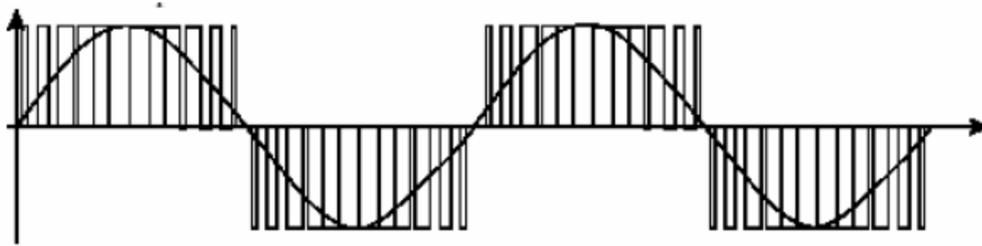


Fig. 3.13 Reconstrucción de señal de pulsos a senoidal.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia.

3.2 Teoría básica de los variadores de velocidad.

3.2.1 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. El diagrama mostrado en la figura 3.14 indica el proceso de variación de la señal de alimentación.

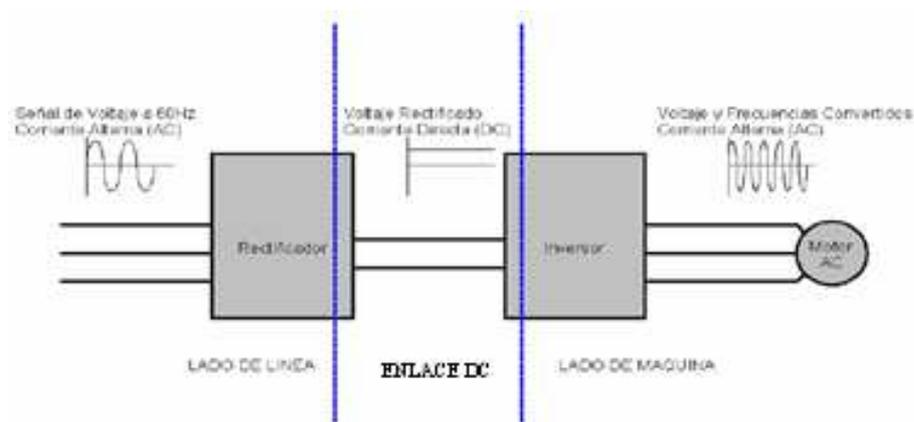


Figura 3.14 Diagrama básico del variador de frecuencia.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia.

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.

3.2.2 Variables del motor relacionadas con el control de velocidad.

Para entender las variables del motor que se manipularán para el control de velocidad, es necesario entender las partes que componen el circuito equivalente del motor AC, las mismas que se muestran en la figura 3.15.

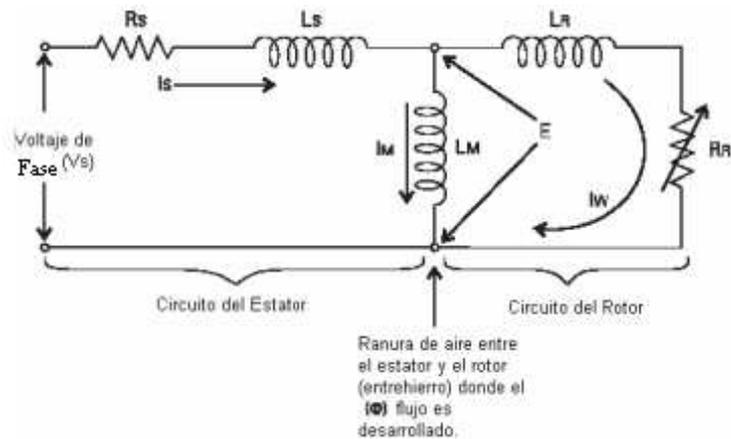


Figura 3.15 Circuito equivalente del motor.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia.

Donde:

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.

3.3 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:

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

Donde:

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)

3.3.1 Variación del número de polos.

La variación del campo magnético rotatorio, está determinado por el número de polos del estator, por lo que si se varían estos, 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).

3.3.2 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 3.16.

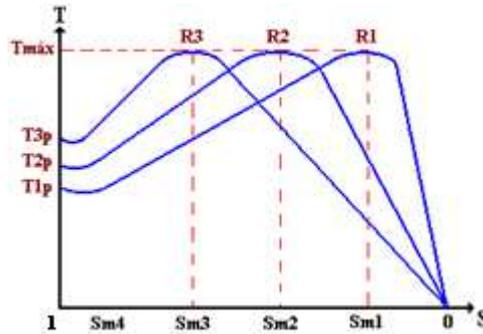
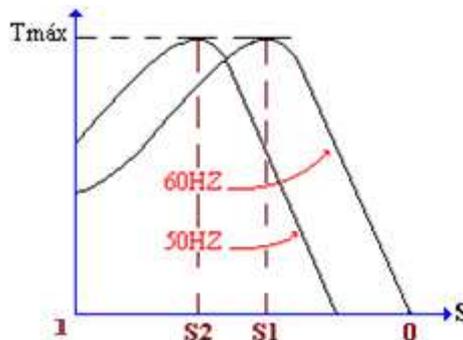


Figura 3.16 Curva torque versus deslizamiento en un motor de inducción.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia.

3.3.3 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 (figura 3.17).



Donde:
($S1 < S2$)

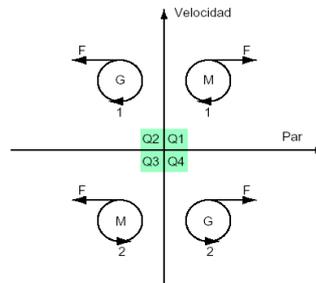
Figura 3.17 Curva de torque versus frecuencia en un motor de inducción.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia.

3.4 Variadores de velocidad 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 un chopper de frenado.

La figura 3.18 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 3.18 Los 4 estados posibles de una máquina en su gráfico par-velocidad.

Fuente: http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/electronica/elementos/motores_de_alternaa.htm.

3.5 Tecnología de los variadores existentes en el mercado.

3.5.1 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 3.19, 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.

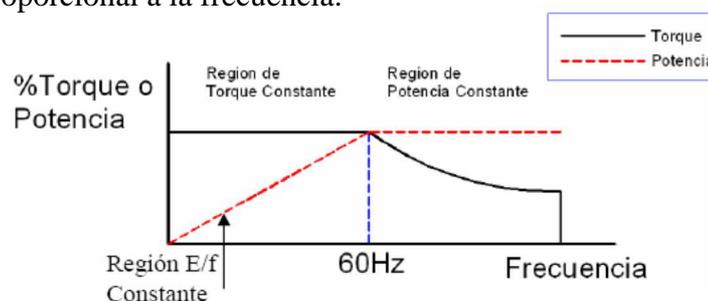


Fig. 3.19 Regiones de torque y potencia constante.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia.

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:

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

Donde:

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 unas 90 R.P.M. 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.

3.5.2 Control vectorial.

El control vectorial de la velocidad de un motor, modifica la frecuencia y el voltaje de alimentación, 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. En la figura 3.20, se muestra esquemáticamente la rotación del campo magnético giratorio en el rotor.

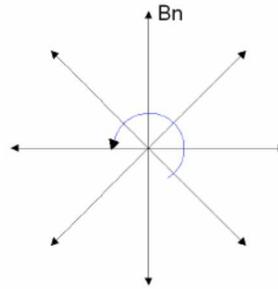


Figura 3.20 Rotación del campo magnético en el rotor.

Fuente:

Chapman, S. J. - 1993- *Máquinas Eléctricas.- Santafé de Bogotá- Editorial McGraw – Hill. 2a edición.*

3.5.2.1 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.

3.5.2.2 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, desbobinadores, tractores de material, etc.

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 merito, calidad o confiabilidad. Simplemente tienen rangos de aplicación diferentes y requieren para un funcionamiento satisfactorio una correcta selección en función de la aplicación.

3.6 Instalación de un variador de frecuencia.

Los variadores de frecuencia permiten circular la corriente alterna desde la red, pasando por los conductores del equipo y luego llegar a la conexión del motor (figura 3.21). El inversor del variador genera la tensión de salida, a través de un proceso de modulación de ancho de pulsos en alta frecuencia denominado PWM.

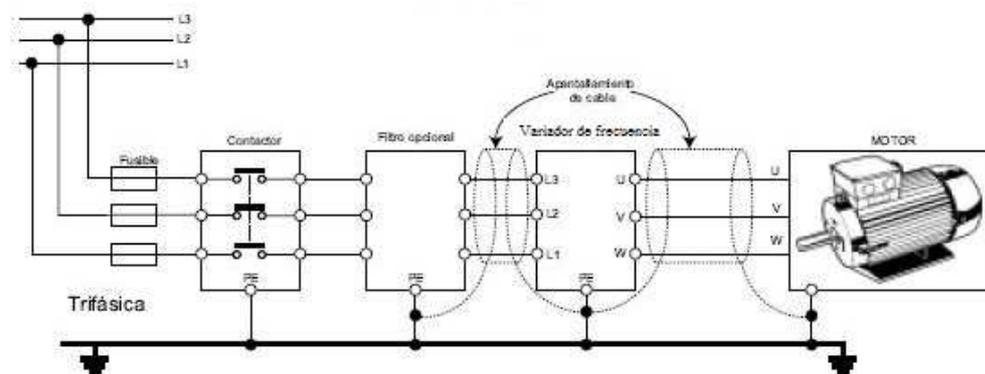


Figura 3.21 Instalación típica de un variador de frecuencia

Fuente: <http://www.siemens.de/micromaster>. Edición 10/06.

La circulación de corrientes de alta frecuencia produce caídas alinéales en conductores, así como campos electromagnéticos y radiación de energía que pueden perturbar el funcionamiento de equipos cercanos. Existen actualmente diversas legislaciones, en distintos países, para establecer límites a las perturbaciones introducidas por los equipos, quizás la más exigente al respecto en la actualidad, sea la norma europea que establece dos niveles de perturbaciones generadas por un variador de velocidad:

A nivel industrial, básicamente todo variador debe satisfacer sin la utilización de elementos exteriores, en la medida que el variador sea instalado de acuerdo a las recomendaciones del fabricante; las mismas dan métodos de cableado y protección.

A nivel domiciliario, es más exigente que el anterior en el cual deben utilizarse generalmente filtros adicionales en la alimentación y salida del variador para limitar las perturbaciones introducidas. A más de utilizar los filtros el variador debe ser instalado de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

El análisis de las perturbaciones generadas por el variador conduce a dividir la instalación en 3 partes, tal como se describe a continuación:

3.6.1 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 además 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.

3.6.2 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.

3.6.3 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. Existe además, el fenómeno de radiación en el cable el cual debe tratarse, como en los puntos descriptos anteriormente.

3.7 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).

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

- Los variadores reflejan hacia la red un buen factor de potencia (F_p), con eso la red no se afecta y no se debe preocupar por bajo F_p 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 directos, 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., etc.).

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

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

3.10 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. 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.

3.11 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 tales como las mostradas en la figura 3.22 a, b, y c).

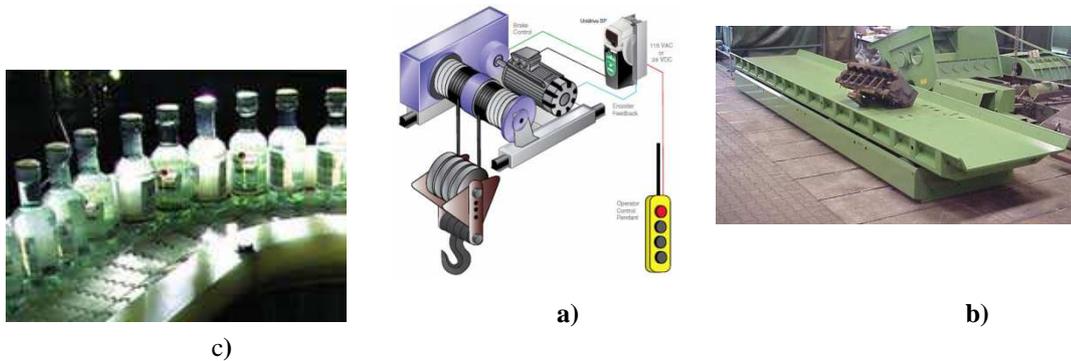


Figura 3.22 Distintas aplicaciones de los variadores de velocidad en la industria.

Fuente: http://rivet.cl/transportadores_vibratorios.

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 del pozo.

CAPITULO 4. SENSORES Y TRANSDUCTORES

4.1 El Sensor.

Es un dispositivo convertidor de energía, es decir que obtiene energía de un sistema y la transforma a otro tipo de energía para su procesamiento. Es el dispositivo directamente en contacto con la magnitud a medir, el mismo no tiene porqué proporcionar ninguna salida eléctrica. Su finalidad es captar esta magnitud para posteriormente transformarla y obtener una salida eléctrica.

4.1.1 La Termocupla.

Una termocupla consiste de un par de conductores de diferentes metales o aleaciones; uno de los extremos, la unión de medición, está colocado en el lugar donde se ha de medir la temperatura. Si se presenta un gradiente de temperatura en un conductor eléctrico, el flujo de calor creará un movimiento de electrones y con ello se generará una fuerza electromotriz (f.e.m.) en dicha región. Las termocuplas se basan para su funcionamiento en el efecto *Seebeck*, como se observa en la figura 4.1:

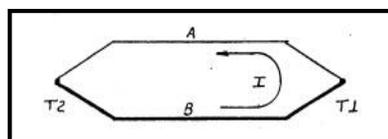


Figura 4.1 Efecto *Seebeck* en las termocuplas

Fuente:

http://www2.uca.es/grup-invest/instrument_electro/ppjjgdr/Electronics_Instrum/Electronics_Instrum_Files/temas/T16_trans_temp.PDF.

Calentando la unión de dos materiales distintos que componen un circuito cerrado, se establece una corriente. Las tres leyes principales que rigen su funcionamiento son las siguientes:

- 1) **Ley de Homogeneidad del circuito:** No se puede obtener corriente calentando un solo metal (Efecto *Thompson*).
- 2) **Ley de Metales Intermedios:** La sumatoria de las diferencias de potencial térmicas es cero en un circuito con varios metales, si estos están a temperatura uniforme.
- 3) **Ley de temperaturas intermedias:** La fuerza electromotriz térmica de una termocupla no depende de las temperaturas intermedias.

En la figura 4.2 ambos instrumentos marcarán igual, es decir la corriente circulante dependerá en ambos casos de T1 y T2 exclusivamente.

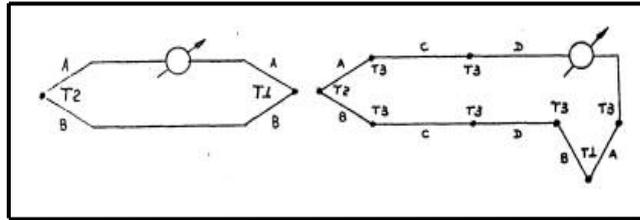


Figura 4.2 La fuerza electromotriz térmica de una termocupla.

Fuente:

http://www2.uca.es/grup-invest/instrument_electro/ppjjgdr/Electronics_Instrum/Electronics_Instrum_Files/temas/T16_trans_temp.PDF.

En una termocupla, los dos materiales que tienen diferentes características f.e.m./temperatura, se combinan para producir voltaje de salida y puede ser cuantificado. Los dos conductores salen del área de medición y terminan en el otro extremo, la unión de referencia se mantiene a temperatura constante. Se produce entonces una f.e.m. que es función de la diferencia de temperatura entre las dos uniones.

En lo que se refiere al circuito de una termocupla y su sistema de medición, el mismo se divide en cuatro zonas indicadas en la figura 4.3: (1) Unión de medición, (2) Unión de corrección, (3) Cable compensado, (4) Junta de referencia.

En cuanto al sistema electrónico de compensación de unión de referencia, el circuito se divide en cuatro zonas indicadas en la figura 4.4: (1) Termocupla, (2) Cable compensado, (3) Compensador de mV., (4) Fuente de tensión constante.

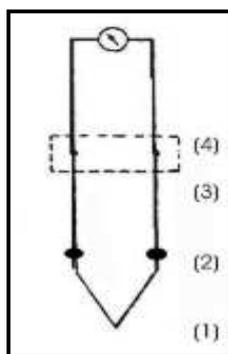


Figura 4.3 Circuito de una termocupla.

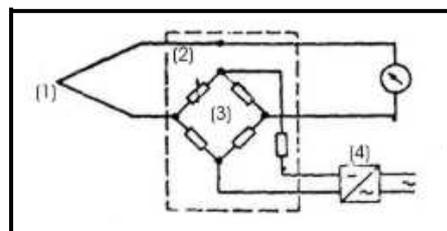


Figura 4.4 Sistema electrónico de compensación de unión de referencia.

Fuente:

http://www2.uca.es/grup-invest/instrument_electro/ppjjgdr/Electronics_Instrum/Electronics_Instrum_Files/temas/T16_trans_temp.PDF.

Existen varias reglas a recordar en el empleo de estos sistemas, como las siguientes:

- Para asegurar una operación estable y adecuada de la termocupla, las características termoeléctricas de los conductores, deben mantenerse (uniformidad).
- Un circuito comprimiendo o simplemente conectando materiales diferentes, en un gradiente de temperaturas producirá una señal. Dos conductores de igual material no producirán f.e.m. alguna.
- La sensibilidad termoeléctrica de la mayoría de los metales, no es lineal con la variación de temperatura.

Puesto que la f.e.m. neta generada es función de las temperaturas de ambas uniones, se requiere el control o la compensación de la temperatura de la unión de referencia (o unión fría), lo cual se puede lograr de tres maneras distintas:

- El método básico y más exacto es el de controlar la temperatura de la unión de referencia, normalmente colocando la unión en un baño de hielo (0°C).
- Otro método consiste en medir la temperatura en la unión de referencia utilizando cualquier tipo de dispositivo de medición de temperatura, y luego, en base a esa temperatura y a la salida eléctrica de la unión de medición compensar la lectura de la temperatura de la unión de medición.
- El tercer método es una compensación eléctrica, que también implica la utilización de un dispositivo sensor de temperatura para medir la temperatura de la unión de referencia; sin embargo, en lugar de calcular la compensación a ser aplicada a la salida de la unión de medición, el sensor de temperatura de la unión de referencia se halla incorporado dentro del circuito eléctrico de la termocupla, donde agrega o quita los milívoltios necesarios en la unión de referencia a fin de corregir automáticamente la salida de la termocupla (figura 4.4).

Es de fundamental importancia la prolongación de los alambres termopares, muchas veces hasta la unión de referencia que puede estar lejos de la unión de medición y no siempre afectada por altas temperaturas como en el caso de los alambres de termocupla. Es allí donde aparece el uso de los conocidos cables compensados. Su misión es únicamente la de trasladar la unión de referencia hasta un lugar adecuado (de temperatura estable o conocida) y luego utilizar, para compensar el error, cualquiera de los dos primeros sistemas de compensación de unión fría mencionados.

En el caso del tercer sistema de compensación (figura 4.4), la finalidad del cable compensado es llevar el sistema de compensación automática hasta un lugar con temperaturas inferiores a 60° C, ya que todos estos sistemas son electrónicos y trabajan con temperaturas ambiente entre -10° C y 60° C.

4.1.1.1 La Termocupla estándar.

Las termocuplas son los sensores de temperatura ampliamente utilizados a nivel industrial debido a sus positivos atributos de ser simples, poco costosos y confiables.

Durante el año 1986 se procedió a unificar las normas europeas: DIN (alemanas), BS (inglesas), NF (francesas) y las antedichas ANSI (norteamericanas) en cuanto a la correlación de temperaturas y f.e.m., así como en las tolerancias de estas f.e.m. en las distintas aleaciones. Los siete tipos de termocuplas se describen en la tabla 4.1. y los alcances de temperatura indicados son aquellos cuyos valores de f.e.m. se encuentran indicados. Así mismo se indican la composición de termocuplas y los diámetros de alambre apropiado y las tolerancias de calibración tal como lo indica tabla 4.2.

4.1.1.2 La Termocupla práctica.

Los termoelementos pueden hacerse con cables compensados y algún tipo de aislante adecuado para cada caso. La unión de medición se forma en un extremo soldando los dos alambres conductores fundiéndolos entre sí bajo una atmósfera inerte de argón (figura 4.5). La condición esencial es establecer una conexión eléctrica adecuada entre los conductores.

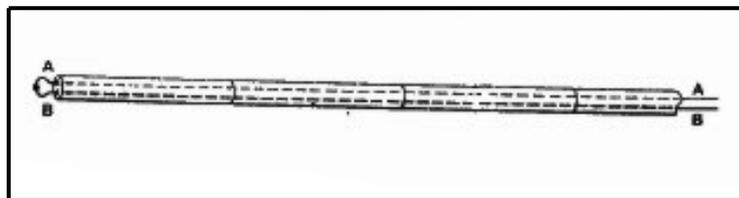


Figura 4.5 Unión soldada en el punto de medición.

Fuente:

http://www2.uca.es/grup-invest/instrument_electro/ppjjgdr/Electronics_Instrum/Electronics_Instrum_Files/temas/T16_trans_temp.PDF.

La siguiente tabla denota la composición, rango de temperaturas, diámetros de alambre y fuerzas electromotrices de las distintas termocuplas.

<u>Tipo</u>	<u>Denominación</u>	<u>Composición y símbolo</u>	<u>Rango de temperaturas (°C) *1</u>	<u>Diámetro del alambre (mm) *2</u>	<u>F.e.m. (mV) *3</u>
B	Platino-rodio 30% vs. platino-rodio 6%	PtRh 30% - PtRh 6%	0 ...1.500 (1.800)	0,35 y 0,5 mm	0...10,094 (13,585)
R	Platino-rodio 13% vs. Platino	PtRh 13% - Pt	0...1.400 (1.700)	0,35 y 0,5 mm	0.16,035 (20,215)
S	Platino-rodio 10% vs. Platino	PtRh 10% - Pt	0...1300(1.600)	0,35 y 0,5 mm	0...13,155 (15,576)
J	Hierro vs. constatan	Fe – CuNi	-200 ... 700 (900) -200 ... 600 (800)	3 mm 1mm	-7.89 ... 39,130 (51,875) -7.89 ... 33,096 (45,498)
K	Niquel-cromo vs. níquel (Chromel vs. Alumel)	NiCr – Ni	0...1000(1.300) 0 ... 900 (1.200)	3 ó 2 mm 1,38 mm	0...41,269 (52,398) 0...37,325 (48,828)
T	Cobre vs. constatan	Cu – CuNi	-200 ... 700 (900)	0,5 mm	-5,60 ... 14,86 (20,86)
E	Niquel-cromo vs. constatan (Chromel vs. constatan)	NiCr – CuNi	-200 ... 600 (800)	3 mm	-9,83 ... 53,11 (68,78) -8,83 ... 45,08 (61,02)

Tabla 4.1 Características de las distintas termocuplas.

Fuente: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/9336#toc0>

(*1) Los valores entre paréntesis son los admitidos en intervalos cortos (no permanentes).

(*2) Los diámetros de alambres no son indicativos.

(*3) Valores de f.e.m. (mV) en función de ° C, referencia unión fría 0° C.

Tabla de tolerancias de calibración para termocuplas estándar.

Termocupla	Rango	Clase 1 Desviación máxima (+) *1
Cobre vs. Cobre-níquel, Tipo T	-40 a + 350°C	0,5 °C ó 0,004 (t)
Hierro vs. cobre- níquel, Tipo J	-40a+ 750 °C	1,5 °C ó 0,004 (t)
Níquel-cromo vs. níquel, Tipo K	- 40 a 1.000 °C	1,5 °C ó 0,004 (t)
Platino-rodio 13% vs. platino, Tipo R .	0 a + 1.600°C	1 °C ó 1 + 0,003 (t - 1. 100)°C
Platino-rodio 10% vs. platino, Tipo S	0 a + 1. 600°C	1 °C ó 1 + 0,003 (t - 1.100)°C
Platino-rodio 30% vs. platino-rodio 6%, Tipo B	--	
Termocupla	Rango	Clase 2 Desviación máxima (±) *1
Cobre vs. cobre-níquel, Tipo T	-40a+ 350°C	1°C ó 0,0075(t)
Hierro vs. cobre-níquel, Tipo J	-40a+ 750 °C	2,5 °C ó 0,0075 (t)
Níquel-cromo vs. níquel, Tipo K	- 40 a + 1.200°C	2. 5 °C ó 0.0075 (t)
Platino-rodio 13% vs. platino, Tipo R	0 a + 1.600 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
Platino- rodio 10% vs. platino, Tipo S	0 a + 1.600 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
Platino- rodio 30% vs. platino-rodio 6%, Tipo B	+ 600 a + 1700 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
Termocupla	Rango	Clase 3 *2 Desviación máxima (±) *1
Cobre vs. Cobre-níquel, Tipo T	-200 a + 40 °C	1 °C ó 0,015 (t)
Hierro vs. cobre- níquel, Tipo J	-200 a + 40 °C	2,5 °C ó 0,015 (t)
Níquel-cromo vs. níquel, Tipo K	-200 a + 40 °C	2,5 °C ó 0,015 (t)
Platino-rodio 13% vs. platino, Tipo R	--	--
Platino-rodio 10% vs. platino, Tipo S	--	--
Platino-rodio 30% vs. platino-rodio 6%, Tipo B	+600 a + 1.700 °C	4 °C ó 0,005 (t)

Tabla 4.2 Tolerancias de calibración para termocuplas estándar (referencia unión fría 0° C) según IEC 584 Parte 1.

Fuente: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/9336#toc0>

*1 La desviación máxima debe ser calculada como el mayor valor de las dos expresiones: el valor en °C o su equivalente calculado reemplazando (t) por la temperatura en cuestión.

*2 Normalmente, las termocuplas y los cables compensados se suministran con tolerancias especificadas por encima de -40 °C. Para termocuplas utilizadas por debajo de -40 °C. debe entenderse que sus tolerancias son para ese material mayores que las especificadas en Clase.

Los rangos, tipo y estilos de las termocuplas son muy variados, con lo que es posible conseguir una disposición adecuada para las aplicaciones necesarias en la industria y el campo científico. El termoelemento suele ir introducido en una carcasa cerrada en su extremo conocido como termopozo, que se fabrica de alguna aleación metálica resistente a la corrosión o al calor y, en otros casos se utiliza un material refractario.

Una forma alternativa de construcción es utilizar un termoelemento con aislamiento mineral. En ese caso, los cables conductores están envueltos en un polvo mineral inerte y no conductor fuertemente compactado (figura 4.6). Este tipo de ensamblaje se puede obtener en diámetros externos desde 0.25 hasta 19 mm inclusive y longitudes de unos pocos milímetros hasta cientos de metros.

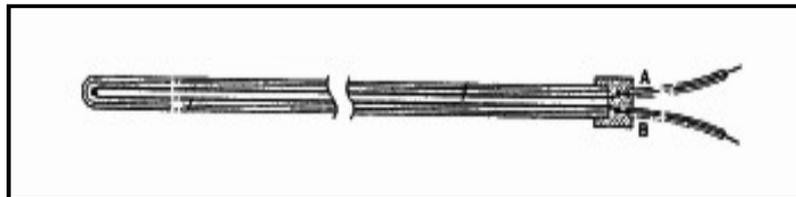


Figura 4.6 Unión compacta en el punto de medición.

Fuente: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/9336#toc0>

4.1.1.3 Características de las Termocuplas.

Los requerimientos más importantes que deben cumplir los materiales de termocuplas son los siguientes:

- Ser mecánicamente robustas y resistentes químicamente.
- Deben producir una salida eléctrica mensurable y estable.
- Deben tener la precisión requerida.
- Deben responder con la velocidad necesaria.
- Debe considerarse la transferencia de calor al medio y viceversa para que no afecte la lectura.
- Deben, en algunos casos, estar aislados eléctricamente de masa.
- Deben ser económicos.

