

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

**CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y
AVIÓNICA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL
CONTROL DE MOTORES TRIFÁSICOS UTILIZANDO EL
VARIADOR DE VELOCIDAD MICROMASTER 4”**

POR:

TAIPANTA SERNA POLO RICARDO

**Trabajo de Graduación como requisito previo para la obtención del Título
de:**

**TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**

2011

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por el **A/C TAIPANTA SERNA POLO RICARDO**, como requerimiento parcial para la obtención del título de **TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**.

SR.ING. EDUARDO PASOCHOA
DIRECTOR DEL PROYECTO

Latacunga, 24de agosto del 2011

DEDICATORIA

El fruto de mi esfuerzo lo dedico en su totalidad a mi familia, a mis queridos padres Segundo Taipanta y Rosa Serna, a mis hermanas Nelly, Sonia, Maribel y Tania, quienes con su apoyo incondicional, aliento, entusiasmo y cariño supieron guiarme en toda mi etapa estudiantil y levantarme en aquellos momentos difíciles de mi vida.

Este logro me permite estar más cerca de mis metas, cuyo propósito es aportar y colaborar con mis conocimientos al desarrollo de la gente de mi Ecuador, con lo cual este trabajo de grado lo dedico de corazón a mi país que me lo ha dado todo.

“La mejor herencia que nuestros padres nos pueden dar es el estudio, no la desperdiciemos, aprovechemos de ello al máximo”

Taipanta Serna Polo Ricardo

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mis sinceros agradecimientos a cada uno de los docentes, que en el transcurso de mi vida estudiantil, supieron orientarme con su paciencia y dedicación además de compartirme sus conocimientos profesionales los cuales me han servido para formarme como un buen profesional.

A cada uno de los establecimientos donde me eduqué, por ser quienes complementaron mi educación, donde obtuve los cimientos que me han servido para hacer más fácil mi vida estudiantil. Al Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, por abrirme las puertas para poder culminar mi carrera de Tecnólogo la cual será una herramienta importante para poder defenderme en mi vida profesional.

A mi director de Trabajo de Graduación Ing. Eduardo Pasochoa, quien ha sabido guiarme durante todo el desarrollo de mi proyecto de grado.

De igual manera a la Ing. Gladys Vega quiero agradecerle por todo el apoyo recibido por la buena predisposición que tuvo conmigo, por facilitarme el laboratorio y todos los materiales que ahí se encuentran durante la realización de mi proyecto.

A todos y cada uno de mis compañeros que compartimos un segundo hogar, las aulas, porque llevamos nuestra amistad casi al punto de una especie de hermandad, compartiendo así una de las etapas más hermosas de la vida, el ciclo estudiantil.

Taipanta Serna Polo Ricardo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
INDICE DE CONTENIDOS	V
RESUMEN.....	XIV
SUMMARY	XV

CAPÍTULO I

TEMA

1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. GENERAL	4
1.3.2. ESPECÍFICOS	4
1.4. ALCANCE	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción	6
2.2. Regulación Electrónica de velocidad de motores trifásicos.....	6
2.3. Principio de funcionamiento de la variación de velocidad	7
2.4.Principio de funciomamiento de un variador de frecuencia	8
2.4.1.Controlador de VDF.....	9
2.4.1.1.Inversores con mudulación PWM	10
2.4.1.2.Consideraciones de la modulación PWM.....	12

2.4.2. El control PWM.....	13
2.4.3.control Voltaje /frecuencia	16
2.5.Elementos del sistema de variacion de velocidad	17
2.5.1.El variador de frecuencia.....	17
2.5.1.1.Micromaster 4.....	18
2.5.1.2.Instalación	18
2.5.1.3.Funciones.....	22
2.5.1.4.Pasos para la puesta en sevicio del Micromaster 440	22
2.5.1.5.Funciones de los botones del BOP	24
2.5.1.6.Modificación de parámetros con el panel de mando en el MICROMASTER 440	26
2.5.1.7.Partes principales del variador de frecuencia MICROMASTER 440	26
2.5.1.8.Características de MICROMASTER 440I.....	29
2.5.1.9.Tecnología BiCO	30
2.5.2.Motor trifásico.....	30
2.5.2.1.Principio de funcionamiento	30
2.5.2.1.Partes del motor trifásico.....	31
2.5.2.3.Tipos de conexiones de los devanados a la red.....	33
2.5.2.4.Características del motor trifásico del sistema de variación de velocidad...	33
2.5.3.Control de velocidad por frecuencia	34
2.6.Interface en serie universal (USS).....	36
2.6.1Especificación del protocolo y estructura del bus.....	36
2.6.2. Especificación del protocolo	37
2.6.3. Estructura del bus	37
2.6.4. Técnica de transmisión.....	38
2.6.5. Características del cable	39
2.6.6. Características térmicas y eléctricas	39

2.6.7. Características mecánicas	39
2.6.8. Longitudes de cable	39

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Preliminares	41
3.2. Elaboración del Cable USS (Interface en serie universal).....	41
3.3. Librerías de operación del protocolo USS	43
3.3.1. Operaciones del protocolo USS	43
3.4. Parametrización del variador de velocidad MICROMASTER 440 para el uso del Protocolo de comunicación USS	52
3.5. Conexiones eléctricas y comunicación entre el S7-200 y el variador de velocidad Micromaster 440.....	53
3.5.1. Conexiones del variador de velocidad Micromaster 440	53
3.5.2. Conexiones del S7-200	55
3.5.3. Comunicación entre el S7-200 y el Micromaster 440	55
3.6. Edición del programa de control.....	57
3.6.1. Software step 7 micro/win 4.0 service pack 7.....	57
3.6.1.1. Características del Software Step 7 Micro/WIN 4.0 service pack 7.....	58
3.6.1.2. Esquema de contactos KOP	59
3.6.2. Implementación del protocolo USS para el PLC S7-200	60
3.7. Transferencia del proyecto al S7-200.....	67
3.7.1. Uso del cable de Comunicación USB/PPI.....	67
3.8. Pruebas y análisis de resultados.....	67
3.9. Gastos Realizados	70
3.9.1 Costos Primarios	70
3.9.2 Costos Secundarios	70
3.9.3 Costo Total	71

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones:.....	72
4.2. Recomendaciones:.....	74
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	75
ABREVIATURAS.....	80
BIBLIOGRAFÍA	81
MANUALES.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Operación del MICROMASTER 440 por primera vez.....	19
Tabla 2.2 Botones y sus funciones en el panel BOP.....	24
Tabla 2.3. Descripción de los bornes	27
Tabla 2.4. Características del motor trifásico	34
Tabla 2.5. Características del cable	39
Tabla 2.6. Características térmicas y eléctricas	39
Tabla 2.7. Longitudes del cable.....	40
Tabla 3.1 Asignación de pines del puerto de comunicación del S7-200	42
Tabla 3.2. Parámetros de la operación USS_INIT	45
Tabla 3.3. Parámetros de la operación USS_CTRL.....	47
Tabla 3.4. Operandos válidos para las operaciones USS_WPM_x.....	50
Tabla 3.5. Operandos válidos para las operaciones USS_WPM_x.....	51
Tabla 3.6. Parámetros de configuración del Micromaster 440	52
Tabla 3.7. Indicadores del cable multi-maestro USB/PPI versión 6	67
Tabla.3.8. Costos Primarios	70
Tabla.3.9. Costos Secundarios	70
Tabla.3.10. Costo Total	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema básico de un Variador de velocidad	7
Figura 2.2. Variación de velocidad e interface de control.....	8
Fig.2.3 Modulación de Ancho de Pulso (PWM)	10
Figura 2.4. PWM BIPOLAR.....	11
Figura 2.5. PWM UNIPOLAR	12
Figura 2.6. Armónicos de la señal PWM	14
Figura 2.7. Espectro de las tensiones de línea (superior) y VAN y VBN.....	15
Figura 2.8. Variador de velocidad Micromaster 440	17
Figura 2.9. Colocación y desmontaje del Micromaster 440.....	20
Figura 2.10. Conexiones del motor y la red.....	21
Figura 2.11. Panel BOP (Micromaster 440)	23
Figura 2.12. Panel AOP (Micromaster 440)	24
Figura 2.13. Bornes del Micromaster 440	27
Figura 2.14. Interruptor DIP.....	28
Figura 2.15. Motor trifásico-Principio de funcionamiento.....	31
Figura 2.16. Motor trifásico marca LAWSON	31
Figura 2.17. Estator.....	32
Figura 2.18. Rotor	32
Figura 2.19. Rotor Jaula de Ardilla	32
Figura 2.20. Conexión estrella.....	33
Figura 2.21. Conexión triangulo	33
Figura 2.22. Topología del bus USS	38
Figura 3.1. Librerías Actualizadas del Step 7 Micro/WINSP 7.....	43
Figura 3.2. Bloque USS_INIT	44
Figura 3.3. Figura 3.3. Bloque USS_CTRL	45
Figura 3.4. Bloque USS_RPM_W	49

Figura 3.5. Bloque USS_WPM_R	50
Figura 3.6. Bornes de conexión del MICROMASTER 440	53
Figura 3.7. Conexión de potencia del variador Micromaster 440 y el motor.....	53
Figura 3.8. Resistores de cierre y polarización.....	54
Figura 3.9. Diagrama de cableado del S7-200	55
Figura 3.10. Comunicación entre el S7-200 y el variador Micromaster 440	56
Figura 3.11. Ícono de acceso al Software Step7 Micro/Win 4.0 service pack 7	57
Figura 3.12. Librerías Actualizadas del Step 7 Micro/WINSP 7.....	58
Figura 3.13. Ventana Principal Del Step 7 Micro/WIN.....	58
Figura 3.14. Ejemplo de programación en el editor KOP	59
Figura 3.15. Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7	60
Figura 3.16. Como encontrar los operadores del protocolo USS	61
Figura 3.17. Cargar el comando de inicialización de la comunicación USS.....	61
Figura 3.18. Bloque de control del drive.....	62
Figura 3.19. Bloque de lectura de parámetros	64
Figura 3.20. Bloque de escritura de parámetros	65
Figura 3.21. Secuencia de conversión de datos.....	66
Figura 3.22. Sistema de enclavamiento	66
Figura 3.23. Cable multi-maestro USB/PPI	67

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Conexiones del cable USS	42
Foto 2. Cable USS con terminación RS-485.....	42
Foto3. Conexión del cable USS.....	54
Foto 4. Comunicación mediante el cable RS-485.....	56
Foto 5. Conexiones finales con el S7-200 y el Micromaster 440	57
Foto 6. Parámetro RUN=0	68
Foto 7. Velocidad al 100 %.....	68
Foto 8. Variación de velocidad.....	69
Foto 9. Inversión de giro (DIR=0)	69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Guía de instalación de las librerías del Protocolo de comunicación USS.

Anexo B Guía de laboratorio de control de velocidad de un motor trifásico.

Anexo C Características básicas del variador de velocidad Micromaster 440.

Anexo D Maneras de manipular el variador de velocidad Micromaster 440.

Anexo E Anteproyecto

RESUMEN

El presente trabajo de graduación tiene como finalidad realizar el control de velocidad de un motor trifásico, con la ayuda del variador de velocidad Micromaster 440 mediante comunicación USS (Interface en serie universal), para esto se utilizó un PLC Simatic S7-200 el cual sirve como controlador del variador de velocidad.

El Software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7, cuenta con librerías específicas para la implementación del protocolo de comunicación USS (Interface en serie universal), las mismas que nos sirven para realizar el control del variador de velocidad.

Mediante el Software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7, se realizó la implementación del protocolo de comunicación USS (Interface en serie universal) entre el PLC S7-200 y el variador de velocidad Micromaster 440, los mismos que están conectados mediante el cable USB/PPI.

Se utilizó la entrada analógica del potenciómetro del PLC para realizar el control de velocidad. Debido a que el potenciómetro tiene un rango de 0 a 255 se realizó una operación matemática para convertir el rango del potenciómetro de 0 a 100, lo cual nos ayuda a controlar la velocidad del motor en porcentaje de 0 a 100%.

SUMMARY

The present graduation work has as purpose to carry out the control of speed of a motor trifasico, with the help of the variador of speed Micromaster 440 by means of communication USS (Interface in universal series), for this a PLC Simatic S7-200 the one was used which serves as controller of the variador of speed.

The Software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7, it has bookstores you specify for the implementation of the communication protocol USS (Interface in universal series), the same ones that are good us to carry out the control of the variador of speed.

By means of the Software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7, he/she was carried out the implementation of the communication protocol USS (Interface in universal series) among the PLC S7-200 and the variador of speed Micromaster 440, the same ones that are connected by means of the cable USB/PPI.

The analogical entrance of the potenciómetro of the PLC was used to carry out the control of speed. Debido a que el potenciómetro tiene un rango de 0 a 255 se realizó una operación matemática para convertir el rango del potenciómetro de 0 a 100, lo cual nos ayuda a controlar la velocidad del motor en porcentaje de 0 a 100%.

CAPÍTULO I

TEMA

1.1. Antecedentes

El desarrollo de la investigación se realizó en el laboratorio de Control Industrial que forma parte de la carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico ubicado en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

En el mismo se investigó la situación actual del laboratorio, a fin de mejorar las deficiencias de funcionamiento encontradas en el mismo.

Se determina que es necesaria la integración de equipos tecnológicos, para mejorar el funcionamiento del laboratorio. Formando parte fundamental en el desarrollo de los alumnos y el docente que hacen uso de las instalaciones, para conocer la estructura, características, funcionamiento, usos, ventajas y desventajas de los diferentes módulos y variadores de velocidad que se encuentra en dicho laboratorio.

Mediante la investigación se encontró seis proyectos realizados por los alumnos de la carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica del ITSA, los cuales constan en la implementación de módulos y tableros didácticos para la optimización del funcionamiento del laboratorio de Control Industrial.

El primer proyecto fue realizado el octubre del 2007 por el A/C Cristian Vinicio LlumigusínYambay que consiste en la "IMPLEMENTACIÓN DE UN

HMI/SCADA QUE PERMITA LA VARIACIÓN DE VELOCIDAD DE UN MOTOR AC TRIFÁSICO”¹.

El segundo proyecto realizado en Octubre del 2009 por el A/C Mario Javier Carrera Amores que consiste en la “IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO PARA EL CONTROL DE MOTORES MONOFÁSICOS MEDIANTE EL USO DE CONTACTORES CON SUS RESPECTIVAS GUÍAS DE LABORATORIO”².

El tercer proyecto realizado en Noviembre del 2009 por el Cbos. Guanín Alomoto Roberto Eduardo que consiste en la “IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO PARA UN CONTROL DE MOTORES TRIFÁSICOS MEDIANTE SENSORES INDUCTIVOS Y DOS APLICACIONES CON SUS RESPECTIVAS GUÍAS DE LABORATORIO”³.

El cuarto proyecto realizado en Noviembre del 2009 por el A/C. Fierro Jarrín Santiago Andrés que consiste en la “IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS VARIADORES DE VELOCIDAD PARA MOTORES TRIFÁSICOS Y ELABORACIÓN DE GUÍAS DE LABORATORIO”⁴.

El quinto proyecto realizado en Noviembre del 2009 por el Cbos. Sánchez Banguera Luis Fernando que consiste en la “IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO PARA EL CONTROL DE MOTORES TRIFÁSICOS MEDIANTE SENSORES FOTOELÉCTRICOS Y DOS APLICACIONES CON SUS RESPECTIVAS GUÍAS DE LABORATORIO”⁵.

El sexto proyecto fue realizado en octubre del 2010 por A/C GanchalaQuishpe Francisco Santiago que consiste en la “IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN PROFIBUSDP CON SUS RESPECTIVAS GUÍAS DE LABORATORIO”⁶.

¹Proyecto de grado elaborado por el A/C.Cristian Vinicio LlumigusínYambay

²Proyecto de grado elaborado por el A/C. Mario Javier Carrera Amores

³Proyecto de grado elaborado por el Cbos. Guanín Alomoto Roberto Eduardo

⁴Proyecto de grado elaborado por el A/C. Fierro Jarrín Santiago Andrés

⁵Proyecto de grado elaborado por el Cbos. Sánchez Banguera Luis Fernando.

⁶Proyecto de grado elaborado por el A/C GanchalaQuishpe Francisco Santiago

1.2. Justificación e Importancia

En la carrera de Electrónica sus actividades académicas requieren un alto grado de eficiencia, por lo cual es necesario capacitar a los alumnos con un óptimo nivel de conocimientos prácticos, esto se logra mediante la existencia de una buena infraestructura de sus laboratorios y personal docente calificado.

Actualmente el avance tecnológico va desarrollando nuevos y mejores equipos e instrumentos en el campo de la Electrónica, por lo que es necesario que el ITSA realice una optimización de sus laboratorios con actualización de equipos tecnológicos y guías didácticas, ya que de este modo los estudiantes podrán adquirir mayores conocimientos prácticos, para complementar el conocimiento teórico impartido en las aulas, aspectos de vital importancia para brindar a futuro una educación de calidad en el Instituto.

La integración de equipos tecnológicos es necesaria en este laboratorio para todas las aplicaciones de automatización que compiten consecuentemente por la innovación y los beneficios del estudiante, lo que implica simplificar al máximo el trabajo lo que permitirá realizar tareas en forma ágil, simple, rápida y de forma segura.

Además especificaciones técnicas y operacionales que sirvan como base para procesos más complejos de automatización, y constituyan un apoyo prolongado para los docentes que dicten la asignatura, logrando relacionarse de una mejor manera con los estudiantes.

Todo lo anteriormente mencionado esta realizado bajo análisis económico, técnico y operacional.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Aportar en la preparación profesional de los alumnos de la carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, mediante la implementación un módulo didáctico que permita el control de motores trifásicos utilizando el variador de velocidad Micromaster 4.

1.3.2. Específicos

- Realizar un previo estudio sobre las formas de control y monitoreo de velocidad para motores trifásicos, bajo un sistema de variación de velocidad.
- Adquirir la información necesaria del variador de velocidad Micromaster 4.
- Estudiar las características de funcionamiento del variador de velocidad Micromaster 4.
- Realizar pruebas para constatar el perfecto funcionamiento con el variador de velocidad y el motor trifásico.
- Diseñar el mejor método didáctico para dar a conocer el funcionamiento del variador de velocidad Micromaster 4, con propósitos de un mejor desempeño de las prácticas con motores trifásicos
- Implementar el protocolo de comunicación USS entre el S7-200 y el Micromaster 4.

1.4. Alcance

El módulo didáctico implementado, beneficiará a los alumnos y docentes de la Carrera de Electrónica (Mención Instrumentación y Aviónica) del ITSA , mediante la introducción de equipos de tecnología moderna, para el desarrollo del conocimiento teórico-práctico del alumno, en el manejo y configuración de estos equipos durante el desarrollo habitual de las prácticas en el Laboratorio de Control Industrial, de esta forma el estudiante

adquirirá tanto conocimientos como experiencia sobre el uso de variadores de velocidad en la industria moderna.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

Una gran parte de los equipos utilizados en la industria moderna funcionan a velocidades variables, en los mismos se requiere un control preciso de la velocidad para lograr una adecuada productividad, una buena terminación del producto elaborado, o garantizar la seguridad de personas y bienes, es por eso que la creciente evolución en sistemas automatizados a nivel industrial, permite actualmente la introducción de equipos electrónicos sofisticados, con el propósito de facilitar el manejo y operación de un proceso, para esto la tecnología se vale de los recursos desarrollados a lo largo de la evolución Electrónica, tal es el caso de los variadores de velocidad que ayudan a la operación de los sistemas industriales, dejando de lado el uso de computadores y otros sistemas, por sus obvias ventajas, bajo este objetivo se plantea la posibilidad de dar a conocer el uso y aplicación de los variadores de velocidad en las fases de control de un motor trifásico.

2.2. Regulación Electrónica de velocidad de motores trifásicos⁷

Desde hace aproximadamente 20 años, el elevado desarrollo de la electrónica de potencia y los microprocesadores ha permitido variar la velocidad de motores industriales, de una forma rápida, robusta y fiable, mediante los reguladores electrónicos de velocidad. Un regulador electrónico de velocidad está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia o tiristores, siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable. Un convertidor de frecuencia supone:

⁷[http:// www.wikipedia.com_variador_de_velocidad](http://www.wikipedia.com_variador_de_velocidad)

- Reducción del consumo.
- Mejor control operativo, mejorando la rentabilidad y la productividad de los procesos productivos.
- Minimizan las pérdidas en las instalaciones.
- Ahorro en mantenimiento (el motor trabaja siempre en las condiciones óptimas de funcionamiento).

2.3. Principio de funcionamiento de la variación de velocidad

Esta variación se consigue mediante dos etapas en serie. Una etapa rectificadora que transforma la corriente alterna en continua, con toda la potencia en el llamado circuito intermedio y otra inversora que transforma la corriente continua en alterna.

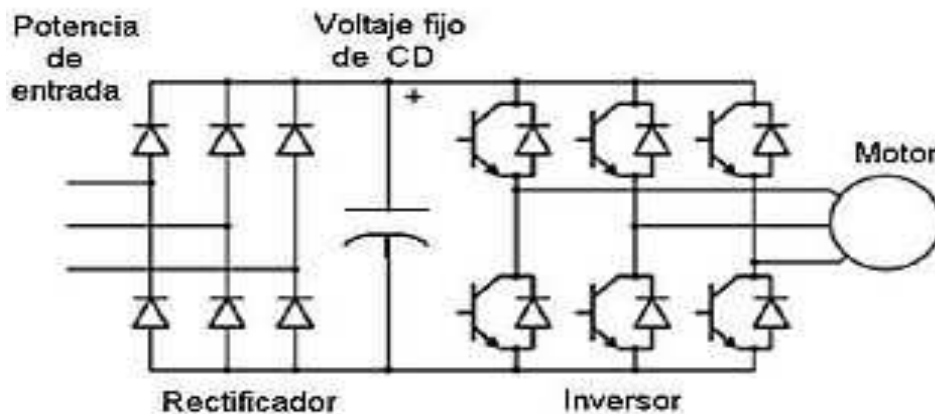


Figura 2.1. Esquema básico de un Variador de velocidad

Fuente: <http://html.rincondelvago.com/0006251215.png>

Con una frecuencia y una tensión regulables, que dependerán de los valores de consigna. A esta segunda etapa también se le suele llamar ondulator.

El modo de trabajo puede ser manual o automático, según las necesidades del proceso, pudiendo ser manejados por ordenador, PLC, señales digitales o de forma manual.

Con respecto a la velocidad los convertidores suelen permitir dos tipos de control:

- **Control manual de velocidad.** La velocidad puede ser establecida o modificada manualmente (display de operador). Posibilidad de variación en el sentido de giro.
- **Control automático de velocidad.** Utilizando realimentación se puede ajustar la velocidad automáticamente. Esta solución es la ideal para su instalación en aplicaciones en las que la velocidad demandada varía de forma continua.

La mayoría de las marcas incluyen dentro del propio convertidor protecciones para el motor, tales como la sobreintensidad, la sobretensión, fallo contra desequilibrios, defectos a tierra, etc. Además de ofrecer procesos de arranque y frenados suaves, inversión de sentido de giro, lo que redundará en un aumento de la vida del motor y las instalaciones.



Figura 2.2. Variación de velocidad e interface de control

Fuente: <http://html.rincondelvago.com/0006251215.png>

2.4. Principio de funcionamiento de un variador de frecuencia.

El motor usado en un sistema VFD (Variador de frecuencia) es normalmente un motor de inducción trifásico. Algunos tipos de motores monofásicos pueden ser igualmente usados, pero los motores de tres fases son normalmente preferidos.

Varios tipos de motores síncronos ofrecen ventajas en algunas situaciones, pero los motores de inducción son más apropiados para la mayoría de propósitos y son generalmente la elección más económica. Motores diseñados para trabajar a velocidad fija son usados habitualmente, pero la mejora de los diseños de motores estándar aumenta la fiabilidad y consigue mejor rendimiento del VFD (Variador de frecuencia).

2.4.1. Controlador del VFD

El controlador de dispositivo de variación de frecuencia está formado por dispositivos de conversión electrónicos de estado sólido. El diseño habitual primero convierte la energía de entrada CA en CC usando un puente rectificador. La energía intermedia CC es convertida en una señal cuasi-senoidal de CA usando un circuito inversor conmutado. El rectificador es usualmente un puente trifásico de diodos, pero también se usan rectificadores controlados. Debido a que la energía es convertida en continua a la entrada del variador, muchas unidades aceptan entradas tanto monofásicas como trifásicas (actuando como un convertidor de fase, un variador de velocidad).

Tan pronto como aparecieron los interruptores semiconductores fueron introducidos en los VFD, ellos han sido aplicados para los inversores de todas las tensiones que hay disponible. Actualmente, los transistores bipolares de puerta aislada (IGBTs) son usados en la mayoría de circuitos inversores.

Las características del motor CA requieren la variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada. Por ejemplo, si un motor está diseñado para trabajar a 460 voltios a 60 Hz, el voltaje aplicado debe reducirse a 230 volts cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz. Así la relación voltios/hertzios deben ser regulados en un valor constante ($460/60 = 7.67 \text{ V/Hz}$ en este caso). Para un funcionamiento óptimo, otros ajustes de voltaje son necesarios, pero nominalmente la constante es V/Hz es la regla

general. El método más novedoso y extendido en nuevas aplicaciones es el control de voltaje por PWM (Modulación de ancho de pulso)⁸.

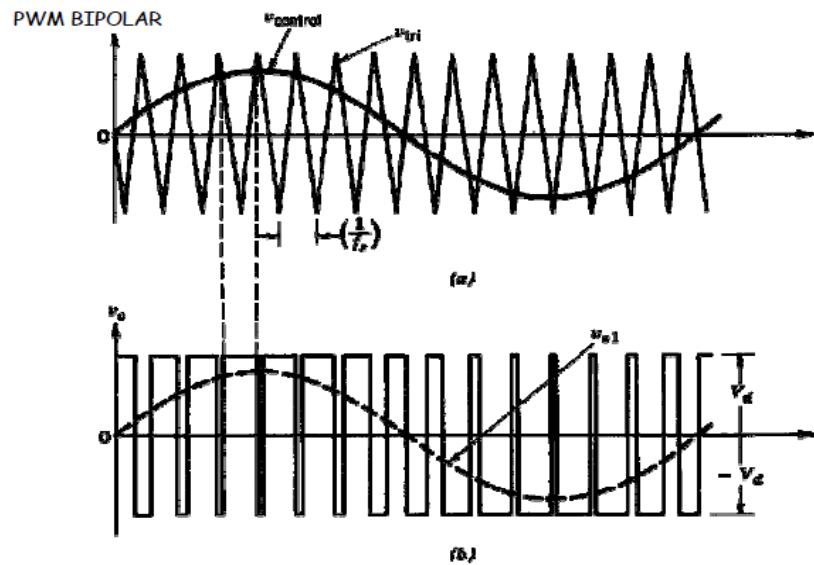


Fig.2.3 Modulación de Ancho de Pulso (PWM).

Fuente: Máster Universitario en Mantenimiento de Medios e Instalaciones Industriales

La modulación por ancho de pulsos es una técnica utilizada para regular la velocidad de giro de los motores eléctricos de inducción o asíncronos. Mantiene el par motor constante y no supone un desaprovechamiento de la energía eléctrica. Se utiliza tanto en corriente continua como en alterna, como su nombre lo indica, al controlar: un momento alto (encendido o alimentado) y un momento bajo (apagado o desconectado), controlado normalmente por relevadores (baja frecuencia) o MOSFET o tiristores (alta frecuencia).

Otros sistemas para regular la velocidad modifican la tensión eléctrica, con lo que disminuye el par motor; o interponen una resistencia eléctrica, con lo que se pierde energía en forma de calor en esta resistencia.

2.4.1.1. Inversores con modulación PWM

La modulación por anchura de pulsos (PWM) permite reducir el THD (Pulse Width Modulation) de la corriente desalida, por lo que se reduce el tamaño del filtro de salida.

⁸ Máster Universitario en Mantenimiento de Medios e Instalaciones Industriales

Con esta modulación se permite un control de la amplitud del armónico fundamental de la tensión de salida.

Existen dos esquemas básicos de conmutación: PWM Bipolar/ PWM Unipolar.

