



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN
Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

**TÍTULO: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
ENTRENAMIENTO EN CONTROL DE MOVIMIENTO PARA LA
EMPRESA SENSORTECSA S.A.”**

AUTOR: VILLARREAL LLUMIGUSIN, WILLIAM BOLÍVAR

DIRECTOR: ING. ORTIZ TULCAN, HUGO RAMIRO

SANGOLQUÍ

2019



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN
Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENTRENAMIENTO EN CONTROL DE MOVIMIENTO PARA LA EMPRESA SENSORTECSA S.A.”** fue realizado por el señor Villarreal Llumigusin William Bolívar el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 25 de enero del 2019

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser 'H. Ortiz', escrita sobre una línea horizontal punteada.

Ing. Hugo Ortiz



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN
Y CONTROL**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Villarreal Llumigusin William Bolívar, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENTRENAMIENTO EN CONTROL DE MOVIMIENTO PARA LA EMPRESA SENSORTECSA S.A.”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz

Sangolquí, 25 de enero del 2019

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'William Bolívar Villarreal Llumigusin', is written over a horizontal dashed line.

William Bolívar Villarreal Llumigusin



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN

Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, Villarreal Llumigusin William Bolívar autorizo a la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENTRENAMIENTO EN CONTROL DE MOVIMIENTO PARA LA EMPRESA SENSORTECSA S.A.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 25 de enero del 2019

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'William Villarreal Llumigusin', written over a horizontal dashed line.

William Bolívar Villarreal Llumigusin

DEDICATORIA

A mi madre, por su apoyo incondicional, sacrificio, entrega y esfuerzo que ha hecho por mí.

A mi familia, que me han brindado el cariño y afecto para seguir adelante, a mi abuelita, por brindarme apoyo en los momentos más difíciles de mi vida, a mi novia, por su apoyo moral y ser mi compañía en esta vida, a mi dios, por guiar mis pasos y demás personas y amigos que permitieron que este sueño se hiciera realidad.

William

AGRADECIMIENTOS

A mi familia que con sus consejos, sabiduría y apoyo me dieron la fortaleza para seguir adelante. A cada una de las personas que me apoyaron económica y moralmente las cuales permitieron que el proyecto saliera adelante y a Dios por todas sus bendiciones.

Mis agradecimientos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE y su selecto grupo de docentes, los cuales fueron el pilar fundamental en el proceso de aprendizaje y formación universitaria. Al mi director de proyecto de titulación por el apoyo e ideas positivas para la ejecución del proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	I
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	II
AUTORIZACIÓN.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT	XIX
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	2
1.3. ALCANCE DEL PROYECTO.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. Objetivo general.	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	7
CAPÍTULO 2	8

FUNDAMENTOS TEÓRICOS	8
2.1. FUNDAMENTOS DEL CONTROL DE MOVIMIENTO	8
2.1.1. Historia del control de movimiento.....	8
2.1.2. Control de movimiento.....	11
2.1.3. Arquitectura básica de un sistema de control de movimiento.....	12
2.2. CONTROLADORES DE VELOCIDAD Y POSICIÓN	13
2.2.1. Variadores de frecuencia variable	13
2.2.1.1. Introducción a los variadores de frecuencia	13
2.2.1.2. Principios de funcionamiento.....	14
2.2.1.3. Par y operación constante de V/f.....	15
2.2.1.4. Los variadores de frecuencia variable en la actualidad.....	15
2.2.2. Servo-Drive	16
2.2.2.1. Función y características principales del Servo-Drive	16
2.2.2.2. Uso y aplicaciones en la industria	17
2.2.2.3. El Servo-Drive en la actualidad.....	17
2.3. MOTORES Y SERVOMOTORES DE CORRIENTE ALTERNA (CA).....	18
2.3.1. Motores eléctricos	18
2.3.2. Motores de corriente alterna (CA).....	18
2.3.2.1. Motores de corriente alterna asíncrono	19
2.3.2.2. Motor asíncrono de rotor de Jaula de Ardilla.....	20
2.3.2.3. Motor asíncrono de rotor bobinado	21
2.3.3. Conexión de los bobinados de un motor trifásico	22
2.3.4. Servomotores de corriente alterna (CA).....	22
2.3.4.1. Servomotores Brushless (CA)	23
2.4. SENSORES DE POSICIONAMIENTO Y VELOCIDAD	24
2.4.1. Encoders	24
2.4.1.1. Encoder incremental.....	25
2.4.1.2. Encoder absoluto	26
2.4.2. Sensores inductivos	27

2.4.2.1. Principio de operación del sensor inductivo	27
2.4.2.2. Aplicaciones en la industria y tipo de salidas del sensor inductivo	28
2.5. DISPOSITIVOS DE MONITOREO	29
2.5.1. Paneles de operador táctiles	30
CAPÍTULO 3	32
DISEÑO DEL SISTEMA	32
3.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO.....	32
3.1.1. Beneficios y productos por entregar.....	33
3.2. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	33
3.2.1. Diseño modular	34
3.2.1.1. Descripción.....	34
3.2.1.2. Ventajas del diseño.....	35
3.2.1.3. Detalle de la estructura y requerimientos eléctricos.....	36
3.2.2. Sistema compacto.....	36
3.2.2.1. Descripción.....	36
3.2.2.2. Ventajas del diseño.....	37
3.2.2.3. Detalle de la estructura y requerimientos eléctricos.....	37
3.2.3. Tabla comparativa entre las posibles soluciones.....	37
3.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO.....	38
3.3.1. Estructura física del sistema de entrenamiento	38
3.3.2. Dimensionamiento de la estructura metálica del tablero eléctrico.....	39
3.4. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS	40
3.4.1. Distribución de los equipos	40
3.4.2. Dimensionamiento de equipos de protección eléctrica	41
3.4.2.1. Cálculo de consumo de potencia de los equipos implementados.....	41
3.4.2.2.1 Módulo parte 1.....	41
3.4.2.2.2 Módulo parte 2.....	42