Hay una gran variedad de diseños de termocuplas para numerosas aplicaciones. En su diseño más común, los conductores (alambres) de los materiales deseados se unen, normalmente mediante soldadura, para formar la unión de medición.

Los alambres pueden usarse desprotegidos o instalados dentro de un tubo o vaina de protección. Los tubos y las vainas de protección, se usan casi siempre con las termocuplas básicas; mientras las termocuplas provistas de blindaje protector metálico pueden brindar suficiente protección química y mecánica, sin tubo o vaina.

4.1.2 La Termoresistencia (RTD).

La termoresistencia, trabaja según el principio de que variar la temperatura, su resistencia se modifica, y la magnitud de esta modificación puede relacionarse con la variación de temperatura. Las termoresistencias de uso más común, se fabrican de alambres finos, soportados por un material aislante y luego encapsulados.

La relación fundamental para el funcionamiento es:

$$R_t = R_o * (1 + \alpha * t)$$

Donde:

R_o: Resistencia en ohmios a 0 grados Celsius

R_t: Resistencia a la temperatura t grados Celsius

α: Coeficiente de temperatura de la resistencia. Los materiales utilizados para los arrollamientos de termoresistencias son platino, níquel, níquel-hierro, cobre tungsteno.

Se considera que el material a ser usado, tendrá un comportamiento lineal, dentro del rango de trabajo (Tabla 4.3). De no ser así, la función debería tener más términos.

Los sensores de platino tienen una ventaja fundamental; son sumamente precisos y producen medidas altamente reproducibles. Su construcción permite disponer de ellos como elementos simples, dobles y, en casos muy especiales, hasta triples.

METAL	RANGO DE OPERACIÓN ° Celsius	PRECISIÓN
Platino	-200 a 950	0.01
Níquel	-150 a 300	0.50
Cobre	-200 a 120	0.10

Tabla 4.3 Rango de temperaturas de las RTD.

Fuente: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/9336#toc0>

Las termoresistencias de níquel no miden temperaturas tan elevadas como lo hacen los sensores de platino. Los límites de alcance están entre -60°C y 180°C . Con exactitudes menores que las de platino. Las termoresistencias de platino tienen normalmente un valor de $100\ \Omega$ a 0°C con un intervalo de $38,5\ \Omega$. Su construcción puede hacerse con 2, 3 o 4 cables.

4.1.2.1 Características de las Termoresistencias.

El aspecto exterior de la termoresistencia industrial es idéntico al de la termocupla (figura 4.7). Se aplican las mismas consideraciones ambientales y de instalación y se debe dar la debida atención a los conceptos de presión, temperatura, ataque químico, abrasión, vibración, porosidad y velocidad de fluido, requiriéndose los mismos tipos de vainas de protección.

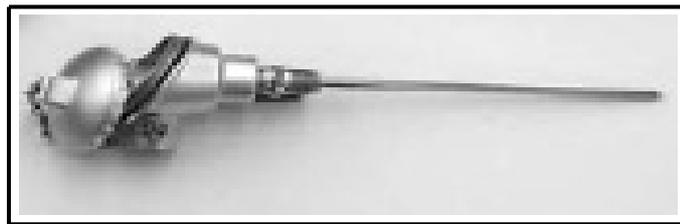


Figura 4.7 Esquema de una RTD.

Fuente: <http://tec.upc.es/ie/RTDs.pdf>

Las termoresistencias se fabrican en varios tipos de configuración de los alambres de conexión, los que se muestran en la figura 4.8. Se dividen en tres configuraciones:

- La configuración **a** se usa en un circuito básico bifilar, con una conexión a cada extremo de la termoresistencia.
- La configuración **b** es el circuito trifilar estándar. Los conductores que conectan la termo resistencia al circuito de medición, se hallan sujetos a la misma temperatura y el sistema puente de *Wheatstone* que utiliza a la entrada el instrumento de medición se encuentra casi balanceado.
- La configuración **c** consiste de cuatro cables de conexión y brinda mejor exactitud que las configuraciones a y b.

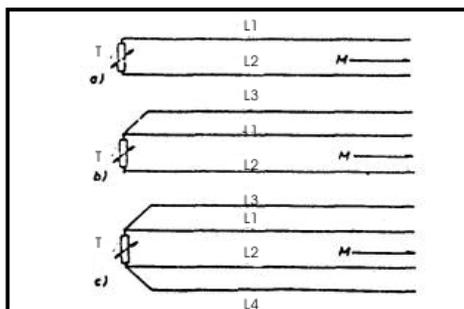


Figura 4.8 Configuraciones de termoresistencias.

Fuente: <http://tec.upc.es/ie/RTDs.pdf>

4.1.2.2 Tipos de Termoresistencias.

Existen tres tipos de termoresistencias, de acuerdo a su construcción y cableado:

- De dos hilos.
- De tres hilos.
- De cuatro hilos.

Para las termo resistencias de tres hilos o trifilar (figura 4.9), si además, se ajusta el puente de tal forma que $R1/R2=1$, y como la longitud por lado de conductor se hace igual, se puede ajustar el valor de la resistencia $R3$ para equilibrio, y ese será directamente el valor de la resistencia x . En equilibrio la ecuación del puente será:

$$R1 / (R3 + K * a) = R2 / (x + K * b)$$

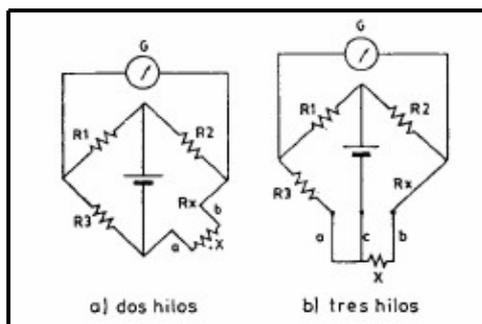


Figura 4.9 Conexiones de termoresistencias de tres o cuatro hilos.

Fuente: <http://tec.upc.es/ie/RTDs.pdf>

4.1.2.3 La Termoresistencia de uso general.

Se puede usar con o sin termopozos en una infinidad de procesos que incluyen tanques, hornos, estufas, tuberías, ductos, sistemas de incubación, fermentación, refrigeración.

Los tubos protectores son requeridos por el cliente en distintos largo, diámetro y material; tienen respuesta rápida, con camisa para medición de gases secos (figura 4.10)

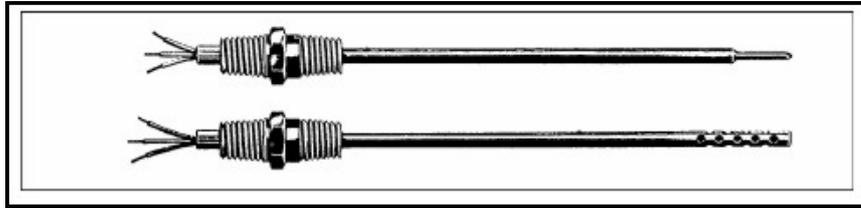


Figura. 4.10 Esquema de Termoresistencias de uso general.

Fuente: <http://tec.upc.es/ie/RTDs.pdf>

4.1.3 Termocupla versus termoresistencia.

Las termocuplas se las usan desde hace unos 150 años atrás y mantienen la posta en las mediciones de temperatura industriales. Ventajas y desventajas de la RTD con referencia a la Termocupla:

- **Ventajas de un RTD:**

- Alta Precisión.
- Mejor Linealidad.
- Mejor Estabilidad.
- No requiere compensación por unión fría.
- Los hilos no requieren especial extensión.

- **Desventajas de un RTD:**

- Él limite de temperatura máxima es el más bajo.
- El tiempo de respuesta sin el termopozo es bajo.

4.2 Transductores

Se denomina de esta manera a todo dispositivo que convierte, una señal de una forma en otra señal, que se corresponde con la primera, pero con otra forma física distinta. La finalidad del transductor es acoplar la magnitud a medir al sistema de medida. El tratamiento que se hace a la señal de salida del transductor, es normalmente llevado a cabo por equipos o circuitos electrónicos, es decir los tipos de señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares o químicas; los considerados transductores por antonomasia son aquellos que ofrecen una señal de salida eléctrica: tensión, corriente, etc.

La relación entre la salida eléctrica ofrecida por el transductor y la magnitud de la señal se conoce como función de transferencia, y por lo general conviene que se aproxime lo máximo posible a una función lineal como se muestra en la figura 4.11.

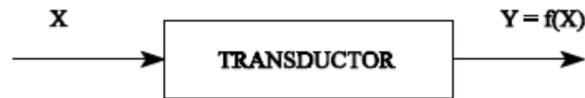


Figura 4.11 Esquema del funcionamiento de un transductor.

Fuente: <http://www.ehu.es/acustica/espanol/electricidad/transes/transes.html>

4.2.1 Características estáticas.- Son las que se manifiestan cuando la entrada es constante o varía lentamente y son las siguientes:

- **Rango o alcance:** Valores extremos
- **Spam:** Diferencia entre el valor máximo y mínimo.
- **Sensibilidad:** Relación entre la variación en la entrada y en la salida.
- **Curva de calibración:** $e = f(m)$
- **Umbral:** Valor mínimo a partir del cual el transductor genera una señal estable.
- **Resolución:** Mayor cambio que puede darse en la entrada, sin que se produzca cambio en la salida.
- **Estabilidad:** Capacidad del transductor para mantener constante su calibración.
- **Deriva:** Desviación de la curva del transductor con el paso del tiempo.
- **No linealidad:** Función que expresa la relación entre la salida real y la lineal ante una misma entrada. Un transductor es lineal cuando lo es la relación entre la entrada y la salida. No obstante los transductores generalmente son no lineales.

4.2.2 Características dinámicas.- Son las que se manifiestan cuando la entrada se modifica repentinamente de un valor a otro (estado transitorio), y son las siguientes:

- **Respuesta en frecuencia:** Análisis de la variación de la sensibilidad del transductor con la frecuencia de la señal de entrada.
- **Respuesta en fase:** La señal de salida está desfasada con respecto a la de entrada, la variación del desfase en función de la frecuencia de entrada, es la respuesta en fase.
- **Tiempo de establecimiento:** Es el tiempo necesario, para que la variación de la señal de salida, se produzca dentro de un rango determinado alrededor del valor final.

4.2.3 Clasificación de los transductores.

La forma de un sistema electrónico de medida y control, tiene tres componentes básicos de medida, tal como lo muestra la figura 4.12. Los cuales son los siguientes:

- Sensor / Transductor.
- Acondicionador de señal.
- Presentación (visualización y registro).

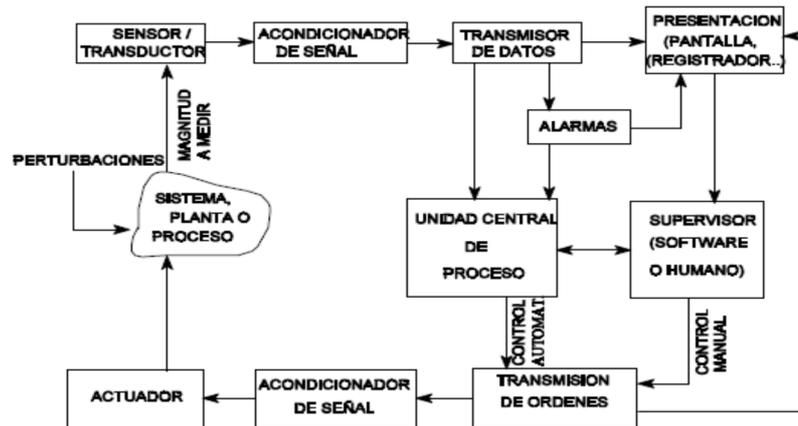


Figura 4.12 Componentes de un sistema electrónico de medida y control.

Fuente: <http://www.ehu.es/acustica/espanol/electricidad/transes/transes.html>

Los criterios de clasificación, que se pueden seguir en el caso de los transductores son muy diversos, a continuación se muestran tres de ellos:

- **Alimentación (tipo de excitación):**

- Activos o generadores:
 - Ellos mismos generan una tensión o corriente
 - No necesitan ninguna alimentación externa, por ejemplo: termopar
- Pasivos o moduladores:
 - Necesitan una alimentación externa
 - Ejemplo: termistor

- **Fundamentos físicos:**

- Los termopares basados en los efectos Seebeck, Peltier y Thomson.
- Transductores basados en el efecto piezoeléctrico.
- Transductores basados en el efecto fotoeléctrico.
- Transductores basados en la variación de resistencia eléctrica, de inductancia o de capacidad.

- **Magnitudes a medir:**

- Este criterio de clasificación tiene en cuenta cual es la magnitud que se mide, pudiendo ser: temperatura, fuerza, presión, nivel, posición, velocidad, aceleración, desplazamiento.

Los transductores también se pueden clasificar en base a su forma de medición, y se va a estudiar los principales de la siguiente manera:

4.2.3.1 Transductor de temperatura.

Es un dispositivo con el cual se puede convertir la variación de valor óhmico de un sensor térmico en una señal proporcional de corriente. La señal sirve para activar:

- Instrumentos indicadores convencionales de bobina móvil.
- Indicadores digitales de temperatura.
- Registradores de temperatura.
- Centros de control y procesamiento de datos.

Bajo especificación, los transductores de temperatura se suministrarán para los sensores térmicos, desde que sea conocida la relación temperatura x valor óhmico del sensor.

Características

- Circuitos estáticos de precisión, elevada resistencia a la variación de tensión y gran robustez constructiva.
- Gran confiabilidad proporcionada por la cuidadosa selección de los componentes y riguroso control de calidad.

4.2.3.1.1 Termistor.- Es un elemento sensible a la temperatura: resistencia de material semiconductor y presenta la ventaja de poseer mayor sensibilidad que las sondas de resistencia, se puede decir que el único inconvenientes que tiene es la “no linealidad” muy elevada (precisan circuitería de compensación). Sus tipos son: PTC y NTC (Coeficiente de Temperatura Positivo/Negativo).

4.2.3.1.2 Termopar.- Es un elemento que se compone de dos hilos de diferentes metales unidos en un extremo y abiertos en el otro. La tensión que pasa por el extremo abierto es función de la temperatura de la unión y de los metales utilizados (efecto Seebeck). Posee la propiedad de baja sensibilidad, pero tiene la ventaja de ser relativamente económico.

4.2.3.2 Transductor de fuerza.

- Basados en la aplicación de las leyes de la estática y según la aceleración angular con momento de inercia J, se tiene que:

$$\Sigma F - m \cdot a = 0$$

$$\text{Ley de Newton } \Sigma M - J(d\omega/dt) = 0$$

- Basados en el fenómeno de la reacción elástica:

$$\text{Ley de Hooke } F = - K \cdot \Delta x$$

4.2.3.3 Transductor de velocidad.

Por medio de él se puede determinar la velocidad a partir de la información proporcionada por los transductores de posición por diferenciación:

$$V = (dr/dt)$$

Algunos sensores de posición angular, al girar crean unos pulsos magnéticos y basta con contar esos pulsos para determinar la velocidad. Un ejemplo es la dínamo tacométrica o comúnmente llamado tacómetro, en la que se produce un complejo sistema de campos magnéticos que permiten medir la velocidad. Estos miden únicamente velocidades angulares, aunque también se pueden utilizar para medir velocidades lineales mediante sistemas mecánicos que conviertan el movimiento lineal en angular.

Existen dos sistemas para medir la velocidad:

- **Tacogeneradores.-** Están basados en la ley de Faraday el mismo que dependiendo del tipo de señal suministrada a la salida del tacogenerador, se dividen en tacodinamo (señal de D.C.) y tacoalternador (señal de A.C.).

- **Tacómetros.-** Normalmente son tacómetros eléctricos, que producen una tensión proporcional a la variación de rotación.

4.2.3.4 Transductor de aceleración.

El acelerómetro mide la fuerza requerida para acelerar una masa sujeta al acelerómetro es decir la medida del desplazamiento provocado por una masa interna con respecto al acelerómetro mide la fuerza a la que se ha sometido a la masa. Cuando un sensor está sujeto a vibraciones debe tenerse en cuenta la curva de respuesta del sistema ante señales de distinta frecuencia.

4.2.3.5 Transductor de desplazamiento.

El transductor de desplazamiento, contiene elementos capaces de realizar la medida de distancias lineales y angulares en márgenes más o menos amplios. Se pueden dividir según su aplicación de la siguiente manera:

- **Distancias largas.-** Se recurre a la emisión, recepción y posterior análisis de ondas electromagnéticas, como pueden ser los ultrasonidos (sonar, radar y láser).
- **Distancias cortas.-** Se utilizan transductores resistivos, capacitivos o inductivos.
- **Medidores de ángulos.-** Son muy utilizados en los sistemas de control. Al igual que los transductores lineales, se puede construir transductores angulares aprovechando el efecto resistivo (potenciómetros), inductivo y capacitivo, pero también se pueden utilizar discos codificados (*encoders*) que permiten un tratamiento digital de la información angular medida.

4.2.4 Aplicación de los transductores en el campo industrial.

Los transductores de mayor importancia en aplicaciones industriales son los de temperatura y los de humedad. La función esencial de un sistema de medida es la asignación de un número a una propiedad o cualidad de un objeto o evento, es decir una designación de valores lógicos a actividades comunes para su control. Sin embargo los componentes de cada sistema de medida son: transductor o sensor – adaptador – multiplexor y el acondicionador, tal como muestra la figura 4.13.

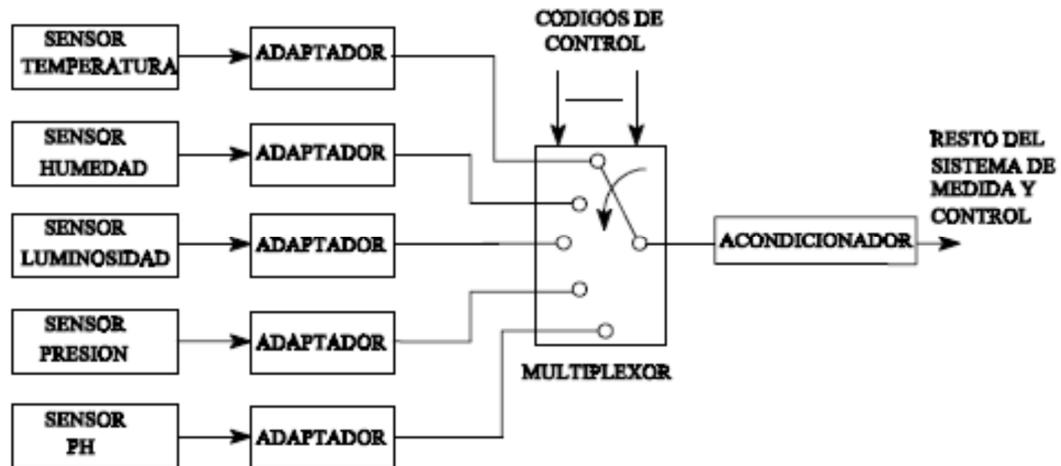


Figura: 4.13 Esquema unifiar de los tipos de transductores y sus componentes.

Fuente: <http://www.quiminet.com/articulos/usos-y-aplicaciones-de-los-transductores-56245.htm>

Los objetivos de la medida pueden ser:

- **Vigilancia.-** Es el caso de la medida de temperatura ambiente y de contadores.
- **Control de procesos.-** Es el caso de un termostato o el control del nivel de un depósito, debido a que la acción del elemento en mención, da como resultado el encendido o apagado de un mecanismo.
- **Ingeniería experimental.-** En particular esto se da cuando se realizan diversas pruebas para obtener resultados y tomar decisiones que den como consecuencia una mala utilización de recursos, con la finalidad de analizarlos previo a su ejecución. Mencionados resultados obtenidos de esta forma tienen su principal campo de aplicación en algún diseño asistido por ordenador.

Entre las aplicaciones más comunes de los sensores a nivel industrial, se pueden citar las siguientes:

- Monitoreo de ensayos.
- Control de procesos.
- Mantenimiento predictivo.
- Controles en general, entre otros.

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROCESO

CAPITULO 5. CONSTRUCCIÓN DEL MODULO DE PRUEBAS

5.1 Rediseño del Nuevo Módulo de Pruebas.

Considerando cantidad y medidas de cada uno de los elementos internos del módulo de pruebas original mostrado en las figuras 1.1 y 1.2; y previo a la construcción del Nuevo Módulo de Pruebas se realizó y desarrollo varios bosquejos a través del programa Autocad, logrando ajustarlo a las medidas requeridas y una vez realizadas todas las correcciones se obtuvo en el rediseño final de cada una de las partes del Módulo de Pruebas, las mismas que se muestran en las figura desde la 5.1 a la 5.4.

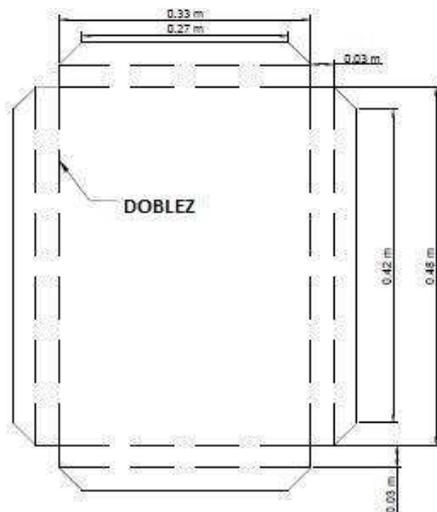


Figura 5.1 Base del Módulo para el Motor.



Figura 5.2 Puerta del gabinete.

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

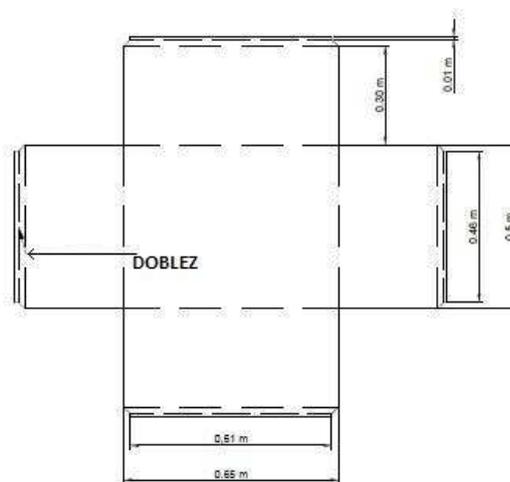


Figura 5.3 Gabinete del Módulo.

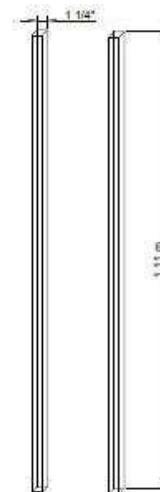


Figura 5.4 Tubos de la estructura del Módulo.

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

Se realizo el diseño del Módulo terminado, como se muestra en las figuras 5.5 y 5.6.

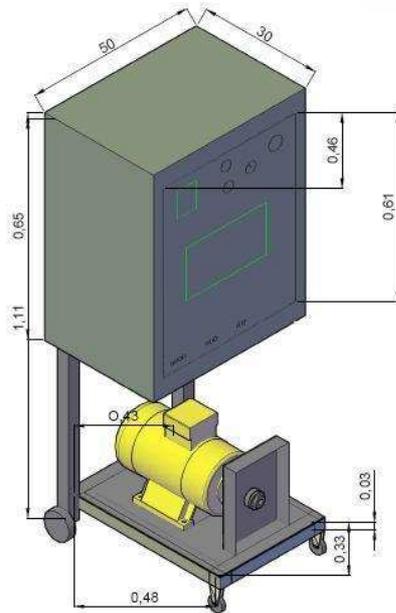


Figura 5.5 Vista frontal del Módulo.

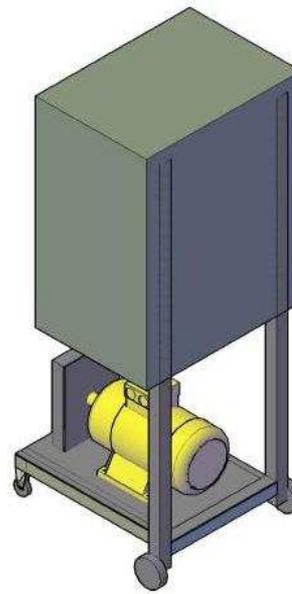


Figura 5.6 Vista posterior del Módulo.

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

5.2 Construcción del Módulo de Pruebas.

La construcción del Módulo de Pruebas, se la realizó en un taller de metalmecánica (figuras de la 5.7 a la 5.10). Para el gabinete y la base se utilizó plancha de hierro negro de 1.5mm y para la estructura tubos cuadrados de 1¼”x1,5 mm, pintura tipo epóxica, color: gris oscuro, El gabinete que contiene los elementos y conexiones tiene 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.



Figura 5.7 Doblado de planchas metálicas



Figura 5.8 Construcción y pulido de gabinete

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

Por ser tipo portátil, se construyeron sus partes y luego se acoplo: la base, el gabinete y su puerta con dos bisagras y una cerradura, en la base van instaladas 2 ruedas con eje fijo y 2 ruedas con base giratoria.



Figura 5.9 Corte de tubos cuadrados



Figura 5.10 Mediciones finales del Módulo.

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

5.3 Conexión y montaje de componentes en el Módulo de Pruebas.

Con el propósito de obtener una mejor visualización de los elementos y operados con fácil accesibilidad, se optó por dejarlos sobrepuestos en la puerta: las botoneras, conectores de entrada, el potenciómetro y el medidor de parámetros, los transductores, para cada caso y acorde a sus medidas se efectuaron los calados en la puerta, los demás elementos quedaron montados sobre un plafón al interior del gabinete. Por ser un módulo didáctico, se colocó etiquetas de identificación sobre la puerta con los nombres de cada uno de los accesorios. La alimentación al Módulo se la realiza a través de un enchufe de 32A - 12h - 4 pines (figura 5.11), el mismo que alimenta al guardamotor con 230V- 3 ϕ 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 5.11 Enchufe de 32A - 12h - 4 pines.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

En la figura 5.12 se muestra el Módulo de Pruebas terminado en su vista exterior, y en la figura 5.13 se muestra la vista interior.



Figura 5.12 Módulo de Pruebas terminado (vista exterior).

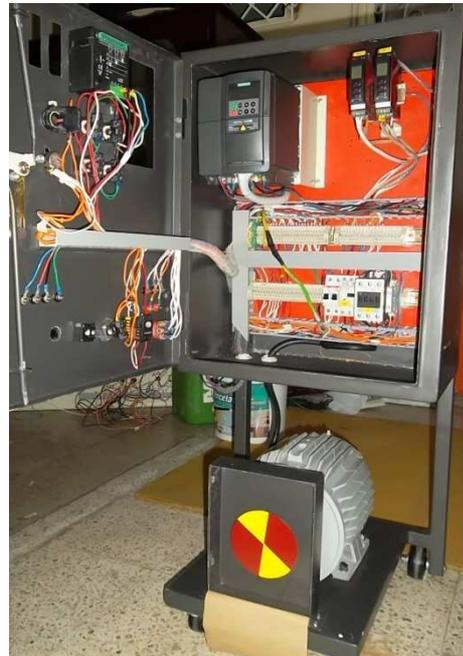


Figura 5.13 Módulo de Pruebas terminado (vista interior).

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

En el interior del Módulo, se encuentran los terminales conectados desde las borneras de control y fuerza, las mismas están divididas en tres grupos de borneras X0, X1 y X2 lo cuál se puede ver más detalladamente el diagrama de conexiones de las borneras hacia cada uno de los elementos mostrado en la figura 5.14; como lo indican el diagrama de control mostrado en la figura 5.15 y el diagrama de fuerza mostrado en la figura 5.16. Con el fin de obtener una mejor orientación y poder determinar rápidamente cualquier desperfecto, se especifican los conductores mediante colores: el color blanco va desde el variador de velocidad hasta la bornera X0, para X1 y X2 se utilizaron los colores negro, rojo y azul según el tipo de salida.