En ambos esquemas se requieren las siguientes señales:

1. Señal de referencia, control o moduladora (sinusoide)
2. Señal portadora (triangular)

PWM BIPOLAR

Si $V_{control} > V_{tri} \rightarrow V_o = +V_d$ (S1 y S2 ON)

Si $V_{control} < V_{tri} \rightarrow V_o = -V_d$ (S3 y S4 ON)

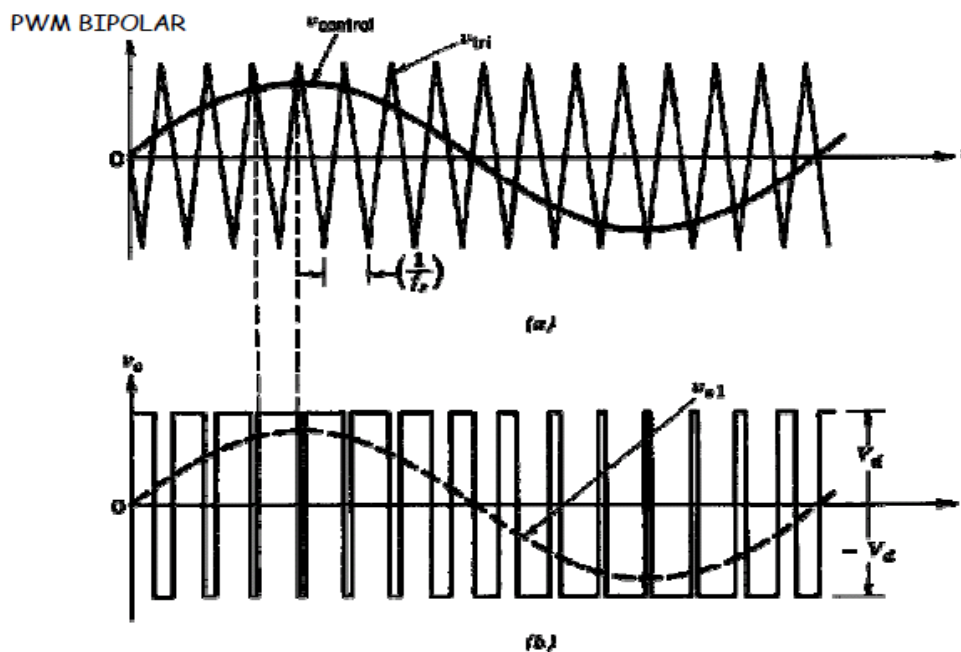


Figura 2.4. PWM BIPOLAR

Fuente: Máster Universitario en Mantenimiento de Medios e Instalaciones Industriales

PWM UNIPOLAR

Existen dos señales moduladoras: $V_{controlA}$ y $V_{controlB}$

Si $V_{controlA} > V_{tri} \rightarrow S1$ ON

Si $V_{controlA} < V_{tri} \rightarrow S4$ ON

Si $V_{control} < V_{tri}$ → S2 ON

Si $V_{control} > V_{tri}$ → S3 ON

PWM UNIPOLAR

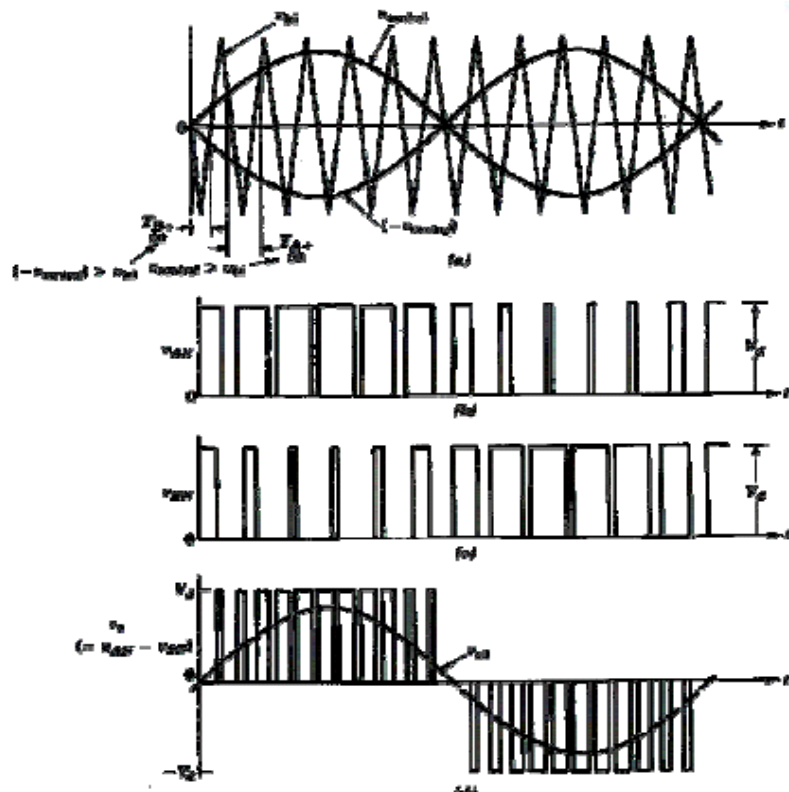


Figura 2.5.PWM UNIPOLAR

Fuente: Máster Universitario en Mantenimiento de Medios e Instalaciones Industriales

2.4.1.2. Consideraciones de la modulación PWM:

1. Índice de modulación de frecuencia (mf): La serie de Fourier de la tensión de salida PWM tiene una frecuencia fundamental que es la misma que la señal de referencia. Las frecuencias armónicas existen en y alrededor de los múltiplos de la frecuencia de conmutación. Los valores de algunos armónicos son bastante grandes, a veces mayores que la componente fundamental. Como estos armónicos se encuentran en frecuencias altas, para eliminarlos puede bastar un simple filtro paso bajo. El índice de modulación (mf) se define como la relación entre las frecuencias de las señales portadora y de referencia.

$$m_f = \frac{f_{portadora}}{f_{referencia}} = \frac{f_{tri}}{f_{seno}}$$

2. Índice de amplitud (ma): Se define como la relación entre las amplitudes de las señales de referencia y modulada:

$$m_a = \frac{V_{m \text{ referencia}}}{V_{m \text{ portadora}}} = \frac{V_{m \text{ seno}}}{V_{m \text{ tri}}}$$

Si $m_a \leq 1$, la amplitud de la frecuencia fundamental de la tensión de salida es linealmente proporcional a m_a es decir:

$$V_{01} = m_a V_d$$

De esta manera la amplitud de la frecuencia fundamental de la salida PWM está controlada por m_a . Si m_a es mayor que 1 la relación no es lineal.

3. Interruptores: Los interruptores en el circuito deben de ser bidireccionales encorriente. Hay que tener en cuenta los tiempos de conmutación en el control de los interruptores.

4. Tensión de referencia: La tensión de referencia sinusoidal debe generarse dentro del circuito de control del inversor o tomarse de una referencia externa. Esta señal requiere muy poca potencia, la potencia de la señal de salida proviene de la fuente de continua. La señal de referencia no está restringida a una sinusoidal podría ser una señal de audio y el circuito actuaría como amplificador de Audio.

2.4.2. El control PWM.

Existe una gran variedad de técnicas con respecto a la modulación para convertidores de tensión desde continua a alterna (DC / AC) o comúnmente denominados inversores. La modulación de 120° , la modulación de 180° , la modulación por desplazamiento de fase y las modulaciones de la anchura del pulso son algunas de las técnicas de modulación más conocidas, cada una de ellas con un concepto y funcionamiento específico y determinado. La elección de una técnica de modulación u otra, depende de los factores que caracterizan la aplicación, como son entre otros:

Nivel de potencia a controlar.

Dispositivos semiconductores empleados.

Requisitos de la carga.

Características de la forma de onda de salida (Distorsión, amplitud, frecuencia).

Una de las técnicas más utilizadas es la modulación por ancho de pulso (PWM)⁹ con sus múltiples variantes: un único pulso por semiperiodo, varios pulsos por semiperiodo, varios pulsos senoidal, etc. Tiene como principal ventaja la sencillez en su implementación, pero como contrapartida, no se adaptan bien a la respuesta dinámica en cargas no lineales y poseen elevadas pérdidas por conmutación que se producen cuando se requiere una distorsión armónica total (THD)¹⁰ de bajo valor, debido a que el número de conmutaciones debe ser elevado.

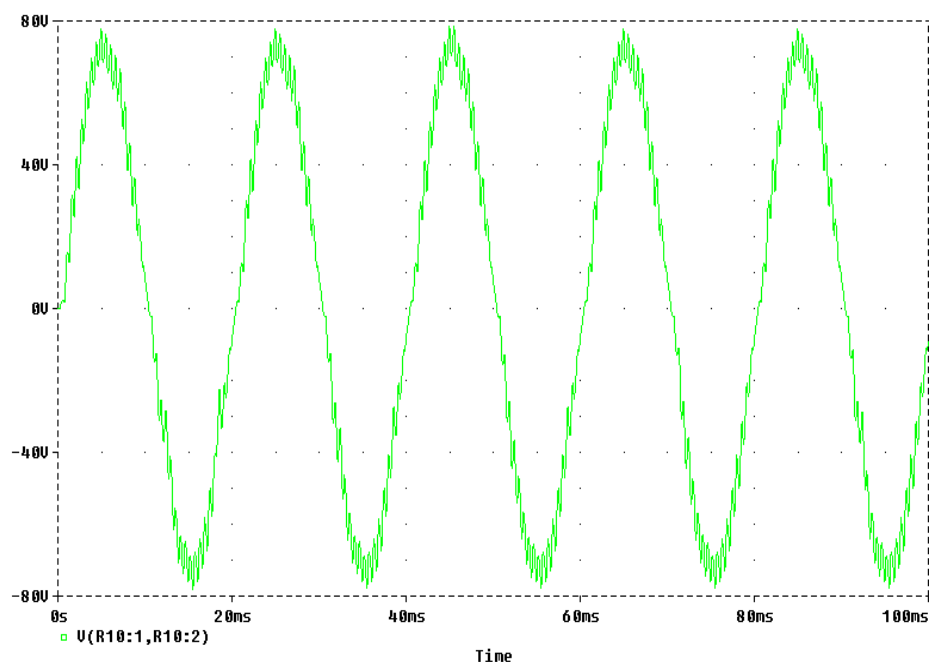


Figura 2.6. Armónicos de la señal PWM
Fuente: Lección de inversores de JUAN DÍAZ

⁹PWM.- Pulse Width Modulation.

¹⁰THD.- Total Harmonic Distortion.

Para el caso de los inversores trifásicos, se hace preciso tener en cuenta únicamente los armónicos que aparecen en la tensión de línea. Si examinamos el espectro en frecuencia de las tensiones VAN, VBN y VCN observamos que existen los armónicos impares que son bandas laterales de mf y sus múltiplos, suponiendo mf impar. Si consideramos los armónicos de orden mf (y lo mismo ocurrirá con sus múltiplos impares) la diferencia de fase entre el correspondiente a VAN y el de VBN es de $120^\circ \times mf$; por tanto, esta diferencia será de cero si mf es impar y múltiplo de 3 ($120^\circ \times (2n+1) \times 3 \Leftrightarrow 360^\circ$); por tanto, queda cancelado del espectro de VAB.

Razonando de igual forma, se concluye que los armónicos múltiplos impares de mf se cancelan de la tensión de línea, si se elige mf impar y múltiplo de 3. Se elige mf como impar para que sus múltiplos de 3 sigan siendo impares y por tanto desaparezcan los armónicos de orden par. En la figura se observan los espectros de la tensión de línea y de las tensiones VAN y VBN, ilustrando lo anteriormente expuesto.

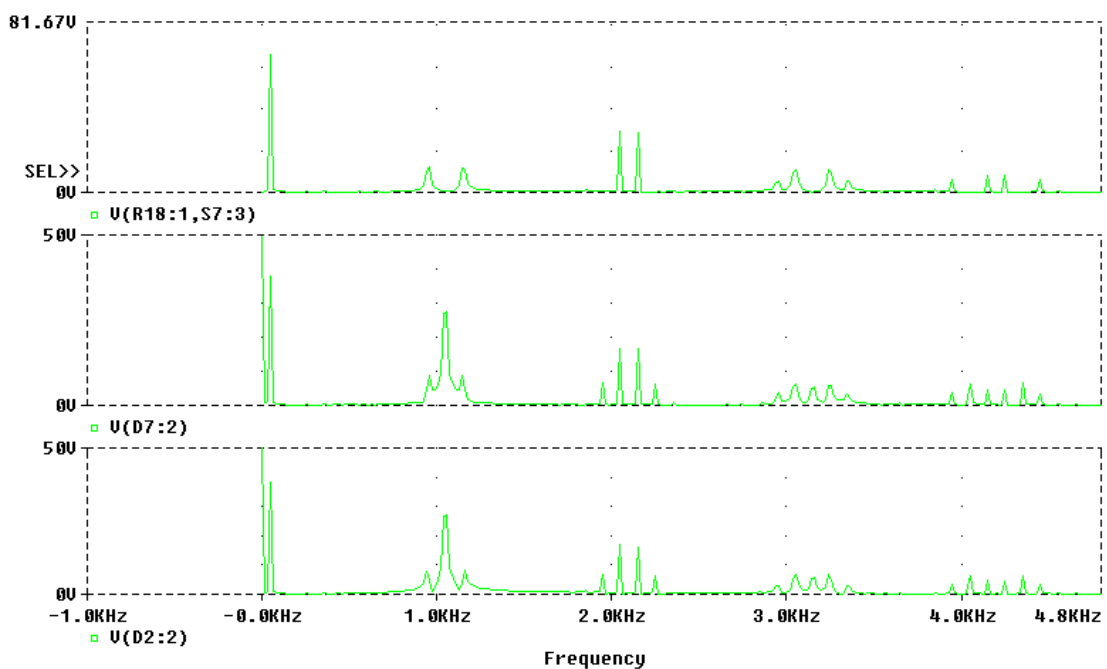


Figura 2.7. Espectro de las tensiones de línea (superior) y VAN y VBN

Fuente: Lección de inversores de JUAN DÍAZ

Las recomendaciones para el caso de trifásico acerca de los valores de m_f ya no difieren en gran medida de las ya expuestas para el caso monofásico; se pueden resumir en las siguientes:

- Para valores bajos de m_f , con el objeto de eliminar los armónicos pares debe utilizarse PWM síncrono, con m_f entero e impar.
- El valor de m_f debe de ser múltiplo de 3, para eliminar los armónicos de amplitud más relevante.
- Las pendientes de la onda portadora y de la moduladora deben de ser contrarias en los pasos por cero.
- Para valores elevados de m_f son válidas las consideraciones realizadas para monofásico.
- Si se trabaja con sobremodulación, se deben de respetar los criterios expuestos para valores bajos de m_f , sin importar el valor de este.

2.4.3. Control V/f

La característica V/f es la solución más sencilla para procesos de control. La tensión del estator del motor asíncrono - o síncrono - se controla proporcionalmente a la frecuencia del mismo. Este procedimiento se ha ratificado en una gran variedad de aplicaciones "sencillas" como:

Bombas, ventiladores

Accionamientos para cintas transportadoras

El objetivo del control V/f es, mantener constante el flujo Φ en el motor. Debiendo ser este proporcional a la corriente de magnetización I_μ o a la relación entre tensión V y frecuencia f.

$$\Phi \sim I_\mu \sim V/f$$

El par "M" del motor asíncrono es proporcional al producto de flujo por corriente (más exactamente al producto vectorial $\Phi \times I$).

$$M \sim \Phi * I$$

El motor debe trabajar con el mayor flujo constante posible para producir la mayor fuerza a partir de una corriente determinada. Para mantener el flujo Φ constante, se tiene que modificar proporcionalmente la tensión V cuando se cambie la frecuencia f . De esta forma la corriente de magnetización I_m fluye constante. Este es el principio en el que se basa el funcionamiento del control por característica V/f .

2.5. Elementos del sistema de variación de velocidad

El sistema de variación de velocidad implementado tiene propósitos didácticos, de manera que representa la base principal en el control y monitoreo de velocidad para motores trifásicos de la industria automatizada, que actualmente es muy empleado en este campo, la intención del mismo es representar de manera didáctica la interfaz entre el controlador y la máquina. Los elementos que integran el sistema son:

- Variador de frecuencia
- Motor trifásico

2.5.1 El variador de frecuencia

El variador de frecuencia de la familia MICROMASTER 4 de Siemens, fue seleccionado por sus características y prestaciones en el ámbito industrial.



Figura 2.8. Variador de Frecuencia MICROMASTER 440

Fuente: Laboratorio de Control Industrial del ITSA

2.5.1.1 MICROMASTER 4

Los convertidores de la serie MICROMASTER 4 son convertidores defrecuencia para la regulación de par y velocidad en motores trifásicos. Losdiferentes modelos, que se suministran, cubren un margen de potencia desde 0,12Kw hasta 200 Kw (con par constante (CT)) o hasta 250 Kw (con par variable (VT)).Los convertidores están controlados por microprocesador y utilizan tecnologíaIGBT (InsulatedGate Bipolar Transistor) de última generación. Esto los hacefiables y versátiles. Un método especial de modulación por ancho de impulsos confrecuencia de pulsación seleccionable permite un funcionamiento silencioso delmotor. Extensas funciones de protección ofrecen una protección excelente tantodel convertidor como del motor.

El Micromaster 440, es una de las versiones avanzadas de la familia Micromaster 4 con sus ajustes por defecto realizados en fábrica, es idealpara una gran gama de aplicaciones sencillas de control de motores. También puede utilizarse para aplicaciones más avanzadasde control de motores haciendo uso de su funcionalidad al completo. Se lo puede utilizar tanto en aplicaciones donde se encuentreaislado como integrado en sistemas de automatización.

Para la puesta en servicio se lo realiza independientemente, o con la aplicación de otros dispositivos de control.

2.5.1.2 Instalación

Para instalar y poner en marcha el variador se debe tomar en cuenta ciertos aspectos que ayudarán a que la vida útil del equipo sea prolongada. Cuando el variador se vaya a utilizar por primera vez y si se tuvo almacenado el equipo un periodo prolongado es necesario reformar los condensadores del convertidor de acuerdo a la tabla 2.1.

Además para la instalación del variador en mención se debe tomar en cuenta las condiciones ambientales del lugar donde operará el equipo, así por ejemplo, la temperatura deberá estar entre -10°C como mínimo hasta

50°C como máximo, la humedad del aire deberá ser del 95% sin condensación, si la altitud a la que se va instalar el variador es mayor a 1000 msnm será necesario la corrección de la potencia del equipo, además se deberá instalar en un lugar libre de vibraciones constantes y contaminación.

Tabal 2.1. Operación del MICROMASTER 440 por primera vez.

Periodo de almacenamiento	Acción requerida	Tiempo de preparación
1 año o menos	No se requiere reformar	No hace falta preparación
1 a 2 años	Aplicar tensión al convertidor durante una hora antes de dar la orden de marcha	1 hora
2 a 3 años	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilizar una alimentación alterna variable ➤ Aplicar el 25% de la tensión de entrada durante 30 minutos ➤ Incrementar la tensión hasta el 50% durante otros 30 minutos ➤ Incrementar la tensión hasta el 75% durante otros 30 minutos ➤ Incrementar la tensión hasta el 100% durante otros 30 minutos Convertidor listo para señal de marcha	2 horas
3 años o más	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilizar una alimentación alterna variable ➤ Aplicar el 25% de la tensión de entrada durante 2 horas ➤ Incrementar la tensión hasta el 50% durante otras 2 horas ➤ Incrementar la tensión hasta el 75% durante otras 2 horas ➤ Incrementar la tensión hasta el 100% durante otras 2 horas Convertidor listo para señal de marcha	8 horas

Fuente: Manual de instrucciones de uso, documentación del usuario,
MICROMASTER 440-SIEMENS

El convertidor se debe montar en posición vertical para asegurar una refrigeración óptima, como se indica en la figura 2.9. Se debe asegurar de que no queden obstruidas las aberturas de ventilación del convertidor, para esto se debe dejar 100 mm de separación por encima y debajo del equipo.

El convertidor debe ponerse siempre a tierra. Si el convertidor no está puesto a tierra correctamente, pueden presentarse condiciones extremadamente peligrosas dentro del convertidor que pueden ser potencialmente fatales.

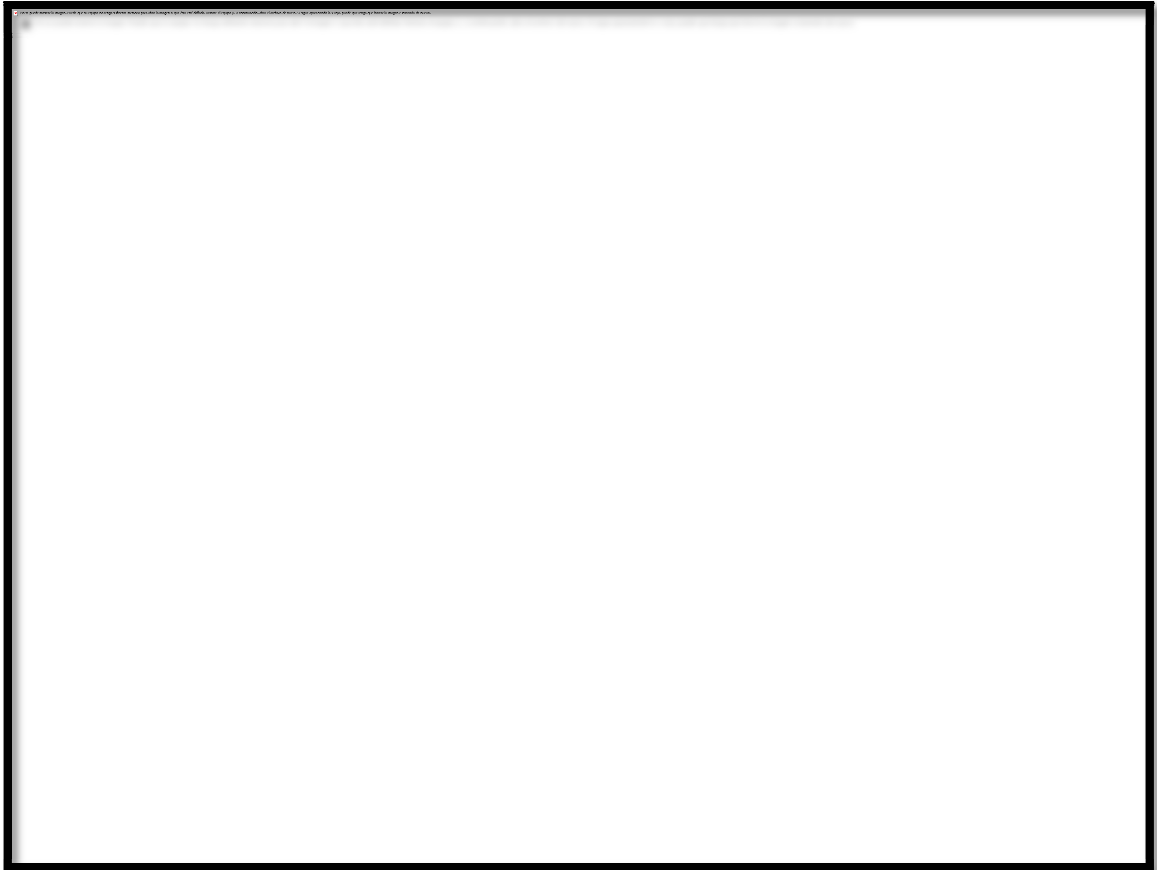


Figura 2.9. Colocación y desmontaje del Micromaster 440

Fuente: Manual de instrucciones de uso, documentación del usuario,
MICROMASTER 440-SIEMENS

El MICROMASTER puede funcionar alimentado desde una red no puesta a tierra, y continuará funcionando si una de las fases de entrada se pone accidentalmente a tierra. En cambio si una de las fases de salida se pone accidentalmente a tierra, el MICROMASTER se dispara e indicará F0001. Con redes no puestas a tierra será necesario sacar el condensador „Y“ del interior de la unidad y colocar una bobina de salida.

Una vez retiradas las tapas que cubren los bornes, se deben conectar la red y el motor como se indica en la figura 2.10.

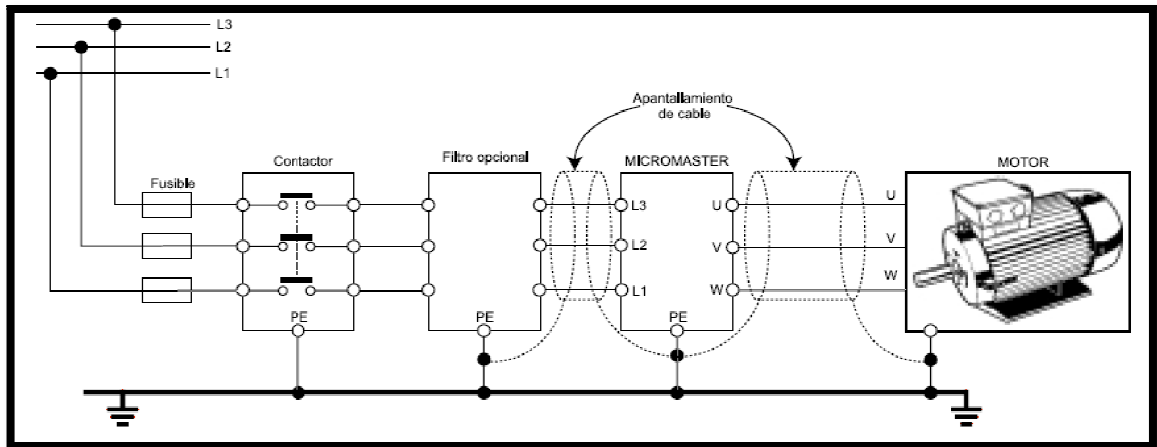


Figura 2.10. Conexiones del motor y la red

Fuente: Manual de instrucciones de uso, documentación del usuario, MICROMASTER 440-SIEMENS

Los convertidores han sido diseñados para funcionar en un entorno industrial cargado con grandes interferencias electromagnéticas. Normalmente, unas buenas prácticas de instalación aseguran un funcionamiento seguro y libre de perturbaciones. Si se encuentra problemas, se deben seguir las siguientes acciones que se indican a continuación:

Se debe asegurar que todos los aparatos alojados en un armario se encuentren bien puestos a tierra.

Se debe conectar la tierra del motor controlado por el convertidor directamente a la conexión de tierra del convertidor asociado.

Es preferible usar conductores planos ya que tienen menos impedancia a altas frecuencias.

Terminar de forma limpia los extremos de los cables, asegurándose de que los hilos no apantallados sean lo más cortos posibles.

Separar lo más posible los cables de control de los cables de potencia, usando conducciones separadas, y si es necesario formando ángulo de 90° los unos con los otros.

Siempre que sea posible utilizar cables apantallados para las conexiones del circuito de mando.

Por último se debe asegurar de que entre la fuente de alimentación y el convertidor estén conectados interruptores o fusibles apropiados con la corriente nominal especificada, además se recomienda usar únicamente hilo de cobre Class 1 60/75°C.

2.5.1. 3 Funciones

La principal función del MICROMASTER 440 es controlar el motor (arranque, frenado, variación de velocidad, control del torque), además tiene algunas funciones de protección contra fallas en el motor. El MICROMASTER 440 está provisto de un panel SDP (Status Display Panel, panel indicador de estado) como panel estándar de usuario. Los ajustes por defecto de los parámetros cubren los siguientes requerimientos:

Los datos nominales del motor, voltaje, corriente y frecuencia, se encuentran ingresados en el convertidor para asegurarse de que el motor es compatible con el convertidor.

Característica de control del motor V/f lineal, controlada por un potenciómetro analógico.

Velocidad máxima de 3600 rpm a 60 Hz; controlable si se usa un potenciómetro mediante las entradas analógicas del inversor.

Tiempo de aceleración/desaceleración de 10 segundos.

2.5.1.4 Pasos para la puesta en servicio del MICROMASTER 440

Según las características del variador, se acopla independientemente del resto de equipos para verificar las conexiones correspondientes al motor trifásico, al mismo tiempo se considera todas aplicaciones y funciones que desempeña en un sistema de variación de velocidad, se sigue los siguientes pasos:

➤ En base a la lista de Parámetros MM440¹¹ y al Manual de instrucciones de uso MM440¹², se programa las funciones de trabajo del variador de frecuencia. Existen como opciones para la puesta en servicio del MICROMASTER 440 los paneles **BOP** (Basic Operator Panel) y **AOP** (Advanced Operator Panel):

- ❖ Introducir los parámetros mediante la aplicación del BOP (Panel Operación Básica), el cual se trata de un panel compacto desmontable que se acopla al variador, está formado por un display de 5 dígitos, y 8 botones de comando, los cuales permiten la introducción de datos (parámetros de función) y control.



Figura 2.11. Panel BOP (Micromaster 440)

Fuente: Laboratorio de Control Industrial del ITSA

- ❖ El AOP (opcional), además de las funciones con que cuenta el BOP, posee las siguientes adicionales:
 1. Visualización multilingüe y multilínea en texto claro.
 2. Visualización adicional de unidades como [Nm], [°C], etc.
 3. Informaciones sobre el parámetro activo, mensajes de fallo, etc.
 4. Menú de diagnóstico como apoyo a la búsqueda de averías.
 5. Llamada directa del menú principal apretando simultáneamente **Fn** y **P**.

¹¹ Lista de Parámetros, documentación del usuario, MICROMASTER 440-SIEMENS

¹² Manual de instrucciones de uso, documentación del usuario, MICROMASTER 440-SIEMENS

6. Reloj conmutador con 3 posiciones por registro.
7. Carga / almacenamiento de hasta 10 juegos de parámetros.
8. La comunicación entre el AOP y el MICROMASTER se realiza mediante el Protocolo USS.
9. El AOP se puede conectar tanto a la interface BOP (RS 232) como a la COM (RS 485) del convertidor.
10. Capacidad multipunto para control y vigilancia de hasta 31 convertidores MICROMASTER. Conectando el bus USS a los bornes de la interface COM del convertidor y ajustando los parámetros correspondientes.




Figura 2.12. Panel AOP (Micromaster 440)







Fuente: Manual de instrucciones de uso, documentación del usuario, MICROMASTER 440-SIEMENS



2.5.1.5 Funciones de los botones del BOP

A parte de la pantalla de cristal líquido, el BOP posee un total de 8 botones, con la cual se puede introducir los parámetros según la función.

Tabla 2.2 Botones y sus funciones en el panel BOP

Panel/botón	Función	Efectos
	Indicación de estado	La pantalla de cristal líquido muestra los ajustes actuales del convertidor.

	<p>Marcha</p>	<p>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</p>
	<p>Parada</p>	<p>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</p>
	<p>Invertir sentido de giro</p>	<p>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".</p>
	<p>Jog motor</p>	<p>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.</p>
	<p>Funciones</p>	<p>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 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</p>
	<p>Acceder a parámetros</p>	<p>Pulsando este botón es posible acceder a los parámetros</p>








	Subir valor	Pulsando este botón aumenta el valor visualizado
	Bajar valor	Pulsando este botón disminuye el valor visualizado

Fuente: Manual de instrucciones de uso, documentación del usuario,
MICROMASTER 440-SIEMENS

Elaborado por: Taipanta Serna Polo Ricardo

2.5.1.6 Modificación de parámetros con el panel de mando en el MICROMASTER 440

Para introducir nuevos parámetros al variador MICROMASTER 440, se sigue los siguientes pasos:

1. Mantener presionado el botón  para acceder a los parámetros.
2. Ajustar con el botón  o  hasta visualizar el parámetro deseado.
3. Para acceder al nivel del parámetro presionar 
4. Nuevamente presionar los botones  y  hasta ajustar al valor requerido.
5. Para confirmar y almacenar el valor del parámetro presionar 

2.5.1.7 Partes principales del variador de frecuencia MICROMASTER 440

El variador de frecuencia posee las siguientes partes:

- **Bornes:** Posee un total de 30 bornes para aplicaciones analógicas/digitales así como también posee terminales para el empleo del protocolo USS¹³:

¹³Manual de instrucciones de uso, documentación del usuario, MICROMASTER 440-SIEMENS

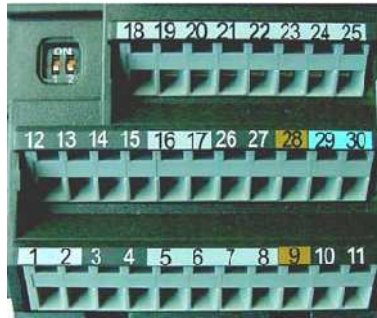


Figura 2.13. Bornes del Micromaster 440

Fuente: Laboratorio de Control Industrial del ITSA

Tabla 2.3. Descripción de los bornes

Borne	Denominación	Función
1	--	Salida +10 V
2	--	Salida 0 V
3	ADC1+	Entrada analógica 1 (+)
4	ADC1-	Entrada analógica 1 (-)
5	DIN1	Entrada digital 1
6	DIN2	Entrada digital 2
7	DIN3	Entrada digital 3
8	DIN4	Entrada digital 4
9	--	Salida aislada +24 V / máx. 100 mA
10	ADC2+	Entrada analógica 2 (+)
11	ADC2-	Entrada analógica 2 (-)
12	DAC1+	Salida analógica 1 (+)
13	DAC1-	Salida analógica 1 (-)
14	PTCA	Conexión para PTC / KTY84
15	PTCB	Conexión para PTC / KTY84
16	DIN5	Entrada digital 5
17	DIN6	Entrada digital 6
18	DOUT1/ NC	Salida digital 1 / contacto de reposo
19	DOUT1/NO	Salida digital 1 / contacto de trabajo
20	DOUT1/COM	Salida digital 1 / conmutador
21	DOUT2/NO	Salida digital 2 / contacto de trabajo
22	DOUT2/COM	Salida digital 2 / conmutador
23	DOUT3/NC	Salida digital 3 / contacto de reposo

24	DOUT3/NO	Salida digital 3 / contacto de trabajo
25	DOUT3/COM	Salida digital 3 / conmutador
26	DAC2+	Salida analógica 2 (+)
27	DAC2	- Salida analógica 2 (-)
28	--	Salida aislada 0 V / máx. 100 mA
29	P+	Conexión RS485
30	N-	Conexión RS485

Fuente: Manual de instrucciones de uso, documentación del usuario,
MICROMASTER 440-SIEMENS

Elaborado por: Taipanta Serna Polo Ricardo

- **Interruptor DIP.** Este interruptor permite fijar la frecuencia al cual el variador de frecuencia trabajara, en este caso 60 HZ.