3.4.2.2. Selección del interruptor automático térmicomagnético.....	44
3.4.3. Selección de conductores para las conexiones de control y potencia	44
3.4.3.1. Conductor de equipos de monitoreo y control	45
3.4.3.2. Conductor de actuadores y conexiones de potencia.....	45
3.4.4. Lista de equipos a ser implementados.....	46
3.4.5. Especificación de Equipos.....	47
3.4.5.1. Fuente de Poder serie S8VK	48
3.4.5.2. Elemento de Protección termomagnético IEASY9	49
3.4.5.3. Equipos de Control.....	50
3.4.5.3.1 Autómata Programable serie CP1L	50
3.4.5.3.2 Autómata Programable para motion control serie NX1P2	51
3.4.5.3.3 Variador de Frecuencia serie MX2.....	53
3.4.5.3.4 Servo-Drive SmartStep2 serie R7D.....	54
3.4.5.3.5 Servo-Drive R88D-1SN	56
3.4.5.4. Módulos de Comunicación.....	57
3.4.5.4.1 Módulo de comunicación CP1W-CIF12	57
3.4.5.4.2 Módulo de comunicación NX1W-CIF11	58
3.4.5.5. Equipos de Monitoreo	59
3.4.5.5.1 HMI serie NB7W-TW01B	60
3.4.5.5.2 HMI serie NA5-7W001S.....	61
3.4.5.6. Equipos Actuadores.....	62
3.4.5.6.1 Motor de Corriente Alterna serie 1LA7070-4YA60 marca Siemens	62
3.4.5.6.2 Servo-Motor SmartStep2 serie R88M-G40030H-S2	63
3.4.5.6.3 Servo-Motor SYSMAC control motion serie R88M-1M75030T-S2.....	64
3.4.6. Software de Desarrollo.....	65
3.4.6.1. CX-One	66
3.4.6.2.1 CX-Programmer	66
3.4.6.2.2 CX-Drive	67
3.4.6.2.3 NB-Designer	68
3.4.6.2.4 Sysmac Studio	68

CAPÍTULO 4	70
IMPLEMENTACION DEL SISTEMA	70
4.1. DIAGRAMAS Y PLANOS DE INSTALACIÓN	70
4.2. INSTALACIÓN E INTEGRACIÓN	70
4.2.1. Elaboración de la Estructura Mecánica	70
4.3. DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS	72
4.4. CABLEADO DE EQUIPOS Y ETIQUETADO DE CONEXIONES	74
4.4.1. Cableado del sistema de entrenamiento	74
4.4.2. Etiquetado de Conexiones Eléctricas	76
4.4.3. Conexión de puesta a tierra	77
4.5. PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO	78
CAPÍTULO 5	79
DISEÑO Y DESARROLLO DE LAS GUÍAS DE PRÁCTICA	79
5. GUÍAS DE PRÁCTICAS A DESARROLLAR	80
5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE CADA UNA DE LAS GUÍAS DE PRÁCTICA	80
5.1.1. Práctica N°1.- Control de velocidad y de sentido de giro de un motor AC mediante la programación de las entradas lógicas del variador de frecuencia.	80
5.1.2. Práctica N°2.- Control y monitoreo de velocidad y sentido de giro de un motor AC mediante comunicación MODBUS-RTU.	80
5.1.3. Monitoreo y control de velocidad de un motor de CA mediante la activación del control PID del variador.	80
5.1.4. Control de velocidad y posición de un motor de CA mediante la entrada de tren de pulsos.	80
5.1.5. Control de velocidad y sentido de giro de un Servo-Motor mediante la salida de pulsos del PLC.	81

5.1.6. Monitoreo y control de velocidad y posición de un Servo-Motor mediante comunicación EtherCat/EthernetIp.	81
5.2. ESTRUCTURA DE LAS GUÍAS DE PRÁCTICA	81
5.2.1. GUÍA PRÁCTICA 1	81
5.2.2. GUÍA PRÁCTICA 2	83
5.2.3. GUÍA PRÁCTICA 3	84
5.2.4. GUÍA PRÁCTICA 4	86
5.2.5. GUÍA PRÁCTICA 5	87
5.2.6. GUÍA PRÁCTICA 6	89
CAPÍTULO 6	91
PRUEBAS Y RESULTADOS	91
6.1. PRUEBAS DE SOFTWARE Y HARDWARE	91
6.1.1. Pruebas de Software	91
6.1.2. Pruebas de Hardware.....	91
6.2. RESULTADOS	92
CAPÍTULO 7	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
7.1. CONCLUSIONES	94
7.2. RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA.....	96

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Ventajas y Características principales del motor Brushless</i>	24
Tabla 2. <i>Matriz comparativa entre las dos posibles soluciones</i>	37
Tabla 3. <i>Elección del tipo de conductor para equipos de control y monitoreo</i>	45
Tabla 4. <i>Elección del tipo de conductor para actuadores y conexiones de potencia</i>	46
Tabla 5. <i>Lista de equipos y elementos</i>	46
Tabla 6. <i>Características técnicas de la fuente de CD</i>	48
Tabla 7. <i>Características técnicas del interruptor termomagnético</i>	49
Tabla 8. <i>Características técnicas del PLC serie CP1L</i>	51
Tabla 9. <i>Características técnicas PLC NX1P2-1040DT1</i>	52
Tabla 10. <i>Características técnicas de variador serie MX2</i>	54
Tabla 11. <i>Características técnicas del Servo-Drive R7D-BP04H</i>	55
Tabla 12. <i>Características técnicas del Servo-Drive R88D-1SN08-HECT</i>	57
Tabla 13. <i>Características técnicas de comunicación del módulo CPIW-CIF12</i>	58
Tabla 14. <i>Características técnicas de comunicación del módulo NX1W-CIF11</i>	59
Tabla 15. <i>Características Técnicas NB7W-TW01B</i>	61
Tabla 16. <i>Características técnicas HMI serie NA57-7W001S</i>	62
Tabla 17. <i>Características técnicas del motor de corriente alterna</i>	63
Tabla 18. <i>Características técnicas Servo-Motor R88M-G40030H-S2</i>	64

Tabla 19. <i>Características técnicas del Servo-Motor R88M-1M75030T-S2</i>	65
Tabla 20. <i>Colores del cableado interno</i>	76

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Primeras máquinas accionadas por correas y poleas (1800).....	8
Figura 2. Ecuaciones y diagrama de la retroalimentación por Harold B.	9
Figura 3. Evolución del área de control de movimiento	11
Figura 4. Componentes de un sistema de control de movimiento	13
Figura 5. Esquema simplificado de funcionamiento del variador.....	14
Figura 6. Relación constante entre V/f.....	15
Figura 7. Puertos y elementos básicos del Servo-Drive.....	18
Figura 8. Partes principales de un motor eléctrico asíncrono	19
Figura 9. Principio de funcionamiento del motor asíncrono.....	20
Figura 10. Motor con rotor tipo Jaula de Ardilla	21
Figura 11. Partes de un motor de rotor bobinado.....	21
Figura 12. Denominación de los terminales de las bobinas	22
Figura 13. Constitución básica de un motor Brushless	23
Figura 14. Tecnologías óptica y magnética.....	25
Figura 15. Canales de salida del encoder incremental	26
Figura 16. Constitución de la zona de conmutación y códigos binarios de salida.....	27
Figura 17. Partes de un sensor inductivo	27
Figura 18. Principio de operación y forma de onda de la oscilación	28