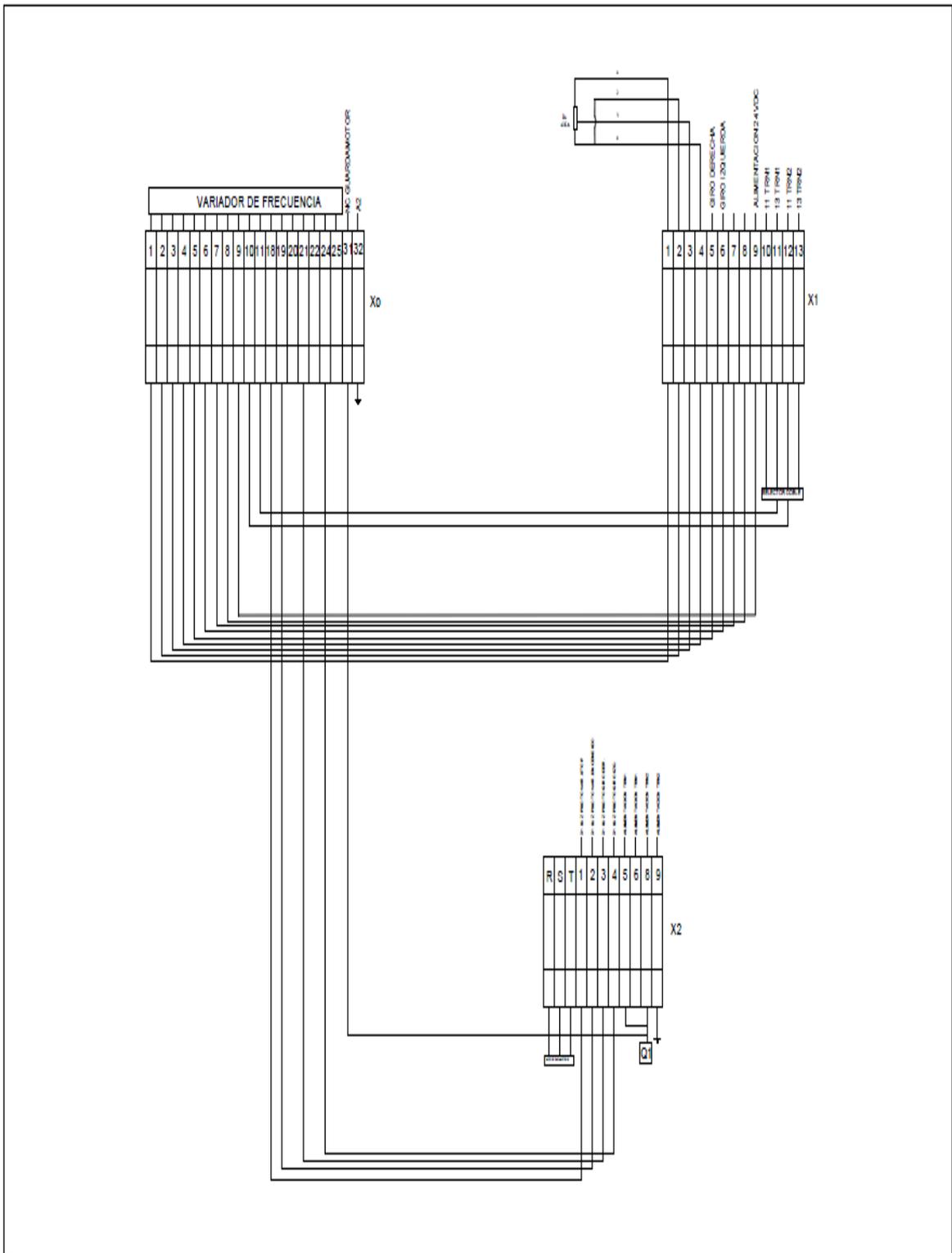


Figura 5.14 Diagrama de conexiones desde las borneras a cada componente.

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

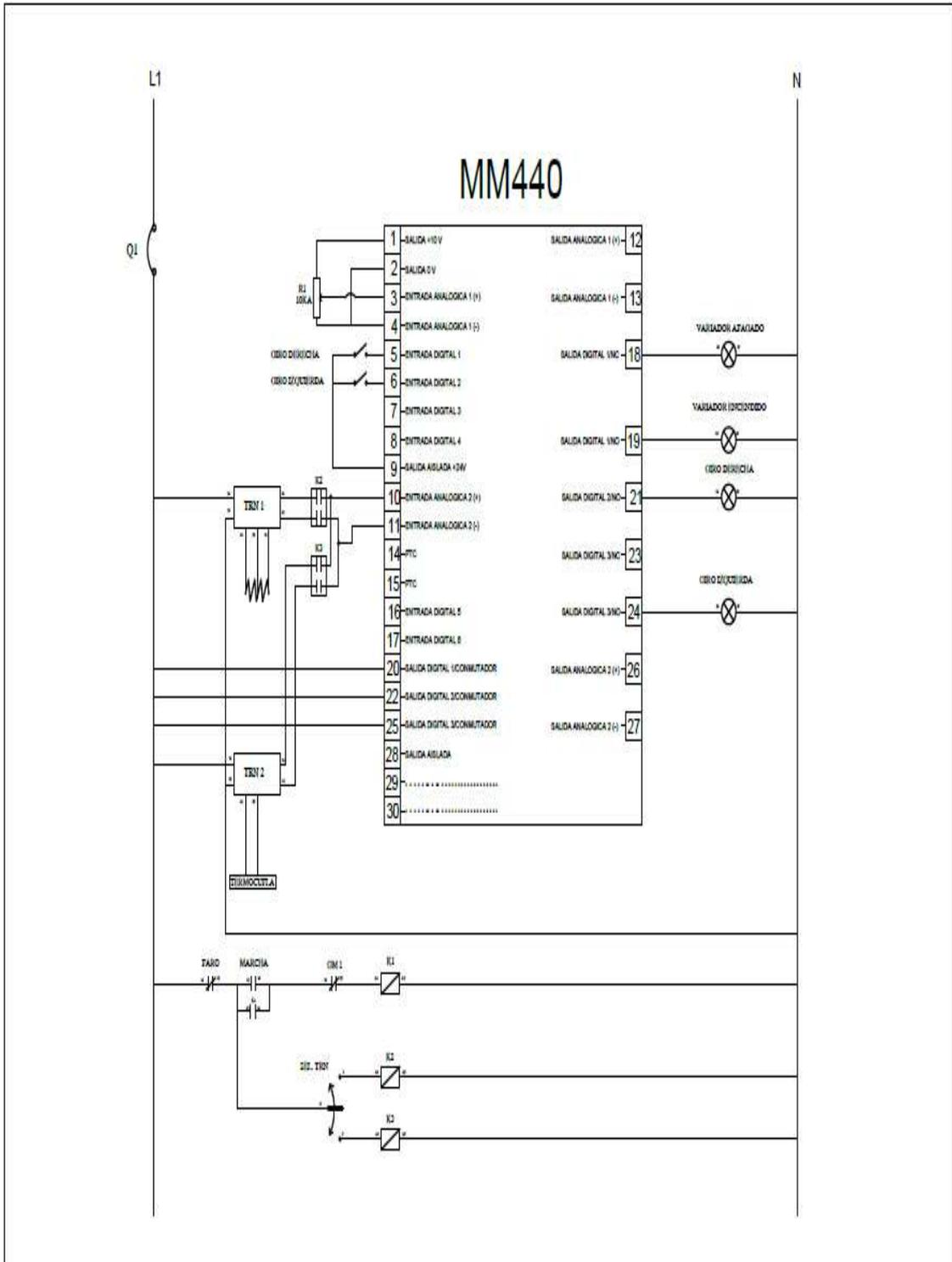


Figura 5.15 Diagrama de control del Módulo de Pruebas.

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

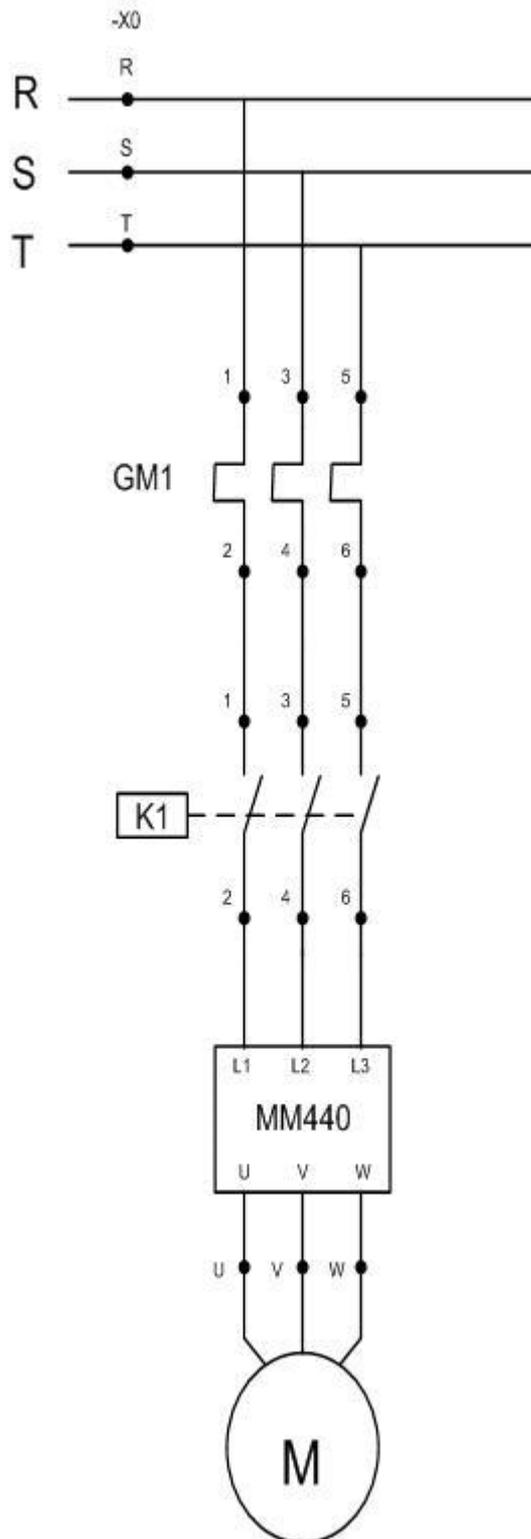


Figura 5.16 Diagrama de fuerza del Módulo de Pruebas.

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

5.4 Descripción de los componentes del Módulo de Pruebas.

5.4.1 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 y acerca de los posibles avisos de error que se puedan presentar.

Es posible realizar sin problema, varias redes abiertas con sistemas estándar. Otras interfaces tales 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 (figura 5.16), con el software STARTER, utilizado para la programación de Variadores Siemens. La comunicación es con protocolo de interface en serie universal (*USS-Universelles Serielles Schnittstellen Protokoll*) por medio de un cable con conectores tipo RS232 y USB; el software facilita la programación del variador además se pueden visualizar el comportamiento del motor al momento de arrancar, también se pueden ver y corregir las fallas en caso de una mala programación o alguna avería.



Figura 5.17 Variador de frecuencia Micromaster 440.

Fuente: <http://www.siemens.de/micromaster>. Edición 10/06.

5.4.1.1 Principales características del variador de velocidad utilizado.

Las principales características 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).

5.4.1.2 Descripción del BOP y sus funciones.

El BOP posibilita el acceso a los parámetros del convertidor. Para ello, se tiene que retirar la unidad indicadora del estado SDP (Panel de Visualización de Parámetros mostrado en la figura 5.17) y la forma de colocar el BOP se indica en la figura 5.18.

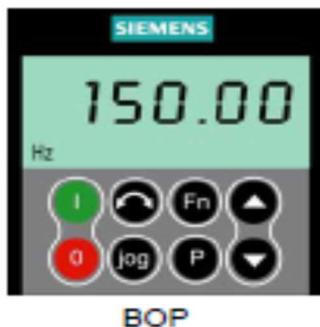


Figura 5.18 Panel de mando

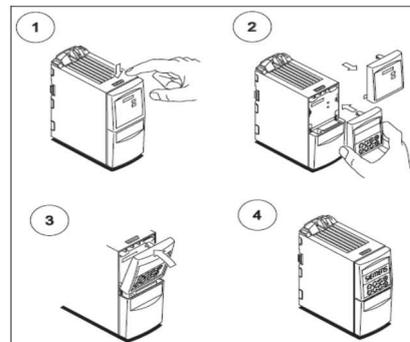


Figura 5.19 Manera de reemplazar el panel de operador

Fuente: <http://www.siemens.de/micromaster>. Edición 10/06.

Las funciones de los botones del BOP, se indican en la tabla 5.1.

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 "listo" 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 5.1 Funciones de los botones del BOP.

Fuente: <http://www.siemens.de/micromaster>. Edición 10/06.

5.4.2 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 para el cual fue ajustado, allí entonces entrará en operación el guardamotor desconectándolo de la red. Para el caso de este proyecto se lo utilizará como protección principal antepuesto al contactor de fuerza. En la figura 5.19 se muestra al guardamotor utilizado en el módulo de pruebas.



Figura 5.20 Guardamotor trifásico.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

5.4.3 El Contactor.

El contactor (figura 5.20) es un elemento de maniobra que puede ser accionado a distancia, está constituido por las siguientes partes: carcasa, electroimán, bobina, núcleo, armadura y bloques de contactos principales y auxiliares. Para efecto del proyecto, permitirá 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 desenergizará, por estar alimentada su bobina desde el breaker de 1P 5A instalado en el circuito de control.



Figura 5.21 Contactor Trifásico Siemens 35Amp.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

5.4.4 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. Si la corriente del circuito excede del valor predeterminado, el breaker (figura 5.21) abre el circuito.



Figura 5.22 Breaker de control.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

5.4.5 Analizador de red.

El analizador de red, marca: SACI utilizado en el proyecto se muestra en la figura 5.22, su diagrama de conexiones (figura 5.23) y las características se indican a continuación:

- Modelo: LCC-BA , Intensidad nominal: 5A.
- Tensión nominal: 400V , Alimentación auxiliar: Autoalimentada.
- Tipo de Red: Trifásica 3 o 4 hilos, equilibrada o desequilibrada.



Figura 5.23 Analizador de red SACI.

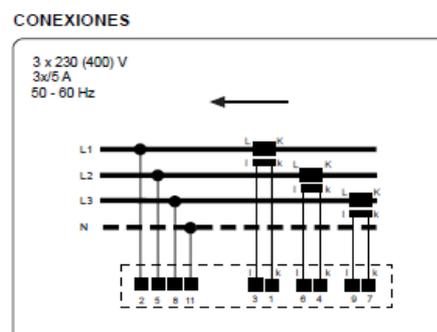


Figura 5.24 Diagrama de conexión del Analizador.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

5.4.6 El Transductor universal.

El transductor mostrado en la figura 5.24, permite visualizar los datos capturados de las pruebas, así las características de trabajo típicas, son las siguientes:

- Exactitud.
- Precisión.
- Velocidad de respuesta.



Figura 5.25 Transductor universal.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

5.4.6.1 Diagrama de conexión del transductor 4114.

Señales de Entrada.- Se eligió este transductor porque brinda la facilidad de seleccionar cinco tipos de entradas análogas como lo indica la figura 5.25 como son:

- 0 - 20 mA.
- 0 - 10 V. DC.
- Potenciómetros.
- RTD (2, 3 y 4 hilos).
- Termocuplas.

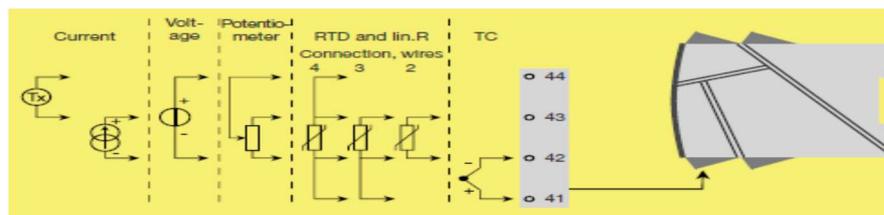


Figura 5.26 Diagrama de conexión del transductor 4114.

Fuente: <http://www.preelectronics.dk/prefiles/4114/Datablad/4114es.pdf>

Señales de Salida.- Para señales de salida este transductor, tiene dos tipos de salida de 0-10VDC y 0-20mA, como lo indica la figura 5.26.

Alimentación.- Este equipo permite un gran rango de voltajes (desde 21,46 hasta 253VAC y de 10.2 hasta 200 VDC), para su energización, se usó 120VAC (figura 5.27).

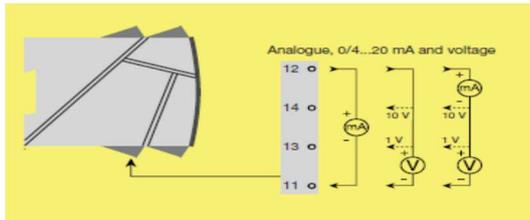


Figura 5.27 Señales de salida

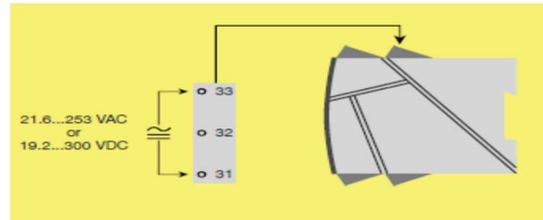


Figura 5.28 Alimentación del transductor

Fuente: <http://www.prelectronics.dk/prefiles/4114/Datablad/4114es.pdf>.

5.4.7 La Resistencia Térmica Diferencial (RTD)

La RTD y su comportamiento dependen de la temperatura y equivalencia en resistencia y tolerancias; existen distintos tipos de termoresistencias Pt100 entre ellas la mostrada en la figura 5.28 que es la empleada en el Módulo de Pruebas.



Figura 5.29 Termoresistencia utilizada en el Módulo de Pruebas.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

La tabla 5.2 muestra los valores de resistencia en ohmios para cada una de las temperaturas en grados centígrados aplicadas a las RTD's desde -60°C hasta 180°C (cada 10°C). Cuando la temperatura aumenta, la resistencia varía inversamente proporcional. La tabla 5.3 refleja valores de tolerancias de termoresistencias Pt100 la cual se escogió para uso del proyecto ya que se encuentra en el rango de temperaturas requeridos para las practicas en el laboratorio, es decir de -60°C hasta 180°C.

Temperatura, en °C	Resistencia, en ohm
-60	69,5
-50	74,2
-40	79,1
-30	84,1
-20	89,3
-10	94,6
0	100,0
10	105,6
20	111,3
30	117,1
40	123,0
50	129,1
60	135,3
70	141,7
80	148,2
90	154,9
100	161,7
110	168,7
120	175,9
130	183,3
140	190,9
150	198,7
160	206,7
170	214,9
180	223,1

Tabla 5.2 Valores de resistencia equivalente según la temperatura aplicada.

Temperatura medición	Tolerancias			
	Clase A		Clase B	
	Ω	°C	Ω	°C
-200	± 0,24	± 0,55	± 0,56	± 1,3
-100	± 0,14	± 0,35	± 0,32	± 0,8
0	± 0,06	± 0,15	± 0,12	± 0,3
100	± 0,13	± 0,35	± 0,30	± 0,8
200	± 0,20	± 0,55	± 0,48	± 1,3
300	± 0,27	± 0,75	± 0,64	± 1,8
400	± 0,33	± 0,95	± 0,79	± 2,3
500	± 0,39	± 1,15	± 0,93	± 2,8
600	± 0,43	± 1,35	± 1,06	± 3,3
650	± 0,46	± 1,45	± 1,13	± 3,6
700	-	-	± 1,17	± 3,8
800	-	-	± 1,28	± 4,3
850	-	-	± 1,34	± 4,6

Tabla 5.3 Tolerancias de termoresistencias.

Fuente: <http://www.preelectronics.dk/prefiles/4114/Datablad/4114es.pdf>

5.4.8 Motor de inducción trifásico.

Las características del Motor de inducción utilizado (figura 5.22), son las siguientes:

- Potencia: 3HP. Marca: Baldor.
- Velocidad: 1730R.p.m..
- Voltaje: 220/440V Trifásico. Su diagrama de conexiones (figura 5.23).
- Factor de servicio: 1,5.
- Temperatura: 40° C ambiente - continuo
- Rodamientos de bolas.



Figura 5.30 Esquema del Motor Eléctrico

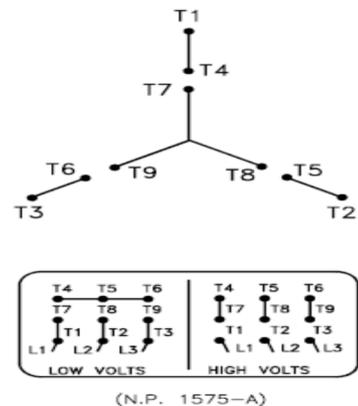


Figura 5.31 Diagrama de conexiones del motor 9 terminales 220/440V.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

5.4.9 La Computadora Portátil.

En la computadora (figura 5.29) se encuentra instalado el *software STARTER*, para la programación de variadores de velocidad Siemens y se comunica con el mismo a través de protocolo USS, utilizando su puerto USB. Este *software*, facilita la programación del variador y la visualización los parámetros de funcionamiento del motor. También ayuda a corregir las fallas en caso de mala programación o alguna avería. La computadora portátil que se utiliza en el proyecto tiene las siguientes características:

- Marca: Toshiba Satellite A55-AS106. , 15" LCD Tft , Wi Fi.
- Mainboard Intel Celeron 1,4 GHz
- Memoria Ram: 512Mb.
- Disco duro: 80Gb 5400r.p.m..

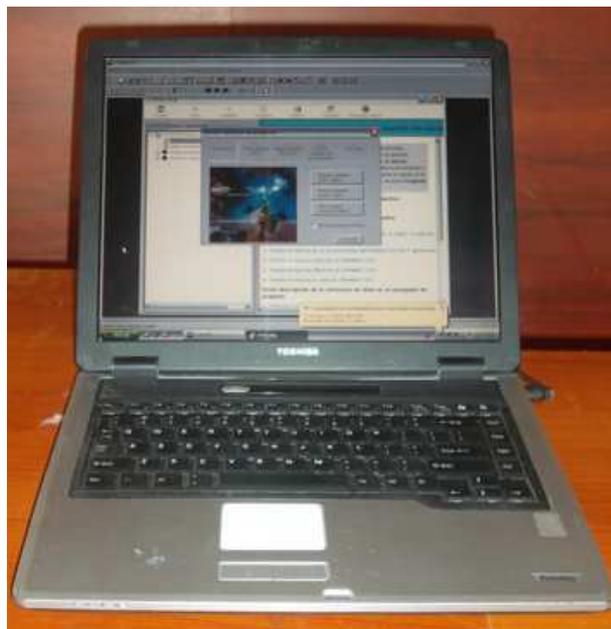
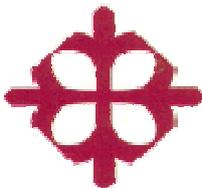


Figura 5.32 Computadora TOSHIBA con el Software Starter.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo



CAPITULO 6. PRÁCTICAS DE LABORATORIO

6.1 Practica N°1 Puesta en servicio rápida con BOP (Panel Básico del Operador)

Objetivos:

- Familiarizar al estudiante con las funciones del Micromaster 440 para una puesta en marcha rápida del variador de velocidad con el BOP.
- Distinguir las funciones y los periféricos en el panel BOP.
- Aprender a identificar las salidas digitales (DOUT) del Micromaster 440.

Equipos:

- Modulo de prueba de Variador de frecuencia Micromaster 440.
- BOP (Panel Básico de Operador).
- Motor de inducción de 3Hp.

Teoría a revisar:

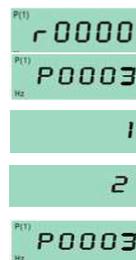
- Teoría Básica de los motores de inducción.
- Conceptos básicos, funciones y aplicaciones de un variador de frecuencia.
- Manual de instrucciones del BOP.

6.1.1 Procedimiento:

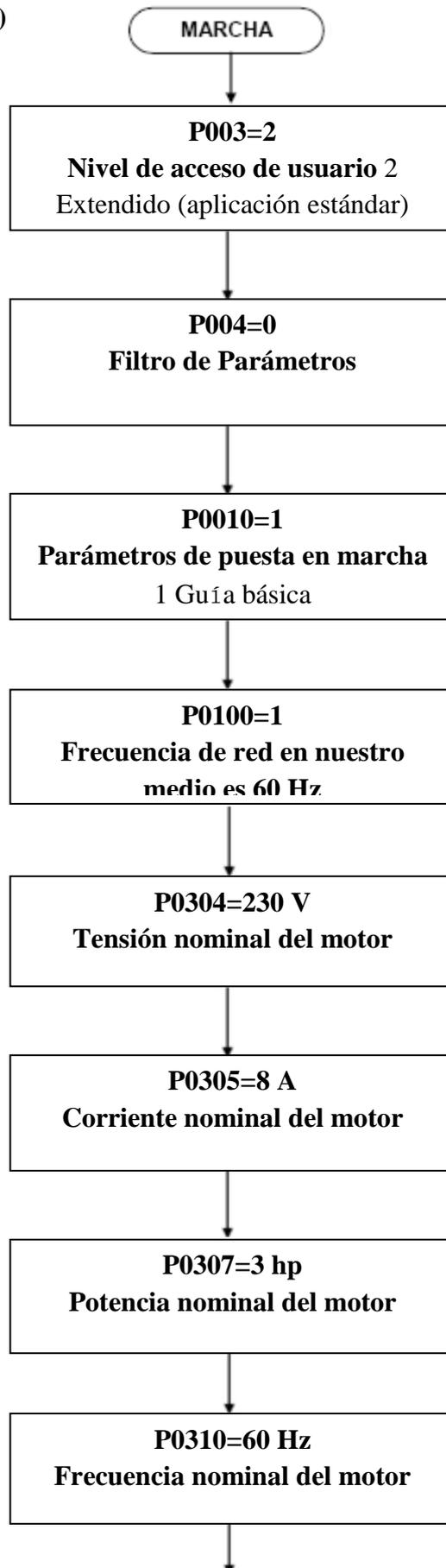
Pasos

1. Pulsar  para acceder a parámetros
2. Pulsar  hasta que se visualice P0003
3. Pulsar  para visualizar el valor actual ajustado
4. Pulsar  o  hasta obtener el valor requerido
5. Pulsar  para confirmar y almacenar el valor
6. Repetir los pasos anteriores para ajustar los parámetros y seguir el flujograma 6.1.