Figura 2.14. Interruptor DIP

Fuente: Laboratorio de Control Industrial

Esta configuración realizada no tiene relación con la variación interna de la frecuencia para la variación de velocidad del motor.

2.5.1.8. Características del MICROMASTER 440

A continuación se detalla las características del variador de frecuencia, con las cuales se encuentra dentro de los parámetros para su correcto funcionamiento:

- Fácil de instalar.
- Puesta en marcha sencilla.
- Diseño robusto en cuanto a CEM (Compatibilidad electromagnética).
- Puede funcionar en alimentación de línea IT (Instalación a tierra).
- Tiempo de respuesta a señales de mando rápido y repetible.
- Amplio número de parámetros que permite la configuración de una gama extensa de aplicaciones.
- Conexión sencilla de cables.
- 3 relés de salida
- 2 salidas analógicas (0 – 20 mA)
- 6 entradas digitales NPN/PNP aisladas y conmutables
- 2 entradas analógicas:
 - ADC1: 0 – 10 V, 0 – 20 mA y -10 a +10 V
 - ADC2: 0 – 10 V, 0 – 20 mA
- Las 2 entradas analógicas se pueden utilizar como la 7ª y 8ª entrada digital
- Tecnología BiCo
- Diseño modular para configuración extremadamente flexible
- Altas frecuencias de pulsación (según convertidor, hasta 16 kHz) para funcionamiento silencioso del motor
- Interface interna RS485
- Información de estado detallada y funciones de mensaje integradas.

2.5.1.9 Tecnología BiCo

La tecnología BiCo, desarrollada por Siemens para sus convertidores de frecuencia, posibilita la interconexión, a través de parámetros, de variables digitales y/o analógicas entre sí y con bloques funcionales lógicos,

matemáticos y de tiempo. Esta funcionalidad integrada permite implementar múltiples aplicaciones, otorgando al usuario una gran versatilidad para solucionar tareas que, de otra manera, requerirían de un controlador externo al accionamiento, como por ejemplo, un PLC.

La sigla BiCo proviene de la unión de los términos **Binector** y **Conector**. Un Binector es un parámetro que identifica una señal binaria (digital). De esta manera, se definen los Binectores de entrada BI (de sus siglas en inglés, Binector Input) y los Binectores de salida BO (Binector Output). A su vez, un Conector es un parámetro que identifica una señal analógica. De la misma manera que el Binector, el Conector puede definirse como de entrada (CI) ó de salida (CO).

2.5.2 Motor Trifásico (Elemento a controlar)

Los motores asíncronos o triásicos son un tipo de motores eléctricos de corriente alterna, en tres fases de alimentación. Cuyas bobinas están desfasadas 120° entre sí, el motor trifásico es una máquina capaz de mover sistemas más complejos como bombas hidráulicas, ventiladores, escaleras mecánicas, etc.

2.5.2.1. Principio de funcionamiento¹⁴

El motor asíncrono trifásico está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos:

- jaula de ardilla
- bobinado, y un estator, en el que se encuentran las bobinas inductoras.

Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas 120° . Según el Teorema de Ferraris, cuando por estas bobinas circula un sistema de corrientes trifásicas, se induce un campo magnético giratorio que envuelve al rotor. Este campo magnético variable va a inducir una tensión en el rotor según la Ley de inducción de Faraday.

¹⁴ Tomado de: http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_as%C3%ADncrono

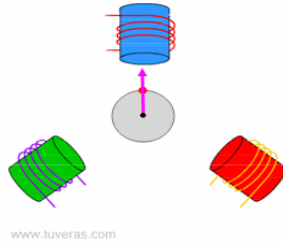


Figura 2.15. Motor trifásico-Principio de funcionamiento

Fuente: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

Como el motor desempeña una función didáctica, no está acoplado a algún proceso (carga), netamente trata de darse a conocer una de sus aplicaciones bajo la operación de un sistema HMI (Interface hombre máquina), el cual generalmente es empleado en diversos procesos industriales.

2.5.2.2. Partes del motor trifásico¹⁵



Figura 2.16. Motor trifásico marca LAWSON

Fuente: Laboratorio de Control Industrial

Estator. Tiene tres devanados en el estator, estos devanados están desfasados 120 (3 P) grados, siendo P el número de pares de polos de la máquina.

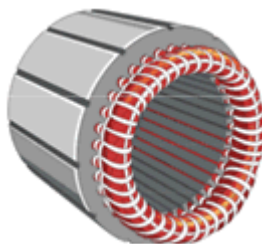


Figura 2.17. Estator

¹⁵ Extraído de: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

Fuente: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

Rotor. Este está formado por un bobinado, los devanados del rotor son similares a los devanados del estator con los que está asociado. El número de fases del rotor no tiene que ser el mismo del estator, lo que si tiene que ser igual es su número de polos, los devanados de estos están conectados a un anillo sobre la base del rotor.

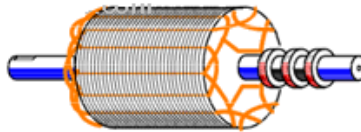


Figura 2.18. Rotor

Fuente: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

Rotor Jaula de Ardilla. Los rotores del motor están igualmente distribuidos por la periferia del rotor, los extremos de estos están cortocircuitados por lo tanto no hay posibilidad de conexión del devanado del rotor al exterior. La posición inclinada de las ranuras incrementa las propiedades de arranque y disminuye los ruidos.

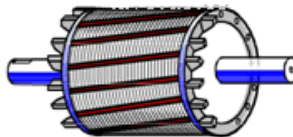


Figura 2.19. Rotor Jaula de Ardilla

Fuente: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

2.5.2.3. Tipos de conexiones de los devanados a la red

Conexión estrella. Este tipo de conexión generalmente es empleada para el arranque del motor sus devanados se conectan según se detalla a continuación:

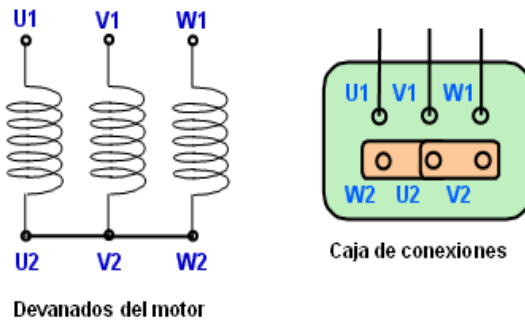


Figura 2.20. Conexión Estrella

Fuente: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

Conexión Delta (Triángulo). Este tipo de conexión permite en normal desenvolvimiento de trabajo, su conexión se detalla a continuación:

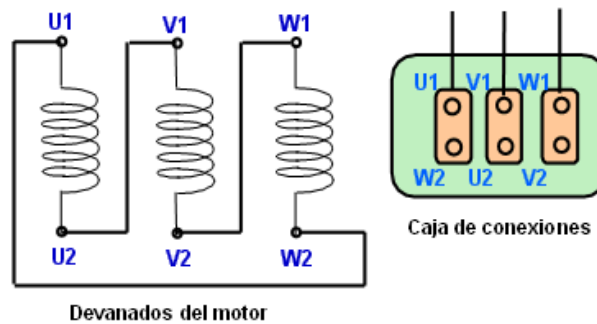


Figura 2.21. Conexión Triángulo

Fuente: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

2.5.2.4. Características del motor trifásico del sistema de variación de velocidad

El motor trifásico empleado en el sistema HMI posee las siguientes características:

Tabla 2.4. Características del motor trifásico

PARÁMETRO	DATOS
Potencia	1HP (0.75 kw)
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	3600 Rpm
Corriente Nominal	Aprox. 2 A

Corriente de Arranque	Aprox. 3 A
Inducción	Y-801-2
Marca	LAWSON
Tipo de conexión	Delta y Estrella

Fuente: Laboratorio de Control Industrial del ITSA

Elaborado por: Taipanta Serna Polo Ricardo

2.5.3 Control de velocidad por frecuencia

El variador de frecuencia es un aparato electrónico que permite controlar la velocidad de motores de inducción eléctricos, siendo que el control de velocidad es hecho cambiando la frecuencia de la salida de corriente enviada al motor, en el rango de 0 a 400 Hz. Este variador es alimentado por un sistema trifásico en dos rangos de voltaje: 200 a 240 Volt, 50 y 60 Hz o 380 a 480 Volt, 50 o 60 Hz.

Una excelente forma de controlar la velocidad de un motor de inducción es variando la frecuencia del voltaje de alimentación.

Este método implica disponer de una fuente separada, en donde la frecuencia y la tensión puedan ser variadas simultáneamente y en proporción directa una de la otra; ya que para obtener un flujo permanente en los motores, se deben mantener una relación constante entre la tensión V , y la frecuencia f de la fuente de alimentación, la razón de mantener una relación constante entre la tensión aplicada y la frecuencia de la fuente, es porque el par desarrollado depende de la magnitud del flujo, y existen muchas aplicaciones en donde conservar el par constante, es de especial interés.

La fuente de **frecuencia** variable puede ser:

- a) Grupo Motor - Generador.
- b) Conmutatriz o convertidor rotativo.

El primero es un montaje que emplea un motor de corriente directa de velocidad regulable y un generador síncrono acoplado a éste. Variando la velocidad del motor se obtienen variaciones en la frecuencia y como el

campo de excitación del generador se mantiene en un cierto valor fijo, todas las variaciones de frecuencia irán acompañadas por cambios proporcionales en la tensión.

En el segundo inciso el convertidor rotativo es una máquina en las que se reúnen las características del montaje motor-generador; transforma la energía de una red de corriente alterna de una frecuencia dada, en energía de otra frecuencia. En ocasiones se encuentran cadenas de regulación de velocidad, en donde motores de rotor devanado se emplean como convertidores de frecuencia.

El motor de rotor devanado puede actuar como un convertidor de frecuencia, ya que al conectar a la red su devanado del estator, el campo giratorio producido induce tensiones en el rotor cuya frecuencia depende del deslizamiento, esto es:

$$f_r = S * f$$

En donde f_r es la frecuencia del rotor expresada en ciclos por segundo, f la frecuencia en el estator, misma de la red y S , es del deslizamiento. Así, a rotor bloqueado ($s=1$), la frecuencia en el rotor es de la misma red.

Se acostumbra acoplar el rotor del motor de rotor devanado, a un motor que lo impulse, de tal manera, que haciendo girar en contra del campo o en la misma dirección que éste, se obtengan variaciones de frecuencia mayores. La máquina impulsora puede ser un motor de corriente directa con velocidad ajustable, cuando se desean obtener rangos diferentes, o un motor de inducción jaula de ardilla, cuando los valores de frecuencia son fijos.

2.6.Interface en serie universal (USS)¹⁶

El protocolo USS es un protocolo de transmisión en serie sencillo, diseñado y elaborado por la firma Siemens AG para cubrir las exigencias en la técnica de accionamientos.

¹⁶Comunicación / USS Siemens AG 6SE7087-8QX50

El usuario puede instalar, con ayuda del protocolo USS, un acoplamiento de bus en serie entre un maestro de jerarquía superior y varios sistemas de esclavos. Sistemas maestros pueden ser controles lógicos programables (programmable logic controller PLC) o PCs. En el sistema de bus, los accionamientos SIMOVERT MASTER DRIVES son siempre esclavos. Además, los convertidores SIMOVERT Micromaster, SIMOVERT P 6SE21 y los convertidores de corriente 6RA23 y 6RA24 pueden actuar como esclavos en USS.

El protocolo USS ofrece al usuario la posibilidad, tanto de realizar labores de automatización que exigen una transmisión de telegrama cíclico, así como tareas de visualización.

2.6.1 Especificación del protocolo y estructura del bus

Las características principales del protocolo USS son:

- Realización de un acoplamiento de varios puntos, por ejemplo Hardware EIA RS 485- o un acoplamiento punto a punto por ejemplo EIA RS 232.
- Técnica de acceso maestro / esclavo
- Single Master-System
- Máximo 32 usuarios de bus (máximo 31 esclavos)
- Funcionamiento opcional con largo de telegrama fijo o variable
- Marco de telegrama sencillo y seguro
- La misma estructura física de bus que en PROFIBUS (DIN 19245 parte 1)
- Interface de datos hacia el aparato base según el "PERFIL de accionamientos de velocidad variable". Eso significa que las informaciones para el accionamiento se transmiten con USS del mismo modo que con PROFIBUS-DP
- Aplicable para puesta en marcha, servicio de asistencia y automatización

2.6.2. Especificación del protocolo

El protocolo USS define una técnica de acceso según el principio demaestro-esclavo para la comunicación a través de un bus en serie.

También permite la comunicación punto a punto (un solo maestro, un solo esclavo).

Al bus se le puede conectar un maestro y un máximo de 31 esclavos.

El maestro selecciona cada uno de los esclavos a través de un signode "dirección" en el telegrama. Un esclavo por sí mismo nunca puede tomar la iniciativa de emisión. No es posible el intercambio de información directa entre los esclavos. La comunicación se realiza con el sistema semiduplex.

La función de maestro no se puede transferir (Single-Master-System).

2.6.3. Estructura del bus

El campo de aplicación del sistema del bus determina principalmente el medio de transmisión y la interface física del bus.

La base física de la interface del protocolo USS es el "Recommended Standard RS-485". Para la conexión punto a punto se puede utilizar como base física para la interface una parte de la norma EIA RS-232 (CCITT V.24), TTY (bucle de corriente 20 mA) o cable de fibra óptica.

Excepción: En el conector SUB D de 9 polos en la PMU (unidad de mando y parametrización) de los equipos base se puede optar por la conexión RS485 o RS 232.

El bus USS está basado en una topología de enlace sin cables de derivación.

Cada uno de los extremos de la línea termina en un usuario. La longitud máxima de cable y con esto la distancia máxima entre el maestro y el último esclavo está limitada por las características del cable, las condiciones del entorno y la velocidad de transmisión. Para una velocidad de transmisión < 100 kbit/s la longitud máxima posible es de 1200 m.

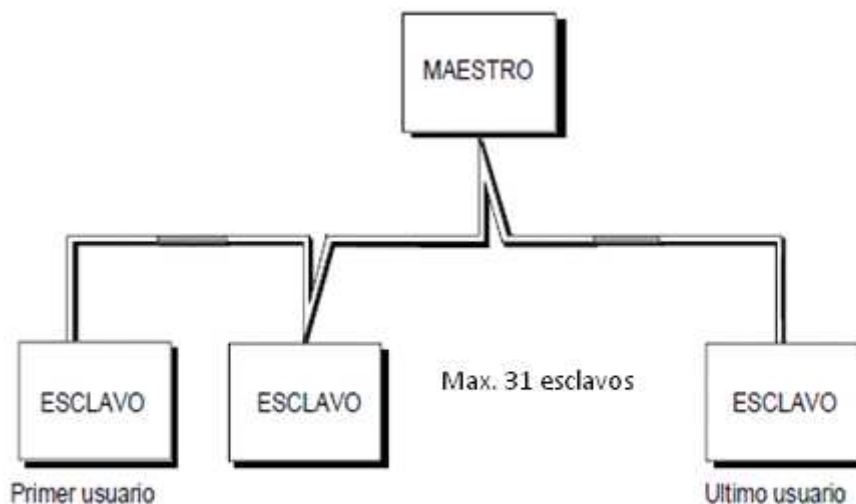


Figura 2.22. Topología del bus USS

Fuente: Comunicación / USS Siemens AG 6SE7087-8QX50

Hay que conectar resistencias de terminación de bus a ambos extremos de la línea (primer y último usuario). Las conexiones punto a punto se tratan como las conexiones de bus. Un usuario cumple la función de maestro, otro la función de esclavo.

2.6.4. Técnica de transmisión

La transmisión de datos se realiza según el estándar EIA 485. Para acoplamiento punto a punto se puede emplear RS232. Las transmisiones generalmente semiduplex, eso significa que las emisiones y las recepciones se realizan alternativamente y tienen que ser controladas por el Software. El sistema semiduplex permite utilizar las mismas líneas para transmitir en ambas direcciones. Esto posibilita un cableado sencillo y barato, funcionamiento en ambientes con perturbaciones y una alta velocidad de transmisión.

2.6.5. Características del cable

Para el cableado del bus se utiliza un cable apantallado de dos hilos trenzados.

Tabla 2.5. Características del cable

Ø del conductor	$2 \times \approx 0,5 \text{ mm}^2$
Conductor flexible	$\geq 16 \times \leq 0,2 \text{ mm}$
Trenzado	≥ 20 pasos de cableado / m
Pantalla total	Trenzado, hilo de cobre con superficie estañada $\text{Ø} \geq 1,1 \text{ mm}^2$ 85 % envoltura óptica
Ø total	$\geq 5 \text{ mm}$
Envoltura exterior	Según exigencias de inflamabilidad, residuos de combustión, etc.

Fuente: Comunicación / USSSiemens AG 6SE7087-8QX50

2.6.6. Características térmicas y eléctricas

Tabla 2.6. Características térmicas y eléctricas

Resistencia del conductor (20°C)	$\leq 40 \text{ } \Omega/\text{km}$
Resistencia de aislamiento (20°C)	$\geq 200 \text{ M}\Omega/\text{km}$
Tensión de funcionamiento (20°C)	$\geq 300 \text{ V}$
Tensión de test (20°C)	$\geq 1500 \text{ V}$
Margen de temperatura	$-40 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \leq 80 \text{ }^\circ\text{C}$
Capacidad de carga	$\geq 5 \text{ A}$
Capacidad	$\leq 120 \text{ pF/m}$

Fuente: Comunicación / USSSiemens AG 6SE7087-8QX50

2.6.7. Características mecánicas

Doble simple: $\leq 5 \times$ diámetro exterior

Doble múltiple: $\leq 20 \times$ diámetro exterior

2.6.8. Longitudes de cable

Las longitudes de cable son dependientes de la velocidad de transmisión y de la cantidad de usuarios conectados. Tomando en cuenta las características de cable ya citadas es posible utilizar las siguientes longitudes de cable:

Tabla 2.7. Longitudes del cable

Velocidad de transmisión	N° máximo de usuarios	Longitud máxima de cable
9,6 kbit/s	32	1200 m
19,2 kbit/s	32	1200 m
93,75 kbit/s	32	1200 m
187,5 kbit/s	30	1000 m

Fuente: Comunicación / USS Siemens AG 6SE7087-8QX50

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. PRELIMINARES

En el presente capítulo se detalla paso a paso como se realizó el control de velocidad de un motor trifásico con el variador de velocidad MICROMASTER 440 el mismo que será controlado a distancia un PLC Simatic S7-200 con entradas analógicas (potenciómetros) que posteriormente controlará la velocidad del motor de una forma remota con la ayuda de un Protocolo USS (Interface en serie universal). Además se controlará el arranque, parada y dirección del motor.

La implementación del Protocolo de comunicación USS (Interface en serie universal) para el control de velocidad de un motor trifásico, consta de las siguientes etapas:

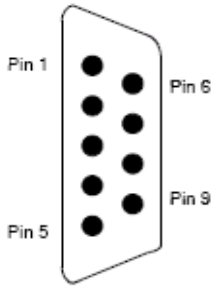
- Elaboración del cable USS con terminación RS-485 que permitirá la comunicación entre el PLC's S7-200 y el variador de velocidad MICROMASTER 440.
- Obtención de las librerías de operaciones del Protocolo USS y posterior instalación en el Software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7.
- Parametrización del variador de velocidad mediante el BOP.
- Conexión eléctrica y comunicación entre estos dispositivos.
- Configuración y edición del programa de control en el PLC S7-200.

3.2. ELABORACIÓN DEL CABLE USS (Interface en serie universal)

Los puertos de comunicación del PLC S7-200 son compatibles con el estándar RS-485 vía un conector D subminiatura de 9 pines. La tabla 3.1 muestra el conector que ofrece el enlace físico para el puerto de comunicación,

indicándose también las asignaciones de pines de los puertos de comunicación.

Tabla 3.1 Asignación de pines del puerto de comunicación del S7-200

Número de pin	Puerto 0/ Puerto 1	Enchufe
1	Tierra	
2	Hilo lógico	
3	Señal B RS-485	
4	RST(TTL)	
5	Hilo lógico	
6	+5V, 100Ω resistor en serie	
7	+24V	
8	Señal A RS-485	
9	Selección del protocolo de 10 bits	

Fuente: Manual del sistema de automatización S7-200

Elaborado por: Taipanta Serna Polo Ricardo

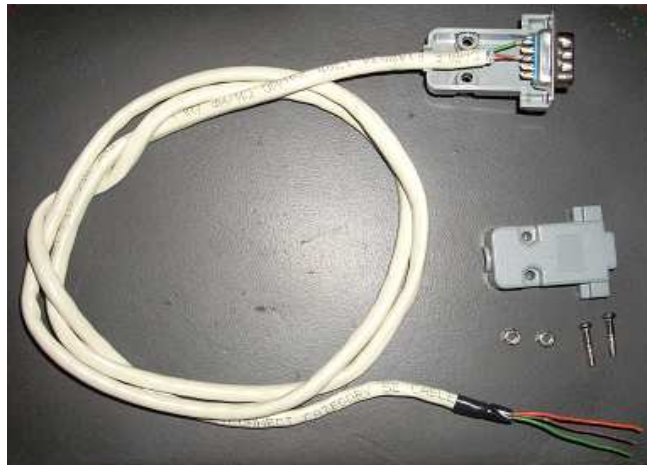


Foto1. Conexiones del cable USS

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Ricardo Taipanta



Foto2. Cable USS con terminación RS-485

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Ricardo Taipanta

3.3. LIBRERÍAS DE OPERACIÓN DEL PROTOCOLO USS

Las librerías de operaciones de STEP 7-Micro/WIN permiten controlar accionamientos Micromaster fácilmente, ya que incorporan subrutinas y rutinas de interrupción pre configuradas y diseñadas especialmente para utilizar el protocolo de comunicación USS.

Las operaciones USS sirven para controlar el accionamiento físico y los parámetros de lectura/escritura del mismo.

Estas operaciones se encuentran en la carpeta “Librerías” del árbol de operaciones de STEP 7-Micro/WIN. Cuando se selecciona una operación USS, se agregan automáticamente una o más subrutinas asociadas (USS1 hasta USS7).

Ya que los archivos necesarios para el protocolo de comunicación USS no forman parte de las librerías típicas del PLC Simatic S7-200, las librerías se obtienen de un CD por separado (STEP 7-Micro/WIN Add-On).

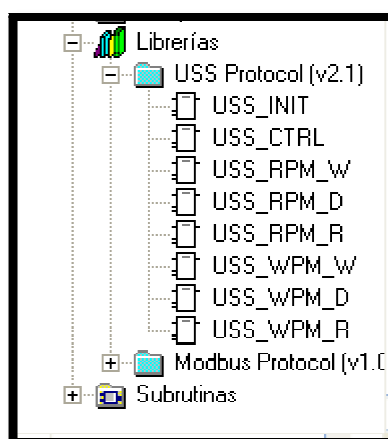


Figura 3.1. Librerías Actualizadas del Step 7 Micro/WIN SP 7

Fuente: Software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

3.3.1. Operaciones del protocolo USS

USS_INIT

La operación USS_INIT sirve para activar e inicializar, o bien para desactivar la comunicación con los accionamientos Micromaster. USS_INIT se deberá ejecutar sin errores antes de poder utilizar cualquier otra

operaciónUSS. La operación se finaliza y el bit “Done” se pone a “1”inmediatamente, antes de continuar con la siguienteoperación.

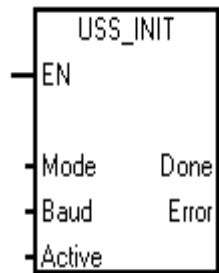


Figura3.2.BloqueUSS_INIT

Fuente: Software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

La operación se ejecuta en cada ciclo cuando está activada la entrada EN. Se ejecuta la operación USS_INIT sólo una vez por cada cambio del estado de la comunicación. Utiliza una operación de detección de flanco para activar la entrada.

EN.- Si desea cambiar los parámetros de inicialización, ejecuta de nuevo la operación USS_INIT.

El valor de “Mode” selecciona el protocolo de comunicación. Si la entrada tiene el valor “1”, el puerto 0 se asignará al protocolo USS y se habilitará el protocolo. Si la entrada tiene el valor “0”, el puerto 0 se asignará a PPI y se inhabilitará el protocolo de comunicación USS.

La entrada “Baud” permite ajustar la velocidad de transferencia a 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, o bien 115200 bit/s. Las CPUs S7-200 soportan velocidades de transferencia comprendidas entre 57,6 y 115,2 kbit/s.

La entrada “Active” indica qué accionamientos están activos. Algunos accionamientos soportan únicamente direcciones comprendidas entre 0 y 30.

Tabla 3.2.Parámetros de la operación USS_INIT

Entradas/salidas	Tipos de datos	Operandos
Mode	BYTE	VB, IB, QB, MB, SB, SMB, LB, AC, constante, *VD, *AC, *LD
Baud, Active	DWORD	VD, ID, QD, MD, SD, SMD, LD, constante, AC *VD, *AC, *LD
Done	BOOL	I, Q, M, S, SM, T, C, V, L
Error	BYTE	VB, IB, QB, MB, SB, SMB, LB, AC, *VD, *AC, *LD

Fuente: Manual del sistema de automatización S7-200

Elaborado por: Taipanta Serna Polo Ricardo

La tabla 3.2.muestra la descripción y el formato de la entrada del accionamiento activo. Todos los accionamientos activos (“Active”) se muestrean automáticamente en segundo plano, con objeto de controlarlos, recoger el estado y evitar timeouts en el enlace serie.

USS_CTRL

La operación USS_CTRL sirve para controlar un accionamiento Micromaster activo. Esta operación deposita en un búfer de comunicación los comandos seleccionados.

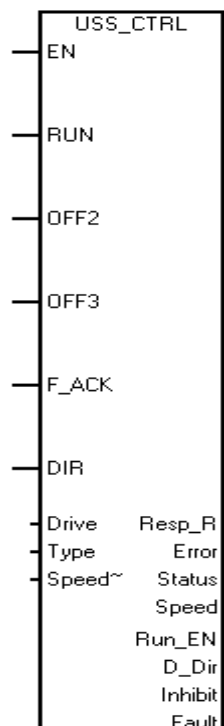


Figura 3.3.BloqueUSS_CTRL

Fuente: Software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

El búfer se envía después al accionamiento direccionado (parámetro “Drive”), si éste se ha seleccionado en el parámetro “Active” de la operación USS_INIT.

Se utiliza sólo una operación USS_CTRL por accionamiento. Algunos accionamientos indican la velocidad sólo como valor positivo. Si la velocidad es negativa, el accionamiento indicará la velocidad como valor positivo, pero invertirá el bit D_Dir (bit de sentido).

El bit EN deberá estar puesto a 1 para poder activar la operación USS_CTRL. Esta operación deberá estar activada siempre. RUN (RUN/STOP) indica si el variador está activado (1) o desactivado (0). Si está activado el bit RUN, el variador de velocidad Micromaster recibirá un comando para que se ponga en marcha a la velocidad indicada y en el sentido deseado. Para que el accionamiento se pueda poner en marcha, se deberán cumplir los siguientes requisitos:

- ❖ “Drive” deberá estar seleccionado como “Active” en USS_INIT.
- ❖ OFF2 y OFF3 deberán estar puestos a 0.
- ❖ “Fault” e “Inhibit” deberán estar puestos a 0.

Si está desactivado el bit RUN, el variador Micromaster recibirá un comando para que disminuya la velocidad hasta que pare el motor. El bit OFF2 sirve para que el variador Micromaster pueda parar por inercia. El bit OFF3 le ordena al variador Micromaster que pare rápidamente.

El bit “Resp_R” (Respuesta recibida) confirma que se ha recibido una respuesta del variador. Todos los variadores activos (“Active”) se muestrean para recoger las informaciones de estado más recientes. Cada vez que el S7-200 recibe una respuesta del accionamiento, el bit “Resp_R” se activa durante un ciclo, actualizándose todos los valores.

El bit “F_ACK” (Confirmación de fallo) indica que se ha detectado un fallo en el accionamiento. El accionamiento borra el fallo (“Fault”) cuando el estado de señal de “F_ACK” cambia de “0” a “1”.

El bit “Dir” (Sentido) indica en qué sentido debe girar el accionamiento.

Tabla 3.3.Parámetros de la operación USS_CTRL

Entradas/salidas	Tipos de datos	Operandos
RUN, OFF 2, OFF 3, F_ACK, DIR	BOOL	I, Q, M, S, SM, T, C, V, L, circulación de corriente
Resp_R, Run_EN, D_Dir, Inhibit, Fault	BOOL	I, Q, M, S, SM, T, C, V, L
Drive, Type	BYTE	VB, IB, QB, MB, SB, SMB, LB, AC, *VD, *AC, *LD, constante
Error	BYTE	VB, IB, QB, MB, SB, SMB, LB, AC, *VD, *AC, *LD
Status	WORD	VW, T, C, IW, QW, SW, MW, SMW, LW, AC, AQW, *VD, *AC, *LD
Speed_SP	REAL	VD, ID, QD, MD, SD, SMD, LD, AC, *VD, *AC, *LD, constante
Speed	REAL	VD, ID, QD, MD, SD, SMD, LD, AC, *VD, *AC, *LD

Fuente: Manual del sistema de automatización S7-200

Elaborado por: Taipanta Serna Polo Ricardo

La entrada “Drive” (Dirección del accionamiento) es la dirección en la que se encuentra el variadorMicromaster ala que se debe enviar el comando USS_CTRL. Las direcciones válidas están comprendidas entre0 y 31, lo que indica que se pueden controlar hasta 32 variadores de velocidad con un solo PLCSimatic S7-200.