Figura 19. Técnica para medir la frecuencia de un eje.....	29
Figura 20. Panel de operador táctil y sus principales componentes.....	31
Figura 21. Módulo de entrenamiento Demo PLC y Networking	35
Figura 22. Sistema de entrenamiento con diseño compacto	36
Figura 23. Ilustración de la estructura metálica tipo abierto.....	39
Figura 24. Plano de distribución de los equipos	40
Figura 25. Fuente de poder CD serie S8VK	48
Figura 26. Interruptor termomagnético 3P.....	49
Figura 27. Autómata Programable serie CP1L-EL20DT1-D	50
Figura 28. Control motion serie NX1P2-1040DT1.....	52
Figura 29. Variador de frecuencia 3G3MX2-AB007-V1	53
Figura 30. Servo-Drive serie Smartstep2 R7D-BP04H	55
Figura 31. Servo-Drive serie R88D-1SN08-HECT	56
Figura 32. Módulo de comunicación CP1W-CIF12	58
Figura 33. Módulo de comunicación NX1W-CIF11	59
Figura 34. HMI serie NB7W-TW01B	60
Figura 35. HMI serie NA5-7W001S.....	61
Figura 36. Motor de corriente alterna 1LA7070-4YA60 de SIEMENS	63
Figura 37. Servo-Motor serie R88M-G40030H-S2	64

Figura 38. Servo-Motor serie R88M-1M75030T-S2	65
Figura 39. Caratula de software CX-One.....	66
Figura 40. Versión de software Cx-Programmer	67
Figura 41. Versión de software Cx-Drive	67
Figura 42. Versión de software Nb-Designer	68
Figura 43. Versión de software Sysmac Studio	69
Figura 44. Vista frontal y lateral de la estructura metálica	71
Figura 45. Distribución física de los equipos y elementos del sistema.....	72
Figura 46. Ubicación física de los paros de emergencias	73
Figura 47. Base metálica de los HMIs	73
Figura 48. Distribución de la canaleta ranurada y cableado interno	74
Figura 49. Sistema de entrenamiento cableado.....	75
Figura 50. Conexiones de comunicaciones de red de monitoreo y campo	75
Figura 51. Etiquetado de conexiones eléctricas	76
Figura 52. Impresión de etiquetas para identificación de conexiones.....	77
Figura 53. Borneras de conexión de puesta a tierra	78
Figura 54. Puesta en marcha del sistema de entrenamiento.....	78
Figura 55. Análisis porcentual del aprendizaje del personal capacitado.....	92
Figura 56. Análisis de conformidad de prestaciones didácticas.....	93

Figura 57. Análisis del nivel de dificultad de configuración y programación93

RESUMEN

El presente proyecto tiene como principal objetivo capacitar al personal del departamento de ingeniería de la empresa SENSORTECSA S.A. en el campo de control de movimiento industrial, aportando de forma directa al proceso de enseñanza y aprendizaje del personal de dicho departamento, logrando captar el interés de los mismos se realizará simulaciones de procesos de control de movimiento industrial, para lo cual se exponen seis guías de práctica. El desarrollo del sistema de entrenamiento en control de movimiento se lo realizó en etapas importantes de ejecución como el diseño, implementación y desarrollo de guías de práctica. La finalidad de estas etapas fue obtener un sistema de entrenamiento que cumpla requerimientos, posea características técnicas con un diseño ergonómico implementado en un módulo didáctico. En el sistema se utilizan diferentes equipos de control de movimiento que utilizan diferentes tipos de comunicación. Este es el primer módulo de entrenamiento didáctico en control de movimiento que tendrá el departamento de ingeniería de la empresa SENSORTECSA S.A. que posee servicios de programación y comunicaciones industriales para el monitoreo, control de velocidad, posición y sentido de giro de motores y Servo-Motores de corriente alterna.

Palabras clave

- **OMRON**
- **CONTROL MOTION**
- **MODBUS-RTU**
- **ETHERCAT**
- **SYSMAC STUDIO**

ABSTRACT

The main objective of this project is to train the personnel of the engineering department of the company SENSORTECSA S.A. In the field of industrial motion control, contributing directly to the teaching and learning process of the personnel of department, catching the interest of these, we can make simulations of industrial motion control processes, with the six guides are shower of practice. The development of the training system in motion control was developed in important phase of execution such as the design, implementation and making of practice guides, the purpose of these phase was to get a training system that meets requirements, as technical characteristics with Ergonomic design implemented in one didactic module. Some motion control equipment using different types of communication in the system. This is the first module of didactic training in motion control that will have the engineering department of the company SENSORTECSA S.A. that has programming services and industrial communications for monitoring, speed control, position and direction of rotation of motors and AC Servo-Motors.

Keys Words

- **OMRON**
- **MOTION CONTROL**
- **MODBUS-RTU**
- **ETHERCAT**
- **SYSMAC STUDIO**

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la mayoría de plantas industriales tienen la necesidad de automatizar las máquinas de producción masiva, uno de los principales sub-campos de la automatización a ser automatizados es el de control de movimiento el cual involucra el control de los componentes primarios y secundarios de las partes móviles de las máquinas de manera controlada, los componentes principales normalmente incluyen un controlador de movimiento, amplificador de energía y actuadores. El control de movimiento es empleado en diferentes tipos de industrias como la textil, embalaje, maderera, ensambladoras y fabricación de elementos semiconductores.

Por lo general un sistema de control de movimiento puede controlar posición, velocidad, torque y aceleración de un eje. La mayoría de máquinas están constituidas por múltiples ejes en los cuales la posición y la velocidad pueden ser controladas de forma sincronizada un ejemplo claro son las máquinas CNC las cuales necesitan que sus ejes trabajen de forma sincronizada para realizar su trabajo de forma correcta.

Existen máquinas de producción masiva con múltiples ejes las cuales deben ser controladas de manera precisa y coordinada todos los ejes que constituyen la misma lo cual es algo complejo de realizar, por esta razón surge la necesidad de diseñar e implementar un sistema de entrenamiento dedicado al control de movimiento el cual será destinado al departamento de ingeniería para los técnicos e ingenieros de la empresa SENSORTECSA S.A.