Visualización



Flujograma (tipo tabla)



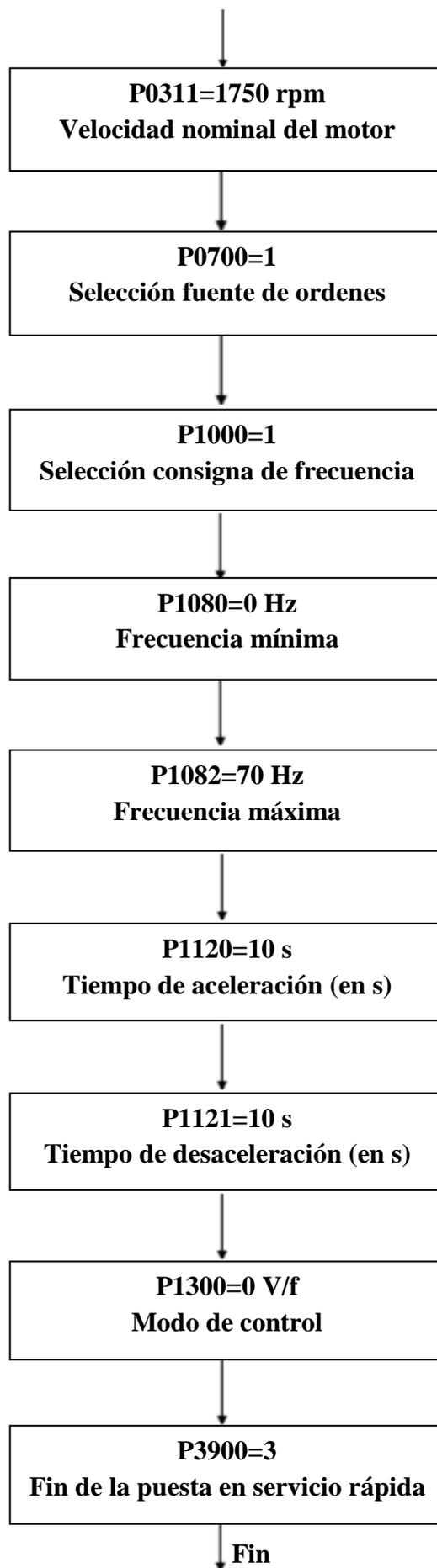
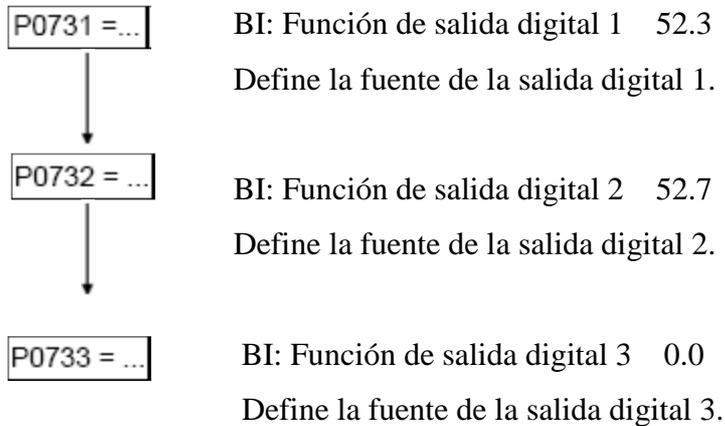


Tabla 6.1 Puesta en marcha rápida del variador con BOP.

Configuración de las entradas y salidas

Salida digital (DOUT)



- Pulsar el botón marcha del BOP.
- Variar la frecuencia con el BOP pulsando la tecla y luego designar la frecuencia que desee con el botón o y luego grábelo pulsando .
- Pulsar durante 2 seg. y mostrará los valores de corriente de salida, voltaje de salida y frecuencia de salida.
- Tomar las lecturas correspondientes a cada valor de frecuencia.

Precauciones:

- Se debe tomar en cuenta el número de revoluciones máximas que permite el motor y que el tipo de rodamientos sea el adecuado para trabajar a una velocidad mayor.
- Que el motor este sobredimensionado para la carga que este manejando, de lo contrario el motor se sobrecalentará y podría quemarse.

6.1.2 Reporte

A partir de las lecturas registradas en la tabla 6.1 de mediciones, calcule la magnitud del parámetro de potencia y forme la grafica (figura 6.1).

Tabla de Mediciones:

F.sal (Hz)	I.sal (A)	V.sal (V)	P.sal (HP)
0	3,05	4	0,02
15	3,67	59	0,43
30	3,58	116	0,82
45	3,52	173	1,20
60	3,46	230	1,57

Tabla 6.1 Mediciones realizadas en Práctica # 1.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

Gráfico de la Práctica # 1.

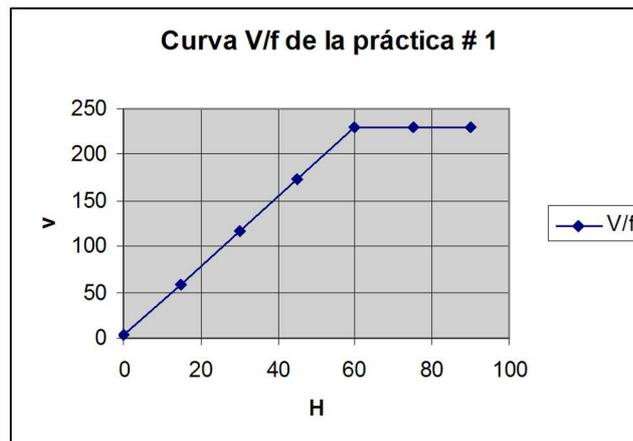


Figura 6.1 Curva V/f de Práctica # 1.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

6.1.3 Pregunta:

¿Por qué el variador de frecuencia mantiene la relación de Voltaje/Frecuencia (V/Hz) constante entre los valores mínimo y máximo de la frecuencia de operación?

Mantiene esta razón V/F constante con la finalidad de evitar la saturación magnética del núcleo del motor y además porque el hecho de operar el motor a un voltaje constante por encima de una frecuencia dada (reduciendo la relación V/Hz) disminuye el par del motor y la capacidad del mismo por lo que proporcionará potencia constante de salida.

6.2 Practica N°2 Configuración del Micromaster 440 mediante el software Starter.

Objetivos:

- Aprender a configurar la comunicación entre el variador MICROMASTER y la PC.
- Reconocer e interpretar los parámetros que necesita el variador para poder arrancar.

Equipos:

- Cable de comunicación.
- Motor trifásico de inducción.
- Variador de Frecuencia.

Teoría a Revisar:

- Teoría Básica de los motores trifásicos.
- Funciones y aplicaciones de un variador de frecuencia.
- Conceptos básicos de un variador de frecuencia.

6.2.1 Procedimiento

Configuración (Parte 1):

- 1.- Dar doble click al icono del software Starter.
- 2.- Seleccionar buscar unidades de accionamiento Online.

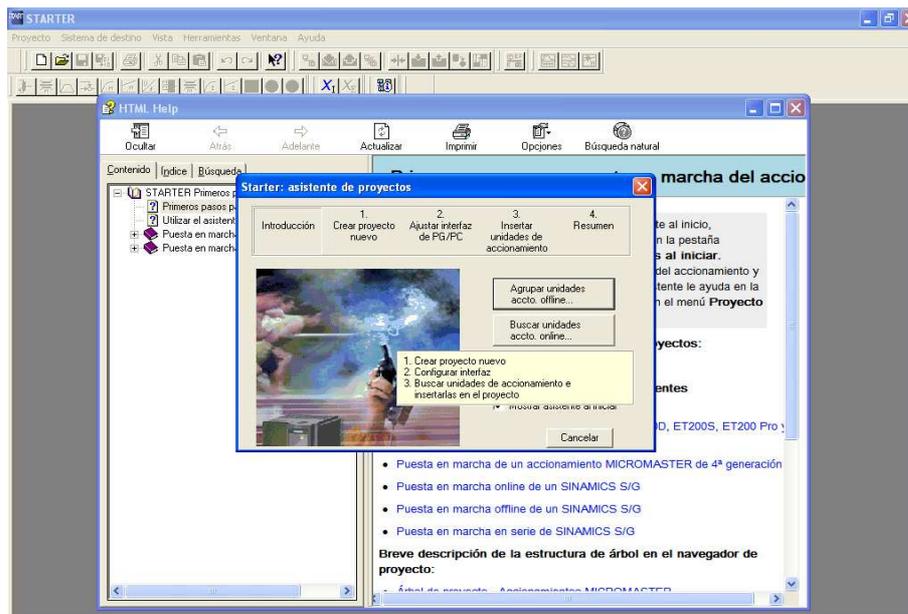


Figura 6.2 Búsqueda de unidad de accionamiento

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

3.- Colocar un nombre al Proyecto



Figura 6.3 Poner nombre al nuevo proyecto.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

4.- Dar un click en cambiar y comprobar.

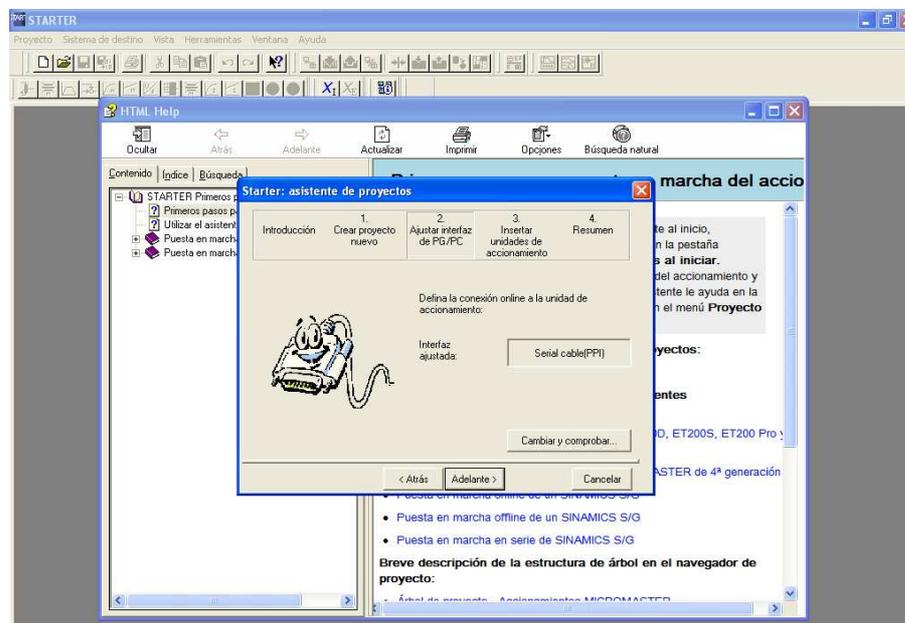


Figura 6.4 Búsqueda de interface (a).

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

5.- Colocar en punto de acceso Starter PC COM Port (USS), seleccionar PC COM Port (USS) y se da click en propiedades.

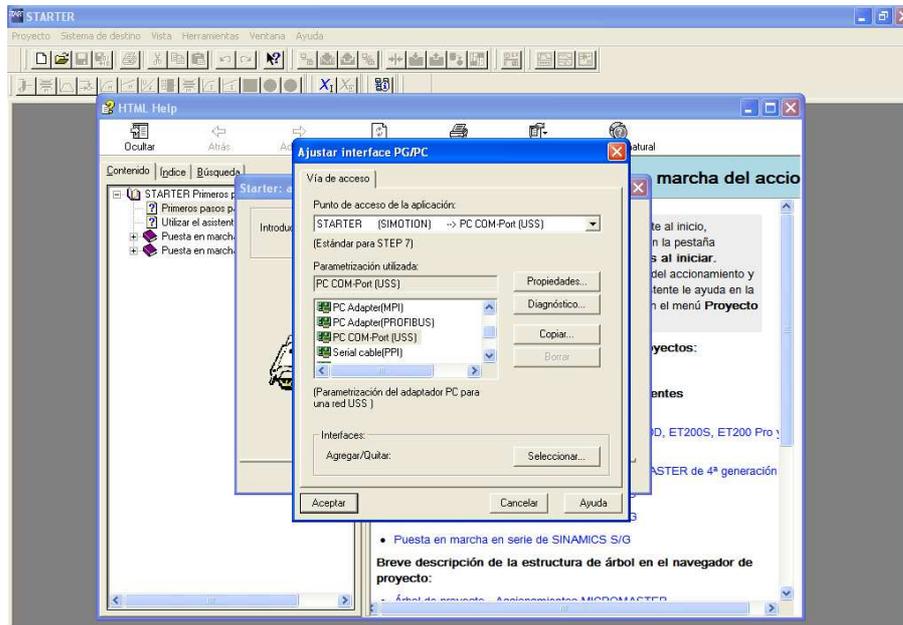


Figura 6.5 Búsqueda de interfaz (b).

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

6.- Colocar interfaz: Com 4, velocidad de transmisión: 9600 y dar un click en lectura.

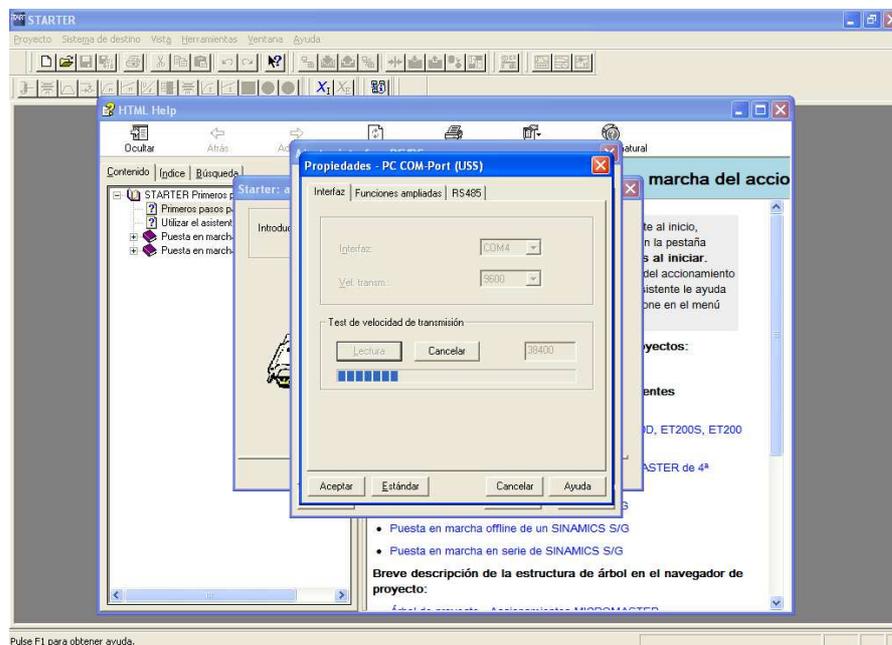


Figura 6.6 Configuración de la velocidad de transmisión.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

7.- El software comienza la búsqueda del dispositivo conectado.

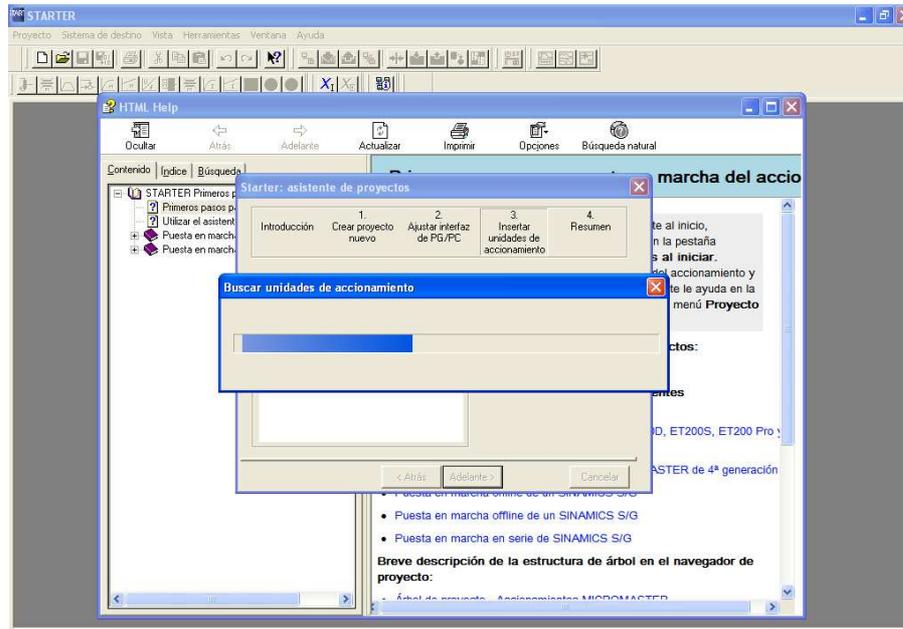


Figura 6.7 Conexión y enlace Pc - Variador.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

8.- Dar click en Adelante y Terminar

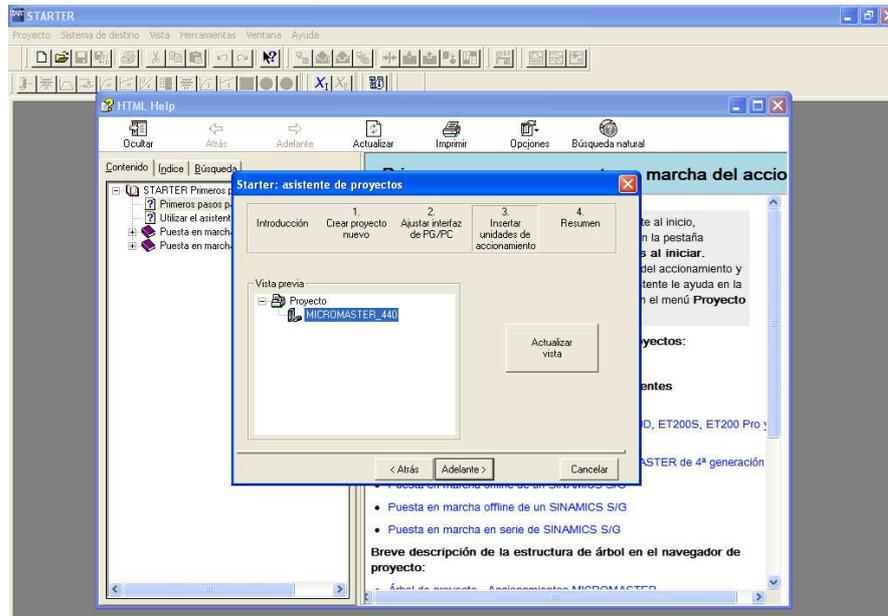


Figura 6.8 Solicitando la conexión y enlace Pc - Variador.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

Configuración (Parte 2)

1.- Abrir el icono Micromaster_440 y dar doble click en configuración.

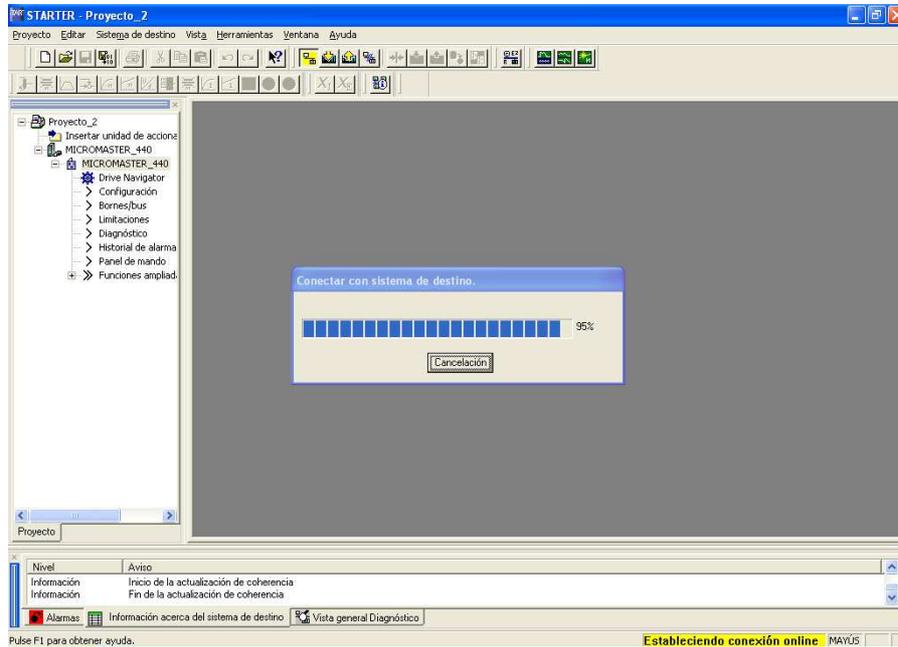


Figura 6.9 Estableciendo la conexión online Pc – Variador.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

2.- Hacer doble click en Reconfigurar accionamiento.

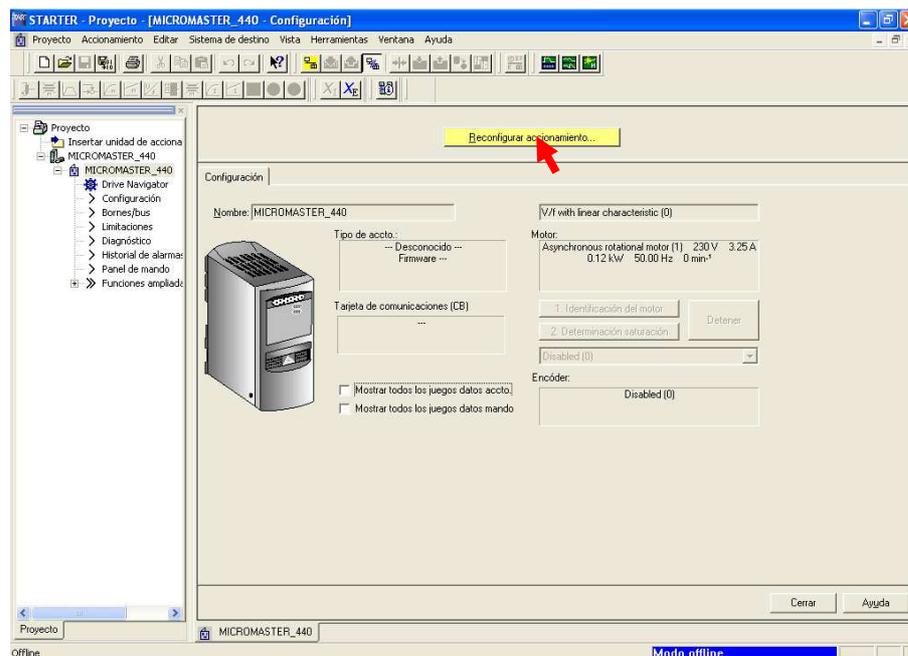


Figura 6.10 Establecida la conexión online e inicio de reconfiguración.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

3.- Elegir el tipo de motor que se va a controlar en este caso en HP y 60Hz. Y dar click en la pestaña adelante.

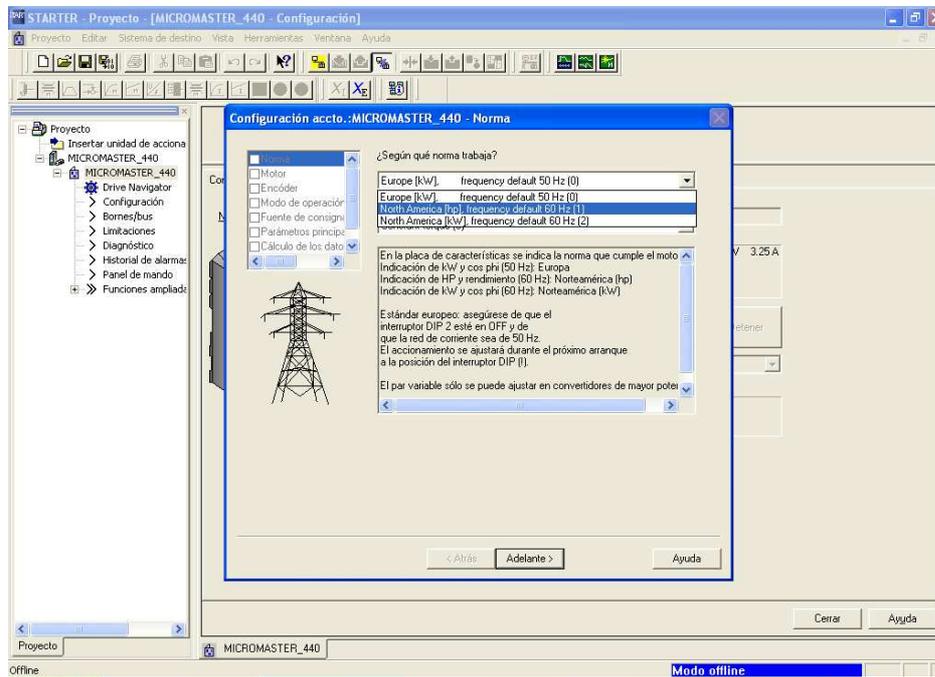


Figura 6.11 Configuración de parámetros del motor (a).

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

4.- Verificar luego de hacer este cambio que los dip switch estén en la posición correcta, el programa igual da una señal de advertencia.

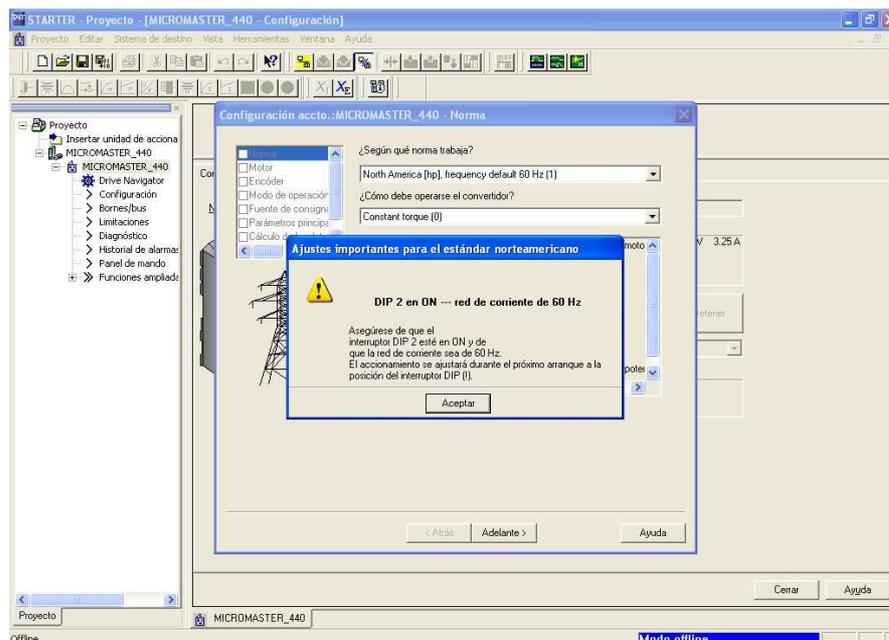


Figura 6.12 Configuración de parámetros del motor (b).

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

5.- Seleccionar el tipo de regulación que se desea tener en el motor: torque constante o torque variable.

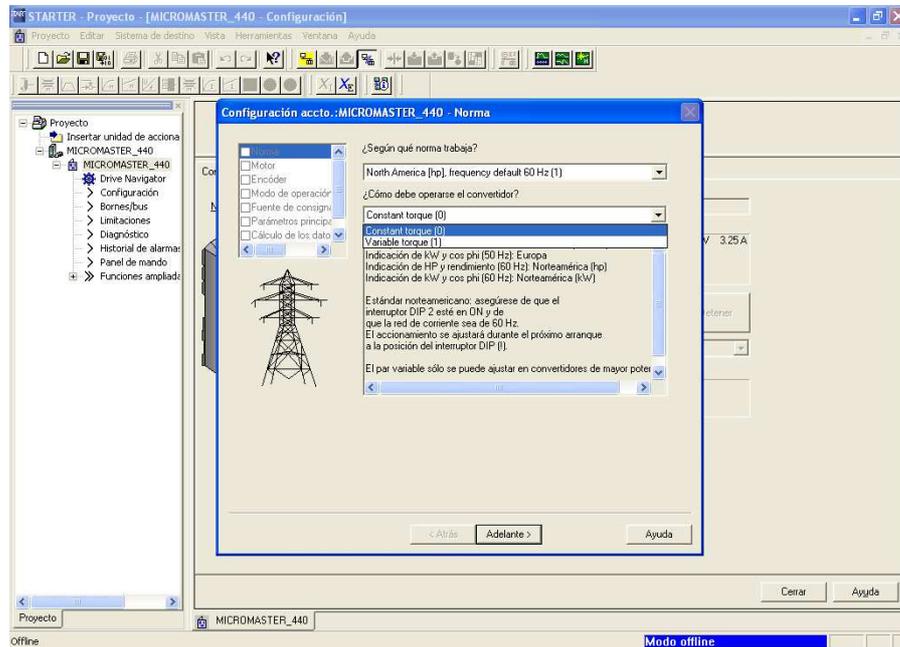


Figura 6.13 Selección del tipo de regulación del motor (a).