La entrada “Type” (Tipo de variador) selecciona el tipo de accionamiento. Si utiliza unvariadorMicromaster 3 (o anterior), ajuste “Type” a “0”. Si utiliza un variador Micromaster 4, ajuste “Type” a “1”.

“Speed_SP” (consigna de velocidad) representa la velocidad del accionamiento indicada comoporcentaje de la velocidad máxima. Si “Speed_SP” es un valor negativo, se invertirá el sentido degiro del accionamiento. El rango puede estar comprendido entre -100,0% y 100,0%.

“Error” es un byte de error que contiene el resultado de la última petición de comunicación con elvariador.

“Status” es el valor sin procesar de la palabra de estado que envía el variador.

La tabla 3.3.muestra los bits de estado de la palabra de estado estándar y de la realimentación principal.

“Speed” representa la velocidad del accionamiento indicada como porcentaje de la velocidad máxima. El rango puede estar comprendido entre -100,0% y 100,0%.

“Run_EN” indica si el variador está en marcha (1) o parado (0).

“D_Dir” representa el sentido de giro del variador.

“Inhibit” indica el estado del bit de desactivación del accionamiento (0 = activado 1= desactivado). Para borrar el bit de desactivación, el bit “Fault” deberá estar puesto a 0 (OFF) y las entradas RUN, OFF2 y OFF3 también deberán estar desactivadas.

“Fault” representa el estado del bit de fallo (0 = sin fallo, 1 = fallo). El variador visualiza el código del fallo.

Para borrar el bit “Fault”, corrija el fallo y active el bit “F_ACK”.

A diferencia de las funciones ya explicadas, donde la comunicación se mantiene cíclicamente (los datos se transmiten permanentemente entre el drive y el PLC), cada vez que este lo solicita o está habilitado, la solicitud de lectura y escritura de parámetros se realiza por exclusiva invocación, ósea acíclicamente.

USS_RPM_x

La operación USS_RPM_x sirve para leer un parámetro ya establecido en el accionamiento. Esta operación deposita en un búfer reservado para el parámetro leído.

El protocolo USS incluye tres operaciones de lectura, a saber:

- ✓ La operación USS_RPM_W lee un parámetro de palabra sin signo.
- ✓ La operación USS_RPM_D lee un parámetro de palabra doble sin signo.
- ✓ La operación USS_RPM_R lee un parámetro de número real (en coma flotante).

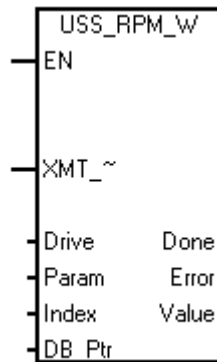


Figura 3.4. Bloque USS_RPM_W

Fuente: Software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

Sólo puede estar activada una operación de lectura(USS_RPM_x) o de escritura (USS_WPM_x) a la vez.La transacción USS_RPM_x se finaliza cuando el variador de velocidad confirma que ha recibido el comando, o bien cuando se detecta un error. El programa sigue ejecutando mientras se está esperando una respuesta.

El bit EN deberá estar puesto a “1” para poder transmitir una petición, debiendo permanecer activado hasta que se active el bit “Done”, lo que indica que ha finalizado el proceso.

“Param” representa el número de parámetro. “Index” es el valor del índice del parámetro a leer.

“Value” es el valor del parámetro devuelto. La dirección del búfer de 16 bytes se le debe suministrar a la entrada “DB_Ptr”. La operación USS_RPM_x utiliza este búfer para almacenar los resultados del comando enviado al variador Micromaster.

La salida “Done” se activa una vez finalizada la operación USS_RPM_x. El byte de salida “Error” y la salida “Value” contienen el resultado de ejecución de la operación.

Las salidas “Error” y “Value” no son válidas hasta que no se haya activado la entrada “Done”.

Tabla 3.4.Operandos válidos para las operaciones USS_RPM_x

Entradas/salidas	Tipos de datos	Operandos
XMT_REQ	BOOL	I, Q, M, S, SM, T, C, V, L, circulación de corriente (si se ha detectado un flanco positivo)
Drive	BYTE	VB, IB, QB, MB, SB, SMB, LB, AC, *VD, *AC, *LD, constante
Param, Index	WORD	VW, IW, QW, MW, SW, SMW, LW, T, C, AC, AIW, *VD, *AC, *LD, constante
DB_Ptr	DWORD	&VB
Value	WORD DWORD, REAL	VW, IW, QW, MW, SW, SMW, LW, T, C, AC, AQW, *VD, *AC, *LD VD, ID, QD, MD, SD, SMD, LD, *VD, *AC, *LD
Done	BOOL	I, Q, M, S, SM, T, C, V, L
Error	BYTE	VB, IB, QB, MB, SB, SMB, LB, AC, *VD, *AC, *LD

Fuente: Manual del sistema de automatización S7-200

Elaborado por: Taipanta Serna Polo Ricardo

USS_WPM_x

La operación USS_WPM_x sirve para actualizar el parámetro ya depositados en la EEPROM del variador. Esta operación deposita en un búfer reservado para el parámetro leído.

El protocolo USS incluye tres operaciones de escritura, asaber:

- ✓ La operación USS_WPM_W escribe un parámetro de palabra sin signo.
- ✓ La operación USS_WPM_D escribe un parámetro de palabra doble sin signo.
- ✓ La operación USS_WPM_R escribe un parámetro de número real (en coma flotante).

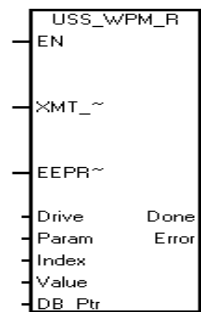


Figura 3.5.Bloque USS_WPM_R

Fuente: Software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

La transacción USS_WPM_x se finaliza cuando el accionamiento Micromaster confirma que ha recibido el comando, o bien cuando se detecta un error. El programa sigue ejecutándose mientras espera una respuesta.

El bit EN deberá estar puesto a “1” para poder transmitir una petición, debiendo permanecer activado hasta que se active el bit “Done”, lo que indica que ha finalizado el proceso.

La entrada “Drive” es la dirección del accionamiento Micromaster a la que se debe enviar el comando USS_WPM_x. Las direcciones válidas de los variadores están comprendidas entre 0 y 31.

“Param” representa el número de parámetro. “Index” es el valor del índice del parámetro a escribir. “Value” es el valor del parámetro a escribir en la memoria RAM del variador.

La dirección del búfer de 16 bytes se le debe suministrar a la entrada “DB_Ptr”. La operación USS_WPM_x utiliza este búfer para almacenar los resultados del comando enviado al variador Micromaster.

La salida “Done” se activa una vez finalizada la operación USS_WPM_x. El byte de salida “Error” contiene el resultado de ejecución de la operación.

Cuando se activa la entrada EEPROM, la operación escribe tanto en la RAM como en la EEPROM del variador. Cuando se desactiva la entrada EEPROM, la operación escribe sólo en la RAM.

Tabla 3.5.Operandos válidos para las operaciones USS_WPM_x

Entradas/salidas	Tipos de datos	Operandos
XMT_REQ	BOOL	I, Q, M, S, SM, T, C, V, L, circulación de corriente (si se ha detectado un flanco positivo)
EEPROM	BOOL	I, Q, M, S, SM, T, C, V, L, circulación de corriente
Drive	BYTE	VB, IB, QB, MB, SB, SMB, LB, AC, *VD, *AC, *LD, constante
Param, Index	WORD	VW, IW, QW, MW, SW, SMW, LW, T, C, AC, AIW, *VD, *AC, *LD, constante
DB_Ptr	DWORD	&VB
Value	WORD DWORD, REAL	VW, IW, QW, MW, SW, SMW, LW, T, C, AC, AQW, *VD, *AC, *LD VD, ID, QD, MD, SD, SMD, LD, *VD, *AC, *LD
Done	BOOL	I, Q, M, S, SM, T, C, V, L
Error	BYTE	VB, IB, QB, MB, SB, SMB, LB, AC, *VD, *AC, *LD

Fuente: Manual del sistema de automatización S7-200

Elaborado por: Taipanta Serna Polo Ricardo

3.4. Parametrización del variador de velocidad MICROMASTER 440 para el uso del Protocolo de comunicación USS.

Previo a la puesta en marcha del variador **MICROMASTER 440** este tuvo que ser parametrizado por medio del BOP y se introdujo los siguientes parámetros:

Tabla 3.6. Parámetros de configuración del Micromaster 440

FUNCIÓN	PARÁMETRO
Restablece los ajustes de fabrica	P0010 = 30 y P0970=1
Habilita el acceso de lectura/ escritura a todos los parámetros	P0003=3 (modo avanzado)
Ajustes del motor	
Tensión nominal del motor (V)	P0304=220 V
Intensidad nominal del motor (A)	P0305=2 A
Potencia nominal del motor (W)	P0307=750 W
Frecuencia nominal del motor (Hz)	P0310=60 Hz
Velocidad nominal del motor (rpm)	P0311=3600 rpm
NOTA: Para poder configurar los parámetros P304, P305, P307, P310 y P311, deberá ajustar primero el parámetro P010 a "1" (modo de puesta en servicio rápida). Tras concluir la configuración, ajuste el parámetro P010 a "0". Los parámetros P304, P305, P307, P310 y P311 sólo se pueden cambiar en el modo de puesta en servicio rápida.	
Para el control de todas las funciones del variador de frecuencia	
Ajusta el modo del control	P0700 = 5
Selecciona la consigna de frecuencia a USS en el puerto COM	P1000 = 5
Tiempo de aceleración	P1120=0 a 650s (opcional)
Tiempo de desaceleración	P1121=0 a 650s (opcional)
Ajusta la frecuencia de referencia del puerto serie	P2000=1 a 650 Hz
Ajusta la normalización USS	P2009=0
Ajusta la velocidad de transferencia del puerto serie RS-485	P2010=7
Introduce la dirección del esclavo	P2011=0
Ajusta el tiempo del puerto serie	P2014=0
Transfiere los datos de la RAM a la EPROM e inicia la transferencia	P0971=1

Fuente: Manual del sistema de automatización S7-200

Elaborado por: Taipanta Serna Polo Ricardo

3.5. Conexiones eléctricas y comunicación entre el S7-200 y el variador de velocidad Micromaster 440

3.5.1. Conexiones del variador de velocidad Micromaster 440

El variador de velocidad Micromaster 440 contiene de bornes de alimentación y bornes para el motor, además de terminales fijadores sin tornillos previstos para el protocolo USS, la distribución de los terminales fue estudiada en el capítulo anterior y se puede observar en la figura 2.7. los terminales deben ser conectados de la siguiente manera:

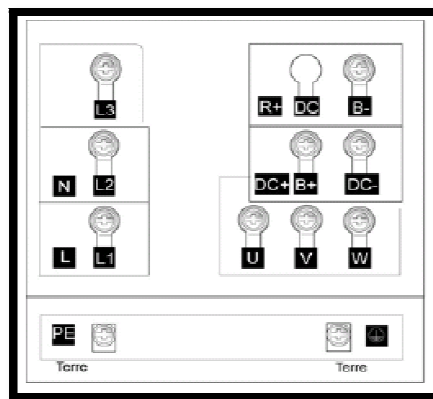


Figura 3.6. Bornes de conexión del MICROMASTER 440

Fuente: Manual de instrucciones de uso, documentación del usuario, MICROMASTER 440-SIEMENS

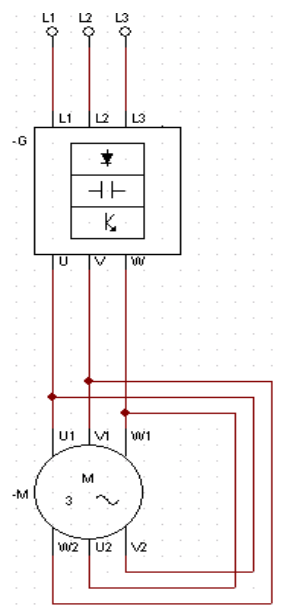


Figura 3.7. Conexión de potencia del variador Micromaster 440 y el motor

Fuente: Simulador CAD_SIMU

Elaborado por: Ricardo Taipanta

Es importante que al motor se le realice una conexión en triángulo, ya que esta conexión no brinda un mayor torque y mejor rendimiento del motor.

Además le permite al variador de velocidad ejecutar un arranque suave.

En la Foto 3 se muestra los hilos del extremo opuesto del cable RS-485 estos se deben insertar en el bloque de terminales del variador Micromaster 440.

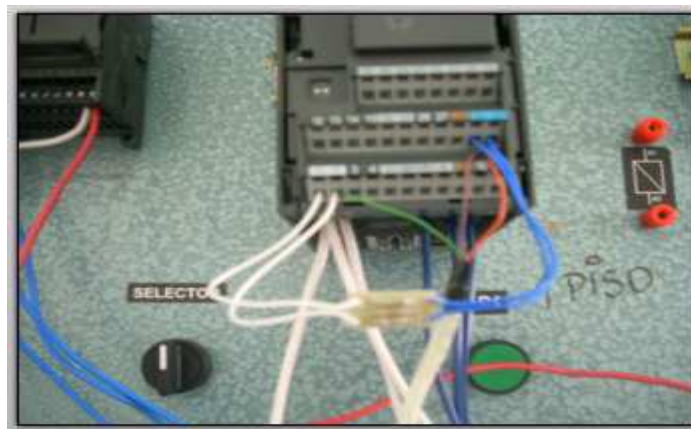


Foto3.Conexión del cable USS

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Ricardo Taipanta

Debido a que el accionamiento está situado en el extremo de la red, los resistores de cierre y polarización se deberán conectar en los terminales correctos como se observa en la figura 3.8

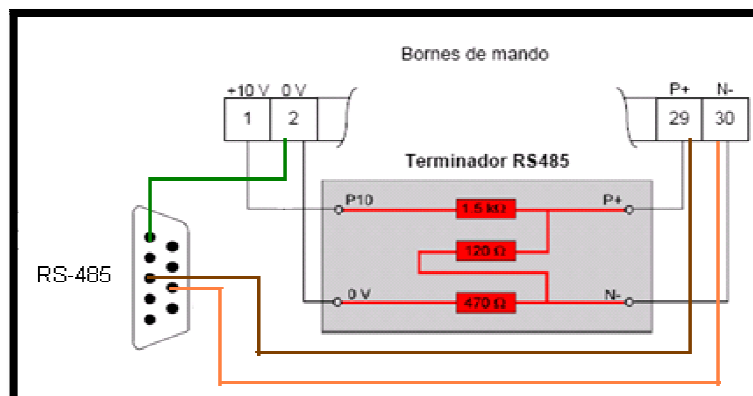


Figura 3.8.Resistores de cierre y polarización

Fuente: Manual de instrucciones de uso, documentación del usuario, MICROMASTER 440-SIEMENS

Elaborado Por: Ricardo Taipanta

3.5.2. Conexiones del S7-200

Las conexiones del S7-200 deben ser conectados de la siguiente manera para su correcto funcionamiento.

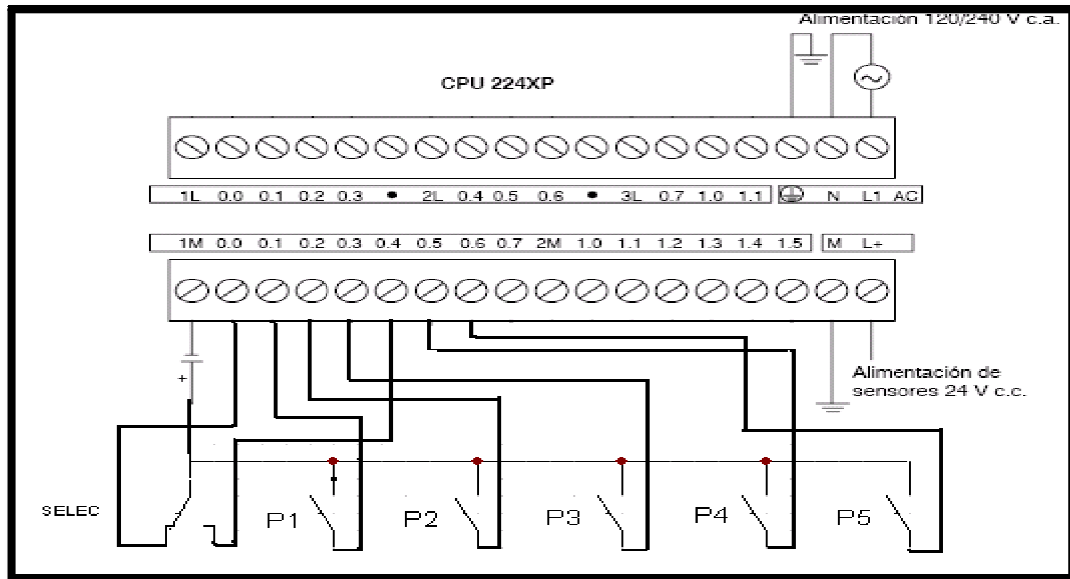


Figura 3.9.Diagrama de cableado del S7-200

Fuente: Manual del sistema de automatización S7-200

Elaborado Por: Ricardo Taipanta

Selector = I0.0: Contacto de encendido (sentido de giro lado derecho).

Selector = I0.4: Contacto de encendido (sentido de giro lado izquierdo).

P1=I0.1: Paro por inercia del motor.

P2=I0.2: Paro general.

P3=I0.3: Borra el mensaje de fallo del variador.

P4=I0.5: Envía una petición de lectura.

P5=I0.6: Envía una petición de escritura.

3.5.3. Comunicación entre el S7-200 y el Micromaster 440

Finalmente para la comunicación entre estos elementos se realizo de la siguiente manera, se conecta al puerto 0 del S7-200 el extremo del cable RS-

485 que contiene el conector y del otro extremo al accionamiento, en la Foto 4 se puede observar cómo queda la conexión definitiva.

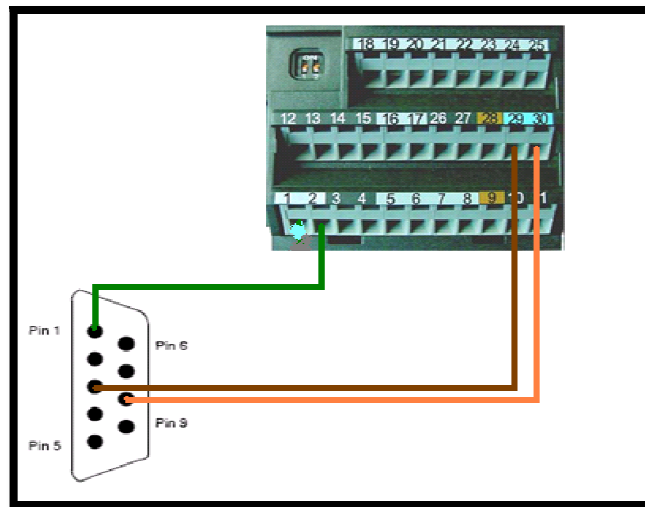


Figura 3.10. Comunicación entre el S7-200 y el variador Micromaster 440

Fuente: Manual de instrucciones de uso, documentación del usuario, MICROMASTER 440-SIEMENS

Elaborado Por: Ricardo Taipanta

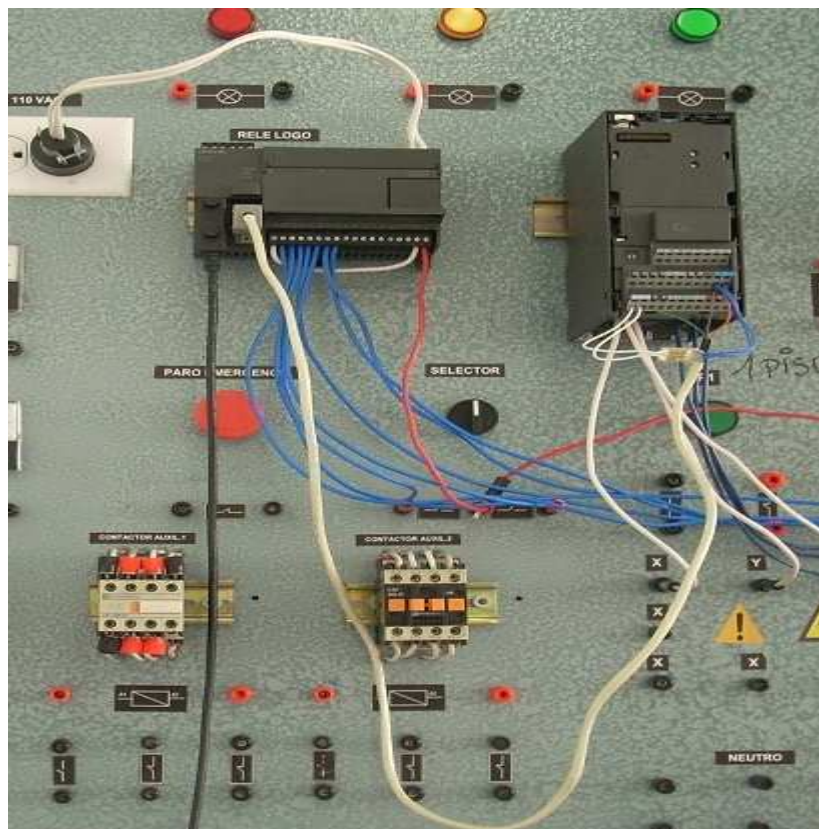


Foto 4. Comunicación mediante el cable RS-485

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Ricardo Taipanta

Las conexiones con el S7-200, el variador de velocidad Micromaster 440 y los circuitos quedan como se muestran en la Foto 5

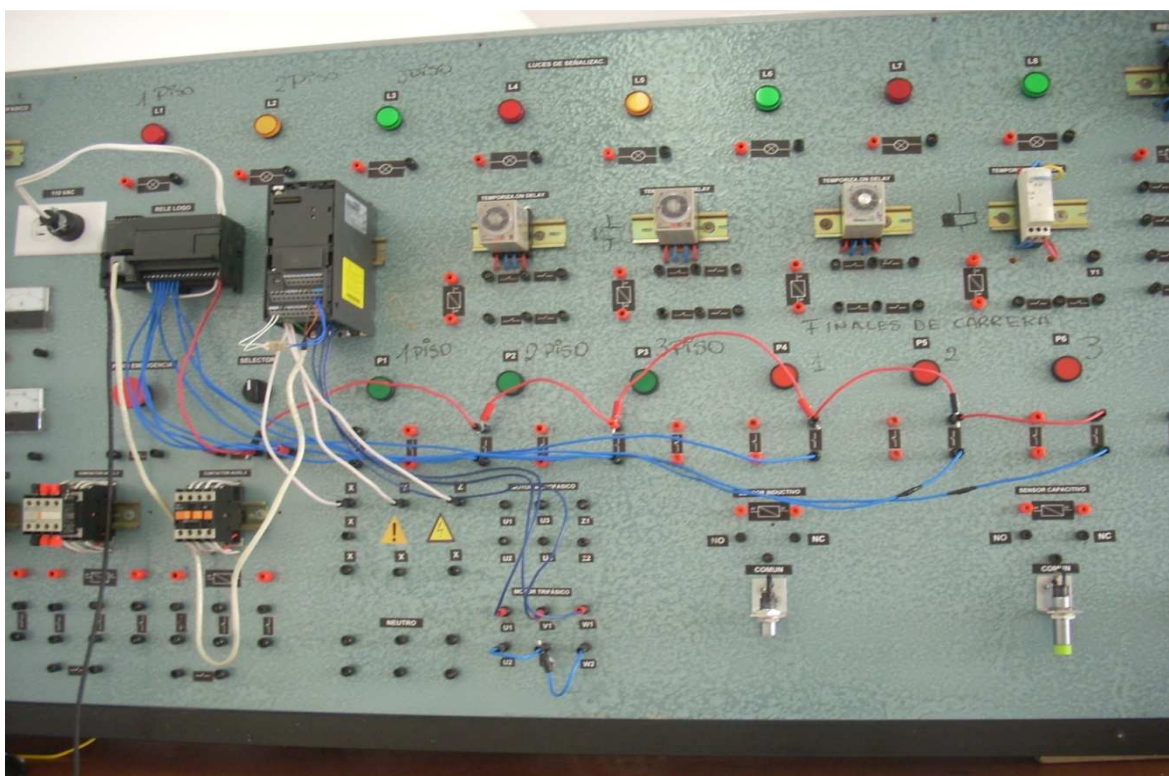


Foto 5.Conexiones finales con el S7-200 y el Micromaster 440

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Ricardo Taipanta

3.6. Edición del programa de control

3.6.1. Software step 7 micro/win 4.0 service pack 7¹⁷

La versión (2008) del software desarrollado por SIEMENS, para el diseño y edición de programas de control, de la familia SIMATIC S7-200 para cualquier tipo de CPU del autómeta.



Figura 3.11.Ícono de acceso al Software step 7 micro/win 4.0 service pack 7

¹⁷ Manual del Sistema SIMATIC S7-200 ref: 6ES7298--8FA24--8DH0

Fuente: Software step 7 micro/win 4.0 servicepack 7

Elaborado Por: Ricardo Taipanta

STEP 7 Micro/WIN ofrece una interfaz de usuario cómoda para crear programas de control, este software posee varias nuevas características que difiere de sus antecesores, sobre todo en sus librerías y árbol de operaciones, ampliando la gama de aplicaciones del S7-200.

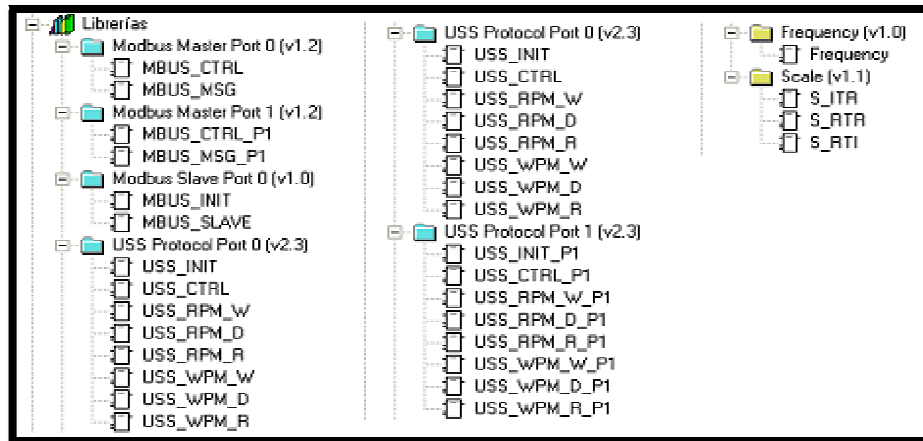


Figura 3.12. Librerías Actualizadas del Step 7 Micro/WINSP 7

Fuente: Software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

3.6.1.1. Características del Software Step 7 Micro/WIN 4.0service pack 7

Las barras de herramientas contienen botones de método abreviado para los comandos de menú de uso frecuente

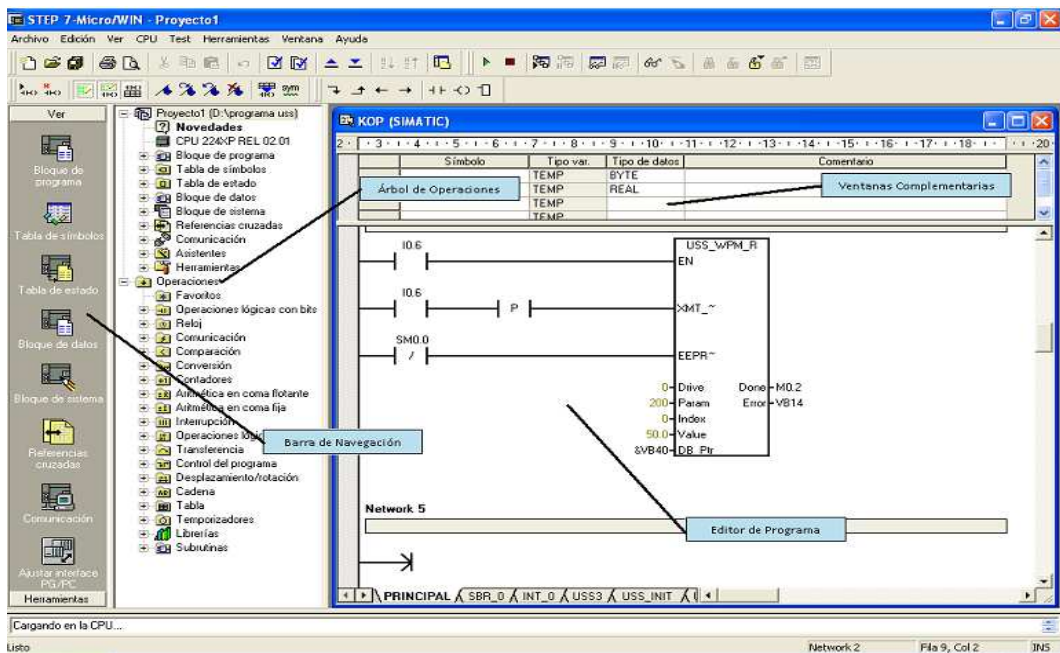


Figura 3.13. Ventana Principal Del Step 7 Micro/WIN

Fuente: Software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

Estas barras se pueden mostrar u ocultar. La barra de navegación comprende iconos que permiten acceder a las diversas funciones de programación de STEP 7 Micro/WIN.

El software de programación STEP 7-Micro/WIN permite elegir entre diferentes editores para crear programas de control utilizando estas operaciones. Estos editores son:

- KOP (Esquema de contactos)
- FUP (Diagrama de funciones)
- AWL (Lista de instrucciones)

Por afinidad y grado de conocimientos adquiridos, la programación empleada para el diseño del programa del sistema HMI fue realizada en el editor KOP.

3.6.1.2. Esquema de contactos KOP

El editor KOP de STEP 7 Micro/WIN permite crear programas con componentes similares a los elementos de un esquema de circuitos. KOP es probablemente el lenguaje preferido de numerosos programadores y encargados del mantenimiento de sistemas de automatización,

adecuándose también en gran medida para los programadores principiantes.