1.1. Antecedentes

SENSORTECSA S.A es una empresa dedicada a la importación, comercialización, diseño e implementación de equipos y proyectos de automatización, instrumentación industrial y control industrial. La empresa SENSORTECSA S.A. consta de varios departamentos entre ellos el departamento de Ingeniería. Este departamento se dedica a la investigación de nuevas tecnologías de equipos y al diseño e implementación de proyectos de automatización y control industrial.

En la actualidad el departamento de Ingeniería no cuenta con un prototipo dedicado al estudio y práctica de diversos equipos en control de movimiento, por esta razón nace la necesidad de diseñar e implementar un sistema de entrenamiento con las características antes mencionadas, en el cual los técnicos e ingenieros de la empresa puedan realizar pruebas y prácticas e involucrarse en la instalación y configuración de equipos en control de movimiento, el sistema de entrenamiento contará con equipos de última generación con tecnología de la marca OMRON.

1.2. Justificación e Importancia

Una de las principales razones para el diseño e implementación del proyecto es mejorar las competencias de ingenieros y técnicos de la empresa SENSORTECSA S.A. e ingenieros y técnicos de las diferentes plantas industriales del país en el ámbito de control de movimiento. El sistema de entrenamiento contará con recursos tecnológicos y equipos de vanguardia acordes a los diferentes procesos de manufactura implementados en la mayor parte de las industrias ecuatorianas.

Otra importante razón para implementar el sistema de entrenamiento surge de la necesidad de investigar e integrar nuevas tecnologías de comunicaciones de redes industriales en control de movimiento de equipos de la marca OMRON como EtherCat/EthernetIp.

Adicionalmente el sistema de entrenamiento contribuirá al proceso de enseñanza, aprendizaje y práctica de ingenieros y técnicos involucrados en el tema, logrando captar su interés en soluciones eficientes de control de movimiento con simulaciones de procesos reales en las industrias, para lo cual el sistema de entrenamiento contará con guías prácticas de laboratorios con su respectivo desarrollo.

El sistema de entrenamiento también servirá como ayuda didáctica y demostrativa de funcionamiento a los ingenieros encargados de capacitar a los interesados en las capacitaciones de control de movimiento.

Al tener el apoyo directo de la empresa SENSORTECSA S.A. se contará con el asesoramiento de ingenieros de la marca OMRON para el desarrollo y ejecución del proyecto, esto permitirá la integración de equipos de última generación y esto servirá a futuro para una mejora del sistema de

entrenamiento y aumentar el número de sistemas basándose en este primer sistema para equipar al departamento de ingeniería de SENSORTECSA S.A. con sistemas flexibles de entrenamiento para el control de movimiento.

1.3. Alcance del Proyecto

El sistema de entrenamiento para el departamento de ingeniería de la empresa SENSORTECSA S.A. será el primero en contar con equipos de control de movimiento como Servo-Drive, Servo-Motor, Variador de frecuencia, motor AC, HMI, encoder, PLC, transductores y sensores integrados en un mismo módulo, adicionalmente se podrá realizar comunicaciones industriales Modbus RTU, EtherCat/EthernetIp entre HMI, PLC, Servo-Drive y variadores de frecuencia, permitiendo controlar velocidad, posición y sentido de giro de un motor AC y un Servo-Motor el cual será controlado por un variador de frecuencia y un Servo-Drive respectivamente.

El diseño e implementación del sistema de entrenamiento en control de movimiento estará enfocado para el uso de los técnicos e ingenieros de la empresa SENSORTECSA S.A. y demás industrias ecuatorianas que tienen estos equipos integrados en las máquinas de manufactura. El sistema de entrenamiento contará con equipos de la marca OMRON de última generación que permitirán simular procesos reales presentes en el control de movimiento. Para esto se diseñarán seis guías prácticas para involucrar a los participantes.

Estas guías prácticas consistirán de conexiones eléctricas, programación, configuración de parámetros, comunicaciones industriales e integración de los diferentes equipos integrados en el sistema de entrenamiento en control de movimiento. A continuación, se listan los equipos que se integrarán al sistema de entrenamiento y las prácticas a desarrollarse:

Componentes del sistema:

- Controlador Lógico Programable serie CP1L marca OMRON.
- Variador de frecuencia serie MX2 marca OMRON.
- Módulo de comunicación RS485 serie CIF11 marca OMRON.
- Pantalla HMI serie N marca OMRON.

- Un motor trifásico 4 polos de 1 Hp marca SIEMENS.

Equipos familia SYSMAC:

- Controlador Lógico Programable serie NX1P marca OMRON.
- Pantalla HMI serie NA marca OMRON.
- Módulo de salida de pulsos serie NXP marca OMRON.
- Servo-Drive serie R88D marca OMRON.
- Servo-Motor serie R88D marca OMRON.
- Cables de comunicación especiales para el sistema.

Prácticas a desarrollarse:

- Práctica N°1.- Control de velocidad y de sentido de giro de un motor AC mediante la programación de las entradas lógicas del variador de frecuencia.
- Práctica N°2.- Control y monitoreo de velocidad y sentido de giro de un motor AC mediante comunicación Modbus-RTU.
- Práctica N°3.- Monitoreo y control de velocidad de un motor AC mediante la activación del control PID del variador.
- Práctica N°4.- Control de velocidad y posición de un motor AC mediante la entrada de tren de pulsos.
- Práctica N°5.- Control de velocidad y sentido de giro de un ServoMotor mediante la salida de pulsos del PLC.
- Práctica N°6.- Monitoreo y control de velocidad y posición de un ServoMotor mediante comunicación EtherCat/EthernetIp.

Práctica N°1.- Se identificará los terminales de conexión de E/S de potencia, terminales de E/S de control lógico, entradas analógicas, puertos de comunicación, uso del teclado del panel frontal, principales parámetros de configuración y software de programación del variador de frecuencia MX2-Omron con la finalidad de simular un proceso real para la interacción del variador de frecuencia MX2 con equipos como HMI, sensores, pulsadores.

Práctica N°2.- Se utilizará un estándar de comunicación ModBus-RTU con el propósito de interacción entre los equipos PLC CP1L y variador de frecuencia serie mx2, esta comunicación permitirá controlar al variador de frecuencia y mediante comunicación EtherNet/Ip se realizará el monitoreo de la velocidad y el sentido de giro del motor de CA.

Práctica N°3.- Se utilizará un lazo de control PID, activando la función PID del variador de frecuencia MX2 con la finalidad de simular un proceso real mediante un sensor conectado a la entrada analógica de voltaje o de corriente.