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

6.- Ingresar los datos de placa del motor en el casillero correspondiente.

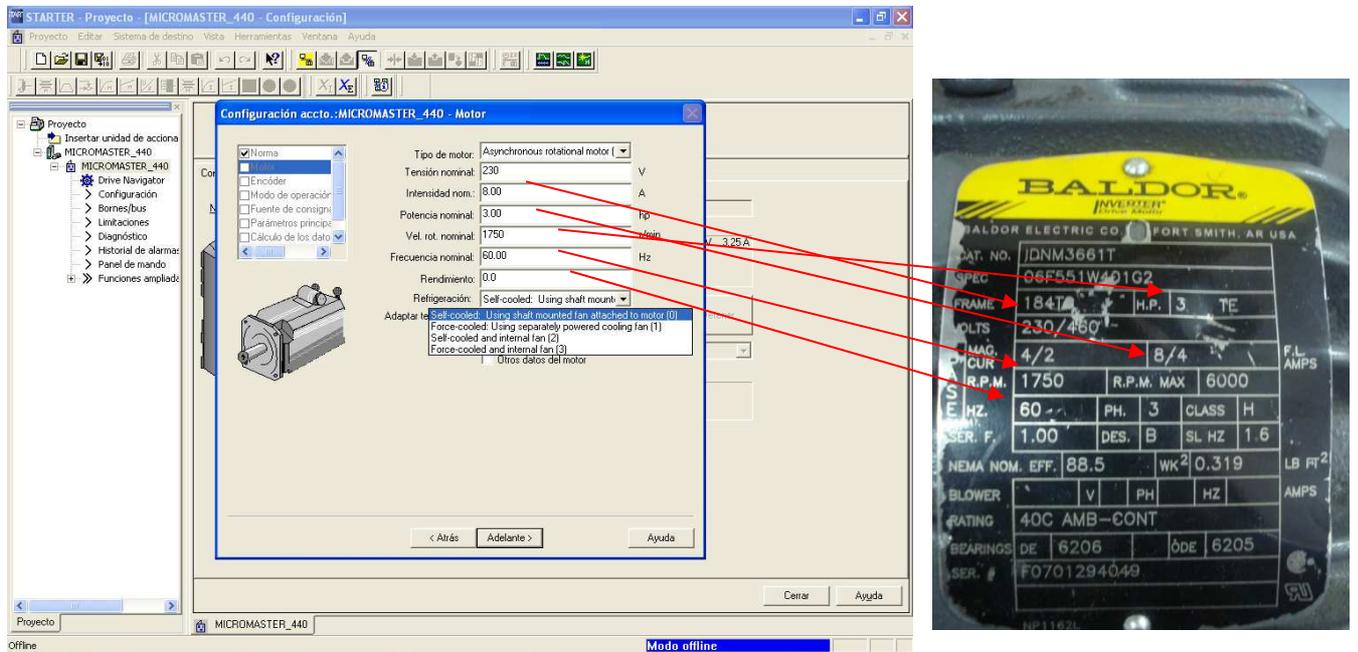


Figura 6.14 Selección del tipo de regulación del motor (b).

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

7.- Dar click en siguiente; en esta práctica no se usara *encoder* de impulsos, por lo tanto queda deshabilitado.

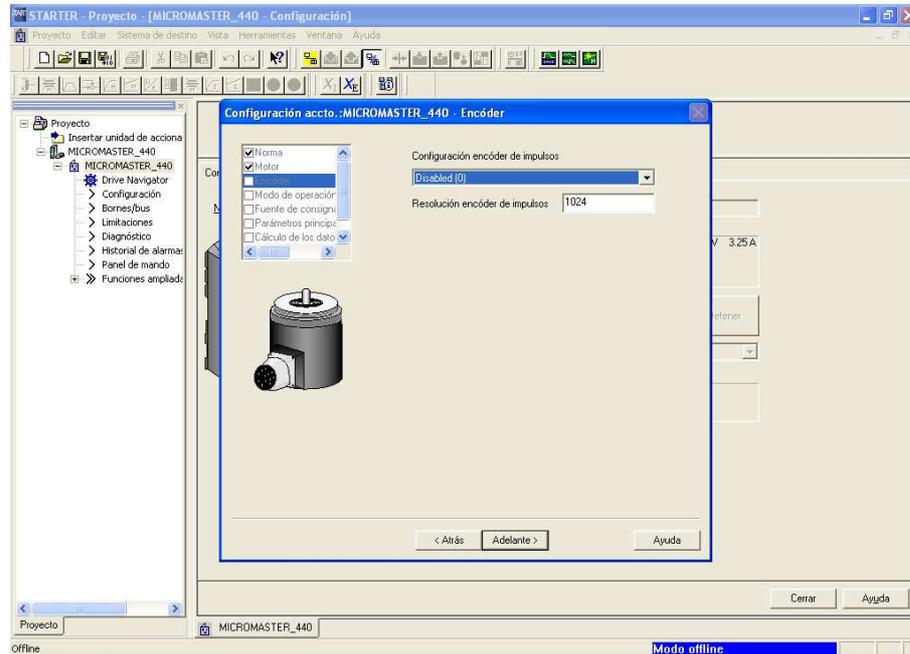


Figura 6.15 Deshabilitar la opción de *encoder* de impulsos.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

8.- Elegir V/F, en modo de operación.

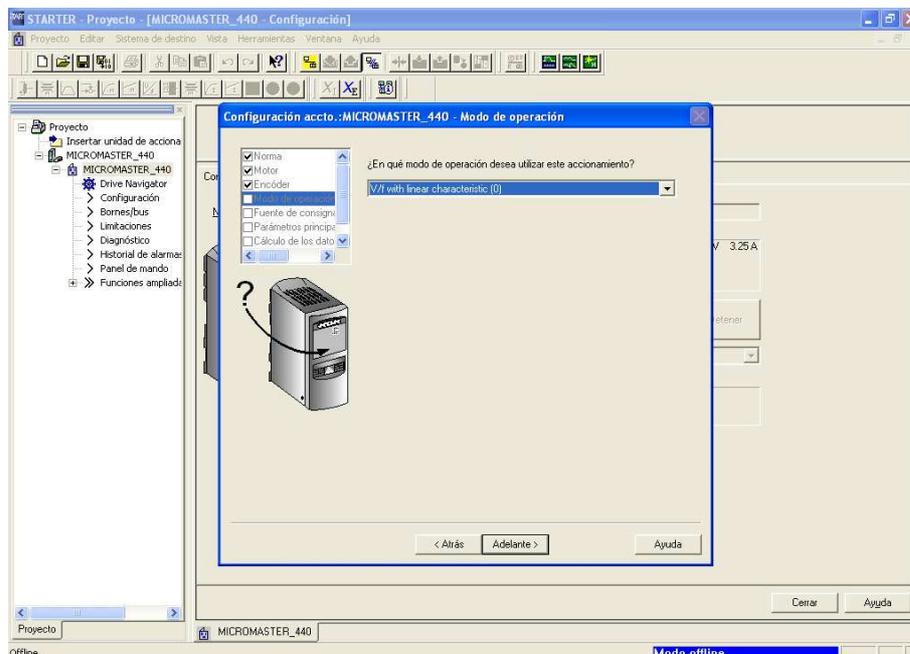


Figura 6.16 Selección de modo de operación V/F.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

9.- Dar click en adelante, puesto que en para esta práctica no es necesario poner quien va a dar las señales de mando, ya que la marcha se la va hacer desde la computadora.

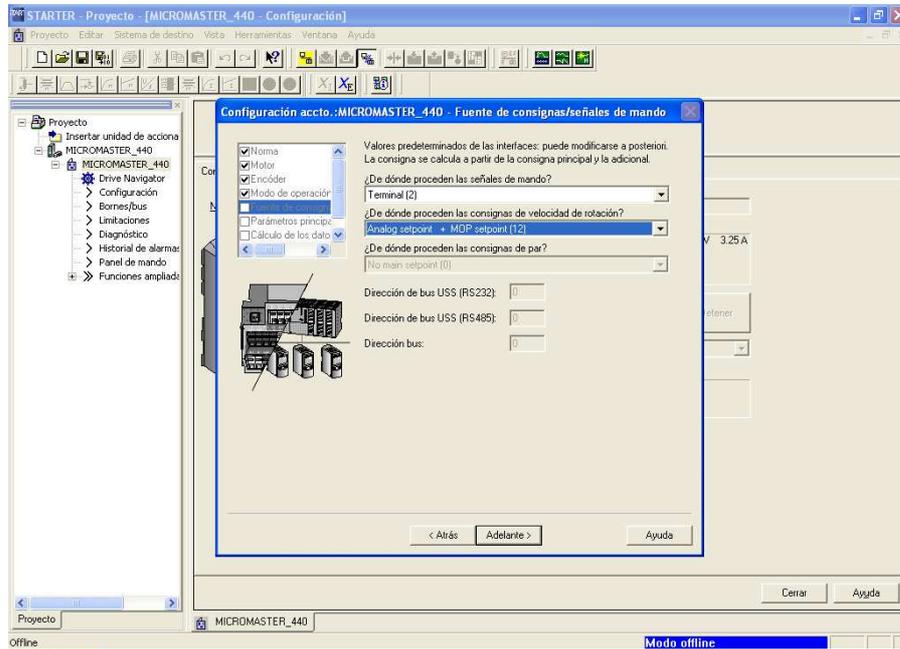


Figura 6.17 Se inhabilita las consignas de marcha manual.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

10.- Colocar los parámetros de control del variador: la frecuencia min. y máx. de trabajo, el tiempo de aceleración y desaceleración (no debe ser muy pequeño, porque podría irse a falla el variador debido a ello).

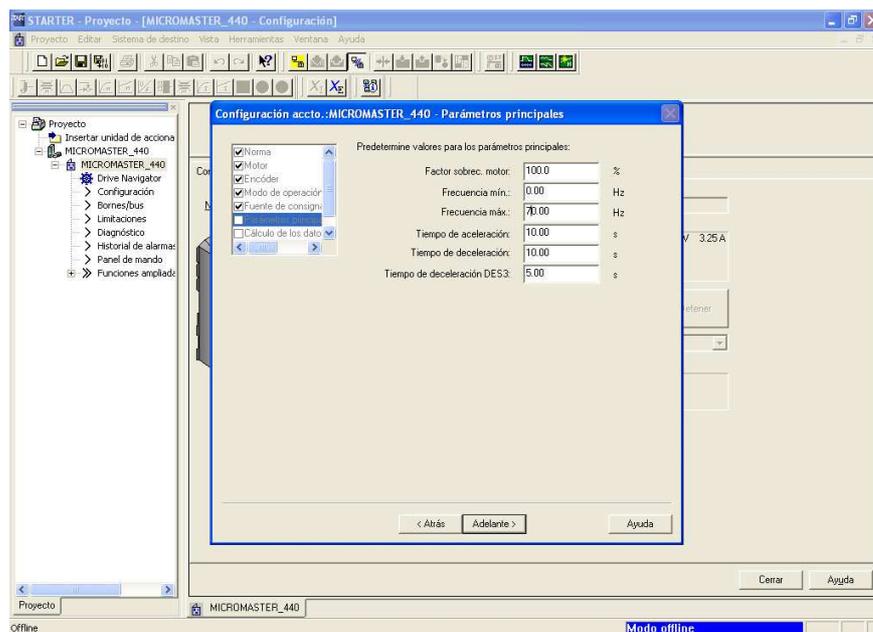


Figura 6.18 Configurar los parámetros de control del variador.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

11.- Poner en la siguiente pantalla para que el variador calcule los demás datos del motor para su correcto funcionamiento.

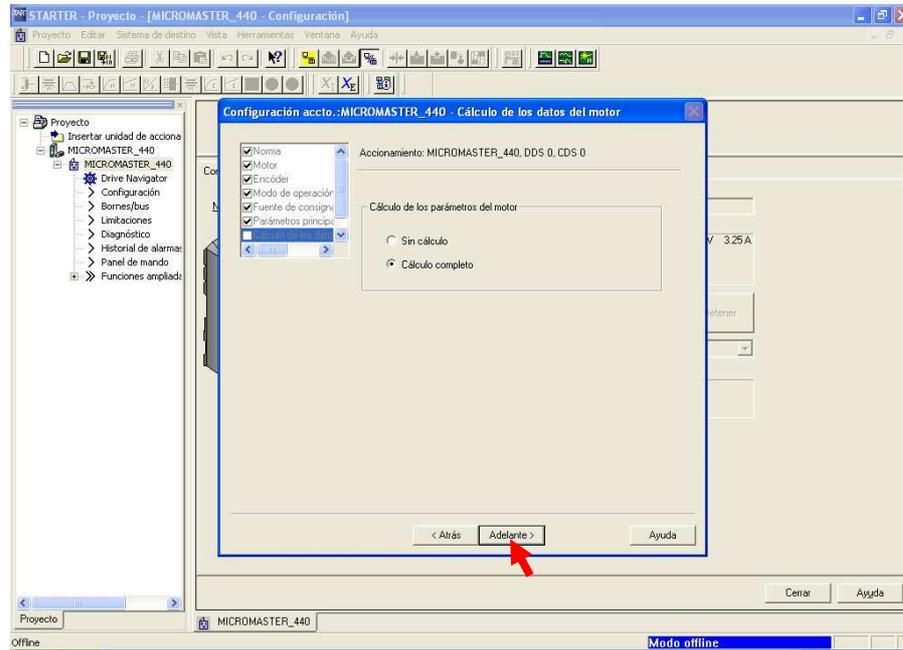


Figura 6.19 Autoconfiguración de los parámetros del variador.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

12.- Dar click en Drive monitor y en puesta en marcha.

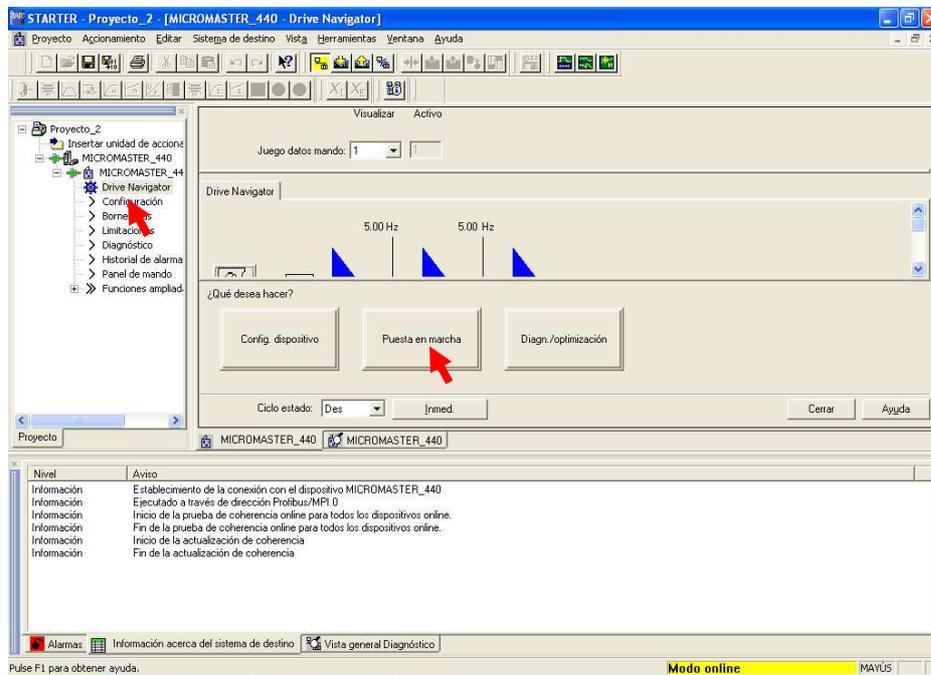


Figura 6.20 Selección de puesta en marcha del equipo.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

13.- Seleccionar: Dejar girar el motor.

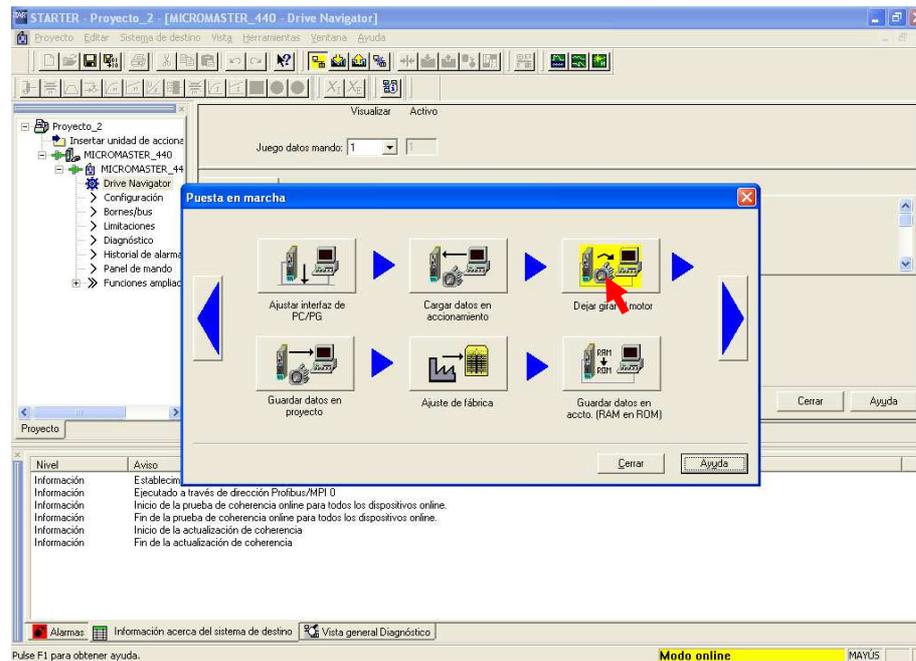


Figura 6.21 Seleccionar: dejar girar el motor.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

14.- El programa preguntará la velocidad de transmisión y el medio de comunicación.

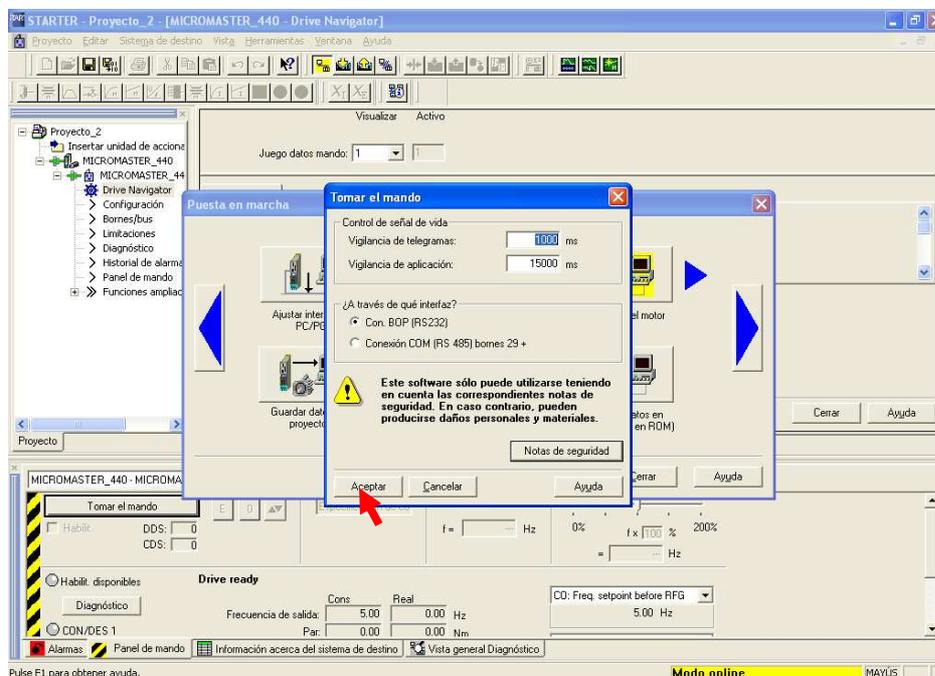


Figura 6.22 Configuración de velocidad de transmisión y el medio de comunicación.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

15.- Seleccionar: Habilitar

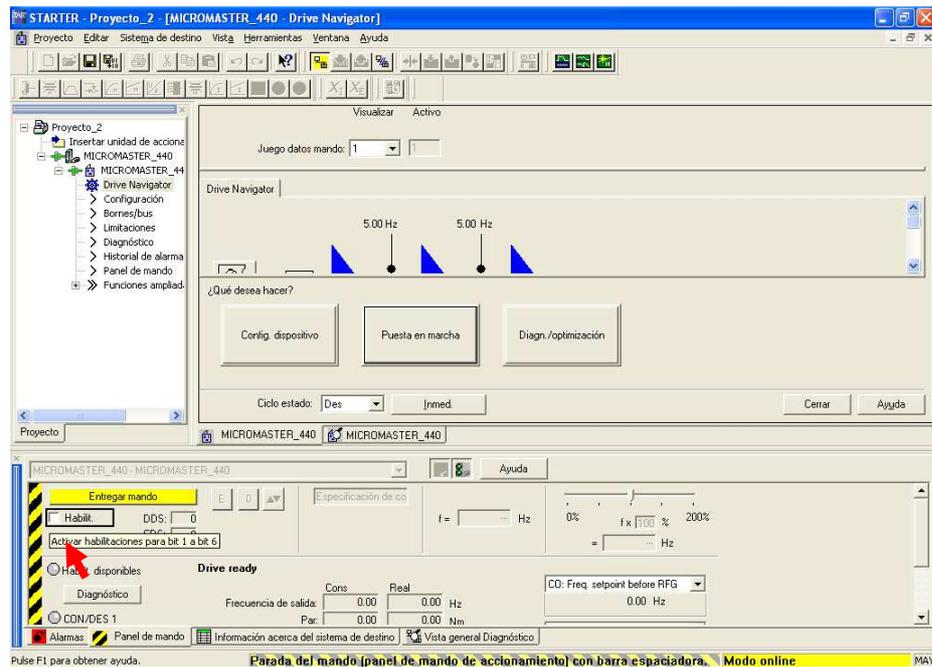


Figura 6.23 Habilitación de la puesta en marcha del equipo.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

16.- Aquí ya puede ponerse en marcha el variador y fijar las consignas de velocidad tanto para un sentido u otro.

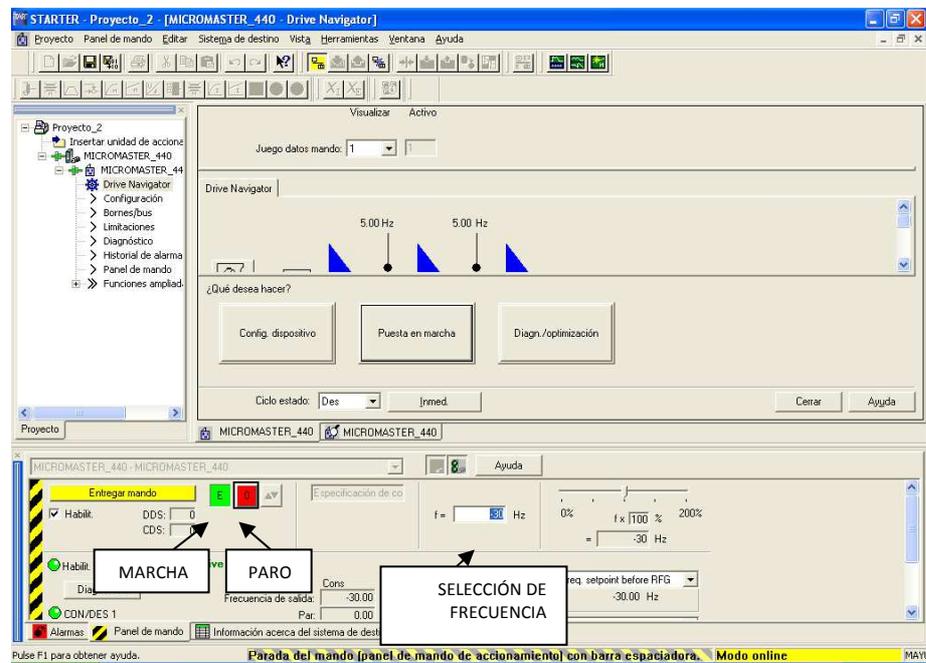


Figura 6.24 Fijación de las consignas de velocidad.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

17.- Si se desea ver los datos de corriente voltaje y frecuencia se puede dar doble click en diagnostico y en parámetros de estado.

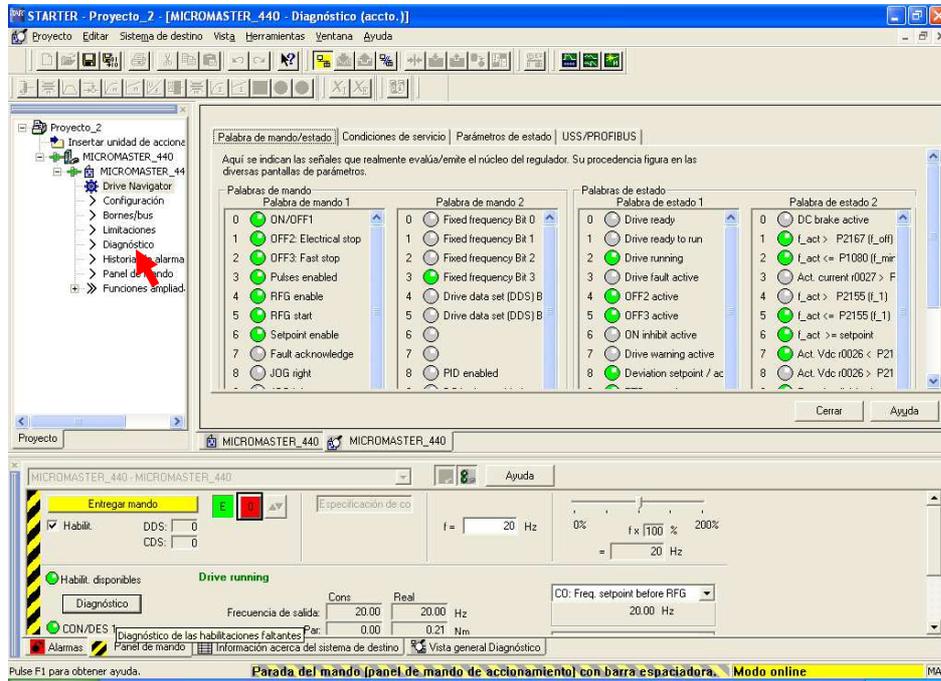


Figura 6.25 Configuración para visualización de datos (a).

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

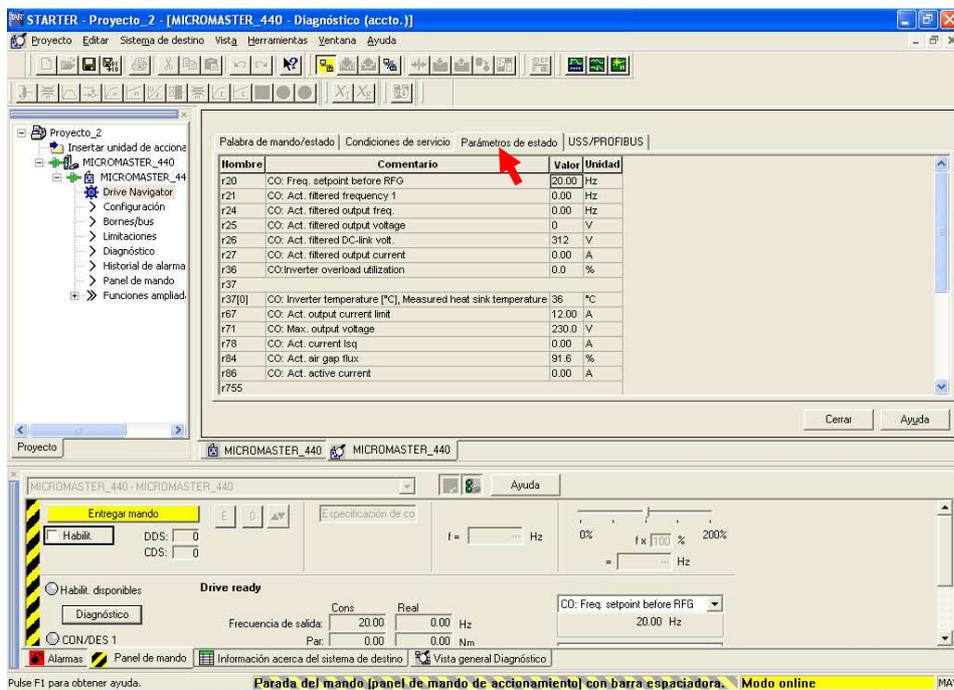


Figura 6.26 Configuración para visualización de datos (b).