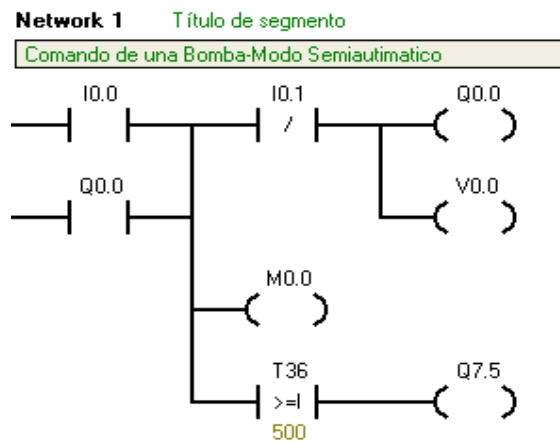


Figura 3.14. Ejemplo de programación en el editor KOP

Fuente: Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

Las operaciones se representan mediante símbolos gráficos que incluyen tres formas básicas. Los segmentos que se pueden crear en KOP pueden ser desde muy sencillos hasta muy complejos. Se pueden crear segmentos con salidas intercaladas e incluso se pueden conectar en serie varias operaciones de cuadros.

- +
 Contactos. Representan condiciones lógicas de "entrada" similares a interruptores, botones, condiciones internas, etc.
- Bobinas. Representan condiciones lógicas de salida similares a lámparas, arrancadores de motor, relés, condiciones internas de salida, etc.
- Cuadros. Representan operaciones adicionales tales como temporizadores, contadores u operaciones aritméticas.

3.6.2. Implementación del protocolo USS para el PLC S7-200

Para la implementación del protocolo USS se utilizó el software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7.



Figura 3.15. Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

Fuente: Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

Elaborado Por: Ricardo Taipanta

Para encontrar los operadores del protocolo USS dar un click en el icono de librerías como se muestra en la figura 3.16.

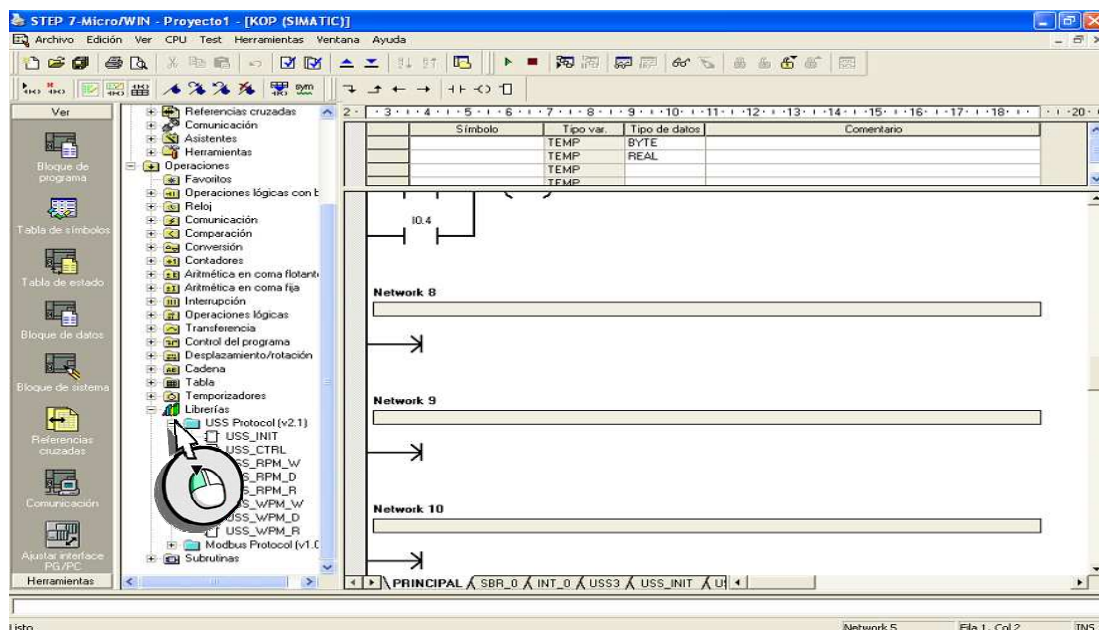


Figura 3.16. Como encontrar los operadores del protocolo USS

Fuente: Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

Una vez encontrados los operadores del protocolo USS con un doble click sobre el bloque USS_UNIT cargamos el comando de inicialización de la comunicación USS en el punto del programa deseado.

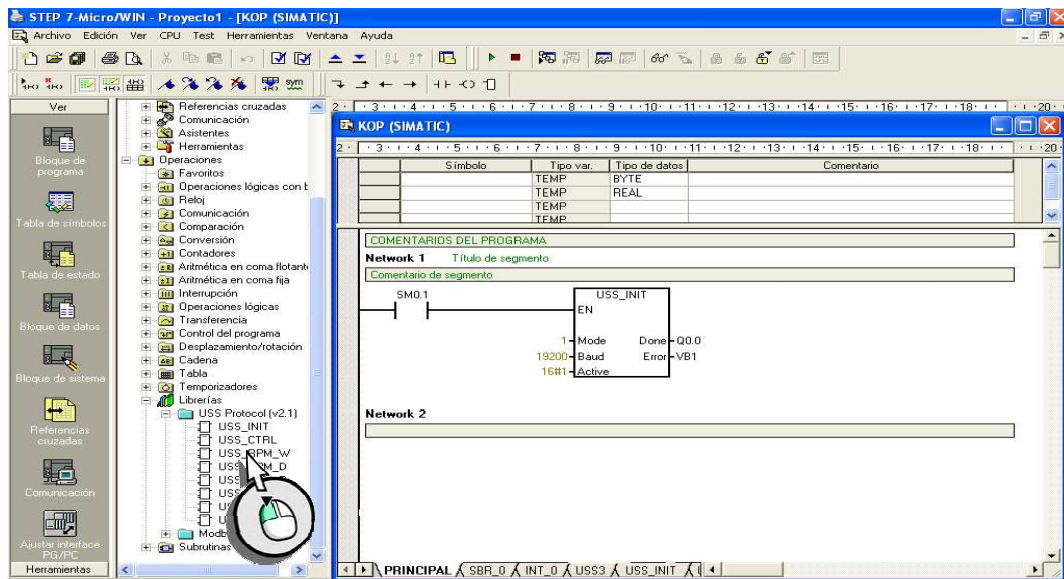


Figura 3.17. Cargar el comando de inicialización de la comunicación USS

Fuente: Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

Este bloque que inicializa la comunicación con el variador para lo cual requiere de los siguientes parámetros:

En (enable): señal que lo activa. Se requiere de un flanco.

USS: Habilita al puerto 0 a transmitir en USS (si se pone en 1) o a bloquear este modo y quedar en PPI (ajuste en 0).

Baud: el baudrate de transmisión, varía entre 1200 y 19200.

Active: codifica las direcciones de los esclavos presentes, puestos en modo binario, pero asignándolo en modo decimal (en el ejemplo, el esclavo tiene la dirección 0).

Done: una señal digital que se activa luego de ejecutada esta subrutina.

ERR: un byte donde se deposita un código de error tras la ejecución de esta subrutina (por ejemplo, si la dirección del drive parametrizado no se encontró).

Luego se procede a cargar y parametrizar el bloque de control del drive USS_CTRL. Esta subrutina es la que efectivamente permitirá el control y monitoreo básico del variador de velocidad.

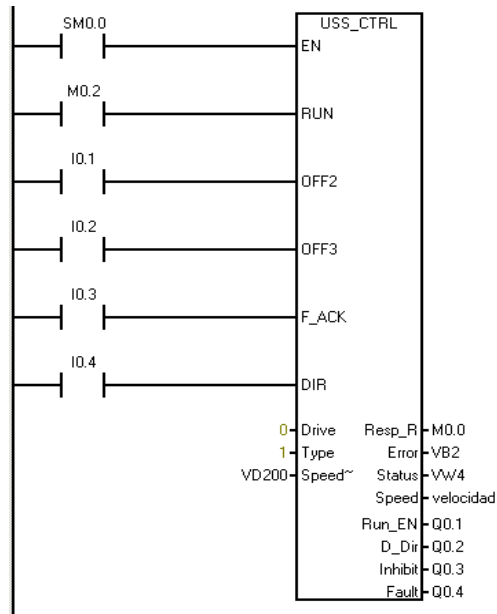


Figura 3.18. Bloque de control del drive

Fuente: Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

Este bloque requiere de los siguientes parámetros:

En (enable): siempre debe estar habilitando para que la función se pueda ejecutar.

Run(marcha): señal que da marcha al drive.

OFF2: señal que genera Paro “OFF2”

OFF3: señal que genera Paro “OFF3”

F_ACK(fault acknowledgment): reset de fallos.

Dir(Dirección): señal que determina el sentido de giro según esté en estado alto o bajo.

Drive: dirección del drive que se quiere comandar.

SPD_S: setpoint de velocidad en porcentaje de la frecuencia prefijada en el drive (en el ej.: 50%).

Por otro lado, se codifica la información que el drive devuelve al PLC:

RSP_R: respuesta que indica que el drive aceptó el comando.

ERR: codificación de error acaecido.

Status: palabra de estado del drive.

SPEED: velocidad actual del motor en% de prefijada.

RUN: confirmación de que el drive está en marcha (1) o detenido (0).

DIR_C: sentido de giro (1= derecha).

INHIBIT: indica si el drive está habilitado para arrancar (1) o no (0).

FAULT: codifica el error en que se puede encontrar el drive.

Con igual procedimiento cargamos y parametrizamos el bloque USS_RPM_W

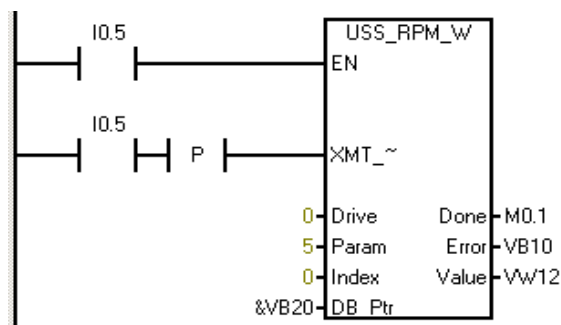


Figura 3.19. Bloque de lectura de parámetros

Fuente: Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

Este bloque requiere de los siguientes parámetros:

EN: señal que habilita la función.

XMT: señal que permite que el comando se ejecute.

DRIVE: dirección del drive que se desea interrogar.

PARAM: número de parámetro que se desea leer.

DB_P: buffer reservado para codificar los resultados de la función.

El drive responde con los siguientes comandos:

DONE: señal que marca la ejecución del comando.

ERR: byte donde se deposita el código de error.

VAL: Word donde se deposita el valor del parámetro leído.

Del mismo modo se procedió a cargar y parametrizar el bloque USS_WPM_R

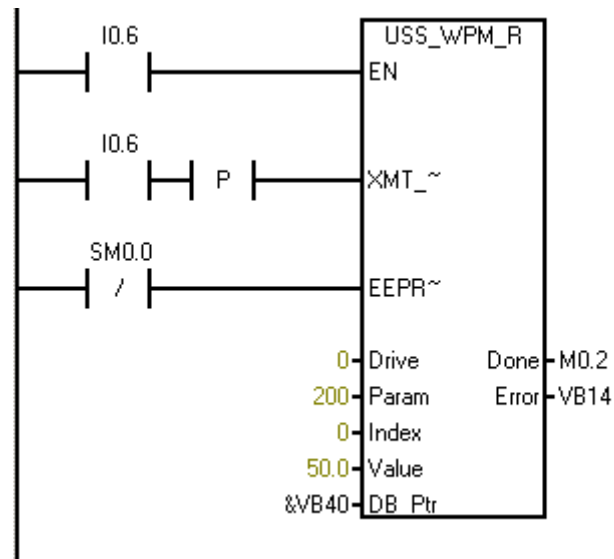


Figura 3.20. Bloque de escritura de parámetros

Fuente: Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

Este bloque requiere de los siguientes parámetros:

EN: señal que habilita la función.

XMT: señal que permite que el comando se ejecute.

DRIVE: dirección del drive que se desea interrogar.

PARAM: N° de parámetro que se desea escribir.

VAL: Word donde se deposita el valor a escribir en el parámetro elegido; puede ajustarse un valor constante o una zona de memoria donde se carga el valor.

DB_P: buffer reservado para codificar los resultados de la función.

El drive responde con los siguientes comandos:

DONE: señal que marca la ejecución del comando.

ERR: byte donde se deposita el código de error.

También se realizó una conversión de datos para poder utilizar el potenciómetro del S7-200 como elemento de control de velocidad, a continuación se observa la secuencia de conversión de datos:

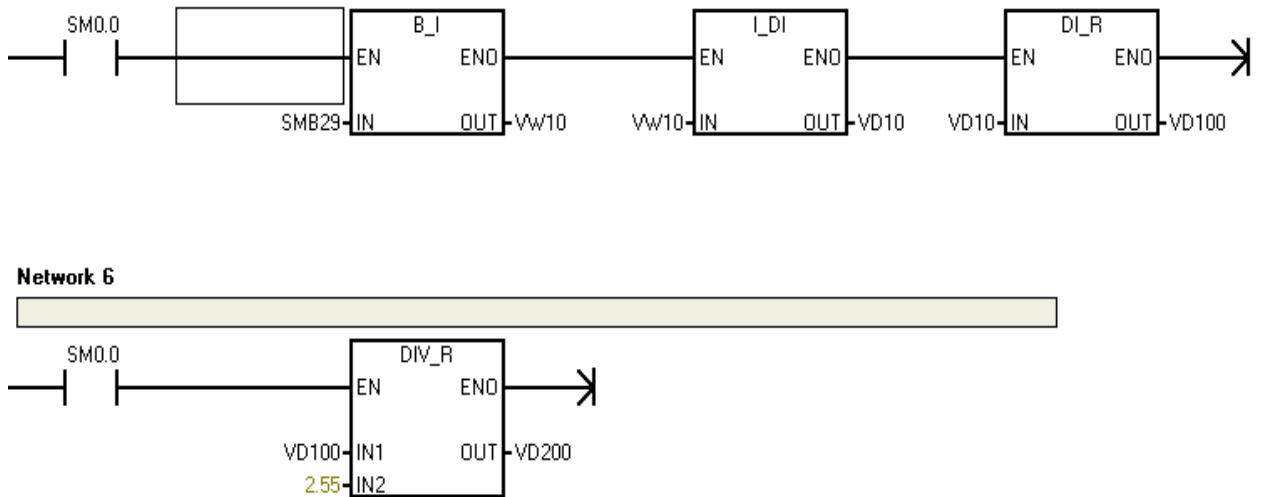


Figura 3.21. Secuencia de conversión de datos

Fuente: Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

La conversión de datos es la siguiente:

El dato que obtenemos del potenciómetro es un valor de características Byte el cual lo convertimos a entero en el primer bloque de conversión, en el segundo bloque va de entero a doble entero y por último de doble entero a real que es el valor que acepta el bloque de control.

Para cumplir con el objetivo de controlar la velocidad del motor en un porcentaje de 0 a 100% se realizó una operación matemática (división) con el valor que obtuvimos de la conversión: $VD100/2.55$, de esta forma se convierte el intercalado de 0 a 255 del potenciómetro a 0 a 100%.

Por otro lado para controlar el estado de marcha del motor se realizó un sistema de enclavamiento como se puede observar en la figura 3.22.

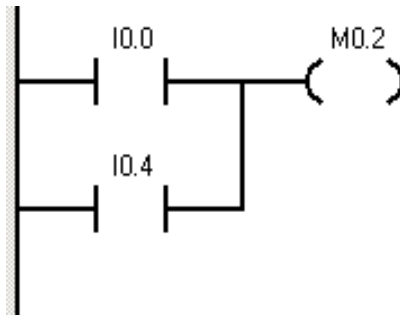


Figura 3.22. Sistema de enclavamiento

Fuente: Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7

3.7. Transferencia del proyecto al S7-200

3.7.1. Uso del cable de Comunicación USB/PPI

Para transferir el proyecto se utilizó el cable de comunicación de tipo USB/PPI versión 6, ya que a partir de la versión 3, estos se emplean para la comunicación PC/PLC

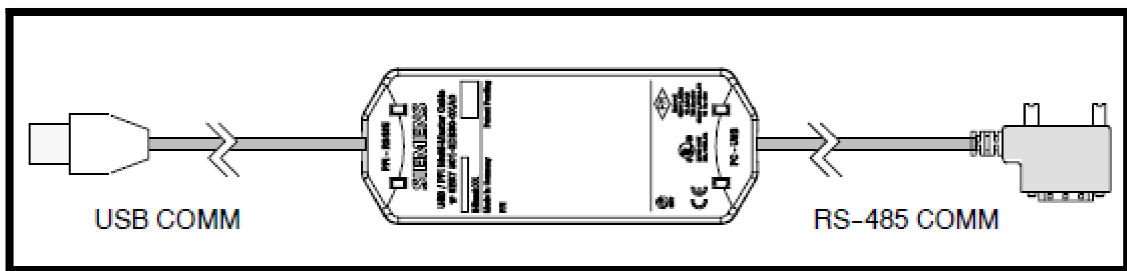


Figura 3.23. Cable multi-maestro USB/PPI, utilizado para la transferencia de datos

Fuente: Manual del Sistema S7-200 SIEMENS

La transmisión y recepción de datos entre el S7-200 y la PC se realiza a través del software Step7 Micro/Win, el cable multi-maestro PPI posee las siguientes indicaciones:

Tabla 3.7. Indicadores del cable multi-maestro USB/PPI versión 6

LED	COLOR	INDICACIÓN
Tx	verde	Indicador de transmisión USB
Rx	verde	Indicador de recepción USB
PPI	verde	Indicador de transmisión RS-485

Fuente: Manual de Accesorios SIEMENS

3.8. Pruebas y análisis de resultados

Una vez realizado las conexiones del motor trifásico y el Micromaster 440 se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento desde el S7-200 donde se controla el sistema.

Los resultados que se obtuvieron fueron significativos pues al variar el parámetro SPD_S (Setpoint de velocidad en porcentajes de la frecuencia prefijada en el drive) en el cual se encuentra conectado el valor que se obtiene del potenciómetro del S7-200 se logró el control remoto de la velocidad, la dirección y el encendido/apagado del motor trifásico.

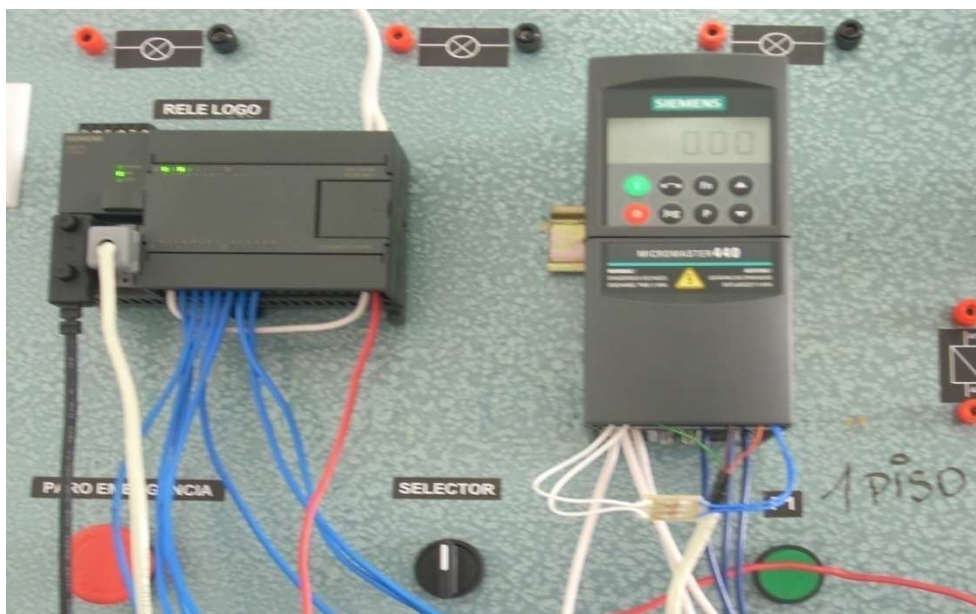


Foto 6. Parámetro RUN=0

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Ricardo Taipanta

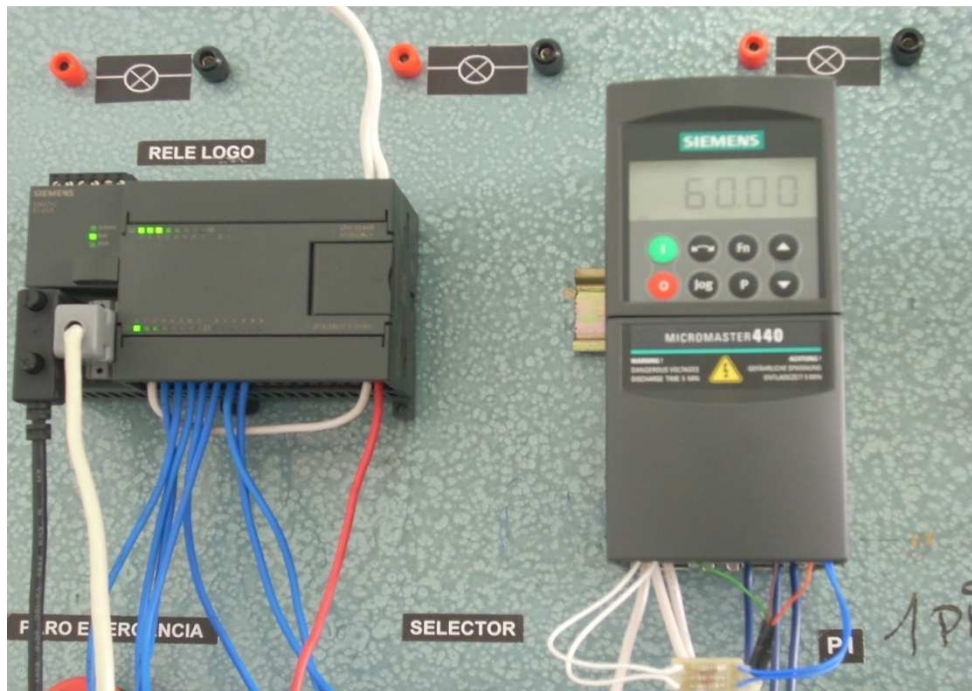


Foto 7.Velocidad al 100 %

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Ricardo Taipanta



Foto 8.Variación de velocidad

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Ricardo Taipanta

De igual manera se manipuló el parámetro DIR (sentido de giro 1=derecha 0=izquierda) con el cual se pudo controlar el sentido de giro del motor trifásico como se puede observar en la Foto 9:



Foto 9.Inversión de giro (DIR=0)

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Ricardo Taipanta

3.9. Gastos Realizados

Para la implementación de este proyecto se determinaron los siguientes rubros:

3.9.1 Costos Primarios

A continuación se detallan todos los dispositivos electrónicos y materiales usados para la realización del proyecto, y se los sintetiza en la Tabla 3.8.

Tabla.3.8. Costos Primarios

ELEMENTOS	CANTIDAD	C.UNIDAD	C.TOTAL
Variador de velocidad Micromaster 440	1	380	380
Cable trenzado	1m	0.50	0.50
Conector de 9 pines	1	1.10	1.10
Cable flexible	4m	0.60	2.40

		TOTAL	384
--	--	--------------	------------

Fuente: Investigación de campo

Elaborado Por: Ricardo Taipanta

3.9.2 Costos Secundarios

En la Tabla 3.9 se encuentran los gastos secundarios que están relacionados indirectamente con la realización del proyecto.

Tabla.3.9. Costos Secundarios:

DESCRIPCIÓN	C. UNIDAD	C.TOTAL
Derechos de asesor	120	120
Internet	0.80	40
Tinta para impresora	10	20
Materiales de papelería	Varios	25
	Total \$	205

Fuente: Investigación de campo

Elaborado Por: Ricardo Taipanta

3.9.3 Costo Total

El costo total se representa en la Tabla 3.10 que es la unión de los costos primario y secundario como se muestra a continuación.

Tabla.3.10. Costo Total

Costo Primario	384
Costo Secundario	205

TOTAL	589
--------------	------------

Fuente: Investigación de campo

Elaborado Por: Ricardo Taipanta

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El presente trabajo de grado permitirá contribuir al desarrollo académico práctico de los alumnos de la Carrera de Electrónica del I.T.S.A., mediante el control de velocidad para un motor trifásico utilizando el variador de velocidad Micromaster 440.

- Se realizó un estudio previo para determinar las características básicas del variador de velocidad Micromaster 440, donde se pudo determinar los parámetros necesarios para su puesta en marcha inicial, el control a través de sus terminales físicos y mediante el panel de control BOP, además del acceso y manejo de los parámetros que pueden ser programados en el mismo.

- La implementación del protocolo USS para el control de variadores de velocidad Micromaster 440 mediante el PLC S7-200 reduce sustancialmente las inversiones requeridas para lograr un sistema completo de automatización de uno o varios drivers; la reducción de costos no sólo pasa por el equipamiento requerido (como prescindir de módulos de señales) sino también por los tiempos de instalación y puesta en marcha, por la disminución de potenciales fallos y el control desde un solo lugar de varios motores en caso de ser necesario.

- El resultado final permite lograr un mayor grado de automatización y aprovechamiento del equipamiento instalado, que de otro modo no se aprovecharía. La conexión USS solamente requiere de un bus común de 3 hilos para la comunicación y el control de hasta 32 variadores de velocidad con un solo PLC Simatic S7-200.

- La programación del control se basa en bloques dedicados a la comunicación USS, que sólo requieren de una parametrización sencilla y poco compleja, a la vez mediante el control con el PLC Simatic S7-200 se pueden mejorar las funciones del variador de velocidad y darle aplicaciones cada vez más complejas.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda instalar todos los operadores del protocolo USS en el programa para realizar el control del variador velocidad con el motor trifásico. Si no se instalan las librerías, es imposible realizar la comunicación mediante el protocolo USS.
- Para que el bus USS funcione libre de interferencias se deben conectar resistencias a ambos extremos de los cables del bus, téngase en cuenta el hacer la conexión solamente con el primero y el último de los usuarios del bus. La conexión de las resistencias terminales se debe hacer en estado libre de tensión.
- Apantallar el cable del motor y poner a tierra ambos extremos de la pantalla. Evitar en lo posible discontinuidades en los cables. Si son inevitables, se debe garantizar una continuidad del apantallado de acuerdo a la EMC (Compatibilidad electromagnética) en los empalmes.
- Cuando se desee utilizar el variador de velocidad en aplicaciones que no requieren el control mediante el PLC, se debe inicializar los parámetros del variador, como se ha explicado en los procedimientos caso contrario el variador no puede ser controlado a través de su bornera de conexión o del BOP.
- Para realizar prácticas de laboratorio de comunicación USS con el variador de velocidad y el PLC Simatic S7-200 se deben seguir paso a paso todos los procedimientos especificados en la Guía de Laboratorio de este trabajo de graduación, ya que durante la investigación realizada se pudieron establecer todos los parámetros y requisitos necesarios para obtener un correcto funcionamiento del protocolo de comunicación.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

APRENDIZAJE. Proceso por el cual se adquiere una nueva conducta, o se modifica una antigua conducta, como resultado se obtiene experiencias renovadas.

AVISOS. Los avisos indican en el panel de operador eventos y estados que se presentan en la instalación, en el proceso, o bien en el panel de operador.

AUTOMATIZACIÓN. Ejecución automática de tareas industriales, administrativas o científicas haciendo más ágil como efectivo el trabajo y ayudando al ser humano.

AVIÓNICA. Estudio de sistemas eléctricos/electrónicos aplicados a la aeronáutica y aviación.

C

CAPACIDADES. Atributos adquiridos principalmente en la primera infancia y posteriormente desarrollados. Las capacidades son una extensión del uso de las aptitudes.

CONOCIMIENTO. Es un conjunto de información almacenada mediante la experiencia o el aprendizaje (a posteriori) o a través de la introspección (a priori).

COMPILAR. El compilador detecta errores al intentar compilar el bloque de datos, los errores se visualizarán en la ventana de resultados del software.

COMPRENCIÓN. Se refiere a la acción de comprender y a la facultad o capacidad de perspicacia para entender y penetrar las cosas.

D

DESARROLLO TECNOLÓGICO. Es el avance que ha tenido la tecnología a través de los años, de hecho se cree que evoluciono de manera acelerada en la revolución industrial con el inicio de la máquina de vapor.

E

ESTUDIO. Es el proceso realizado por un estudiante mediante el cual tratamos de incorporar nuevos conocimientos a nuestro intelecto. En resumen, es el proceso que realiza el estudiante para aprender cosas nuevas.

F

FORMACIÓN PROFESIONAL. Es la preparación de personas con actitudes, conocimientos y capacidades intelectuales para lidiar con un cambio aceleradamente rápido, así como poseer habilidades prácticas, que permitan adaptarse con facilidad a situaciones y circunstancias cambiantes y complejas.

H

HABILIDADES ESPECÍFICAS. Conocimientos técnicos, actitudes y competencias demandadas por el ejercicio ocupacional en el mercado de trabajo.

I

INDUSTRIA. Es el conjunto de procesos y actividades que tienen como finalidad transformar las materias primas en productos elaborados, de forma masiva. Existen diferentes tipos de industrias, según sean los productos que fabrican.

INSTALACIÓN. En relación con el manejo y la visualización mediante un panel de operador, este concepto comprende máquinas, centros de edición, sistemas e instalaciones, así como procesos.

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR. Toda persona natural o jurídica es una institución educativa, ya bien sea pública o privada o compuesta de una o más unidades institucionales, que exige como requisito de admisión el certificado o diploma de escuela secundaria, o su equivalente, y cuyos ofrecimientos académicos confieren, diplomas, certificados, títulos u otros reconocimientos académicos de educación superior.

INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL. Es el grupo de elementos que sirven para medir, controlar y registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en este.

M

MATERIAL DIDÁCTICO. Es aquel que reúne medios y recursos que faciliten la enseñanza y el aprendizaje, suelen utilizarse dentro del ambiente educativo, para facilitar la adquisición de conceptos, habilidades, actitudes y destrezas.

MÉTODO. Viene del latín methodus, que a su vez tiene su origen en el griego, en las palabras (meta=meta) y (hodos=camino). Por lo anterior Método quiere decir camino para llegar a un lugar determinado.

P

PANEL OPERADOR. El panel de operador es diseñado para ser montado en armarios y cuadros eléctricos de uso exclusivo para ambientes industriales.

PROFESIONAL. Es toda persona que puede brindar un servicio o elaborar un bien, garantizando el resultado con una calidad determinada. Puede ser una persona con un título universitario o técnico para el caso de las disciplinas de la ciencia o técnica en cualquiera de los campos de aplicación de la tecnología.

PROTOSDE COMUNICACIÓN. Son buses de campo que forma la base de la comunicación entre los componentes de automatización. Los diferentes dispositivos se van integrando en el bus del sistema, buscando en general un medio de comunicación especialmente rápido e inmune a las interferencias.