Práctica N°4.- Se utilizará la entrada de tren de pulsos del variador de frecuencia MX2 con la finalidad de simular un proceso real de posicionamiento simple mediante la conexión de un encoder el cual nos permitirá controlar velocidad y posición.

Práctica N°5.- Se utilizará el módulo de salidas de pulsos del PLC serie CP1L de OMRON y comunicación EtherNet/Ip, con la finalidad de interacción entre el HMI- PLC-Servo-Drive-Servo-Motor permitiéndonos el monitoreo y el control de velocidad y sentido de giro del Servo-Motor SmartStep2.

Práctica N°6.- Se utilizará un estándar de comunicación EtherCat/EthernetIp con la finalidad de interacción entre HMI, PLC, Servo-drive y Servo-Motor de la familia SYSMAC de OMRON, esta comunicación permitirá controlar y monitorear posición, velocidad y sentido de giro del sistema.

Con lo que respecta a la estructura física del sistema de entrenamiento contará con un diseño fácil de transportar y ergonómico enfocado en la capacitación de los ingenieros y técnicos, el etiquetado y conexiones eléctricas estarán sujetas a estándares y normas internacionales vigentes.

La principal norma al que estará sujeto el diseño estructural y las conexiones corresponderá a la norma IEC-61439 la cual certifica la seguridad, mejora el desempeño eléctrico y aporta a la gestión de mantenimiento. También aborda los temas desde sus características operacionales y funcionales hasta condiciones de distribución de instalación de los equipos.

También estará sujeto a la norma IEC 60529 normalmente conocida como norma IP que reflejan los niveles de protección contra el acceso a partes electrificadas por parte de personas, humedad, polvo o suciedad.

1.4.Objetivos

1.4.1.Objetivo general.

- Diseñar e implementar un sistema de entrenamiento en control de movimiento utilizando tecnología OMRON.

1.4.2.Objetivos específicos.

- Contribuir a una capacitación óptima de ingenieros y técnicos de la empresa SENSORTECSA S.A. y de la mayoría de empresas ecuatorianas en el área de control de movimiento utilizando equipos y software de la marca OMRON.
- Fomentar el interés de ingenieros y técnicos de la mayoría de empresas ecuatorianas en el área de control de movimiento utilizando hardware y software de la marca OMRON.
- Desarrollar guías prácticas orientadas a procesos o aplicaciones reales en control de movimiento con la finalidad de disminuir el tiempo de integración y control de equipos de la marca OMRON.
- Proveer de un sistema de entrenamiento versátil al departamento de ingeniería de la empresa SENSORTECSA S.A. con la finalidad de facilitar la capacitación teórica y práctica de los ingenieros y técnicos de la misma empresa y de la mayoría de industrias ecuatorianas.
- Integrar en un mismo sistema de entrenamiento diferentes tipos de equipos y tecnología de última generación en control de movimiento de la marca OMRON.
- Contribuir al desarrollo de habilidades en control de movimiento mediante el uso del módulo de entrenamiento.

1.5.Descripción general del proyecto

El presente proyecto de investigación consta con la primera sección de estudio de la teoría de control de movimiento de motores y servo-motores AC, la siguiente sección trata del diseño e implementación del sistema de entrenamiento en control de movimiento utilizando equipos con tecnología OMRON, seguida por la sección en la que se detallan las guías prácticas debidamente resueltas de manera detallada, finalmente se encuentra los anexos correspondientes a los planos eléctricos, esquemas de conexión y manuales de los equipos integrados. El diseño del sistema de entrenamiento en control de movimiento estará sujeto a los requerimientos y especificaciones técnicas como son la selección de equipos de protección, distribución física de los equipos y selección del calibre de los conductores.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Fundamentos del Control de Movimiento

2.1.1. Historia del control de movimiento

Según algunas referencias bibliográficas se dice que la revolución industrial inicio por 1760. La necesidad del hombre por automatizar tareas repetitivas dio inicio a la revolución industrial la cual se supone se acabó hace unos 100 años, aunque actualmente parece que no ha terminado todavía. El nivel actual de automatización que poseen las industrias superan fácilmente las expectativas de los primeros inventores, los cuales, a lo largo de los años 1700 y 1800, trajeron avances en la tecnología de las máquinas e iniciaron la creación de la industria actual de control de movimiento.

En 1800 el control de movimiento no existía y la automatización tomó forma de motores simples como trenes de transmisión por polea y correa (ver Figura 1). Por ejemplo, para suministrar de energía mecánica a un edificio industrial se requería de una gran rueda hidráulica en el exterior y una máquina de vapor en el sótano. Por lo general, un tren de transmisión vertical corría por el edificio desde una máquina de vapor en el sótano para transmitir energía mecánica a cada uno de los pisos, una transmisión convertía la potencia del tren de transmisión vertical a una de potencia de tren de transmisión horizontal, la cual tenían todos los pisos del edificio, cuando uno de los pisos necesitaba conectarse o desconectarse a la línea principal de energía mecánica lo hacían mediante un mecanismo de embrague.



Figura 1. Primeras máquinas accionadas por correas y poleas (1800)

Fuente: (ADVANCED,1995)

En 1900 los ingenieros utilizaron algunos inventos como el generador de corriente continua de Edison en 1870, la electricidad y el motor de corriente alterna de Tesla en 1890, para crear y llevar a los consumidores aparatos eléctricos como lavadoras eléctricas y refrigeradores en la década de 1915. En ese momento con estos antecedentes Henry Ford implemento una línea de producción móvil donde las piezas fueron estandarizadas y la eficiencia de producción se disparó.

El descubrimiento de la retroalimentación fue en 1927 cuando Harold Black revolucionó el concepto de las comunicaciones con el concepto de retroalimentación negativa en los amplificadores, sin embargo, él no fue el primero, ya que los hornos y termostatos regulaban la temperatura de sus cuartos utilizando retroalimentación desde finales de 1800. James Watt había trabajado en un sistema de retroalimentación mecánico para su motor a vapor incluso antes de eso. Un día Harold Black tubo la brillante idea de aplicar una parte de la salida de un amplificador a la entrada reduciría sustancialmente el ruido de la señal (ver Figura 2), poco después de su descubrimiento en la década de 1930 aparecen los primeros equipos de control de movimiento neumático, los cuales empleaban la retroalimentación para el control de circuito cerrado.