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

6.2.2 Reporte:

El mismo se lo puede ampliar de varias maneras y queda a disposición de la cátedra, establecer cuál sería el método a aplicar, ya que se puede plantear que los estudiantes desarrollen un foro para interpretar la lógica de secuencia de la configuración de los parámetros y establecer la importancia de ingresar correctamente todos, ya que por ejemplo si ingreso 50Hz en vez de 60Hz, como se comportaría el variador y la carga, así entre otros, con el fin de que exista una lluvia de ideas, posibles problemas y soluciones coherentes.

6.2.3 Preguntas:

1.- ¿Por qué no se debe poner un tiempo de aceleración y desaceleración muy corto?

Porque el variador puede irse a falla debido a una sobretensión en la parte rectificadora ya que el motor por encontrarse en movimiento y energizado se convierte en un generador. Por eso el periodo de aceleración y desaceleración, se lo debe hacer con un tiempo prudencial. Si en algún caso se requiere de un frenado demasiado rápido se puede colocar resistencias de frenado, para así absorber este sobre voltaje generado, evitando que el variador se dañe.

2.- ¿De qué depende el tipo de control que requiera para un motor, es decir V/F o control vectorial?

La elección principalmente depende del tipo de carga que se necesita controlar: V/F(tensión/frecuencia).- Se lo utiliza para cargas en los que no es tan necesario la precisión de la velocidad, es decir un pequeño cambio de velocidad no afectaría mucho el proceso Ej., ventiladores, trituradoras, etc.

Control vectorial.- Se lo utiliza para cargas que tienen choques de cargas y que se necesiten una regulación de velocidad más precisa, por Ej. Paletizadoras, balanzas dosificadoras, etc.

3.- ¿A qué se debe la importancia de que la conexión de tierra al motor sea la misma del variador y a la vez haya buen contacto a la malla a tierra del sistema?

El variador trabaja con tiristores los mismos que hacen sus cambios a velocidades de 1,5 a 16KHz, este efecto crea el problema de armónicos en especial la tercera y quinta, si la distancia es muy larga se debe poner filtros de armónicos. Además de esto las bobinas del motor así como el cable de alimentación crean un efecto capacitivo, el cual tiende a descargarse a tierra; al no estar el motor aterrizado toda esta corriente iría hacia la carga a través de los rodamientos, causando daños en los mismos y de esta manera se reduciría la vida útil del motor.

6.3 Practica N°3 Arranque e inversión de giro de un motor con el variador de frecuencia utilizando las entradas y salidas digitales.

Objetivos:

- Aprender a reconocer y configurar las entradas digitales del variador de frecuencia.
- Probar, medir y visualizar los parámetros de salida.

Equipos:

- Cable de comunicación.
- Motor de inducción trifásico de 3HP.
- Banco de Prueba.
- Multímetro.
- Terminales con cables.

Teoría a revisar:

- Teoría Básica de los motores trifásicos.
- Funciones y aplicaciones de un variador de frecuencia.
- Conceptos básicos de un variador de frecuencia.

6.3.1 Procedimiento

1.- Abrir el software Starter, crear una nueva práctica y se le pone un nombre.

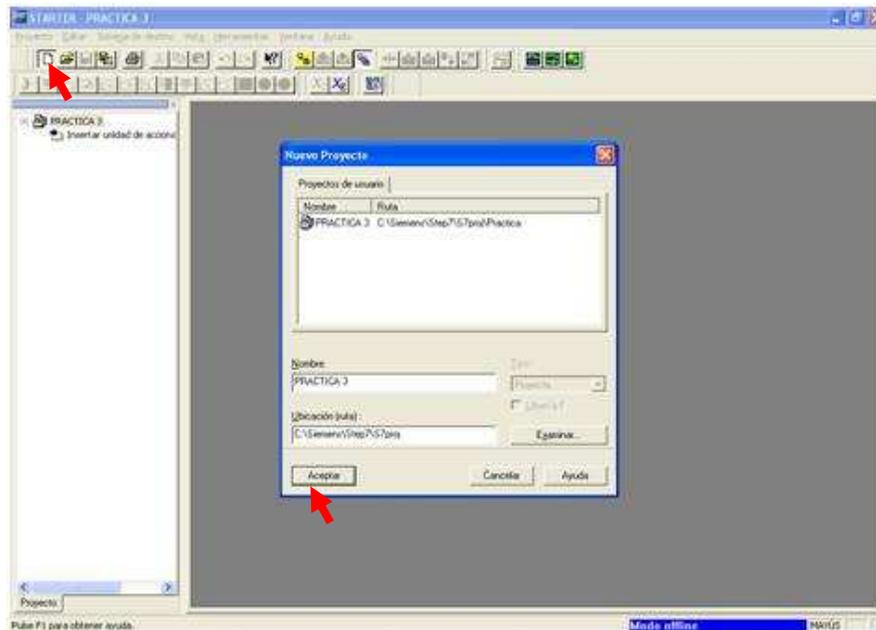


Figura 6.27 Creación de un nuevo proyecto.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

2.- Dar doble click en insertar unidad de accionamiento.

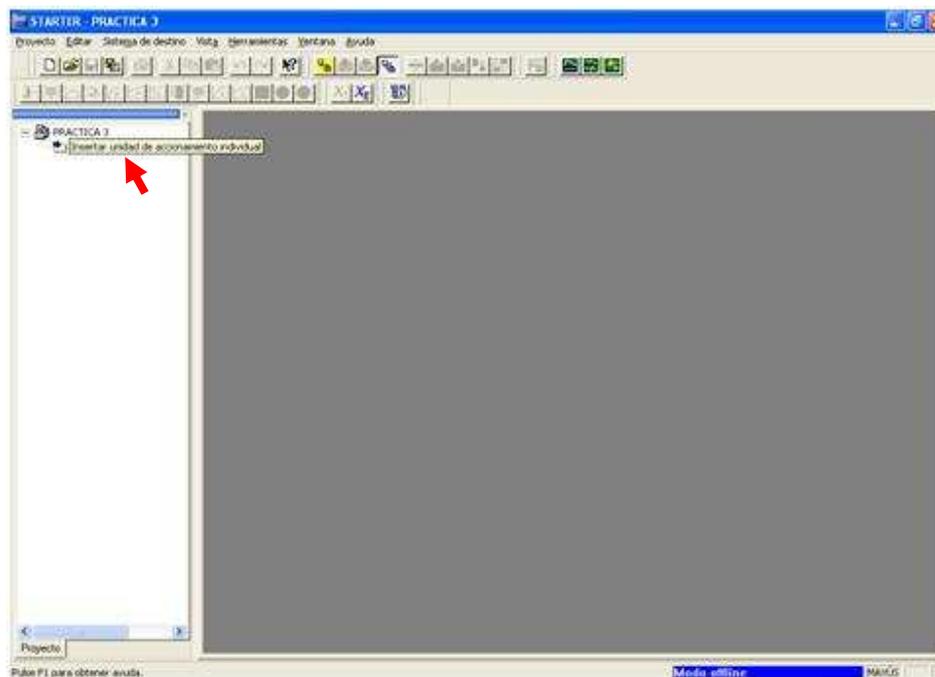


Figura 6.28 Insertar unidad de accionamiento.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

3.- Elegir el accionamiento para Micromaster 440.

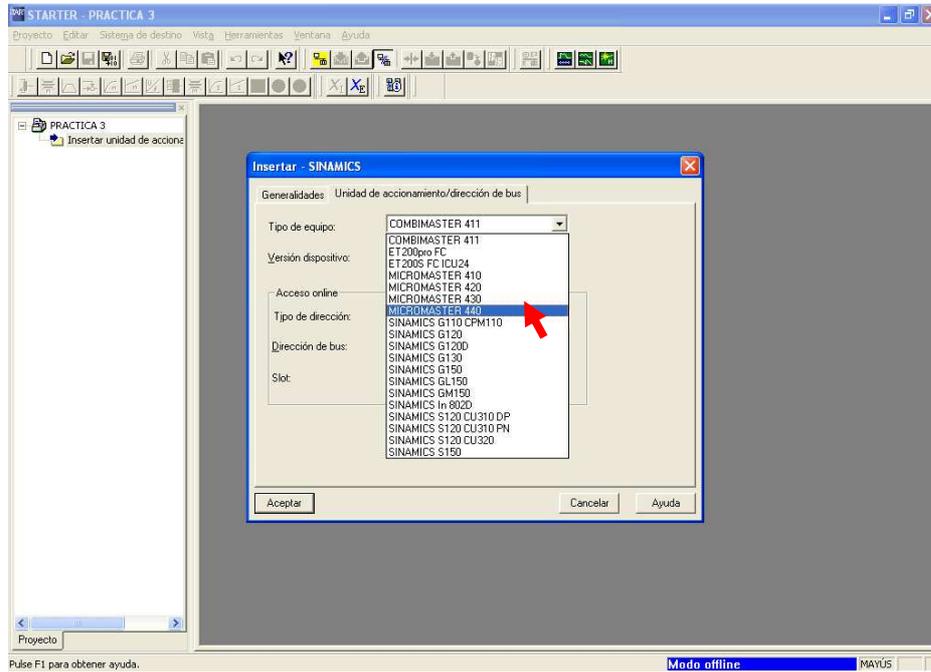


Figura 6.29 Escoger como unidad de accionamiento Micromaster 440.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

4.- Configurar todos los datos del motor, igual como se hizo en la práctica anterior.

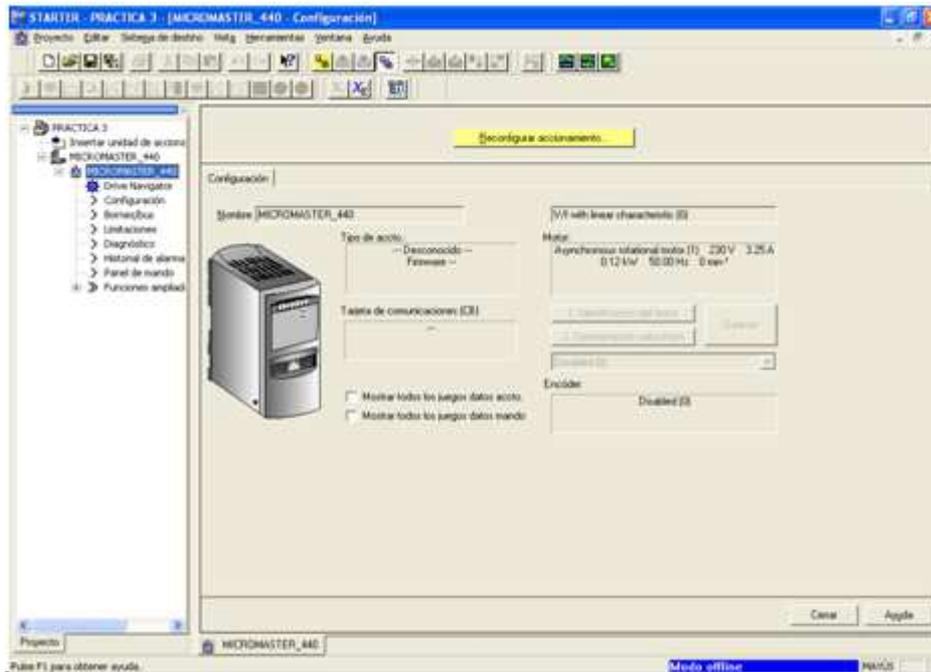


Figura 6.30 Configuración de datos del motor.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

5.- En la parte de donde procederán las señales de mando se pondrá terminal (2) que quiere decir que se utilizarán las entradas digitales, así como se habilitará las entradas análogas para la variación de velocidad del motor.

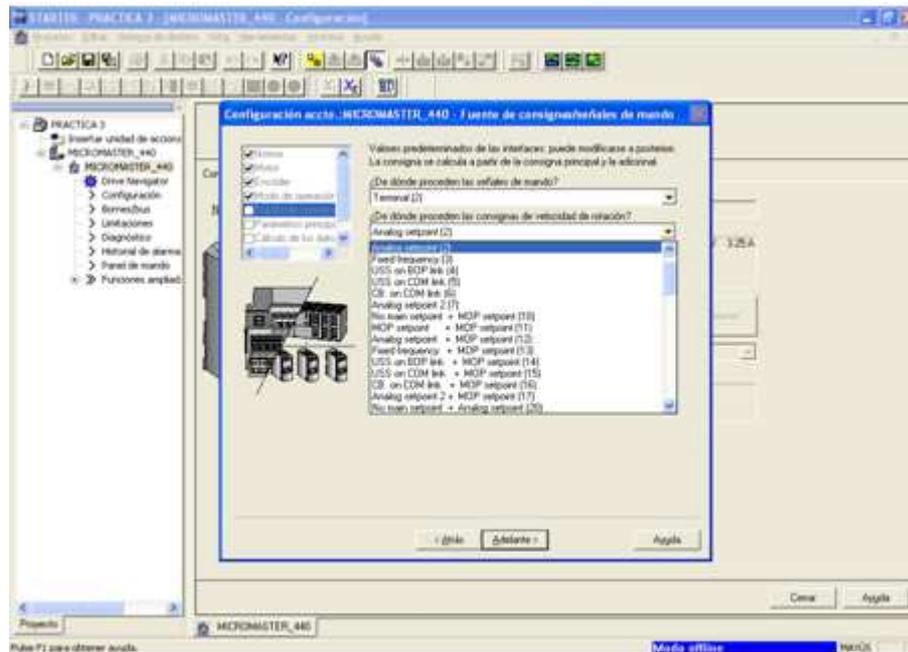


Figura 6.31 Habilitación de entradas digitales y analógicas.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

6.- Dar doble click en Bornes para configurar de donde vienen las señales de las entradas digitales.

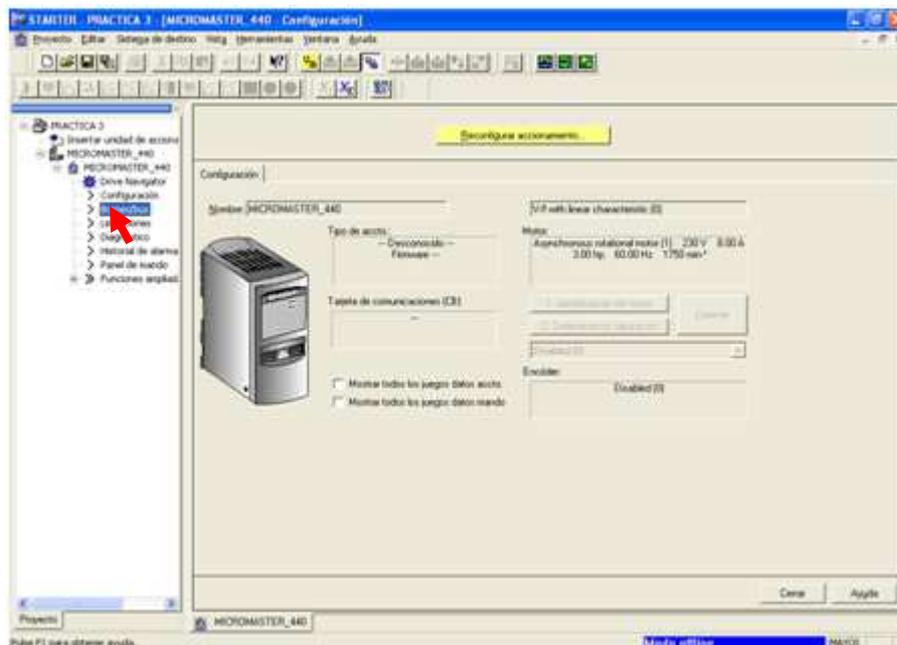


Figura 6.32 Configuración de las entradas digitales.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

7.- En esta pantalla se configura la activación de las entradas y que acción tomará el sistema según el diseño, la entrada 3 es para el cambio de giro y la 5 para marcharlo.

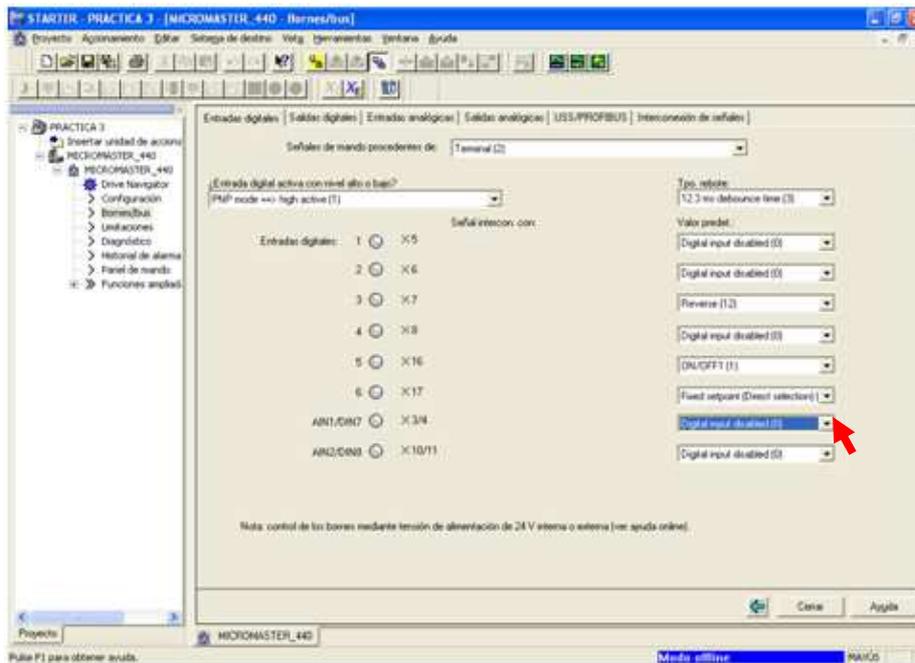


Figura 6.33 Direccionamiento de las entradas digitales.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

8.- En la pantalla mostrada se puede configurar, lo que se desea visualizar en las salidas digitales en este caso se ajusta en variador marchando y la inversión de giro.

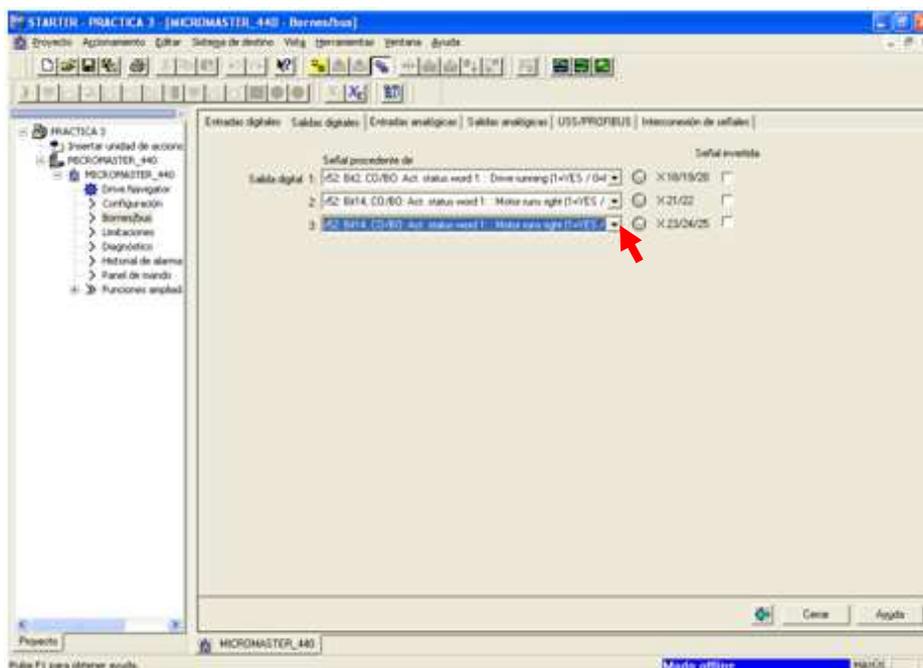


Figura 6.34 Visualización de estado de control de las salidas digitales.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

9.- Guardar el proyecto del variador.

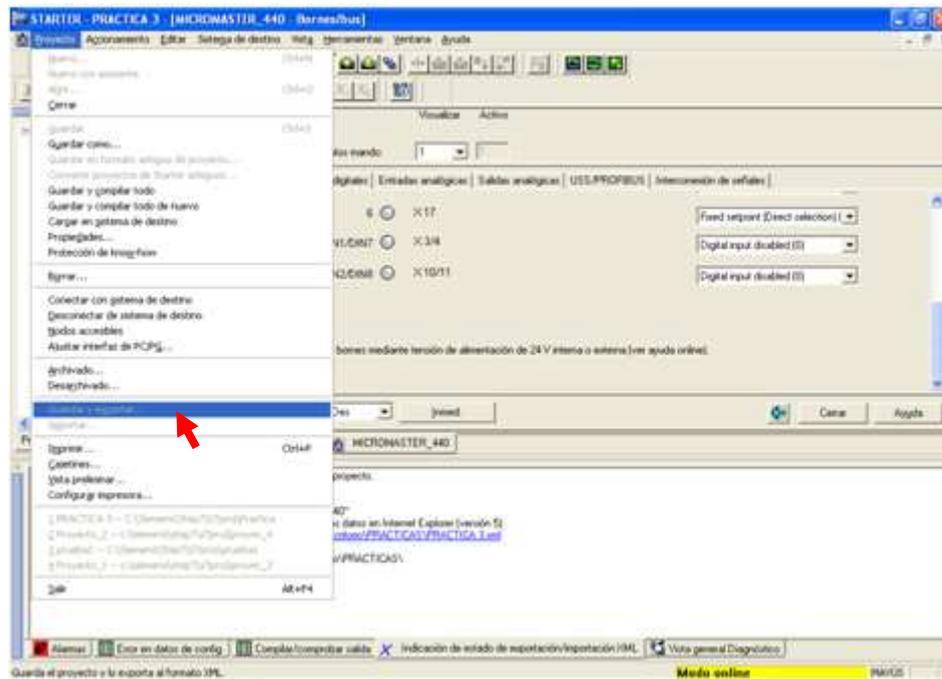


Figura 6.35 Guardado de Proyecto.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

10.- Cargar el proyecto al variador

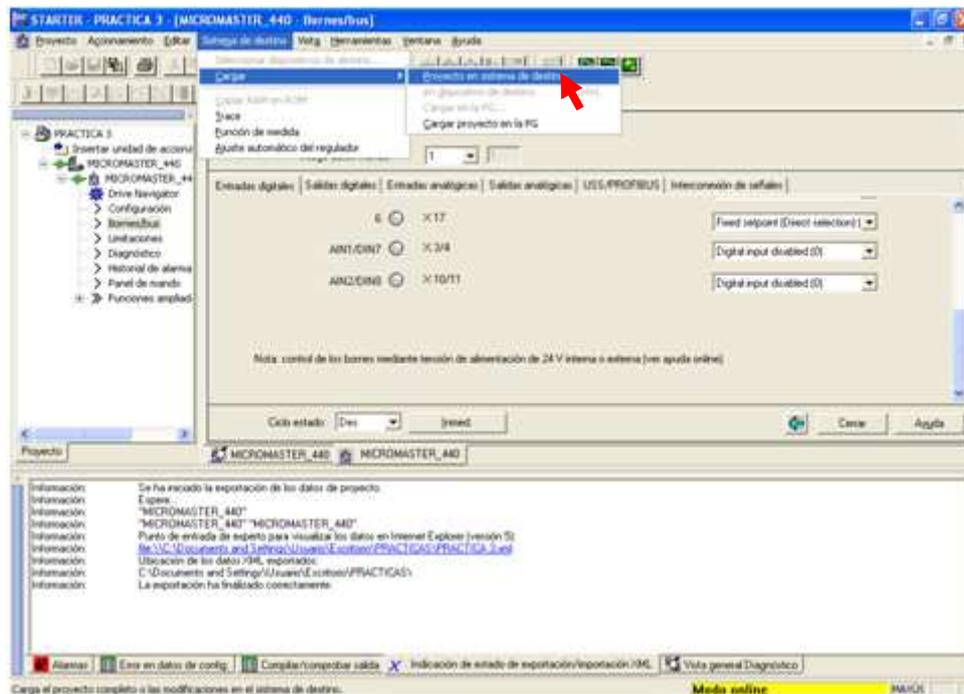


Figura 6.36 Se carga el proyecto en la memoria del variador.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

6.4 Practica N°4 Obtención de variación inversa de la temperatura mediante la variación de frecuencia automática utilizando el lazo de control cerrado.

Objetivos:

- Configurar las entradas y salidas digitales del variador de frecuencia.
- Probar, medir y visualizar los parámetros de salida

Equipos:

- Módulo de Pruebas.
- Multímetro.
- Cables.
- Termocupla.

6.4.1 Procedimiento

- Alimentar el módulo de pruebas del variador de frecuencia.
- Conectar el kit de conexión a PC del variador.
- Conectar el motor al módulo de variador de frecuencia.
- Conectar el módulo de sensores de temperatura al módulo de variador de frecuencia.
- Conectar los bornes de las entradas y salidas analógicas.
- Alimentar la resistencia del módulo de sensores de temperatura.
- Variar la temperatura de la resistencia en el sensor de temperatura hasta 150 °C.
- De acuerdo a la variación de la temperatura se procedió a tomar datos de: Velocidad del motor, ohmios, corriente de salida del motor, frecuencia de salida.

Tabla de datos:

Temperatura	R.P.M.	CORRIENTE DE SALIDA	OHM	FRECUENCIA
150	1740	3.50mA	155	53.64Hz
94	1137	3.55mA	136	38.88Hz
75	920	3.53mA	125	31.85Hz
50	630	3.59mA	120	21.17Hz
35	466	3.63mA	112	15.89Hz

Tabla 6.2 Mediciones realizadas en Práctica # 4.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

6.4.2 Reporte:

El mismo se lo puede ampliar y queda a disposición del catedrático, establecer cuál sería el método a aplicar, ya que se puede plantear que los estudiantes desarrollen un foro para interpretar los datos obtenidos e incluso analizar una curva que pueda realizarse; con el fin de contar con posibles problemas y soluciones prácticas.

6.4.3 Pregunta

¿Por qué el motor se acelera cuando se desconecta uno de los bornes del sensor de temperatura ?

Porque se presenta en ese momento como un circuito abierto, por lo tanto la resistencia tiende a infinita y la velocidad a incrementar.

6.5 Practica N° 5 Configuración del variador para trabajar en manual/automático y utilización en un lazo de control abierto.

Objetivos:

- Configurar las entradas análogas del variador de frecuencia.
- Conocer los principales tipos de señales que se usan en un lazo de control.
- Configurar el variador para trabajar en manual/ automático.

Equipos:

- Cable de comunicación.
- Motor de inducción trifásico.
- Banco de Prueba.
- Multímetro.
- Cables.