PROYECTO. Es el conjunto de actividades coordinadas e interrelacionadas que buscan cumplir con ciertos objetivos específicos, este generalmente debe ser alcanzado en un periodo de tiempo previamente definido.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. Es un procedimiento científico destinado a recabar información y formular hipótesis sobre un fenómeno social o científico.

R

RS 485 (IF 1B). Es un conector Sub-D (sub-miniatura D), de 9 pines, con bloqueo de tornillo que permite el intercambio de datos entre un panel operador y un autómatas.

S

SISTEMAS DE CONTROL. El sistema de control de un sistema automatizado permite ejecutar el programa y lograr que el proceso realice su función definida.

SOFTWARE. Es conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas que permiten ejecutar distintas tareas en una computadora.

SOFTWARE DE CONFIGURACIÓN. Software para crear proyectos para visualizar procesos. Véase también "Proyecto", "Visualización de procesos" y "Software runtime".

STEP 7. Software de programación para los autómatas SIMATIC S7, y SIMATIC C7. Ej. S7-300

STEP 7-Micro/WIN. Software de programación para los autómatas de la gama SIMATIC S7-200.

T

TRANSFERIR PROYECTO. Es un modo de operación que puede transferir un proyecto del equipo de configuración al panel de operador o autómatas, o bien crear una copia de seguridad.

TÉCNICA. Es la sustantivación del adjetivo técnico que tiene su origen en el griego technicus, que significa conjunto de procesos de un arte o de una fabricación. Simplificando técnica quiere decir, cómo hacer algo.

TECNOLOGÍA. Es el conjunto de habilidades que permiten construir objetos y máquinas para adaptar al medio y satisfacer nuestras necesidades, la actividad tecnológica influye en el progreso social y económico.

TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA. Es el campo de la Ciencia y la Ingeniería que trata de dispositivos electrónicos y de su utilización, entendiendo por dispositivo electrónico aquel en el que tiene lugar la conducción por electrones a través del vacío, de un gas o de un medio semiconductor.

ABREVIATURAS

AC. Corriente alterna

BI.Entrada del Binector

BICO.Binector/Conector

BO.Salida del Binector

BOP. (Basic Operator Panel) Panel de operaciones básicas.

DC. Corriente continúa

DCS. Sistema de Control Distribuido

EEPROM. Circuito integrado (programable y borrable eléctricamente)

EMCTolerancia electromagnética (TEM)

GND. Tierra

HMI. Interface de conexión entre hombre y maquina

IGBT.InsulatedGate Bipolar Transistor

I/O. Entrada / salida

ITSA. Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico

JOG. Impulso de avance

MM4.MICROMASTER 4

PLC. Controlador lógico programable

PLI. Lista de parámetros

PWM. Modulación de duración de impulsos

RPM. Revoluciones por minuto

USS. Interface serial universal.

BIBLIOGRAFIA

http://www.unicrom.com/Tut_MotorCC.asp

http://robots-argentina.com.ar/MotorCC_ControlAncho.htm

<http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_as%C3%ADncrono

http://www.wikipedia.com_variador_de_velocidad

<http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

<http://html.rincondelvago.com/0006251215.png>

<http://html.rincondelvago.com/0006251215.png>

MANUALES

Manual del sistema de automatización S7-200

Máster Universitario en Mantenimiento de Medios e Instalaciones Industriales

Lección de inversores de Juan Díaz

Lista de Parámetros, documentación del usuario, MICROMASTER 440-SIEMENS

Comunicación / USS Siemens AG 6SE7087-8QX50

ANEXOS

ANEXO A

GUÍA DE INSTALACIÓN DE LAS LIBRERÍAS DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN USS (UNIVERSAL DE INTERFACE EN SERIE)

REQUISITOS:

- Adquirir de las librerías del protocolo de comunicación USSMicroWIN_Toolbox (estas se encuentran en el CD STEP 7-Micro/WINAdd-ON de Siemens).
- Adquirir el instalador del software STEP 7-Micro/WIN V3.2 o V4.0

PROCEDIMIENTO:

1. Verificar que no se encuentren instaladas ninguna de las versiones del software STEP 7-Micro/WIN en el computador.
2. En el caso que se encuentre instalada proceda a desinstalar.
3. Una vez desinstalado el software procedemos a instalar las librerías del protocolo de comunicación USS para lo cual puede guiarse en las siguientes figuras.

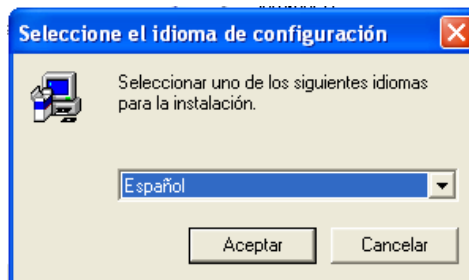


Figura A. Configuración del idioma

Fuente: CD STEP 7-Micro/WIN

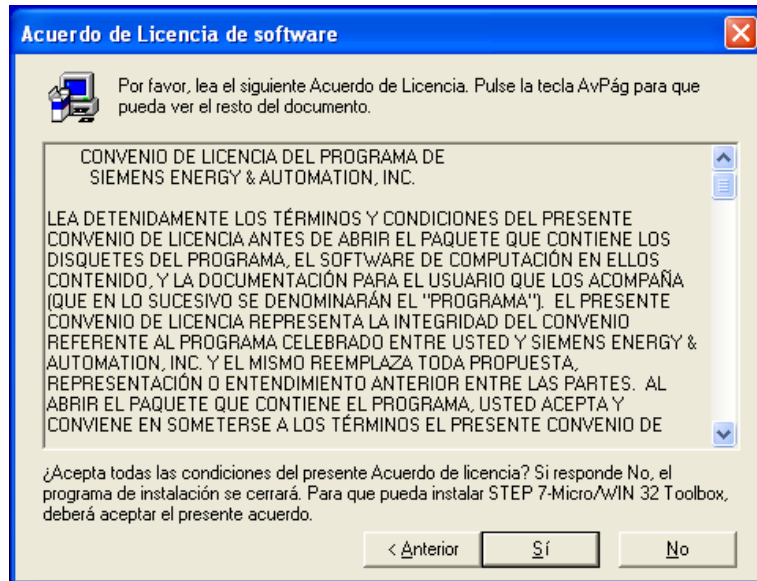


Figura B. Acuerdo de licencia del software

Fuente: CD STEP 7-Micro/WIN



Figura C. Requisitos para que las librerías funcionen correctamente.

Fuente: CD STEP 7-Micro/WIN



Figura D. Selección de carpeta de destino

Fuente: CD STEP 7-Micro/WIN



Figura E. Selección de componentes.

Fuente: CD STEP 7-Micro/WIN



Figura F. Fin de la instalación

Fuente: CD STEP 7-Micro/WIN

4. Tras instalar las librerías instalamos el software STEP 7-Micro/WIN, cualquier actualización de este software actualizará las librerías anteriormente instaladas.

Para la instalación del software STEP 7-Micro/WIN, puede guiarse en las siguientes figuras.

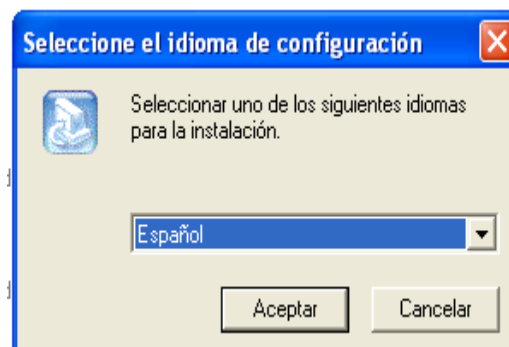


Figura G. Configuración del idioma

Fuente: Software STEP 7-Micro/WIN

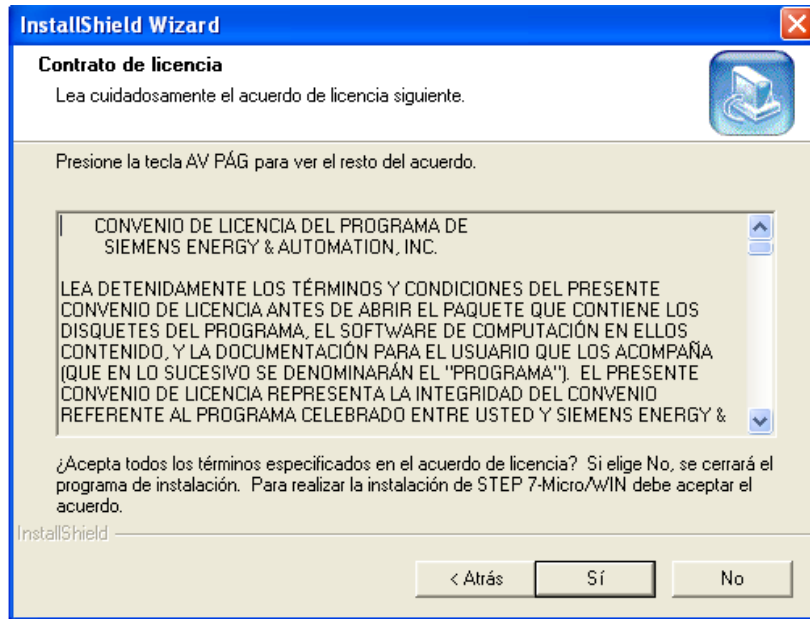


Figura H. Contrato de licencia

Fuente:Software STEP 7-Micro/WIN

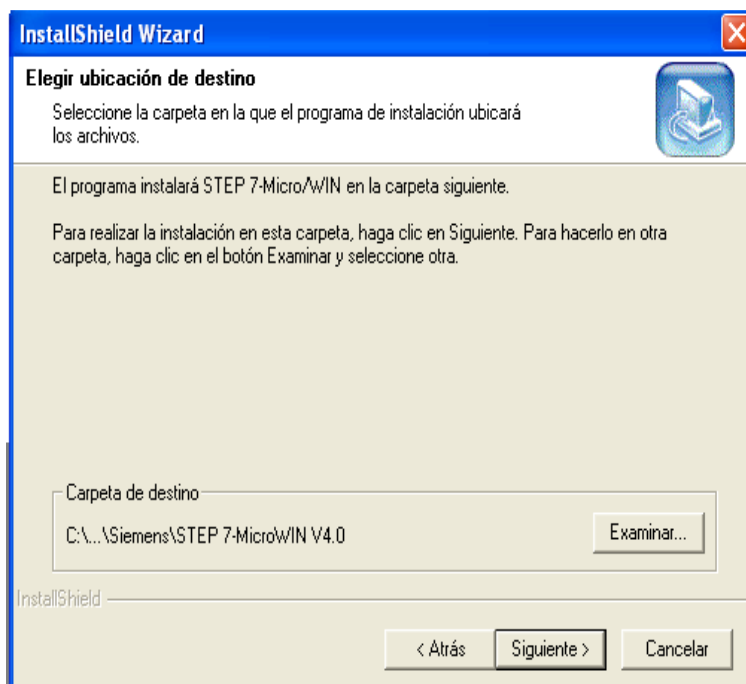


Figura I. Carpeta de destino

Fuente:Software STEP 7-Micro/WIN

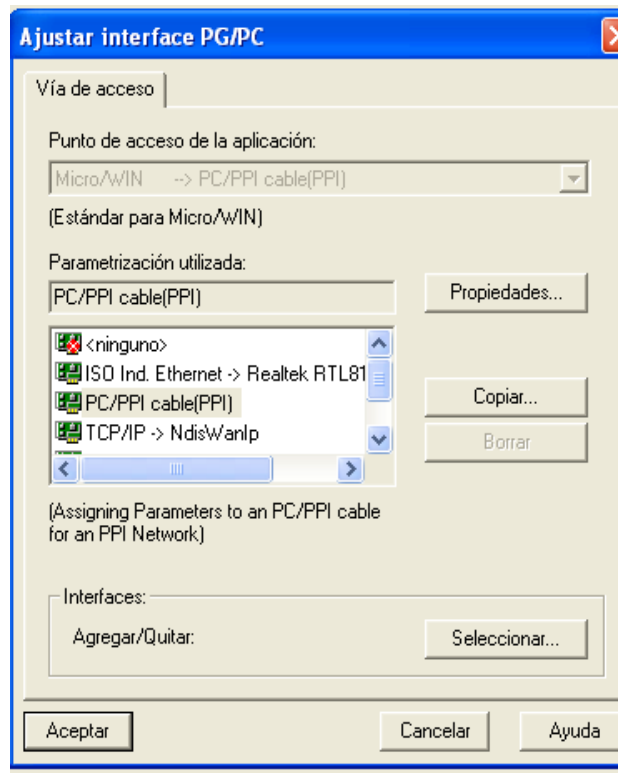


Figura J. Ajuste interface PG/PC
Fuente:Software STEP 7-Micro/WIN

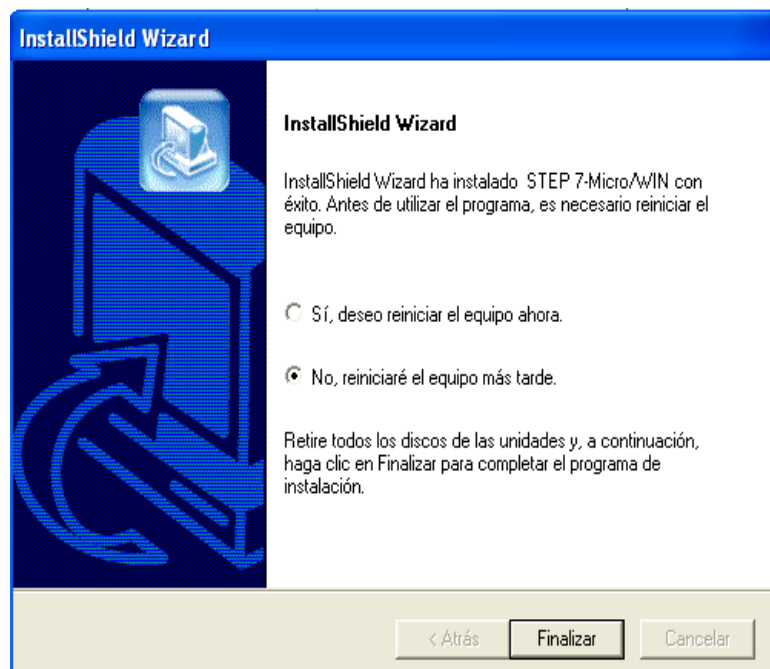


Figura K. Fin de la instalación
Fuente:Software STEP 7-Micro/WIN

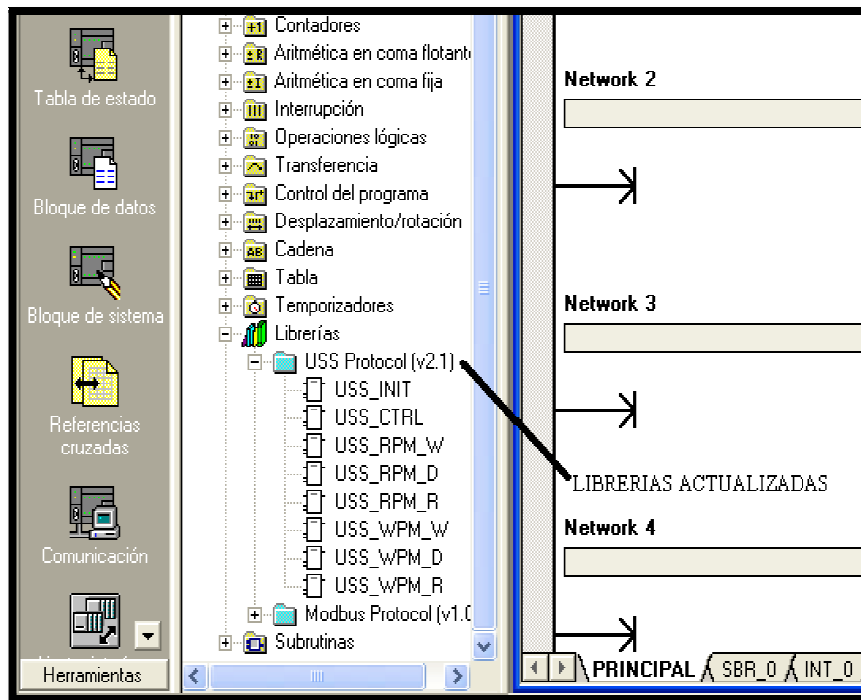


Figura L. Librerías actualizadas

Fuente:Software STEP 7-Micro/WIN



ANEXO B



GUÍA DE LABORATORIO

TEMA: Control de velocidad de un motor trifásico utilizando el variador de velocidad Micromaster 440 mediante comunicación USS.

TRABAJO PREPARATORIO

- a) Consultar que es comunicación USS.
- b) Explique cuáles son las funciones básicas para el control del variador de velocidad Micromaster 440.
- c) Como se inicializa un variador Micromaster en sus parámetros de fábrica.

OBJETIVOS:

- Implementar un Protocolo USS (Interface en serie universal) para el control de velocidad de un motor trifásico, utilizando el PLC S7-200 existente en el laboratorio de Control Industrial.
- Controlar la velocidad del motor trifásico mediante el potenciómetro del PLC S7-200 con una variación de 0 a 100%.
- Comprobar el funcionamiento del variador de velocidad Micromaster 440.

MATERIALES:

- Variador de velocidad Micromaster 440
- Cable de comunicación USS (Interface en serie universal).

- PC con el Software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7 (operadores del protocolo USS instalados)
- 3 Resistencias de 1.5 kΩ, 120Ω, 470
- Motor trifásico
- Cables para la conexión.

MARCO TEÓRICO

Variador de Velocidad.- Dispositivo electrónico para control infinito de velocidad en motores de corriente alterna.

Variador de Velocidad Micromaster 440

Los convertidores de la serie MICROMASTER 440 son convertidores defrecuencia para la regulación de par y velocidad en motores trifásicos. Losdiferentes modelos, que se suministran, cubren un margen de potencia desde 0,12kW hasta 200 kW (con par constante (CT)) o hasta 250 kW (con par variable (VT)).

Los convertidores están controlados por microprocesador y utilizan tecnología IGBT (InsulatedGate Bipolar Transistor) de última generación. Esto los hacefiables y versátiles. Un método especial de modulación por ancho de impulsos confrecuencia de pulsación seleccionable permite un funcionamiento silencioso delmotor. Extensas funciones de protección ofrecen una protección excelente tantodel convertidor como del motor.

El MICROMASTER 440, con sus ajustes por defecto realizados en fábrica, es idealpara una gran gama de aplicaciones sencillas de control de motores. El MICROMASTER 440 también puede utilizarse para aplicaciones más avanzadasde control de motores haciendo uso de su funcionalidad al completo.

El MICROMASTER 440 puede utilizarse tanto en aplicaciones donde se encuentreaislado como integrado en sistemas de automatización.

Variación de velocidad de Motores Trifásicos

La velocidad del motor depende de la frecuencia aplicada, así como del devanado del motor, y en menor medida de la carga aplicada, por lo tanto para controlar la velocidad de un motor es necesario controlar la frecuencia de alimentación.

Esto se consigue mediante la aplicación de dispositivos electrónicos conocidos como variador de velocidad, y son empleados a nivel industrial para baja, media y alta potencia.

El variador en la actualidad es un recurso muy empleado para cambiar la velocidad del motor industrial, ya que posee varias ventajas como:

- Protección del motor en sobrecargas,
- Buen par de arranque, etc.

Como aplicación tenemos que es empleado para escaleras mecánicas, puertas automáticas, máquinas que requieren variar la velocidad de motores.

PROCEDIMIENTO:

1. Realizar en el tablero las conexiones que se observan en las siguientes figuras:

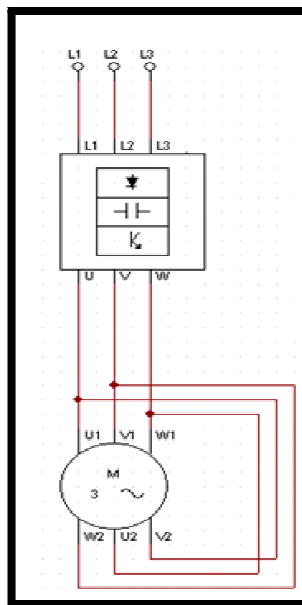


Figura A. Conexiones de potencia entre el variador de velocidad y el motor

Elaborado Por: Ricardo Taipanta

Estas conexiones alimentan al variador de velocidad y al motor trifásico con una tensión de 220V.

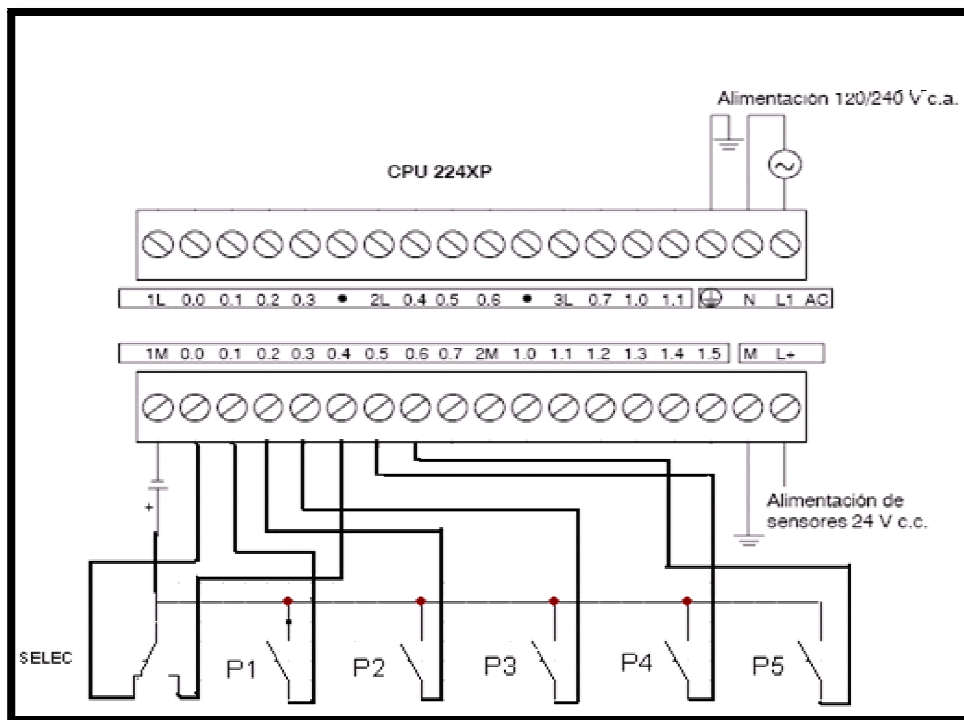


Figura B. Conexiones de control en el S7-200

Elaborado Por: Ricardo Taipanta

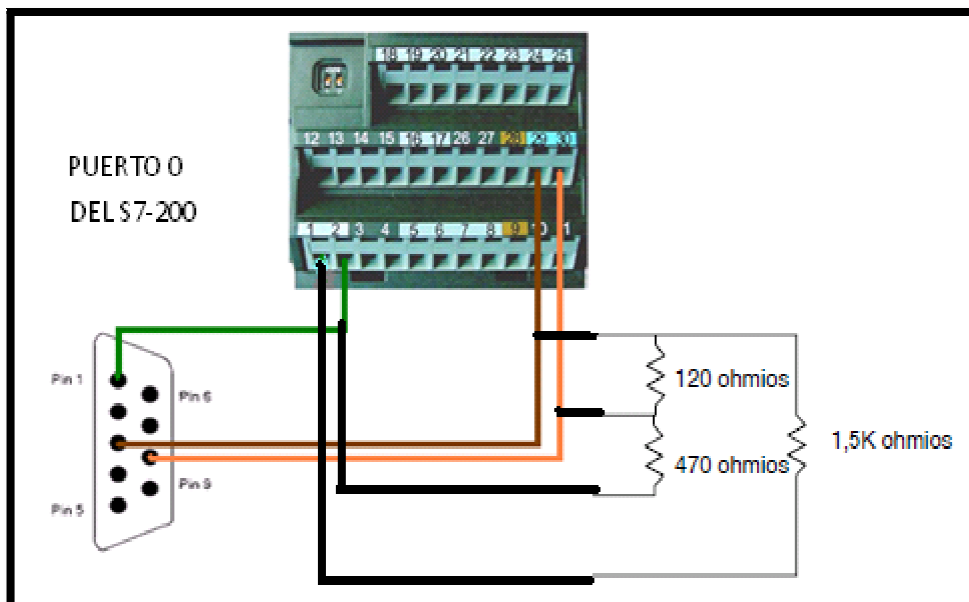


Figura C. Conexiones de comunicación USS entre el S7-200 y el Micromaster 440

Elaborado Por: Ricardo Taipanta

2.- Ingresar los siguientes parámetros al variador mediante el BOP.

Tabla 2.1. Parámetros de configuración del Micromaster 440

FUNCIÓN	PARÁMETRO
Restablece los ajustes de fabrica	P0010 = 30 y P0970=1
Habilita el acceso de lectura/ escritura a todos los parámetros	P0003=3 (modo avanzado)
Ajustes del motor	
Tensión nominal del motor (V)	P0304=220 V
Intensidad nominal del motor (A)	P0305=2 A
Potencia nominal del motor (W)	P0307=750 W
Frecuencia nominal del motor (Hz)	P0310=60 Hz
Velocidad nominal del motor (rpm)	P0311=3600 rpm
NOTA: Para poder configurar los parámetros P304, P305, P307, P310 y P311, deberá ajustar primero el parámetro P010 a "1" (modo de puesta en servicio rápida). Tras concluir la configuración, ajuste el parámetro P010 a "0". Los parámetros P304, P305, P307, P310 y P311 sólo se pueden cambiar en el modo de modo de puesta en servicio rápida.	
Para el control de todas las funciones del variador de frecuencia	
Ajusta el modo del control	P0700 = 5
Selecciona la consigna de frecuencia a USS en el puerto COM	P1000 = 5
Tiempo de aceleración	P1120=0 a 650s (opcional)
Tiempo de desaceleración	P1121=0 a 650s (opcional)
Ajusta la frecuencia de referencia del puerto serie	P2000=1 a 650 Hz
Ajusta la normalización USS	P2009=0
Ajusta la velocidad de transferencia del puerto serie RS-485	P2010=7
Introduce la dirección del esclavo	P2011=0
Ajusta el timeout del puerto serie	P2014=0
Transfiere los datos de la RAM a la EPROM e inicia la transferencia	P0971=1

Fuente: Manual del sistema de automatización S7-200

Elaborado por: Taipanta Serna Polo Ricardo

Estos parámetros configurar al variador de velocidad para el Protocolo de comunicación USS.

4.- Abrir un nuevo programa en el Software Step 7 Micro/WIN 4.0 SP 7 y realizar el siguiente programa que se muestra en la figura D.

NOTA: La librería de operación del protocolo USS debe estar previamente cargada.

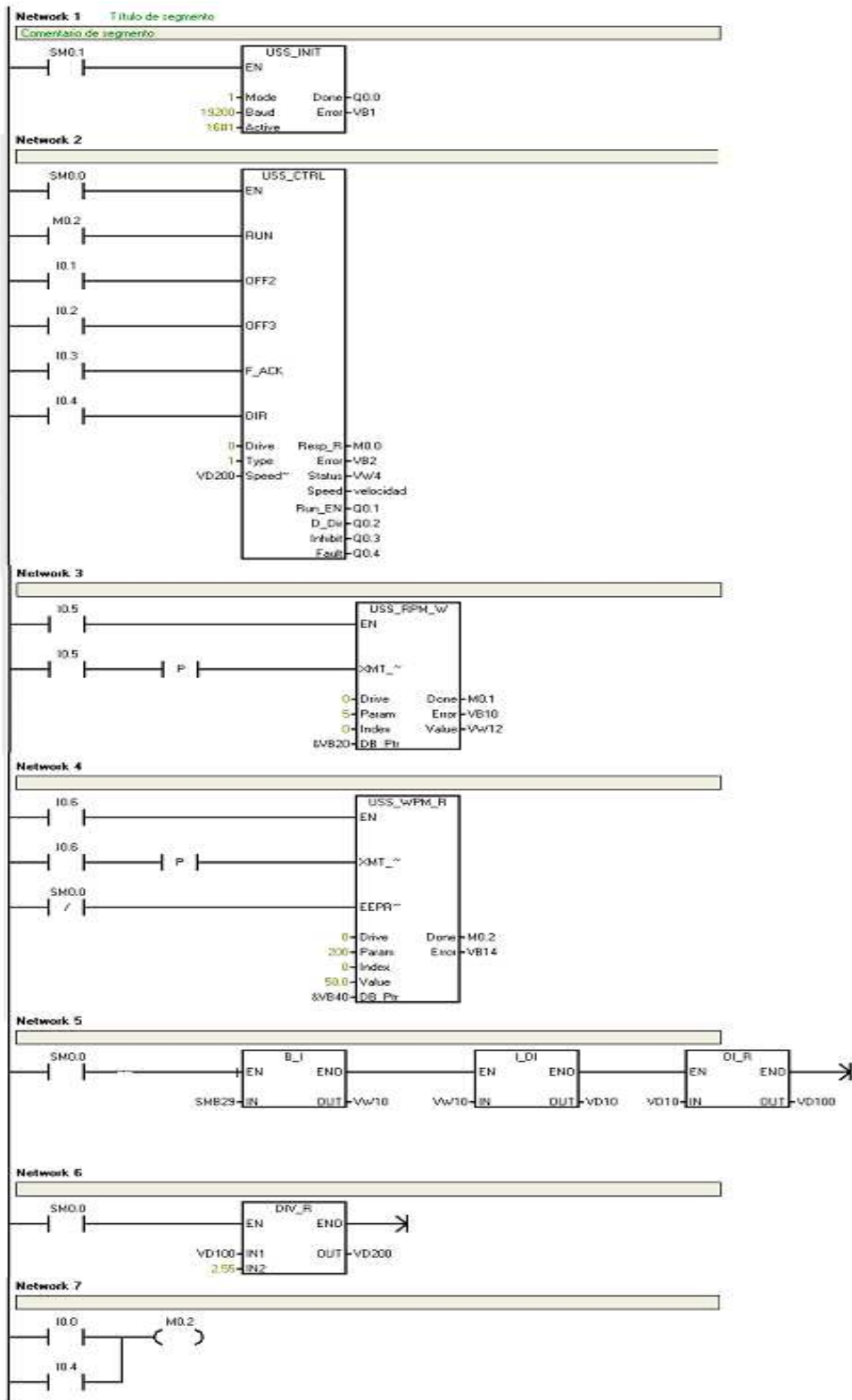


Figura D. Programación del protocolo USS

Elaborado Por: Ricardo Taipanta

5.- Compilar el programa y luego transferirlo al S7-200

6.-Realizar las siguientes pruebas:

- Colocar el valor de del potenciómetro en cero
- Incrementar el valor del potenciómetro paulatinamente hasta su valor máximo.
- Invertir el giro del motor cambiando de posición el selector.
- Observar el tiempo de desaceleración y aceleración del motor.
- Observar las diferentes funciones del variador mediante el BOP(Basic Operator Panel)

7.-Restablecer valores de fábrica del variador de velocidad.