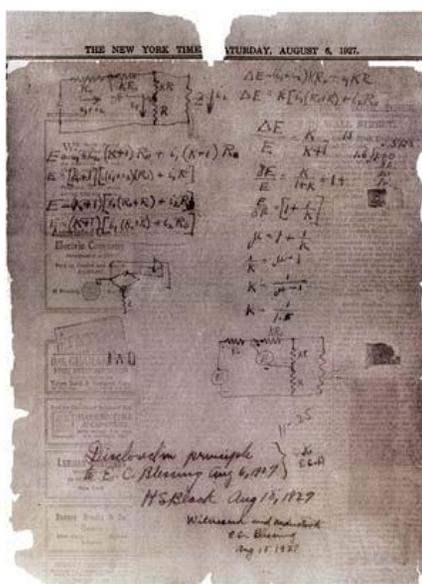


Figura 2. Ecuaciones y diagrama de la retroalimentación por Harold B.
Fuente: (ADVANCED,1995)

En este punto el control PID surge como un pensamiento, J.C Maxwell escribió un análisis matemático detallado sobre el PID en los años de 1886 y tardo unos 50 años en desarrollarse para que los equipos usen el ajuste de PID. Los años 40 y 50 fue el comienzo de grandes avances para el control PID para reconocer la importancia de un análisis matemático y desarrollar la teoría del control de movimiento como una ciencia.

Gracias a la guerra y al vuelo espacial entre los años 50,60 y 70 ayudaron a estimular el esfuerzo por mejorar y desarrollar algoritmos de control más óptimos. Los dispositivos de estado sólido desarrollados en los años 60 permitieron que el control PID migre a los microcontroladores. Después de varias mejoras continuas, por los años de 1970 se introdujo la tecnología de modulación por ancho de pulso o mejor conocida como (PWM), esto junto con motores de imanes permanentes sin escobillas permitieron la evolución del control de movimiento.

Con la llegada del control de movimiento digital durante estos últimos 20 años, los DSP mejor conocido como procesador digital de señales, las redes y la tecnología de conmutación PWM, generaron un aumento exponencial en el uso de equipos con control de movimiento en lazo cerrado. También la tecnología de conmutación de PWM aplicada en amplificadores y fuentes de poder hicieron posible la alta eficiencia y baja transmisión de potencia térmica.

Los equipos de control de movimiento basados en DSP permitieron la creación de diferentes tipos de perfiles de control de movimiento avanzados y comunicaciones a través de redes seriales. Hace unos años atrás existía un conflicto de estandarización de tecnología y protocolos de comunicación de equipos de control de movimiento, por lo que la industria estaba lejos de estandarizarse con una gran variedad de equipos y tarjetas de control de movimientos de una infinidad de fabricantes. Hoy en día, existen muchas opciones de equipos para implementar un sistema de control de movimiento avanzado y eficiente, se puede hacer coincidir la mejor red de comunicación, el mejor controlador y el mejor motor para pretender obtener la mejor respuesta de trabajo, pero sin embargo al momento de implementar existe un problema de interoperabilidad de equipos, por lo que los fabricantes tienden a desarrollar sus propios sistemas propietarios que limitan al usuario una fácil implementación de equipos de diferentes fabricantes.

Redes industriales que fueron desarrolladas específicamente para sistemas de control de movimiento tales como Can-open y entre otras, permitieron impulsar el desarrollo de sistemas de control de movimiento a un nivel de confiabilidad y rendimiento gracias a que poseen un estándar abierto, hoy en día, los equipos de control de movimiento de diferentes fabricantes tienen una mejor interoperabilidad gracias a esta característica en particular, permitiendo una integración y programación más rápida y fácil de diferentes equipos de control de movimiento.

2.1.2. Control de movimiento

Por lo general se cree que los ingenieros electrónicos especializados en el área de electrónica de potencia fueron quienes desarrollaron este campo, cabe aclarar que el control de movimiento es el resultado de aplicar la teoría de control a la electrónica de potencia. En la actualidad es un subcampo de la automatización el cual se ha convertido en un campo muy amplio de investigación. Las investigaciones de 1970 como la aplicación de los microprocesadores en el control de equipo eléctrico fueron la base fundamental para el campo de control de movimiento (Lorenz, 1994). En la Figura 3 se puede observar la evolución del área de control de movimiento.

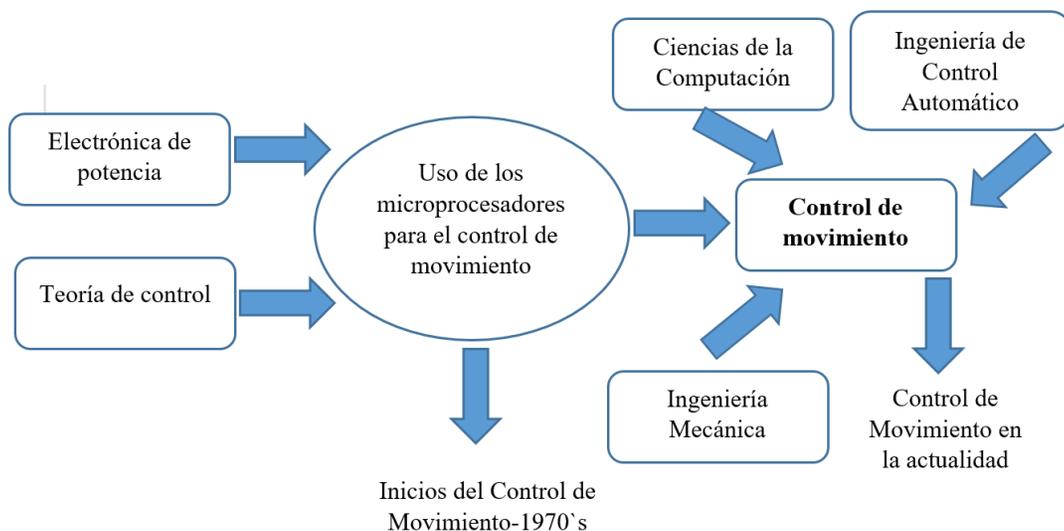


Figura 3. Evolución del área de control de movimiento
Fuente: (Alahakoon, 2000)

En la actualidad la teoría de control de movimiento es muy extensa por lo que se requiere cursos complementarios para especializarse en dicha área ya que no solo abarca áreas como la electrónica de potencia, si no también áreas como Ingeniería Mecánica, Ciencias de la Computación, Automatización entre otras.