Teoría a revisar:

- Teoría Básica de los motores trifásicos.
- Conceptos básicos, funciones y aplicaciones de un variador de frecuencia.

6.5.1 Procedimiento.

1.- Se abre el software Starter y se crea una nueva práctica y se coloca el nombre:

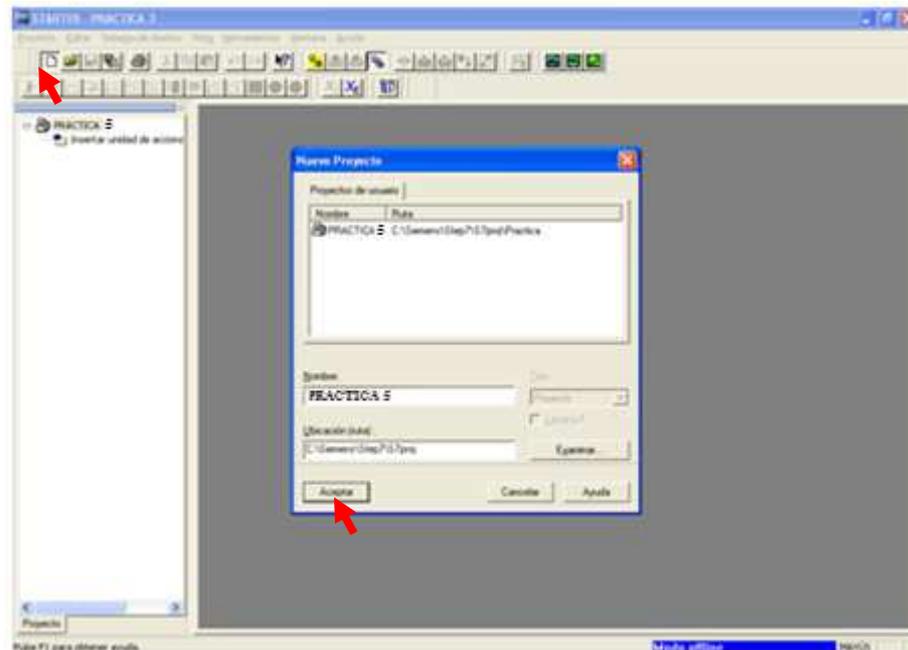


Figura 6.37 Creación de una nueva práctica.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

2.- Se da doble click en insertar unidad de accionamiento.

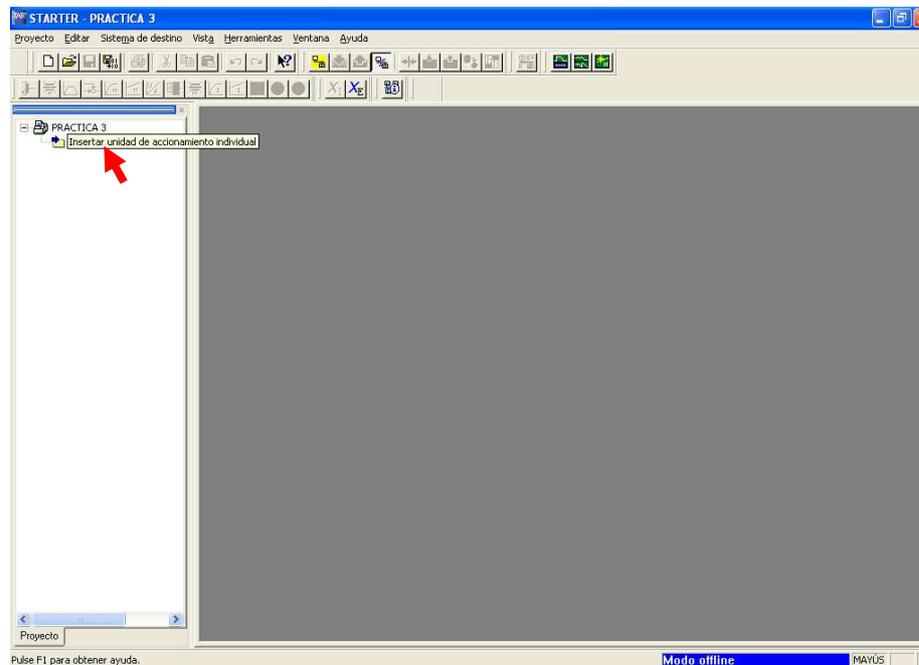


Figura 6.38 Creación de un nuevo proyecto.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

3.- Elegir el accionamiento para Micromaster 440.

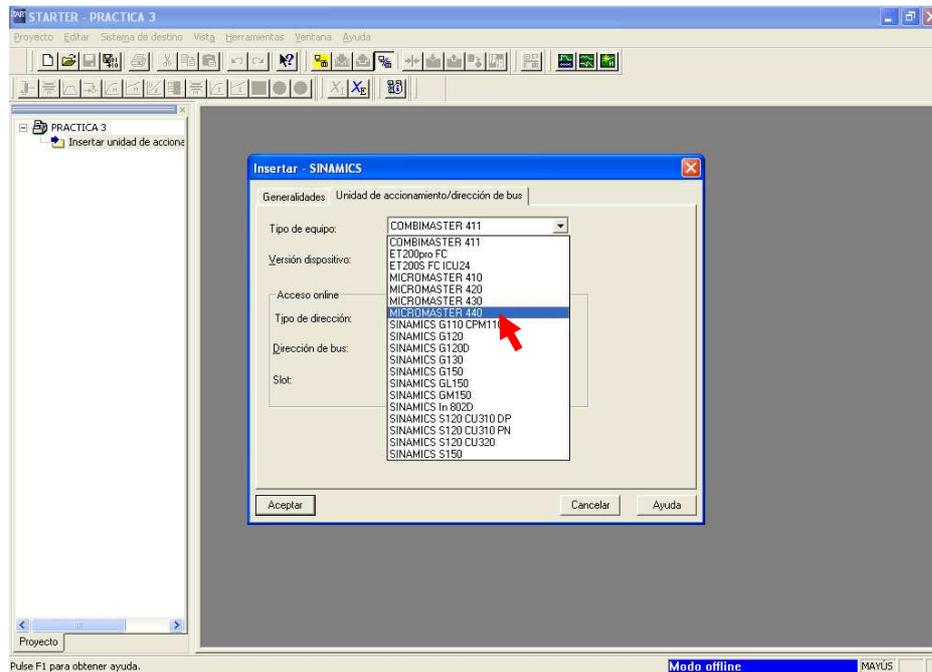


Figura 6.39 Escoger como unidad de accionamiento Micromaster 440.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

4.- Configurar todos los datos del motor, igual como se hizo en la práctica anterior.

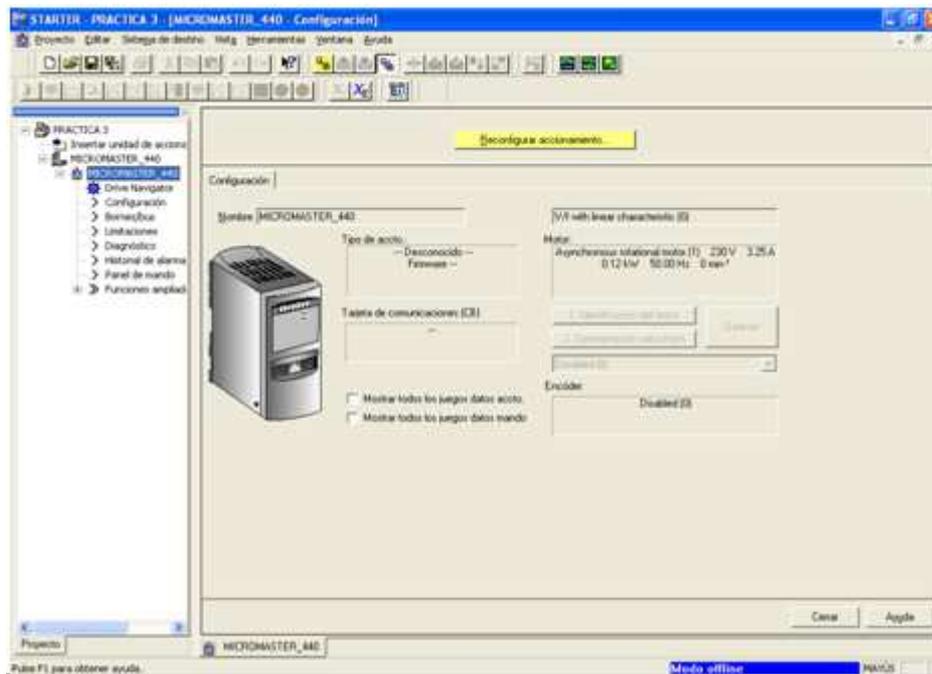


Figura 6.40 Configuración de datos del motor.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

5.- En la parte de donde procederán las señales de mando se pondrá terminal (2) que quiere decir que se utilizarán las entradas digitales, así como se habilitará las entradas análogas para la variación de velocidad del motor.

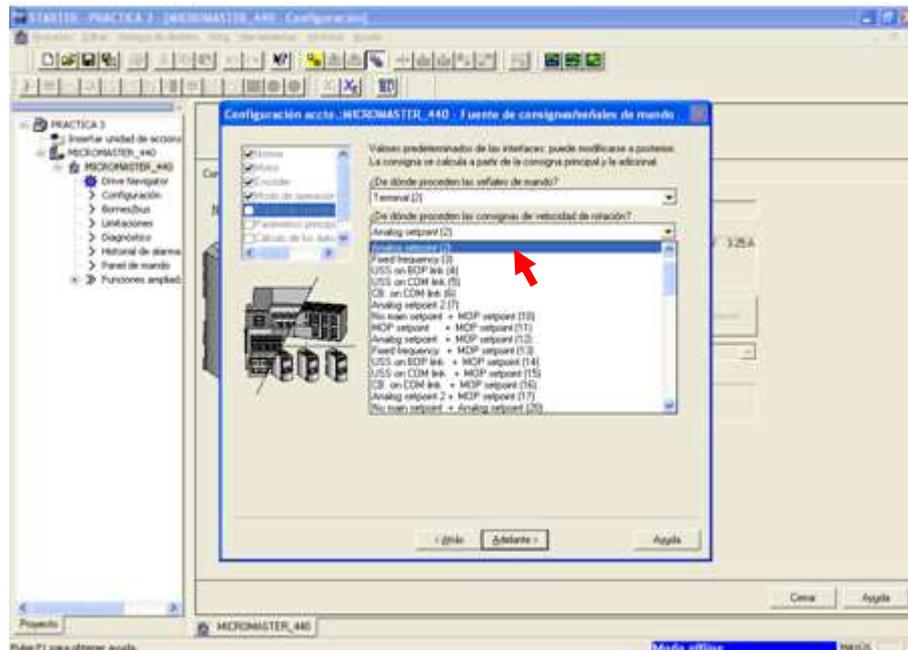


Figura 6.41 Habilitación de entradas digitales y analógicas.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

6.- Dar doble click en Bornes para configurar de donde vienen las señales de las entradas digitales.

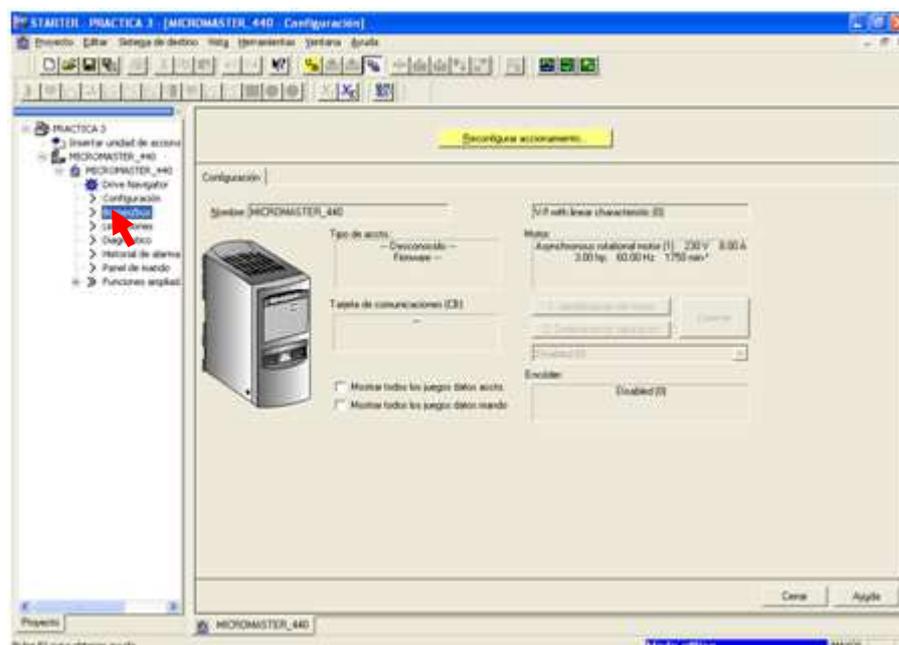


Figura 6.42 Configuración de las entradas digitales.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

9.- Como se va a usar dos juegos de parámetros uno para que sea manual y el otro para automático en este caso el juego de datos 1 será para manual y el juego de datos 2 será para automático, así que tenemos que configurar el otro juego de parámetros para eso se va a configuración y se habilita juego de accionamiento.

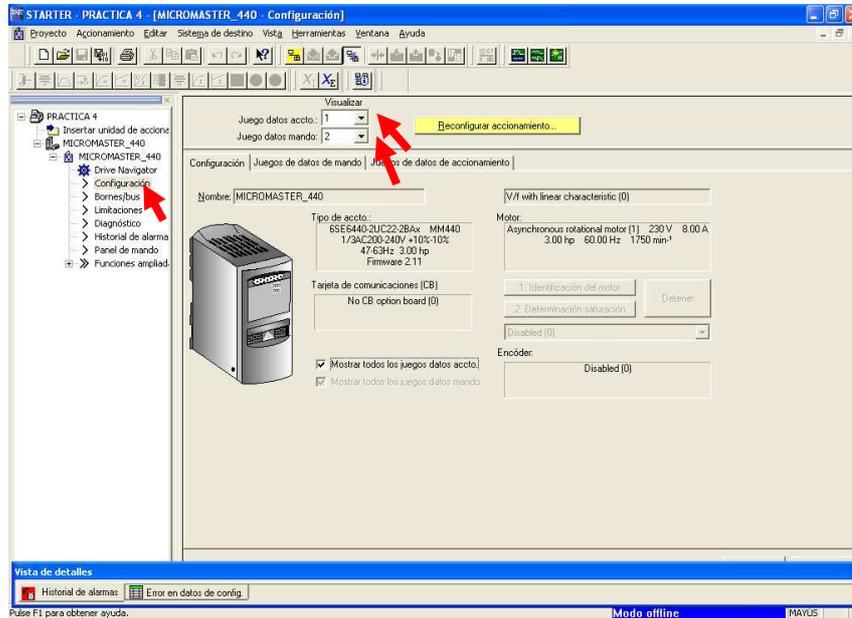


Figura 6.45 Configuración de parámetros en manual y automático.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

10.- A continuación se configura nuevamente las entradas digitales, en este caso la entrada dos será para la entrada digital 2 que habilitará la marcha en automático, así mismo se elige 99 y de ahí local remoto.

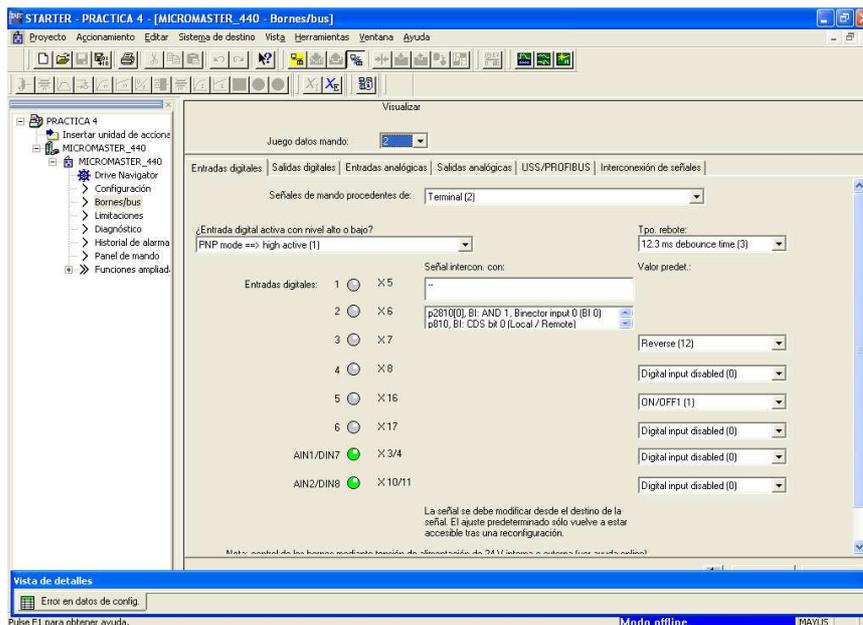


Figura 6.46 Configuración de entradas digitales.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

11.- La salida analógica para ambos juegos de parámetros será salida de 4 -20mA con valor absoluto porque se visualiza las r.p.m. del motor.

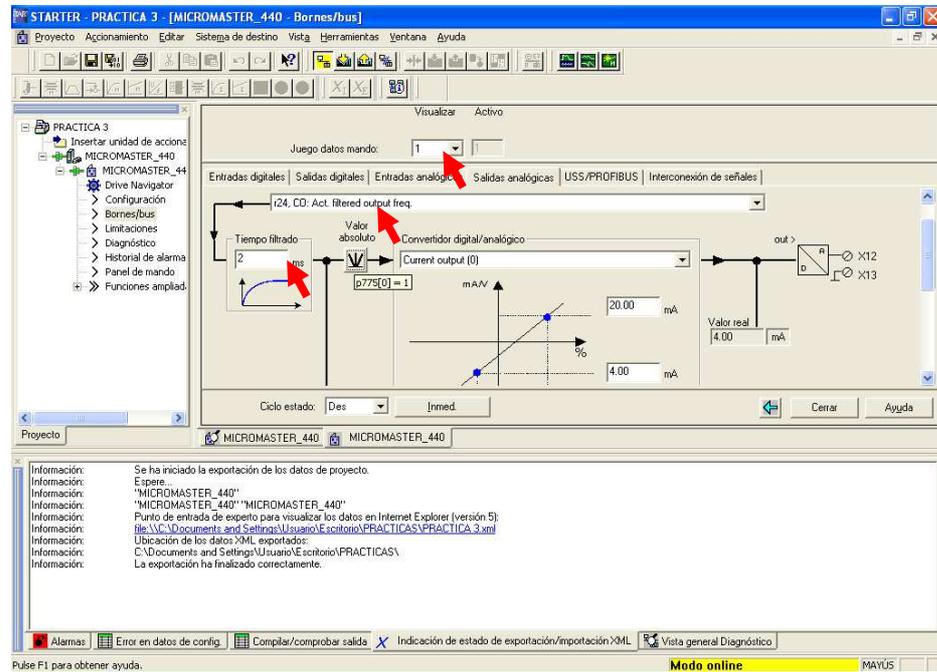


Figura 6.47 Configuración de salida analógica (a).

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

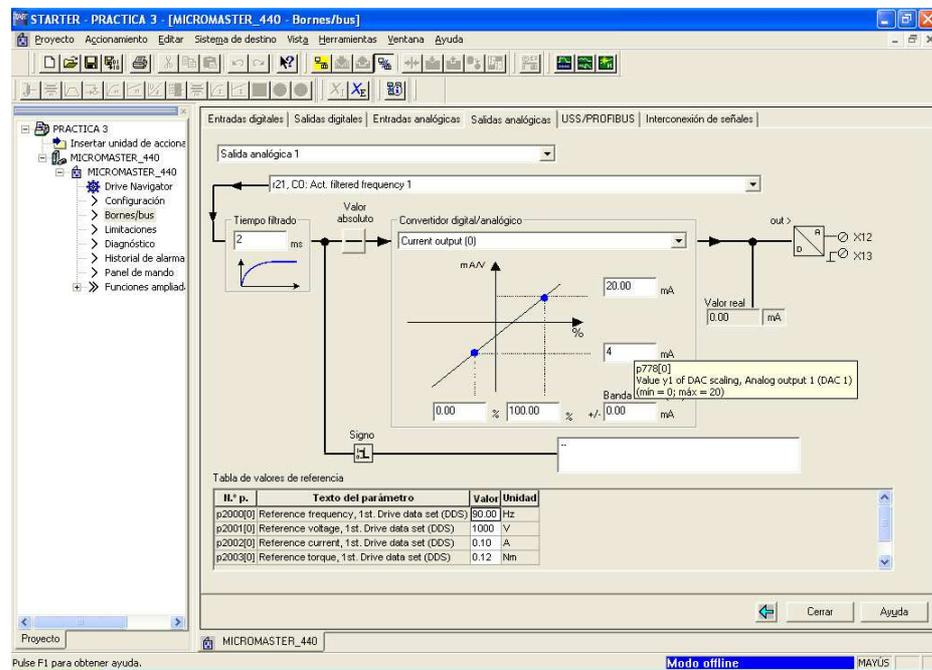


Figura 6.48 Configuración de salida analógica (b).

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

12.- Para las entradas digitales se a utilizará para el juego de datos 1 la entrada analógica de 0 - 10V con el potenciómetro. y Para el juego dato de datos 2 la entrada analógica 2 de 4 a 20 mA.

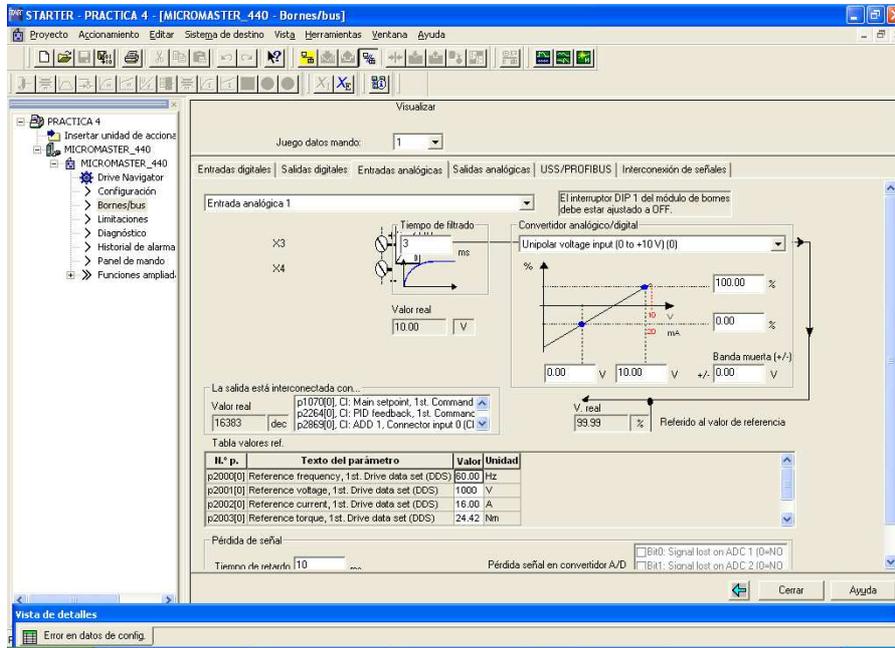


Figura 6.49 Configuración de entrada analógica 1.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

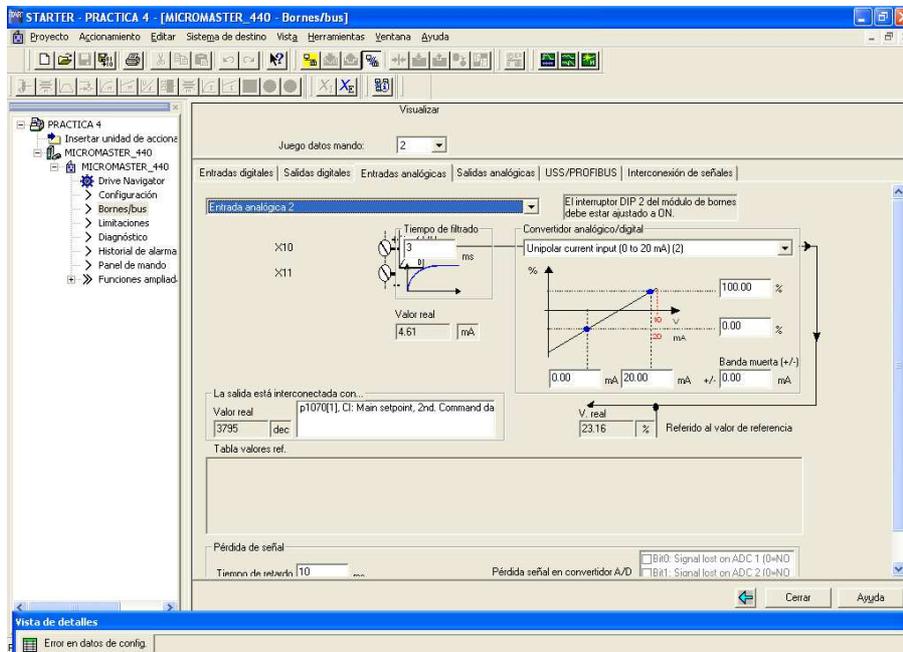


Figura 6.50 Configuración de entrada analógica 2.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

13.- Dentro de consignas para el juego de datos 1 se pone entrada analógica 1 y en el juego de datos 2, la entrada analógica 2.

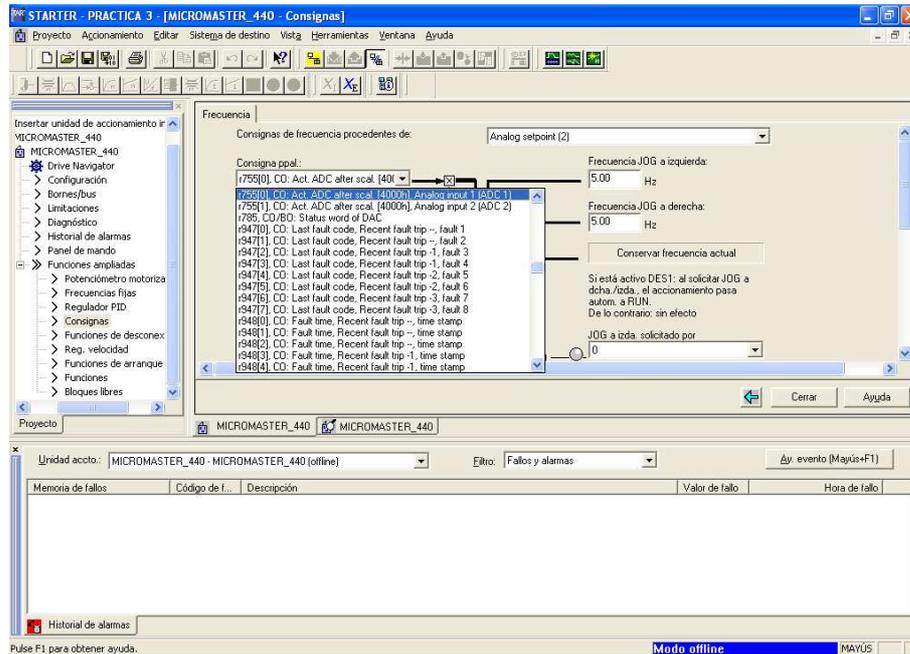


Figura 6.51 Configuración de entrada analógica (consignas).

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

14.- Guardar y cargar.