Para restablecer los valores de fabrica del variador de velocidad se debe ingresar los parámetros P0010 = 30 y P0970=1.

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

¿Para qué sirven las resistencias de cierre y polarización en la comunicación USS y en de manera se colocan?

¿Cómo se restablecen los valores de fábrica?

¿Para qué sirve la comunicaciónUSS?

Describe la tablade valores de conversión parael control de velocidad.

CONCLUSIONES:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

RECOMENDACIONES:

.....
.....
.....
.....
.....

BIBLIOGRAFIA:

ANEXO C

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL VARIADOR DE VELOCIDAD MICROMASTER 440

Los convertidores de la serie MICROMASTER 440 son convertidores de frecuencia para la regulación de par y velocidad en motores trifásicos. Los diferentes modelos, que se suministran, cubren un margen de potencia desde 0,12Kw hasta 200 Kw (con par constante (CT)) o hasta 250 Kw (con par variable (VT)).

Los convertidores están controlados por microprocesador y utilizan tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última generación. Esto los hace fiables y versátiles. Un método especial de modulación por ancho de impulsos de frecuencia de pulsación seleccionable permite un funcionamiento silencioso del motor. Extensas funciones de protección ofrecen una protección excelente tanto del convertidor como del motor.

El MICROMASTER 440, con sus ajustes por defecto realizados en fábrica, es ideal para una gran gama de aplicaciones sencillas de control de motores. El MICROMASTER 440 también puede utilizarse para aplicaciones más avanzadas de control de motores haciendo uso de su funcionalidad al completo. El MICROMASTER 440 puede utilizarse tanto en aplicaciones donde se encuentre aislado como integrado en sistemas de automatización.



Figura A. Variador de Frecuencia MICROMASTER 440

Fuente: Laboratorio de Control Industrial del ITSA

CARACTERÍSTICAS:

Características principales

- Fácil de instalar
- Puesta en marcha sencilla
- 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 una gama extensa de aplicaciones.
- Conexión sencilla de cables
- 3 relés de salida
- 2 salidas analógicas (0 – 20 mA)
- 6 entradas digitales NPN/PNP aisladas y conmutables
- 2 entradas analógicas:
 - ADC1: 0 – 10 V, 0 – 20 mA y -10 a +10 V
 - ADC2: 0 – 10 V, 0 – 20 mA
- Las 2 entradas analógicas se pueden utilizar como la 7ª y 8ª entrada digital
- Diseño modular para configuración extremadamente flexible

- Altas frecuencias de pulsación (según convertidor, hasta 16 kHz) para funcionamiento silencioso del motor.
- Interface interna RS485
- Información de estado detallada y funciones de mensaje integradas

Prestaciones:

- ✓ Control vectorial
 - ✓ in sensores (SLVC)
 - ✓ con emisor (VC)
- ✓ Control U/f
- ✓ Control de flujo corriente FCC (flux current control) para una mejora de la respuesta dinámica y control del motor.
- ✓ Característica U/f multipunto
- ✓ Rearranque automático
- ✓ Rearranque al vuelo
- ✓ Compensación de deslizamiento
- ✓ Limitación rápida de corriente FCL (fastcurrentlimitation) para funcionamiento libre de disparos intempestivos
- ✓ Freno de mantenimiento del motor
- ✓ Freno por inyección de corriente continua integrado
- ✓ Frenado compuesto o combinado para mejorar las prestaciones del frenado
- ✓ Freno estrangulador integrado (Tamaños constructivos A hasta F) para frenado dinámico
- ✓ Prescripción de consignas a través de:
- ✓ Entradas analógicas
- ✓ Interface de comunicación
- ✓ Función JOG
- ✓ Potenciómetro motorizado
- ✓ Frecuencias fijas
- ✓ Emisor de velocidad máxima
 - ✓ Con redondeado

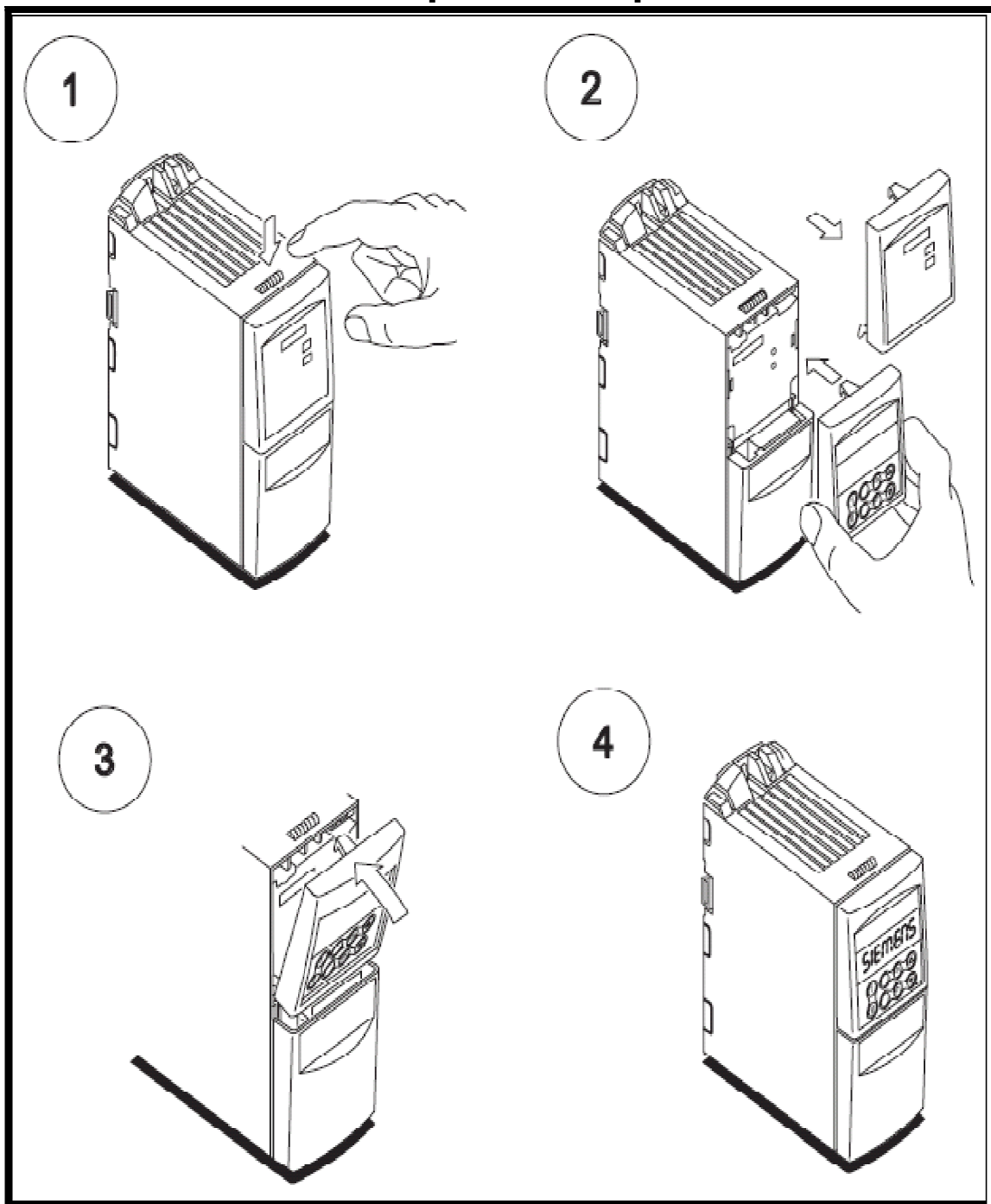
- ✓ Sin redondeado
- ✓ Control en lazo cerrado utilizando una función PID (proporcional, integral y diferencial), con autoajuste
- ✓ Juego de parámetros de conmutación
- ✓ Juegos de datos del motor (DDS)
- ✓ Juegos de datos de órdenes y fuentes de datos teóricos (CDS)
- ✓ Chips con funciones libres
- ✓ Regulador de tensión del circuito intermedio
- ✓ Memoria tampón dinámica
- ✓ Rampa de bajada seleccionable ((rampas de subida y bajada seleccionables))

Características de protección

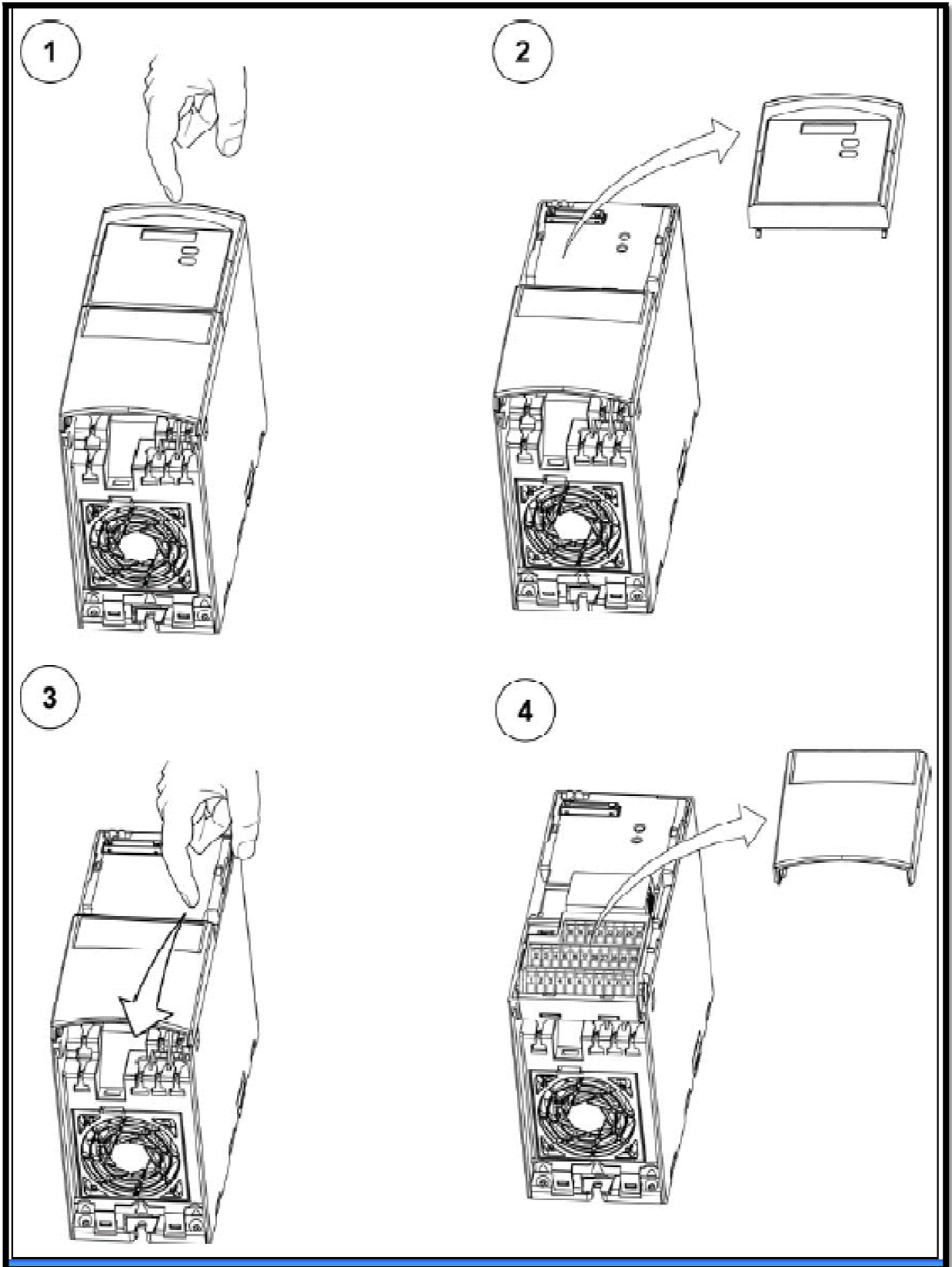
- ✚ Protección de sobretensión/mínima tensión
- ✚ Protección de sobretemperatura para el convertidor
- ✚ Protección de defecto a tierra
- ✚ Protección de cortocircuito
- ✚ Protección térmica del motor por i^2t
- ✚ Protección del motor mediante sondas PTC/ KTY84

ANEXO D
MANERAS DE MANIPULAR EL VARIADOR DE VELOCIDAD
MICROMASTER 440

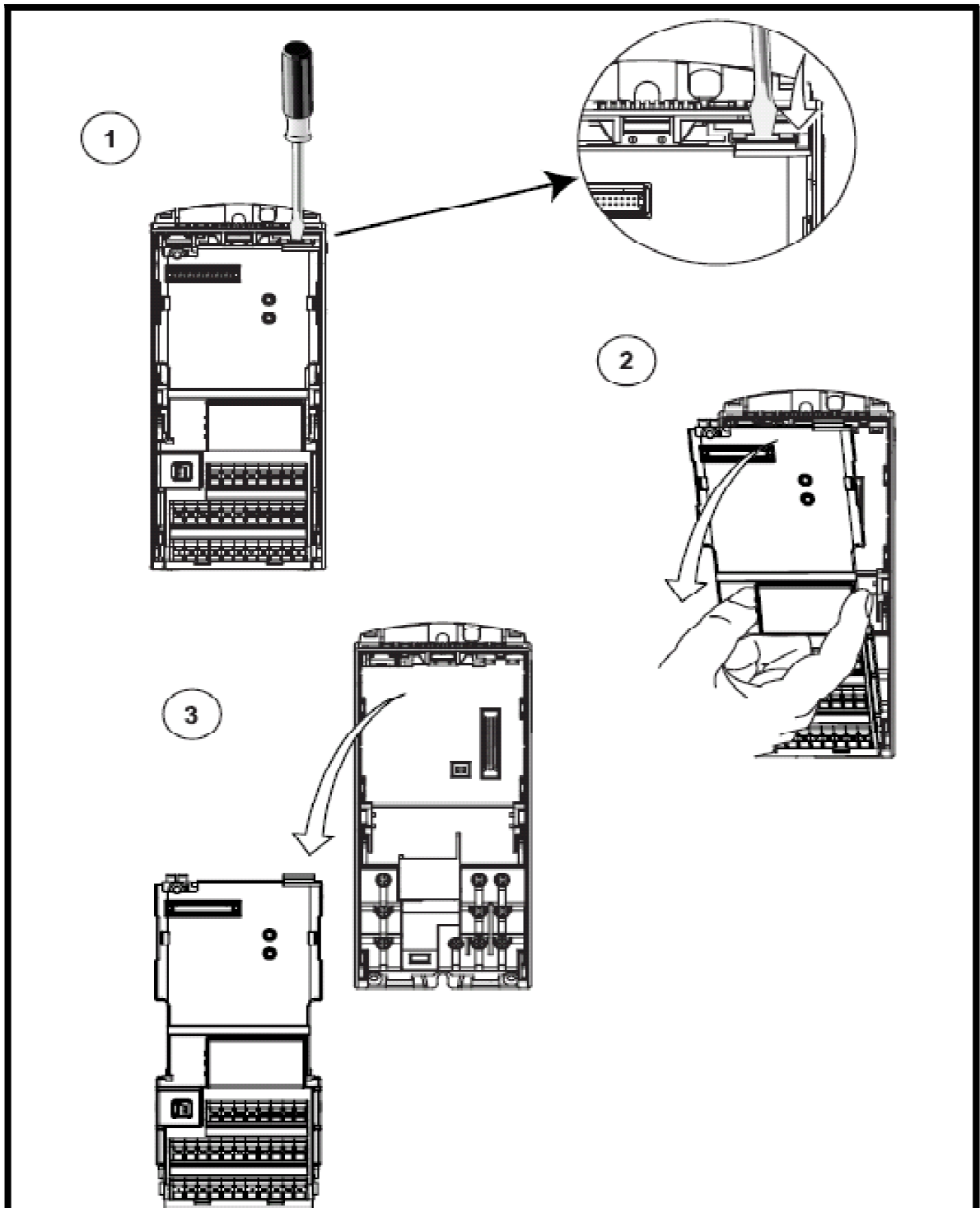
Cambiar el panel de operador



Retirar las tapas frontales



Sacar la tarjeta E/S



ANEXO E



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO



ANTEPROYECTO DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Qué efecto provoca la falta de conocimiento sobre las ventajas de los variadores de velocidad en la preparación profesional de los estudiantes de la Carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica del ITSA.

POSTULANTE:

A/C.Taipanta Serna Polo Ricardo

31 de mayo del 2011

DATOS REFERENCIALES:

INSTITUCIÓN:

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

ÁREA DE INFLUENCIA A LA QUE PERTENECE EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

ESCENARIO CORRESPONDIENTE AL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

Fecha de presentación:

Latacunga, 31 de mayo del 2011

Responsable del trabajo de graduación:

A/C. Taipanta Serna Polo Ricardo

Director de trabajo de graduación:

Ing. Pablo Pilatasig

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema.

El constante desarrollo de la tecnología dentro de la industria, exige una actualización periódica de conocimientos en las Instituciones de Educación Superior que cuenten con la Carrera de Electrónica, los mismos se ven reflejados en sus egresados, como es la poca familiarización con los equipos y sistemas modernos que existen en el campo industrial.

En la carrera de Electrónica (Mención Instrumentación y Aviónica) del ITSA existen laboratorios que son utilizados para el aprendizaje práctico de los estudiantes, sin embargo se ha evidenciado la falta de integración de equipos tecnológicos que puedan aportar con conocimientos prácticos (industriales) para su enseñanza.

Al dar una solución, los estudiantes podrán realizar prácticas que complementen su conocimiento teórico, lo cual puede favorecer a futuro en un mejor desempeño profesional.

1.2 Formulación del problema

¿Qué efecto provoca la falta de conocimiento sobre las ventajas de los variadores de velocidad en la preparación profesional de los estudiantes de la Carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica del ITSA?

1.3 Justificación e Importancia

En la carrera de Electrónica sus actividades académicas requieren un alto grado de eficiencia, por lo cual es necesario capacitar a los alumnos con un óptimo nivel de conocimientos prácticos, esto se logrará mediante la existencia de una buena infraestructura (laboratorios y talleres) y personal docente calificado; para un mejor ámbito laboral en cualquier institución o empresa.

Actualmente el avance tecnológico va desarrollando nuevos y mejores equipos e instrumentos en el campo de la Electrónica, es necesario que el ITSA realice una optimización de sus laboratorios, ya que de este modo los estudiantes podrán adquirir mayores conocimientos prácticos, para complementar el conocimiento teórico impartido en las aulas.

Por todo lo anteriormente descrito, es importante la optimización de los laboratorios, ya que de esta manera se podrá mejorar el aprendizaje teórico-práctico de los Alumnos/as. Tomando en cuenta la disponibilidad económica, técnica, operacional u organizacional de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos y metas señaladas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Realizar un estudio técnico para la optimización del laboratorio de Control Industrial y de esta manera mejorar el aprendizaje técnico- práctico de los alumnos/as de la Carrera de Electrónica en el ITSA.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer la forma de optimizar el funcionamiento del Laboratorio de Control Industrial del ITSA.
- Obtener información necesaria para realizar de manera adecuada el desarrollo del trabajo investigativo.
- Obtener un análisis del actual estado y funcionamiento del Laboratorio de Máquinas y Control Industrial del ITSA.
- Determinar los actuales requerimientos y procedimientos para el desarrollo de las prácticas de los estudiantes en el laboratorio de Control Industrial.

1.5 Alcance

La investigación se realizará en el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico ubicado en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, cuyos involucrados, serán los estudiantes, docentes de la Carreara de Electrónica, así como también aquellas personas de la institución que puedan aportar en el desenvolvimiento normal de la investigación, que tendrá como objetivo, aportar en el proceso enseñanza-aprendizaje académico para lograr explotar al máximo las habilidades y destrezas de cada uno de los alumnos, en la manipulación de equipos utilizados en la industria moderna.

CAPÍTULO II

2. PLAN METODOLÓGICO

2.1 Modalidad básica de la investigación

Para conseguir un resultado eficiente del trabajo de investigación se utilizará las siguientes modalidades básicas:

- **De Campo (Participante, Estructurada, Individual):** debido a que se realizará en el sitio de desarrollo del proyecto, consultando fuentes primarias para tener la información de acuerdo a los objetivos del anteproyecto llevando a cabo la investigación que permita recabar los principales aspectos procurando realizarlos de tal manera que sea de ayuda a la carrera de Electrónica.
- **Bibliográfica Documental:** se podrá distinguir toda la información escrita rescatada de libros, Internet u otros proyectos similares existentes en bibliotecas o centros de información, las mismas que al compararlas ayuden a definir de una manera explícita lo necesario para el trabajo de investigación.

2.2 Tipos de investigación

No Experimental.- Consiste en llegar a conocer situaciones de una forma más habitual y acorde a la realidad por medio de la investigación puntual de los procesos, actividades, objetos que ya ocurrieron en el entorno real.

2.3 Niveles de la investigación

Exploratorio.- Permitirá familiarizarse con un fenómeno poco estudiado y aportar con ideas que ayudaran con la forma correcta de abordar una investigación en particular.

Esta investigación se la realizara con la finalidad de desarrollar nuevos métodos, y generando nuevas hipótesis para evitar pérdida de tiempo y recursos para mayor comprensión de la investigación.

Descriptivo.-Permite buscar y definir detalladamente las causas que ocasionan el problema, especificando cada una de las consecuencias y de cómo se manifiesta en las personas involucradas, las mismas que estarán sujetas al estudio de investigación para definir alguna vía de solución posible.

2.4 Universo, población y muestra

El presente desarrollo del estudio investigativo será efectuado en la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga en donde se tomara como universo al personal civil y militar que trabaja y estudia en el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

La población en este para esta investigación estará conformada por el personal civil y militar de la carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica que utilizan el laboratorio de Control Industrial.

La muestra (no probabilística) mediante la cual se realizará la investigación, se optará de acuerdo al propósito del trabajo investigativo, ya que se elegirá a las personas vinculadas para realizar la investigación.

2.5 RECOLECCIÓN DE DATOS

La recopilación de datos se lo consumará tras la identificación de las fuentes que proveerán información, para la cual se recurrirá al empleo de técnicas de campo y bibliográficas, que después de ser analizada contribuirán con soluciones para el problema propuesto.

2.5.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- ✓ **Bibliográfica:** Se utilizará esta técnica, ya que será importante examinar libros, manuales, trabajos de grado realizados anteriormente, también cualquier información de Internet, todas serán consideradas como herramientas que servirán para respaldar el antecedente investigativo.

- ✓ **De Campo:** Esta técnica permitirá obtener información primaria y real entre las cuales se tiene:
 - La observación, la cual permitirá estar en el lugar de los hechos, con prioridad al laboratorio de Instrumentación Virtual y con los entes relacionados con el mismo, en este caso docentes y alumnos.

 - La entrevista, dirigida a los docentes los cuales se encuentran en contacto permanente con el laboratorio, aportan con su opinión y datos técnicos que serán de mucha ayuda al momento de completar nuestro trabajo de investigación.

 - La encuesta, la cual se realizará por medio de su instrumento que es el cuestionario de acuerdo a la muestra no probabilística, tabulando los datos obtenidos para una mejor interpretación. Esto permitirá acercarse a los fenómenos del problema y extraer información para contribuir al desarrollo del trabajo investigativo dirigiéndose directamente con los alumnos.

2.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

El procesamiento de la información se obtendrá considerando los resultados obtenidos al aplicar las técnicas de campo y bibliográficas, para poder analizarlos de acuerdo a su grado de importancia, efectuando una revisión crítica de la información recogida y eliminando los datos defectuosos, contradictorios, incompletos o no pertinentes.

2.7 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez recopilada y tabulada la información necesaria, se la analizará para representarla de manera gráfica, la magnitud de los datos con el significado de los mismos, para poder relacionarlos con el marco teórico por medio de:

- Descripción de los resultados
- Analizar los objetivos propuestos con los resultados para saber si existe relación entre los mismos.
- Elaborar una síntesis de resultados.

2.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones se desarrollarán para puntualizar cada una de las causas y posibles soluciones del problema, para contribuir a la mejora académica de los estudiantes de la Carrera de Electrónica del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, las mismas que serán extraídas del objetivo general y de los objetivos específicos, después de todo el proceso investigativo.

Como también las recomendaciones que serán extraídas de las sugerencias propuestas, dentro de las técnicas investigativas que se aplicarán a todos los involucrados en el problema a analizar.

Las conclusiones y recomendaciones se obtendrán una vez terminado este trabajo de investigación.

CAPÍTULO III

3 EJECUCIÓN DEL PLAN METODOLÓGICO

3.1 Marco Teórico

3.1.1 Antecedentes de la investigación

Gracias a la recopilación de información obtenida de los proyectos de grado se fomentó la base para la investigación del tema propuesto, a continuación se detallan los proyectos de grado utilizados:

El primer proyecto fue realizado el octubre del 2007 por el A/C Cristian Vinicio LlumigusínYambay que consiste en la “IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI/SCADA QUE PERMITA LA VARIACION DE VELOCIDAD DE UM MOTOR AC TRIFÁSICO”¹⁸.

El segundo proyecto realizado en Octubre del 2009 por el A/C Mario Javier Carrera Amores que consiste en la “IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO PARA EL CONTROL DE MOTORES MONOFÁSICOS MEDIANTE EL USO DE CONTACTORES CON SUS RESPECTIVAS GUÍAS DE LABORATORIO”¹⁹.

El tercero proyecto realizado en Noviembre del 2009 por el Cbos. Guanín Alomoto Roberto Eduardo que consiste en la “IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO PARA UN CONTROL DE MOTORES TRIFASICOS MEDIANTE SENSORES INDUCTIVOS Y DOS APLICACIONES CON SUS RESPECTIVAS GUIAS DE LABORATORIO”²⁰.

El cuarto proyecto realizado en Noviembre del 2009 por el A/C. Fierro

¹⁸Proyecto de grado elaborado por el A/C.Cristian Vinicio LlumigusínYambay

¹⁹Proyecto de grado elaborado por el A/C. Mario Javier Carrera Amores

²⁰Proyecto de grado elaborado por el Cbos. Guanín Alomoto Roberto Eduardo

Jarrín Santiago Andrés que consiste en la “IMPLEMENTACIÓN DE MODULOS VARIADORES DE VELOCIDAD PARA MOTORES TRIFASICOS Y ELABORACION DE GUIAS DE LABORATORIO”²¹.

El quinto proyecto realizado en Noviembre del 2009 por el Cbos. Sánchez Banguera Luis Fernando que consiste en la “IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO PARA EL CONTROL DE MOTORES TRIFÁSICOS MEDIANTE SENSORES FOTOELÉCTRICOS Y DOS APLICACIONES CON SUS RESPECTIVAS GUÍAS DE LABORATORIO”²².

El sexto proyecto fue realizado en octubre del 2010 por A/C GanchalaQuishpe Francisco Santiago que consiste en la “IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN PROFIBUSDP CON SUS RESPECTIVAS GUIAS DE LABORATORIO”²³.

3.1.2 Fundamentación teórica

Introducción

Una gran parte de los equipos utilizados en la industria moderna funcionan a velocidades variables, como por ejemplo los trenes laminadores, los mecanismos de elevación, las máquinas-herramientas, etc. En los mismos se requiere un control preciso de la velocidad para lograr una adecuada productividad, una buena terminación del producto elaborado, o garantizar la seguridad de personas y bienes.

El estudio de este fenómeno para cada caso particular tiene una gran importancia práctica, ya que la elección correcta de las características de los motores y variadores a instalar para un servicio determinado, requieren el conocimiento de las particularidades de éste producto.

La regulación de velocidad puede realizarse por métodos mecánicos, como poleas o engranajes, o por medios eléctricos.

²¹Proyecto de grado elaborado por el A/C. Fierro Jarrín Santiago Andrés

²²Proyecto de grado elaborado por el Cbos. Sánchez Banguera Luis Fernando.

²³Proyecto de grado elaborado por el A/C GanchalaQuishpe Francisco Santiago

La máquina de inducción alimentada con corriente C.A., especialmente la que utiliza un rotor en jaula de ardilla, es el motor eléctrico más común en todo tipo de aplicaciones industriales y el que abarca un margen de potencias mayor. Pero no basta conectar un motor a la red para utilizarlo correctamente, sino que existen diversos elementos que contribuyen a garantizar un funcionamiento seguro.

La fase de arranque merece una especial atención. El par debe ser el necesario para mover la carga con una aceleración adecuada hasta que se alcanza la velocidad de funcionamiento en régimen permanente, procurando que no aparezcan problemas eléctricos o mecánicos capaces de perjudicar al motor, a la instalación eléctrica o a los elementos que hay que mover.

El motor de corriente alterna, a pesar de ser un motor robusto, de poco mantenimiento, liviano e ideal para la mayoría de las aplicaciones industriales, tiene el inconveniente de ser un motor rígido en cuanto a su velocidad. La velocidad del motor asíncrono depende de la forma constructiva del motor y de la frecuencia de alimentación. Como la frecuencia de alimentación que entregan las Compañías de electricidad es constante, la velocidad de los motores asíncronos es constante, salvo que se varíe el número de polos, el resbalamiento o la frecuencia.

El método más eficiente de controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador electrónico de frecuencia. No se requieren motores especiales, son mucho más eficientes y tienen precios cada vez más competitivos.

El variador de frecuencia regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad. Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la

saturación del flujo magnético con una elevación de la corriente que dañaría el motor.²⁴

El Variador de Velocidad(VSD, por sus siglas en inglés *Variable Speed Drive*) es en un sentido amplio un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores. También es conocido como Accionamiento de Velocidad Variable (ASD, también por sus siglas en inglés Adjustable-Speed Drive). De igual manera, en ocasiones es denominado mediante el anglicismo Drive, costumbre que se considera inadecuada.

La maquinaria industrial generalmente es accionada a través de motores eléctricos, a velocidades constantes o variables, pero con valores precisos. No obstante, los motores eléctricos generalmente operan a velocidad constante o casi-constante, y con valores que dependen de la alimentación y de las características propias del motor, los cuales no se pueden modificar fácilmente.

Para lograr regular la velocidad de los motores, se emplea un controlador especial que recibe el nombre de variador de velocidad. Los variadores de velocidad se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales, como en ventiladores y equipo de aire acondicionado, equipo de bombeo, bandas y transportadores industriales, elevadores, llenadoras, tornos y fresadoras, etc.