2.1.3.Arquitectura básica de un sistema de control de movimiento

Los componentes principales de una arquitectura básica de control de movimiento contienen:

- **Controlador de Movimiento.** –este actúa como el cerebro del sistema tomando las posiciones a alcanzar y perfiles de movimiento creando las trayectorias a seguir por los actuadores y en sistemas de bucle cerrado es el encargado de cerrar el bucle de retroalimentación de velocidad o posición.
- **Amplificador.** – es el encargado de tomar las señales de control del controlador y generar la corriente necesaria para el actuador. Los nuevos accionamientos inteligentes pueden cerrar los bucles de posición y velocidad internamente permitiendo un control más preciso.
- **Motor o Actuador.** –es el encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica y producen el torque necesario para moverse a la posición deseada.
- **Elementos Mecánicos.** – los motores están diseñados para proveer el torque de algunos mecanismos como reglas lineales, brazos robóticos, engranajes, correas y actuadores especiales.
- **Dispositivo de retroalimentación o sensor de posición.** – este dispositivo, por lo general un codificador de cuadratura, mide la posición del motor e informa el resultado al controlador cerrando el lazo del controlador de movimientos.

Fuente: (National Instrumens, 2013)

En la Figura 4 se puede observar la estructura básica que integran un sistema de control de movimiento.

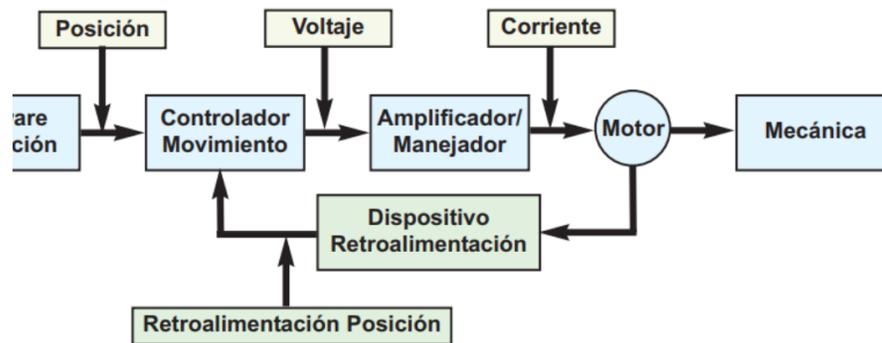


Figura 4. Componentes de un sistema de control de movimiento
Fuente: (National Instrumens, 2013)

Como se mencionó anteriormente, el control de movimiento abarca muchas materias de estudio; esto hace que el área de control de movimiento sea muy extensa cubriendo todos los sistemas de movimiento, desde sistemas micro hasta los macros, además tenemos que lidiar con diferentes tipos de actuadores como eléctricos, motores y servomotores de corriente alterna (AC) y corriente directa (DC). A continuación, detallaremos más a fondo los principales componentes de un sistema de control de movimiento.

2.2. Controladores de velocidad y posición

Nos enfocaremos principalmente en dos controladores, como los variadores de frecuencia para los motores de inducción de corriente alterna (CA) y los servoaccionamientos o Servo-Drive para servomotores de corriente alterna (CA). Actualmente estos controladores pueden trabajar de forma independiente ya que poseen funciones avanzadas de programación e implementación en lazo cerrado de control y redes industriales de comunicación.

2.2.1. Variadores de frecuencia variable

2.2.1.1. Introducción a los variadores de frecuencia

Su principal finalidad es controlar la velocidad de motores de corriente alterna (CA), por lo que muchas aplicaciones pueden aprovechar las ventajas de implementación de un motor con velocidad variable como el uso eficiente de energía, coordinación de la velocidad con un proceso, necesidad

de controlar la aceleración y desaceleración (par constante) e implementación de cargas sensibles como ascensores, procesamiento de alimentos y productos farmacéuticos.

2.2.1.2. Principios de funcionamiento

Se alimenta al equipo con un voltaje de corriente alterna (CA), en una primera etapa el variador convierte la corriente alterna (CA) en corriente directa (CD) mediante el puente rectificador de diodos, este voltaje es filtrado por un banco de capacitadores interno, con el fin de suavizar el voltaje rectificado y reducir la emisión de variaciones en la señal; la siguiente etapa llamada inversión, está compuesta por transistores (IGBT) que encienden y apagan en determinada secuencia generando una forma de onda cuadrada de voltaje de corriente directa (CD) o a una frecuencia constante y su valor promedio tiene una forma de onda senoidal para suministrar de alimentación al motor. Los variadores pueden modificar su frecuencia y tensión de salida según la velocidad deseada del motor. La Figura muestra un esquema simplificado del variador en donde se encuentran tres interruptores de activación doble, estos interruptores son los transistores bipolares (IGBT) según (OMRON, 2013).

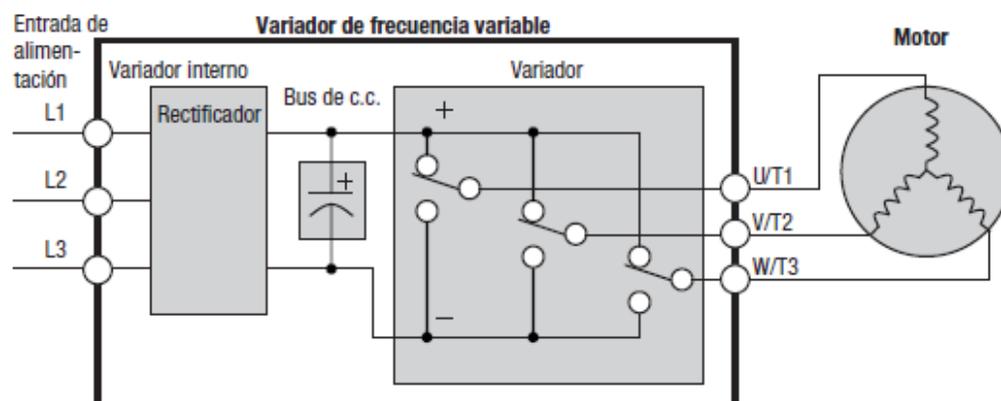


Figura 5. Esquema simplificado de funcionamiento del variador
Fuente: (OMRON, 2013)

2.2.1.3. Par y operación constante de V/f

En el pasado, el variador de velocidad de corriente alterna (CA) utilizaban una técnica de lazo abierto de forma escalar para controlar la velocidad del motor. La operación constante de voltios y hercios tienen una relación constante entre la tensión y la frecuencia aplicadas. Con estas condiciones, los motores de inducción de corriente alterna (CA) ofrecían un par constante en todo el rango de la velocidad. Dicho lo anterior entonces se cumple una relación de proporcionalidad directa en la que V/f son constantes, esta relación es la que el variador intenta seguir en todo momento ver Figura 6.