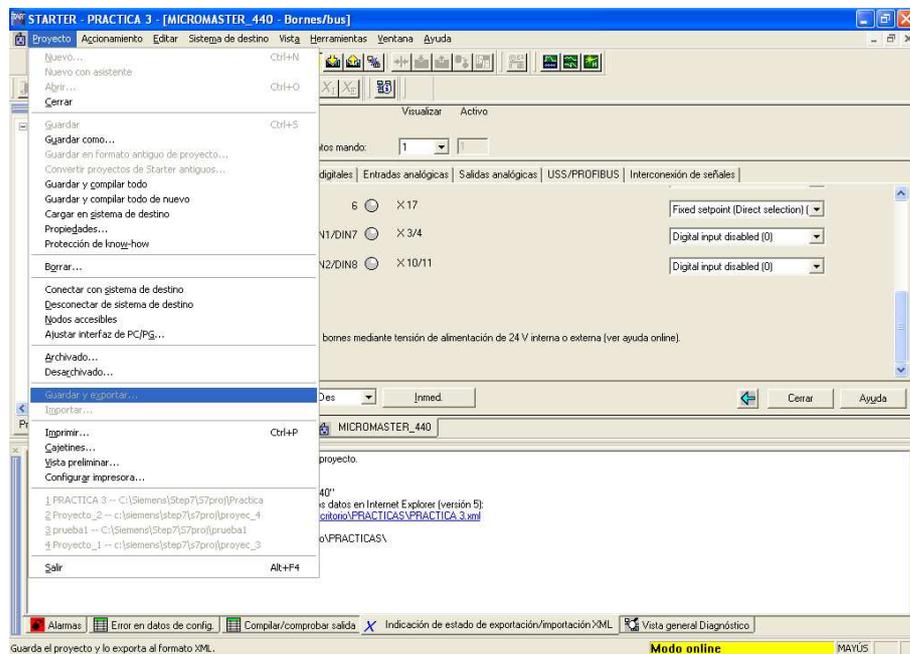


Figura 6.52 Guardamos la práctica.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

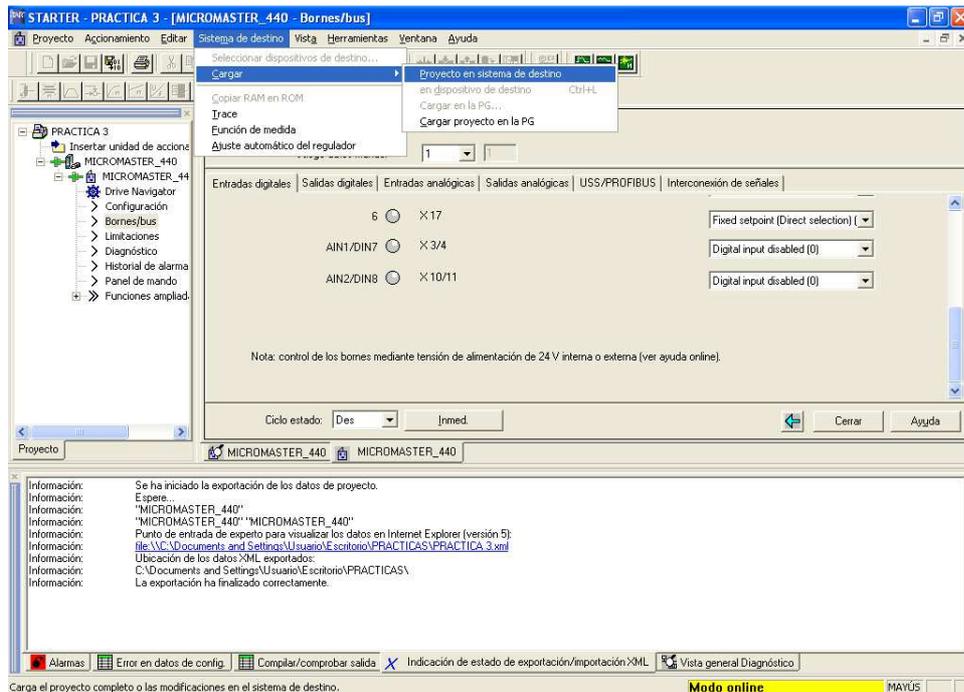


Figura 6.53 Cargamos la práctica al variador.

Fuente: Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo

6.5.2 Preguntas:

1. ¿A qué se debe la utilización de una señal analógica de 0 -10V o de 4-20mA?

Señales de 0-10V se las utiliza cuando la distancia del cable es corta, ya que por la distancia del cable va a existir una caída de tensión.

Mientras que en una entrada analógica de 4 -20 mA., la corriente se mantendrá con la diferencia de que existe una fuente externa en este caso los transductores de señal.

2. ¿Por qué se utiliza de 4-20mA y no de 0-20mA?

Se utiliza de 4-20mA tomando en cuenta que 4mA lo tomara como 0% de la señal mientras que 20mA será el 100%, si en algún momento existe una rotura de cable la señal se irá a cero, lo cual se detectara como una falla si fuera de 0 a 20mA el control lo verá simplemente como el 0% de la consigna.

CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- El variador de frecuencia, permite controlar velocidades, ya sea en la industria o en el campo didáctico (como es el presente caso). Y por medición se nota que se reduce el gasto energético hasta en un 60% frente a un accionamiento estándar, considerando los costos de servicio de la instalación, se pueden tener amplias funciones tales como:
 - Estabilidad de R.P.M.. y compensación automática del deslizamiento.
 - Marcha silenciosa del motor al incrementar progresivamente su velocidad.
 - Limitación activa de corriente (se observó picos de corriente de hasta 21A).
 - Rápida puesta en marcha automática tras un fallo de red (por prueba se desenergizó una fase y envió al variador a error).
 - Unidad de control y programación práctica en la operación del variador.
- Durante el desarrollo del proyecto, tanto en la operación con el panel operador, como en el control a través del software; se obtuvo buena comunicación y velocidad de respuesta en tiempo real de las pruebas realizadas con el variador de velocidad.
- Cabe resaltar que al ingresar los datos del motor, estos deben ser los correctos, caso contrario pueden causar daños al variador de frecuencia o inclusive al motor. El control de velocidad en los motores de inducción a través de variadores de frecuencia, hace que aumente la eficiencia en el desempeño de procesos industriales, haciendo a éstos más uniformes, debido al alto grado de manejabilidad que tiene el motor cuando es controlado por el variador de frecuencia al tener cambios de carga.
- La integración entre las protecciones y el motor de inducción, se realizó a través del variador, debido a las siguientes razones:
 - Las protecciones actúan sobre el variador; y
 - El variador controla al motor.

- Para seleccionar un variador de frecuencia, el parámetro más importante es la potencia eléctrica, pero de acuerdo a su aplicación es importante además conocer otros parámetros tales como número de arranques por hora, la estimación del torque de arranque, la altura con respecto al nivel del mar donde se vaya a instalar y la temperatura ambiente, los cuales son parámetros muy importantes en la práctica, ya que muchas veces no son tomados en cuenta por falta de información.
- Se ha aprovechado al máximo el desarrollo de esta tecnología en lo que respecta al área eléctrica; así se ha plasmado este material didáctico de primera mano y práctico, como es el Módulo de Pruebas de un Variador de Frecuencia, el mismo que será de gran apoyo para el aprendizaje de las futuras promociones y aplicable a las carreras de “Automatización Industrial”, “Máquinas II”, “Controles Industriales” y Computación Aplicada a los Procesos” las que se dictan en la Facultad Técnica para el Desarrollo, explotando al máximo los recursos existentes en la Universidad.

7.2 Recomendaciones

7.2.1 Seguridad.

- Previo a iniciar cualquier prueba, se sugiere revisar los parámetros del variador de frecuencia especialmente los que involucren a datos de placa del motor, por precaución para el equipo y el mismo.
- No se debe tocar los terminales de salida del variador hacia el motor, hasta que el variador este completamente desconectado, ya que el mismo en su interior contiene alto voltaje y además condensadores que toman su tiempo en descargarse; cuando en el variador apague su pantalla BOP, es un indicador clave para que su manipulación sea segura.
- Previo al mantenimiento del Micromaster 440, se debe leer las instrucciones de seguridad, avisos y demás sugerencias del manual indicadas en las instrucciones de servicio; ya que controla partes mecánicas en rotación potencialmente peligrosas y no respetar las advertencias o no seguir las instrucciones contenidas, puede provocar lesiones graves o daños materiales considerables.

7.2.2 Mantenimiento de los equipos.

- **Variador.-** Cuando se vaya a dar mantenimiento al variador o se necesite reemplazar piezas, se debe desconectar totalmente el suministro eléctrico al Modulo de Pruebas, debido al tiempo de descarga que requieren los condensadores y más aún por precautelar la integridad humana del operador, este aparato sólo debe ser abierto 5 minutos después de haber sido desconectado. En el reemplazo deben utilizarse piezas de recambio originales y una vez realizado el cambio, debe volver a ponerse en marcha según las instrucciones de servicio.

- **Motor.-** Se lo debe inspeccionar a intervalos regulares, que podrían ser cada 500 horas de funcionamiento o mínimo 1 vez al año. Se recomienda seguir los siguientes pasos:
 - Limpiar el motor: Conservar el motor limpio y los ductos de ventilación despejados para verificar que el interior y exterior del motor estén libres de suciedad, aceite, grasa, agua, etc.; ya que esto puede bloquear la ventilación del motor y no ventilarse bien, como resultado se recalentará y puede causar fallas.
 - Nivel de aislamiento: Se debe utilizar un “Megohmetro” para asegurar que la integridad del aislamiento del bobinado se mantenga. Grabe las lecturas e inmediatamente investigue ¿el por qué? de alguna caída importante en la resistencia de aislamiento.
 - Ajuste de terminales: Asegúrese que los conectores eléctricos estén bien sujetos.
 - Lubricación en Rodamientos: La grasa perderá su propiedad lubricante con el paso del tiempo, por lo que debe reemplazarse periódicamente.

- **Mantenimiento del Contactador.-** Se debe realizar el mantenimiento de los elementos internos, eso incluye limpiar los contactos internos con un cepillo de bronce y limpiador de contactos apropiado para estos componentes. Verificar que el mecanismo se encuentre en buen estado.

ANEXOS

A.1 Tabla de Costos de los elementos y materiales del proyecto.

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Subtotal
1	Capacitación Siemens en variadores de velocidad	1	280,00	280,00
2	Impresiones, empastado y utilitarios de oficinas	3	50,00	150,00
3	Mantenimiento a computadora original	1	30,00	30,00
4	Cable para comunicación USS (Usb-Serial)	1	15,00	15,00
5	Plancha metálica 1,5mm, tubo cuadrado 1 ¼"	1	160,00	160,00
6	Pintado de gabinete y motor (pintura epóxica gris)	1	65,00	65,00
7	Ruedas giratorias de 2 ½" y fijas de 3"	4	10,00	40,00
8	Bisagras de 1 1/2"	2	4,50	9,00
9	Pernos galvanizados en varias medidas	1	10,00	10,00
10	Terminales y cables en varias medidas	1	35,00	35,00
12	Construcción de rotulación de identificación	1	20,00	20,00
13	Transporte por módulo original y nuevo	2	15,00	30,00
14	Materiales que incluidos en el módulo original: 1 Micromaster 440, 1 Laptop, 1 motor 3HP, 1 contactor, 1 guardamotor, 1 analizador de red, 1 PT100, 1 RTD, 2 transductores, borneras y jacks.	1	3150,00	3150,00
			Total	3994,00

A.2 Diagrama de bloques del Variador MICROMASTER 440.

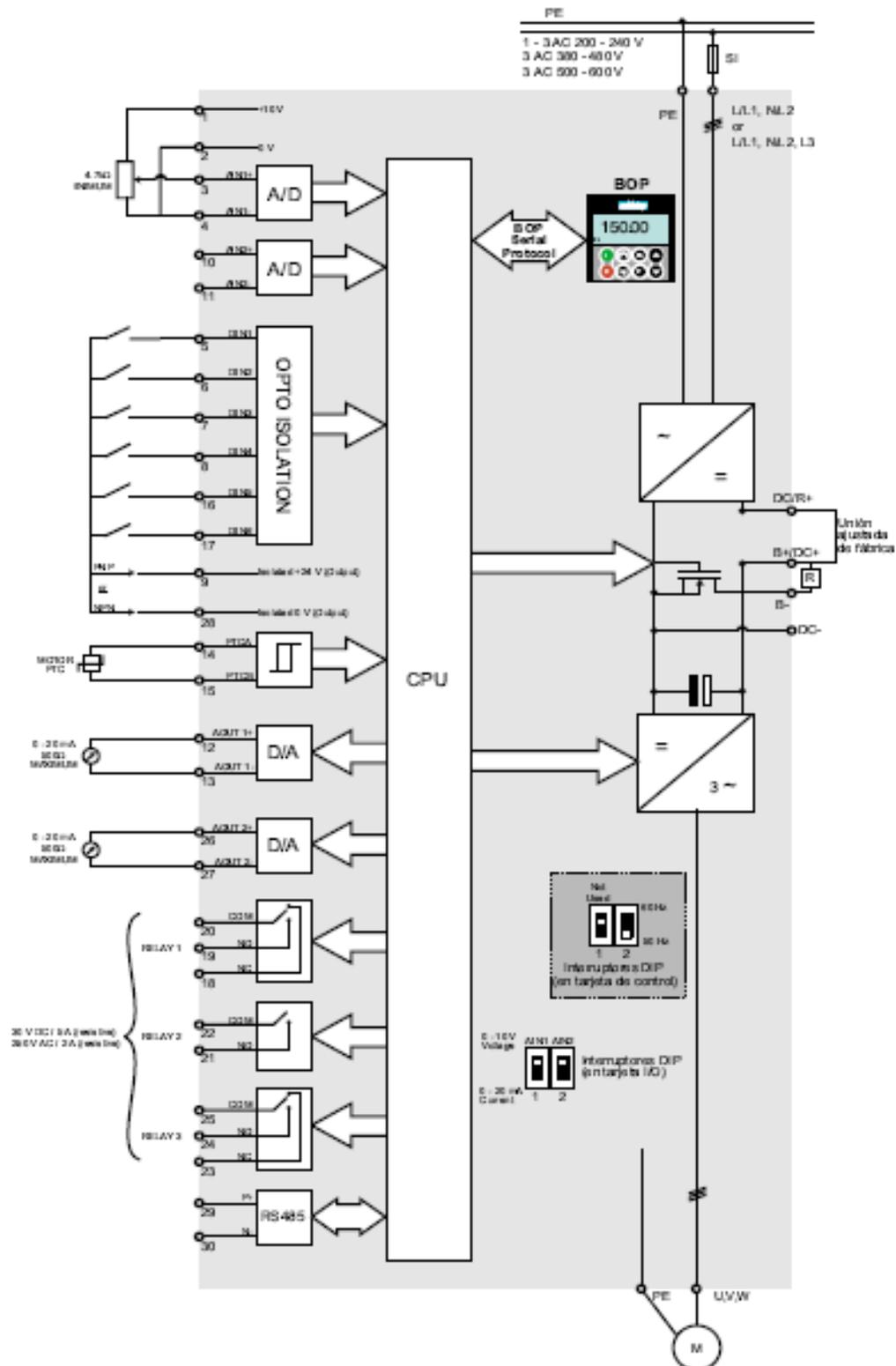


Figura A.2 Diagrama de bloques del Variador MICROMASTER 440.

Fuente: <http://www.siemens.de/micromaster>. Edición 10/06.

A.3 Diagrama de conexiones del Módulo de Pruebas.

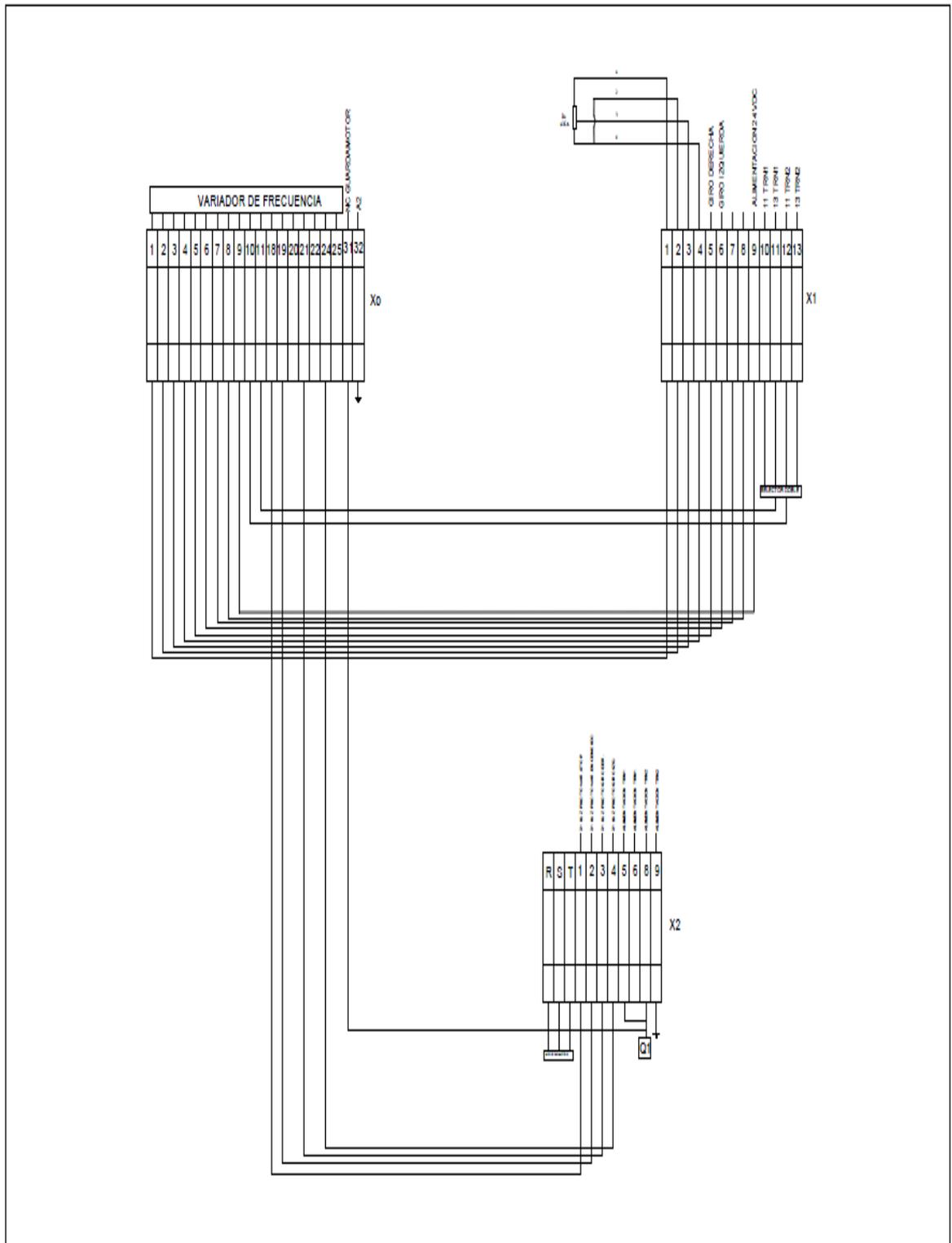


Figura A.3 Diagrama de conexiones desde las borneras del Módulo de Pruebas.

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

A.4 Diagrama de control del Módulo de Pruebas.

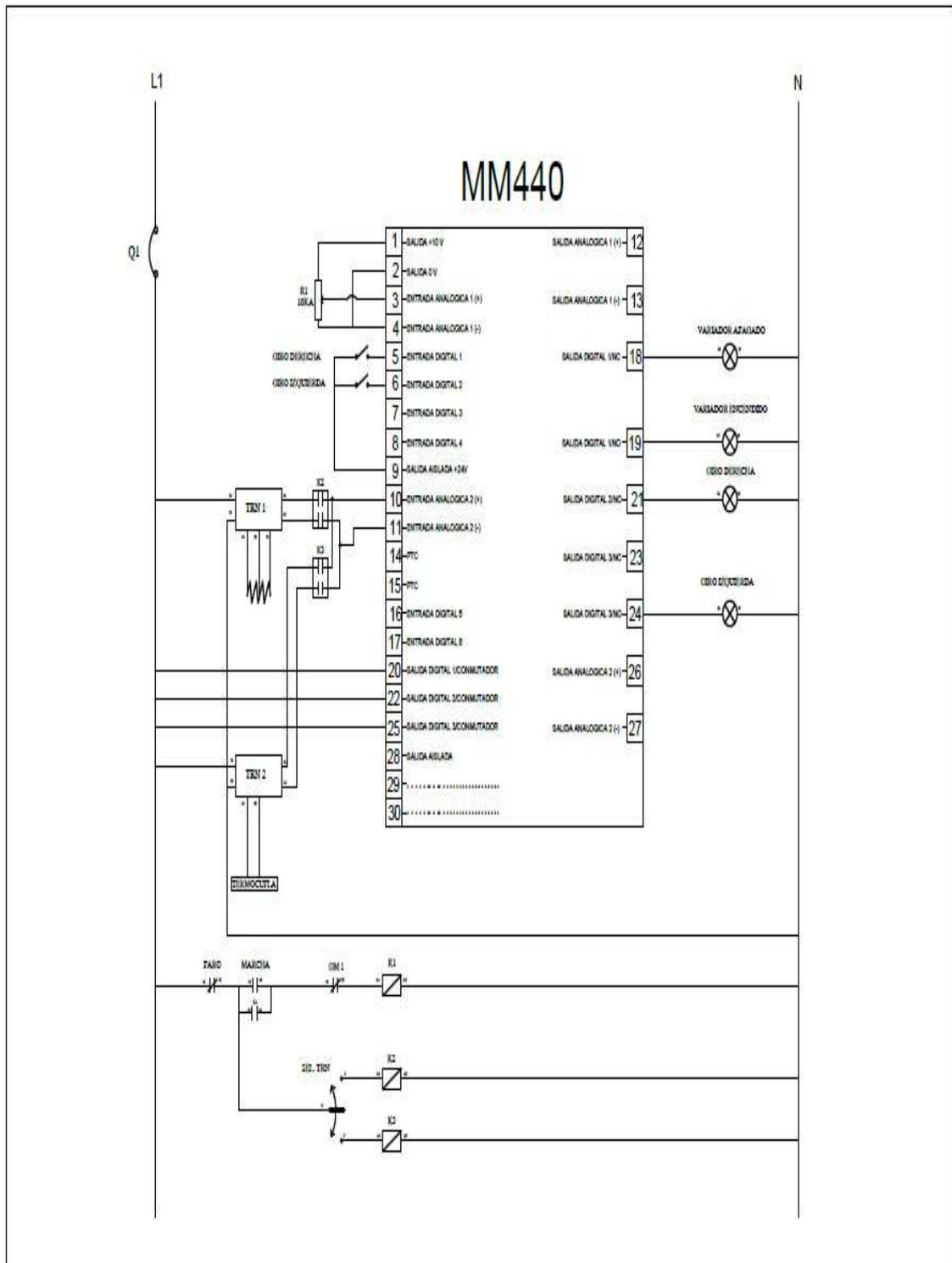


Figura A. 4 Diagrama de control del Módulo de Pruebas.

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

A.5 Diagrama de fuerza del Módulo de Pruebas.

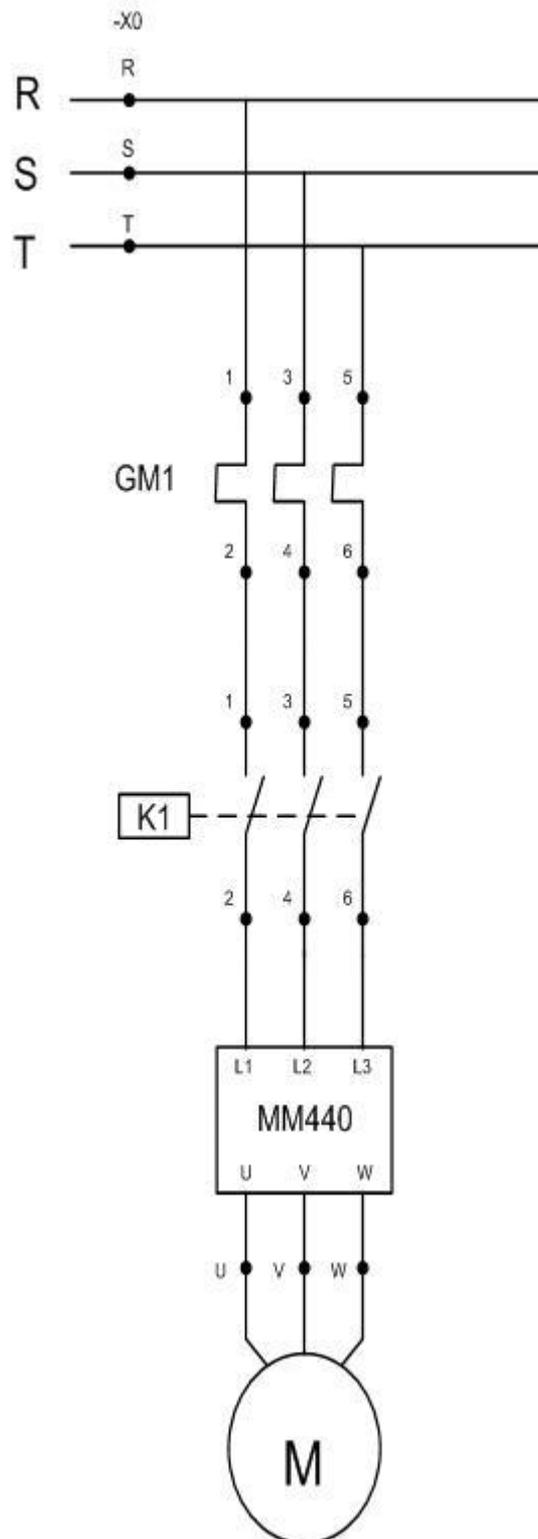


Figura A.5 Diagrama de fuerza del Módulo de Pruebas.

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

A.6 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).

A.6 Funciones de los botones del panel BOP.

Fuente: <http://www.siemens.de/micromaster>. Edición 10/06.

A.7 Módulo de Pruebas terminado (vista exterior).



A.7 Módulo de Pruebas terminado (vista exterior).

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

A.8 Módulo de Pruebas terminado (vista interior).



A.8 Módulo de Pruebas terminado (vista interior).

Fuente: Diseño de tesis: Ulises Molina – Carlos Cruz - Diciembre/2011.

BIBLIOGRAFIA

1. <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/hematologia/tesis.pdf.pdf>
2. <http://www.hospitalposadas.gov.ar/adm/concurso/arranque.pdf>.
3. <http://www.todoexpertos.com/categorias/ciencias-e-ingenieria/ingenieriaelectronica/respuestas/1419451>.
4. http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia.
5. http://expertos.monografias.com/home.asp?tip=usu&id=5&item=pregunta&id_item=199809&idr=152219.
6. <http://www.siemens.de/micromaster>. Edición 10/06.
7. Automatización y Control de Saeg Controls S.A.C.
8. Boylestad Robert L.- 1997- Electrónica: Teoría de circuitos- México. Prentice Hall, 6a Edición.
9. Chapman, S. J. - 1993- Máquinas Eléctricas.- Santafé de Bogotá- Editorial McGraw – Hill. 2a edición.
10. Hayt - 1987- Análisis de circuitos en ingeniería. McGraw – Hill.
11. Kuznetsov M. - 1988- Fundamentos de electrotecnia. Editorial Mir.
12. Nasar - 1994- Máquinas eléctricas y electromecánicas (Schaum). McGraw – Hill, 2a Edición.
13. Roldan V. J. – 1994 - Motores eléctricos – Automatismos de control. Editorial Paraninfo. 3a edición.
14. Roldan V. J. – 1994 - Electricidad Industrial – Esquemas básicos. Editorial Paraninfo. 4a edición.
15. Pedro Sinchi, Byron Klinger, Nelson López, Christian Gualpa, Daniel González - 2009 - Estudio, Diseño e Implementación de un módulo de pruebas de variador de frecuencia y su utilización en un lazo de control.