Un variador de velocidad puede consistir en la combinación de un motor eléctrico y el controlador que se emplea para regular la velocidad del mismo. La combinación de un motor de velocidad constante y de un dispositivo

²⁴<http://html.rincondelvago.com/0006251215.png>

mecánico que permita cambiar la velocidad de forma continua (sin ser un motor paso a paso) también puede ser designado como variador de velocidad.

Razones para usar un variador de velocidad.

El control de procesos y el ahorro de la energía son las dos de las principales razones para el empleo de variadores de velocidad. Históricamente, los variadores de velocidad fueron desarrollados originalmente para el control de procesos, pero el ahorro energético ha surgido como un objetivo tan importante como el primero.

Entre las diversas ventajas en el control del proceso proporcionadas por el empleo de variadores de velocidad destacan:

- Operaciones más suaves.
- Control de la aceleración.
- Distintas velocidades de operación para cada fase del proceso.
- Compensación de variables en procesos variables.
- Permitir operaciones lentas para fines de ajuste o prueba.
- Ajuste de la tasa de producción.
- Permitir el posicionamiento de alta precisión.
- Control del Par motor (torque).

Una ventaja muy importante y que no debemos pasar por alto es el mejor aprovechamiento de la energía, por tanto un equipo accionado mediante un variador de velocidad emplea generalmente menor energía que si dicho equipo fuera activado a una velocidad fija constante. Los ventiladores y bombas representan las aplicaciones más llamativas. Por ejemplo, cuando una bomba es impulsada por un motor que opera a velocidad fija, el flujo producido puede ser mayor al necesario. Para ello, el flujo podría regularse mediante una válvula de control dejando estable la velocidad de la bomba, pero resulta mucho más eficiente regular dicho flujo controlando la velocidad del motor, en lugar de

restringirlo por medio de la válvula, ya que el motor no tendrá que consumir una energía no aprovechada.

Tipos de variadores de velocidad.

En términos generales, puede decirse que existen tres tipos básicos de variadores de velocidad: mecánicos, hidráulicos y eléctrico-electrónicos. Dentro de cada tipo pueden encontrarse más subtipos, que se detallarán a continuación. Cabe aclarar que los variadores más antiguos fueron los mecánicos, que se emplearon originalmente para controlar la velocidad de las ruedas hidráulicas de molinos, así como la velocidad de las máquinas de vapores.

Los variadores de velocidad mecánicos e hidráulicos generalmente son conocidos como transmisiones cuando se emplean en vehículos, equipo agroindustrial o algunos otros tipos de maquinaria.

Variadores mecánicos

- Variadores de paso ajustable: estos dispositivos emplean poleas y bandas en las cuales el diámetro de una o más poleas puede ser modificado.
- Variadores de tracción: transmiten potencia a través de rodillos metálicos. La relación de velocidades de entrada/salida se ajusta moviendo los rodillos para cambiar las áreas de contacto entre ellos y así la relación de transmisión.

Variadores hidráulicos

- Variador hidrostático: consta de una bomba hidráulica y un motor hidráulico (ambos de desplazamiento positivo). Una revolución de la bomba o el motor corresponde a una cantidad bien definida de volumen del fluido manejado. De esta forma la velocidad puede ser controlada mediante la regulación de una válvula de control, o bien, cambiando el desplazamiento de la bomba o el motor.

- Variador hidrodinámico: emplea aceite hidráulico para transmitir par mecánico entre un impulsor de entrada (sobre un eje de velocidad constante) y un rotor de salida (sobre un eje de velocidad ajustable). También llamado acoplador hidráulico de llenado variable.

- Variador hidrovicoso: consta de uno o más discos conectados con un eje de entrada, los cuales estarán en contacto físico (pero no conectados mecánicamente) con uno o más discos conectados al eje de salida. El par mecánico (torque) se transmite desde el eje de entrada al de salida a través de la película de aceite entre los discos. De esta forma, el par transmitido es proporcional a la presión ejercida por el cilindro hidráulico que presiona los discos.

Variadores eléctrico-electrónicos

Existen cuatro categorías de variadores de velocidad eléctrico electrónicos:

- Variadores para motores de CC
- Variadores de velocidad por corrientes de Eddy
- Variadores de deslizamiento
- Variadores para motores de CA conocidos como variadores de frecuencia.

Los variadores eléctrico-electrónicos incluyen tanto el controlador como el motor eléctrico, sin embargo es práctica común emplear el término variador únicamente al controlador eléctrico.

Los primeros variadores de esta categoría emplearon la tecnología de los tubos de vacío. Con los años después se han ido incorporando dispositivos de estado sólido, lo cual ha reducido significativamente el volumen y costo, mejorando la eficiencia y confiabilidad de los dispositivos.

Variadores para motores de CC

Estos variadores permiten controlar la velocidad de motores de Corriente continua serie, derivación, compuesto y de imanes permanentes. Para el caso de cualquiera de las máquinas anteriores se cumple la siguiente expresión:

$$V_t = K \cdot FM \cdot Nm$$

Donde:

V_t Voltaje terminal (V).

K Constante de la máquina.

FM Flujo magnético producido por el campo (Wb)

Nm Velocidad mecánica (rpm).

Despejando la velocidad mecánica, se obtiene:

$$Nm = \frac{V_t}{K \cdot FM}$$

Entonces se puede observar que la velocidad mecánica de un motor de CC es directamente proporcional al voltaje terminal (V_t) e inversamente proporcional al flujo magnético (FM), el cual a su vez depende de la corriente de campo (I_f). Aprovechando esta situación es que este tipo de variadores puede controlar la velocidad de un motor de CC: controlando su voltaje terminal, o bien, manipulando el valor de la corriente de campo.

Variadores por corrientes de Eddy

Un variador de velocidad por corrientes de Eddy consta de un motor de velocidad fija y un embrague de corrientes de Eddy. El embrague contiene un rotor de velocidad fija (acoplado al motor) y un rotor de velocidad variable, separados por un pequeño entrehierro. Se cuenta, además, con una bobina de campo, cuya corriente puede ser regulada, la cual produce un campo magnético que determinará el par mecánico transmitido del rotor de entrada al rotor de salida. De esta forma, a mayor intensidad de campo magnético, mayor par y velocidad transmitidos, y a menor campo magnético menores serán el par y la velocidad en el rotor de salida. El control de la velocidad de salida de este tipo de variadores generalmente se realiza por

medio de lazo cerrado, utilizando como elemento de retroalimentación un tacómetro de CA.

Variadores de deslizamiento

Este tipo de variadores se aplica únicamente para los motores de inducción de rotor devanado. En cualquier motor de inducción, la velocidad mecánica (N_m) puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$N_m = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{P}$$

Variadores para motores de CA

Variador de frecuencia

Los variadores de frecuencia (siglas AFD, del inglés Adjustable Frequency Drive; o bien VFD Variable Frequency Drive) permiten controlar la velocidad tanto de motores de inducción (asíncronos de jaula de ardilla o de rotor devanado), como de los motores síncronos mediante el ajuste de la frecuencia de alimentación al motor.

- Para el caso de un motor síncrono, la velocidad se determina mediante la siguiente expresión:

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{P}$$

- Cuando se trata de motores de inducción, se tiene:

$$N_m = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{P}$$

Donde:

N_s = velocidad síncrona (rpm)

N_m = velocidad mecánica (rpm)

f = frecuencia de alimentación (Hz)

s = deslizamiento (a dimensional)

P = número de polos.

Como puede verse en las expresiones anteriores, la frecuencia y la velocidad son directamente proporcionales, de tal manera que al aumentar la frecuencia de alimentación al motor, se incrementará la velocidad de la flecha, y al reducir el valor de la frecuencia disminuirá la velocidad del eje. Por ello es que este tipo de variadores manipula la frecuencia de alimentación al motor afin de obtener el control de la velocidad de la máquina.

Estos variadores mantienen la razón Voltaje/ Frecuencia (V/Hz) constante entre los valores mínimo y máximos de la frecuencia de operación, 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 para proporcionar potencia constante de salida.

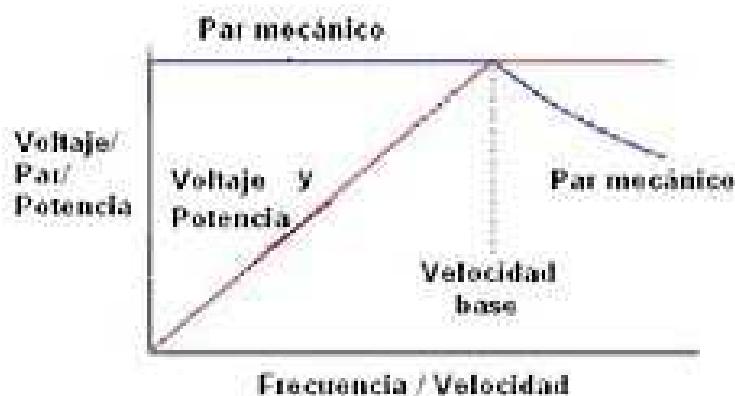


Fig.1 Relación par-velocidad para un variador de velocidad.

Fuente: Máster Universitario en Mantenimiento de Medios e Instalaciones Industriales
Realizado por: A/C Taipanta Serna Polo Ricardo

Principio de funcionamiento de un variador de frecuencia.

El motor usado en un sistema VFD es normalmente un motor de inducción trifásico. Algunos tipos de motores monofásicos pueden ser igualmente usados, pero los motores de tres fases son normalmente preferidos.

Varios tipos de motores síncronos ofrecen ventajas en algunas situaciones, pero los motores de inducción son más apropiados para la mayoría de propósitos y son generalmente la elección más económica. Motores diseñados para trabajar a velocidad fija son usados habitualmente, pero la mejora de los diseños de motores estándar aumenta la fiabilidad y consigue mejor rendimiento del VFD. (Variador de frecuencia).

Controlador del VFD

El controlador de dispositivo de variación de frecuencia está formado por dispositivos de conversión electrónicos de estado sólido. El diseño habitual primero convierte la energía de entrada CA en CC usando un puente rectificador. La energía intermedia CC es convertida en una señal casi senoidal de CA usando un circuito inversor conmutado. El rectificador es usualmente un puente trifásico de diodos, pero también se usan rectificadores controlados. Debido a que la energía es convertida en continua, muchas unidades aceptan entradas tanto monofásicas como trifásicas (actuando como un convertidor *de fase*, un variador de velocidad).

Tan pronto como aparecieron los interruptores semiconductores fueron introducidos en los VFD, ellos han sido aplicados para los inversores de todas las tensiones que hay disponible. Actualmente, los transistores bipolares de puerta aislada (IGBTs) son usados en la mayoría de circuitos inversores.

Las características del motor CA requieren la variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada. Por ejemplo, si un motor está diseñado para trabajar a 460 voltios a 60 Hz, el voltaje aplicado debe reducirse a 230 volts cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz. Así la relación voltios/hertzios deben ser regulados en un valor constante ($460/60 = 7.67$ V/Hz en este caso).

Para un funcionamiento óptimo, otros ajustes de voltaje son necesarios, pero nominalmente la constante es V/Hz es la regla general. El método más

novedoso y extendido en nuevas aplicaciones es el control devoltaje por PWM²⁵.

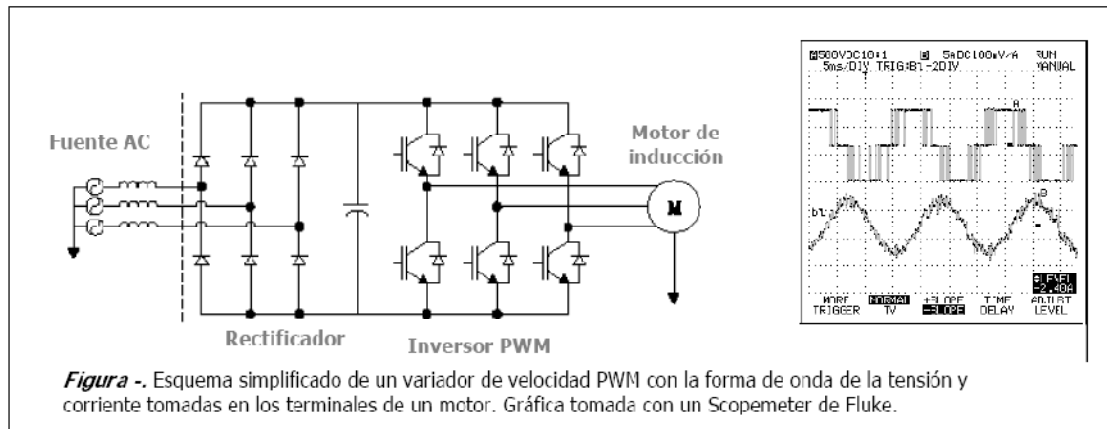


Fig.2 Diagrama de Variador de frecuencia con Modulación de Ancho de Pulso (PWM).

Fuente: Máster Universitario en Mantenimiento de Medios e Instalaciones Industriales
Realizado por: A/C Taipanta Serna Polo Ricardo

3.2 Modalidad básica de la investigación

Investigación de campo

Mediante la modalidad de campo se realizó la visita al laboratorio de Control Industrial del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, mediante la observación se pudo constatar las falencias de recursos tecnológicos en cuanto a equipos utilizados en las prácticas de sistemas automatizados.

Así como también se constató el tipo de material didáctico que existe en el laboratorio y procedimos a sacar una lista anotando lo siguiente:

Elementos que contiene el laboratorio de control industrial.

- Cuatro tableros didácticos de elementos para control industrial (relés, contactores, pulsadores, luces piloto, motores monofásicos, motores trifásicos, Jacks macho, jacks hembra, brakers y sensores).
- Tres módulos didácticos de motores (A.C.) con arranque por capacitor.

²⁵ Máster Universitario en Mantenimiento de Medios e Instalaciones Industriales

- Tres módulos didácticos de generadores de C.C que funcionan mediante el acoplamiento de los módulos didácticos de motores (A.C.) con arranque por capacitor.
- Tres módulos de alternadores trifásicos (conexión de salida en estrella), el un módulo tiene su máquina primaria y los otros dos les hace falta 2 fuentes de alimentación para los motores de C.C.
- Tres fuentes de alimentación de baja tensión de (0 a 32 VCD) 59/60.
- Un módulo de década de resistencias.
- Tres módulos de motores de corriente continua de 27.5 VCD.
- Una fuente de alimentación regulable de (0 a 120 VCC).
- Tres módulos de principio de funcionamiento de una máquina eléctrica.
- Material didáctico como:
 - 4 PLC'S
 - 4 tacómetros digitales
 - 2 Zelios
 - 2 Logos
 - 6 auxiliares de contactores
 - 2 variadores de velocidad Power Flex 4
 - 2 módulos de micro suelda mediana
 - 2 micros sueldas pequeñas y cables de conexión para los módulos.
 - Un modulo didáctico de transformador trifásico elevador.
 - Un modulo didáctico de transformador trifásico reductor.
 - Cuatro computadoras.
 - Módulo Protocolo de comunicación ProfibusDP

En el laboratorio de Control Industrial los alumnos militares y civiles asimilan las diferentes materias impartidas por el docente, de igual forma los módulos didácticos que existen en dicho laboratorio contribuyen a mejorar el aprendizaje práctico de los estudiantes de la carrera de Electrónica.

Investigación Documental Bibliográfica.- al utilizar esta modalidad de investigación se obtuvo información acerca de los trabajos de graduación realizados por estudiantes ya graduados en el instituto, los mismos que

estaban relacionados con la falta de módulos didácticos que existe en el laboratorio de Control Industrial y que sirvieron como antecedentes para poder realizar la investigación.

Se recopiló la información del internet, libros, y otras publicaciones para la elaboración del marco teórico.

La investigación de campo facilitó la obtención información por medio de la observación. También se comprobó que es necesario implementar e integrar equipos tecnológicos para complementar el aprendizaje teórico práctico relacionado con esta materia de los estudiantes que usan el laboratorio Control Industrial de la carrera de Electrónica.

a. Tipos de investigación

Investigación no experimental.- con este tipo de investigación se determinará las opciones o formas con las cuales se implementan y se simulan actualmente los sistemas de automatización ,elaborados por los estudiantes de la Carrera de Electrónica, la forma como se emplea los equipos que posee el laboratorio de Control Industrial, de esta manera se pudo determinar :

- Existen falencias de conocimiento práctico sobre las ventajas del uso de variadores de velocidad en el campo académico del ITSA.
- Existen necesidades de desarrollar conocimientos sobre las ventajas del uso de variadores de velocidad en el campo académico del ITSA, los mismos que deben ser compatibles con los recursos existentes en el laboratorio, mediante el empleo del tipo de enseñanza-aprendizaje planteado en esta investigación.

b. Niveles de la investigación

Nivel de investigación descriptivo.- Este nivel nos ayudará a describir las materias que se dicta en dicho laboratorio así como los módulos, autómatas, motores, contactores, relés, que existen para el aprendizaje del alumno.

En el laboratorio de Control Industrial se dictan dos materias como son:

- Máquinas Eléctricas

- **Control Industrial**

En la actualidad los módulos didácticos establecidos en un laboratorio contribuyen en el aprendizaje de las diferentes materias que son dictadas por el docente; ya que usualmente despeja las dudas que no son entendidas en teoría, pero si con la práctica.

Debido a estas razones se ha visto necesario la implementación e integración de equipos tecnológicos que permita optimizar el conocimiento de los alumnos y a la vez mejorar la capacidad en cuanto a equipamiento en el laboratorio.

c. Universo, población y muestra

El universo de este trabajo investigativo está conformado por los alumnos civiles y militares del ITSA y por el docente que dicta clases en el laboratorio, debido a que el personal utiliza el laboratorio de Control Industrial tanto para impartir clases como para el aprendizaje teórico práctico de los estudiantes.

Para determinar el número de estudiantes y docentes que utilizan el laboratorio se realizó la investigación en la oficina del director de la carrera de Electrónica. En dicha oficina se nos dio a conocer que son un total de 40 estudiantes y 1 docente los cuales conjuntamente realizan prácticas en horarios diferentes de lunes a viernes.

Para la finalidad de la investigación se tomó como población a los alumnos civiles y militares de la carrera de Electrónica de cuarto, quinto y sexto nivel; ya que aquellos conocen las necesidades de implementar e integrar equipos tecnológicos.

CAPÍTULO IV

4. FACTIBILIDAD

Introducción.

El propósito es realizar el estudio y análisis detallado con el cual permitirá establecer las particularidades y determinar una solución más adecuada al problema planteado.

4.1- Análisis de la situación actual

A través de un análisis de los datos recolectados se determina la situación actual acerca de la falta de equipos tecnológicos, es decir la implementación de un módulo didáctico para el control de motores trifásicos utilizando del variador de velocidad (MICROMASTER 4)

4.2- Determinación de la factibilidad.

Para la implementación de equipos tecnológicos es necesario tomar en cuenta las factibilidades necesarias tales como:

- Factibilidad Técnica
- Factibilidad Operacional
- Factibilidad Económica

4.3- Factibilidad técnica.

Facilitará el análisis técnico, de todos los factores que justificaran el objetivo de estudio con el propósito de determinar la complejidad del proyecto.

Actualmente existe una variedad de integración de sistemas modernos que

permiten un correcto aprendizaje técnico-práctico en el ámbito académico e industrial, como son los conocidos variadores de velocidad, los cuales nos brindan muchas ventajas en aplicaciones con motores trifásicos en los mismos que podemos representar las rpm ya sea estos visualizados con la ayuda de tacómetros o utilizando la pantalla de variador de velocidad (MICROMASTER 4).

El laboratorio cuenta con motores y tacómetros, que serán usados para este proyecto. Todo esto a través de un sistema de selección del valor del elemento que comprenden de componentes de varios valores para hacer posible la realización de tareas específicas.

Utilizando de esta manera todo el material didáctico con que cuenta el laboratorio de Control Industrial.

4.4- Factibilidad operativa.

Se determinó que la tarea cuenta con aptitud operativa respectiva y existe la necesidad de desarrollarla, por ende la Implementación de un Módulo Didáctico para el Control de Motores Trifásicos utilizando del Variador de Velocidad (MICROMASTER 4) en el laboratorio de Control Industrial, el cual tendrá un correcto funcionamiento y un mejoramiento en la presentación de dicho laboratorio.

El modulo tendrá un optimo funcionamiento con sus respectivas normas, precauciones y guía para el docente y alumnos, facilitando la comprensión del funcionamiento, implementando en aplicaciones didácticas.

Además por ningún motivo la implementación producirá alteración o daño alguno a las conexiones y equipos ya existentes.

4.5- Factibilidad Económica

El recurso económico que se necesita está al alcance para ejecutar el proyecto en los pasos requeridos, razón por la cual se concluye que la tarea es económicamente factible.

Existe la relación costo-beneficio en que se basa la factibilidad económica.
Los costos que lleva implementar los Equipos Tecnológicos son los siguientes:

Implementación de Equipos Tecnológicos

Gastos Principales

Tabla 4.5.1

Descripción	Costo estimado
Variador de velocidad (MICROMASTER 4)	\$360
TOTAL	\$360

Fuente: Anteproyecto de graduación

Realizado por: A/C Taipanta Serna Polo Ricardo

GASTOS PRIMARIOS

Tabla 4.5.2

Descripción	Valor
Útiles de oficina	\$5
Internet	\$15
Impresiones	\$30
Anillado	\$10
Copias	\$10
TOTAL	\$70

Fuente: Anteproyecto de graduación

Realizado por: A/C Taipanta Serna Polo Ricardo

GASTOS SECUNDARIOS

Tabla 4.5.3

Descripción	Valor
Alimentación	\$ 25
Movilización provincial	\$ 25
TOTAL	\$50

Fuente: Anteproyecto de graduación

Realizado por: A/C Taipanta Serna Polo Ricardo

TOTAL DE GASTOS PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE GRADO

Tabla 4.5.4

Descripción	Valor
Gastos principales	\$360
Gastos primarios	\$70
Gastos secundarios	\$50
Gastos extras	\$100
TOTAL	\$580

Fuente: Anteproyecto de graduación

Realizado por: A/C Taipanta Serna Polo Ricardo

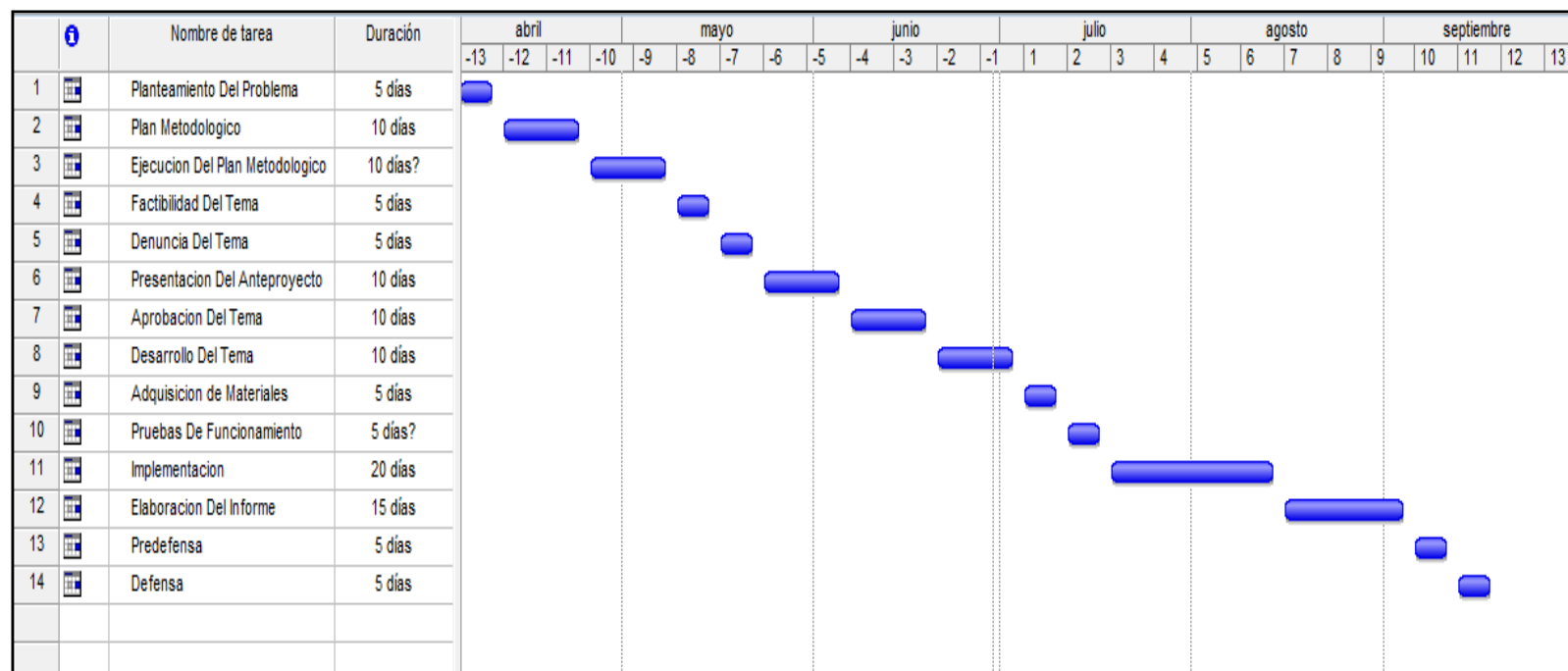
CAPÍTULO V

DENUNCIA DEL TEMA

En base a estudios realizados se ha podido detallar que la implementación e integración de equipos tecnológicos ayudará al aprendizaje de los alumnos de la carrera de Electrónica.

Por lo anteriormente mencionado se ha expuesto lo siguiente:

IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE MOTORES TRIFÁSICOS UTILIZANDO EL VARIADOR DE VELOCIDAD MICROMASTER 4



A/C. Taipanta Serna Polo Ricardo

Ing.:

INVESTIGADOR DIRECTOR

DEL

TRABAJO

DE

INVESTIGACIÓN

GLOSARIO DE TERMINOS.

Aviónica.- Electrónica aplicada a la aviación.

Corriente alterna.- corriente eléctrica cuyo sentido de circulación es variable en función del tiempo de forma periódica.

Corriente continua.- corriente que circula siempre en el mismo sentido. Su amplitud y sentido permanecerán constantes en función del tiempo.

Didáctica.- La didáctica se puede entender como pura técnica o ciencia aplicada y como teoría o ciencia básica de la instrucción, educación o formación.

Eficiencia.- Capacidad de lograr un efecto determinado optimizando los recursos disponibles.

Implementación.- Poner en marcha un proceso, organización o programa ya planificado.

Material Didáctico.- El material *didáctico* se refiere a aquellos medios y recursos que facilitan la enseñanza y el aprendizaje, dentro de un contexto educativo

Optimización.- es el proceso de modificar un sistema para mejorar su eficiencia o también el uso de los recursos disponibles

Recursos.- Medio de cualquier clase que, en caso de necesidad, sirve para conseguir lo que se pretende

ABREVIATURAS

ASD.-Adjustable-Speed Drive

CA.- Corriente alterna

CC.- Corriente continúa

HMI.-Interfaz hombre máquina

Hz.- Hertzios (Unidad de frecuencia del Sistema Internacional, que equivale a la frecuencia de un fenómeno cuyo período es un segundo. (Símb. Hz).

ITSA.- Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico

VFD.- Dispositivo de variación de frecuencia

VSD. -Variable Speed Drive

CURRICULUM VITAE

DATOS PERSONALES

Apellidos: TAIPANTA SERNA
Nombres: POLO RICARDO
Cedula de ciudadanía: 050277236-1
Estado Civil: SOLTERO
Ciudad: LATACUNGA
Dirección Domiciliaria: PARROQUIA POALÓ – BARRIO SANTA
MARIANITA DE JESÚS
Teléfono: (03) 2721-221



ESTUDIOS REALIZADOS:

Primaria:

- ❖ ESCUELA FISCAL MIXTA “JOSÉ VASCONCELOS”
Aprendizaje de primero a séptimo año de educación básica.

Secundaria:

- ❖ COLEGIO TÉCNICO INDUSTRIAL “Dr. TRAJANO NARANJO ITURRALDE” (LATACUNGA).
Aprendizaje de octavo a tercer año de bachillerato.

Superior:

- ❖ INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO - Egresado

TÍTULOS OBTENIDOS:

- ❖ BACHILLER TÉCNICO INDUSTRIAL ESPECIALIZACIÓN "ELECTRICIDAD"
- ❖ TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN & AVIÓNICA
- ❖ SUFICIENCIA EN EL IDIOMA INGLÉS

CURSOS REALIZADOS:

- ❖ SUFICIENCIA EN EL IDIOMA INGLÉS

EXPERIENCIAS LABORALES:

- ❖ BASE AÉREA "ESCUADRILLA ELECTRÓNICA".(160h)
- ❖ EMPRESA ELÉCTRICA COTOPAXI (ELEPCO.SA) (1 Mes)
- ❖ SCHLUMBERGERSURENCO(3 meses)

ACEPTACIÓN DEL USUARIO

Latacunga, 24 de agosto del 2011

Yo, ING. GLADYS VEGA en calidad de encargada del laboratorio de Control Industrial del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, me permito informar lo siguiente:

El proyecto de graduación elaborado por el Sr. **TAIPANTA SERNA POLO RICARDO**, con el tema: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE MOTORES TRIFÁSICOS UTILIZANDO EL VARIADOR DE VELOCIDAD MICROMASTER 4”**, ha sido efectuado de forma satisfactoria en las dependencias de mi cargo y que la misma cuenta con todas las garantías de funcionamiento, por lo cual extiendo este aval que respalda el trabajo realizado por el mencionado estudiante.

Por tanto me hago cargo de todas las instalaciones realizadas por el Señor estudiante.

Atentamente

ING.GLADYS VEGA
ENCARGADA DEL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

**DEL CONTENIDO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE
RESPONSABILIZA EL AUTOR**

Taipanta Serna Polo Ricardo

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN & AVIÓNICA**

Ing. Pablo Pilatasig

Latacunga, 24 de agosto del 2011

CESIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, **Taipanta Serna Polo Ricardo**, Egresado de la carrera de Electrónica Mención Instrumentación & Aviónica, en el año 2011 con Cédula de Ciudadanía N° **050277236-1**, autor del Trabajo de Graduación **IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE MOTORES TRIFÁSICOS UTILIZANDO EL VARIADOR DE VELOCIDAD MICROMASTER 4**, cedo mis derechos de propiedad intelectual a favor del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

Para constancia firmo la presente cesión de propiedad intelectual.

Taipanta Serna Polo Ricardo

CI. 050277236-1

Latacunga, 24 de agosto del 2011