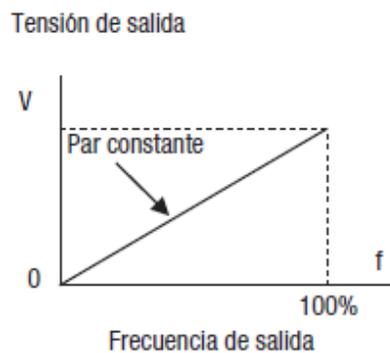


Figura 6. Relación constante entre V/f
Fuente: (OMRON, 2013)

En la actualidad, con la llegada de avanzados microprocesadores y procesadores de señal digital o (DSP) se puede controlar la señal y el par de los motores de inducción de CA con una gran precisión, pues ahora los variadores de frecuencia realizan complejos cálculos matemáticos para alcanzar un alto rendimiento de funcionamiento. También se puede elegir varias curvas de par para que este pueda adecuarse a las necesidades de nuestra aplicación (OMRON, 2013).

2.2.1.4. Los variadores de frecuencia variable en la actualidad

Gracias al desarrollo de los dispositivos electrónicos, especialmente los de potencia como el transistor bipolar de puerta aislada (IGBT) y los microprocesadores, han permitido solucionar la necesidad de variar la velocidad de una manera más sencilla, rápida, robusta y fiable.

En la actualidad los variadores de frecuencia variable ofrecen muchas prestaciones dada a su enorme flexibilidad, entre estas, el modo de trabajo puede ser manual o automático según las necesidades de las aplicaciones, también pueden ser comandados por PLC mediante señales digitales o analógicas, por comunicaciones industriales como serie RS-485 e incorporan un protocolo MODBUS RTU, también de forma automática mediante su programación interna en diagrama de flujo o texto estructurado y también soportan un bucle de control en lazo cerrado.

La mayoría de variadores ya incluyen internamente protecciones para el motor, tales como protecciones contra sobre intensidad, temperatura alta de funcionamiento, falla contra desequilibrios, entre otras, además ofrecen procesos de aceleración y desaceleración mediante la selección de rampas de funcionamiento aumentado el tiempo de vida del motor.

Su gran flexibilidad de adaptación a los diferentes procesos y aplicaciones, permitieron la integración a un sin número de aplicaciones como control de presión constante, posicionamiento de productos en bandas transportadora, control de velocidad de máquinas envasadoras, sistemas de ventilación o extracción de gases y sistemas de bombeo entre otras más posibilidades. Dicho lo anterior se puede afirmar que el variador de frecuencia tiene la posibilidad de controlar la velocidad de una forma sencilla y avanzada, esto dependerá del grado de dificultad de las aplicaciones en las que será integrado.

2.2.2. Servo-Drive

2.2.2.1. Función y características principales del Servo-Drive

El Servo-Drive es diseñado para convertir la energía eléctrica en movimiento, pero de forma controlada y precisa, también se puede controlar torque, velocidad y posición de un servomotor. Utiliza un convertidor de tensión de entrada y un inversor para la tensión de salida, la cual es definida por el circuito de control ósea por el microprocesador. El Servo-Drive trabaja en lazo cerrado, lo que permite detectar posibles errores en el funcionamiento del motor y pronta corrección de los mismos. Existen Servo-Drive para cada tipo de motor, sean corriente directa (CD) o corriente alterna (CA), esto incluyen numerosas características como protección contra corto circuitos, sobre corriente y sobre temperatura.

El Servo-Drive es el enlace entre el controlador y el motor. Comenzaron como modelos de cuadrante único que solo accionaban motores cepillados. Más tarde incorporaron la capacidad de funcionamiento en los cuatro cuadrantes, esto significa que es capaz de conducir y regenerar un motor en ambas direcciones.

2.2.2.2. Uso y aplicaciones en la industria

Su principal ventaja sobre los motores tradicionales de CD o CA es la adición de retroalimentación del motor. Esta ventaja de retroalimentación puede ser usada para detectar movimientos erróneos o para asegurar la precisión del movimiento, haciéndolo útil para un sin número de aplicaciones como por ejemplo en el mecanizado de máquinas CNC (control numérico computarizado), automatización de fábricas, la robótica y entre otras más que necesiten un control de movimiento preciso.

2.2.2.3. El Servo-Drive en la actualidad

La tendencia actual es agregar más funciones y capacidades al Servo-Drive. Actualmente las unidades manejan todos los sistemas de retroalimentación como encoders, resolvers y tacómetros, como también límites de carrera y otros sensores. También son usados para controlar un bucle de lazo cerrado de torque, velocidad, posición y se les asigna la funcionalidad de generar la trayectoria, este asumirá funciones de control más complejas que anteriormente solo eran realizados por el controlador de posición.

A futuro los avances de la tecnología del Servo-Drive continuará basándose en las demandas de la industria en el área de control de movimiento como mayor ancho de banda en comunicaciones industriales para aumentar el rendimiento de producción, mayor precisión de control de posición y velocidad que permitan fabricaciones más complejas y miniaturizadas, incrementar la capacidad de la red de trabajo para coordinar los ejes de una máquina para coordinar y controlar varias máquinas en forma grupal dentro de la fábrica. Dicho todo esto diremos que en la actualidad el Servo-Drive es un sistema avanzado para el control de movimiento, también incorpora varios puertos como de potencia, comunicación, leds indicadores, protecciones, retroalimentación entre otros como se puede observar en la Figura (7).

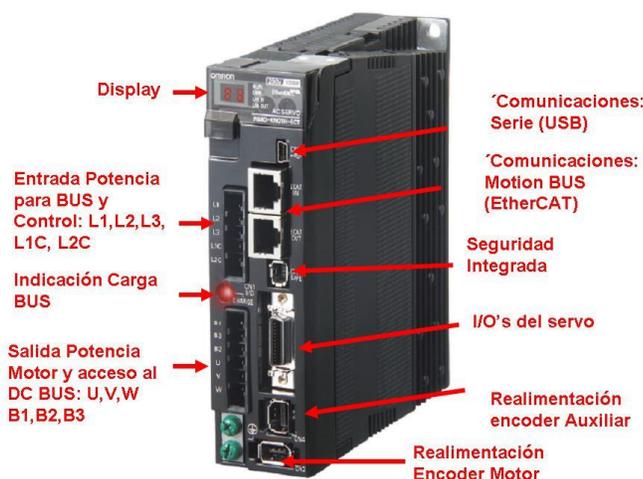


Figura 7. Puertos y elementos básicos del Servo-Drive
Fuente:(Motion Control,2016)

2.3. Motores y servomotores de Corriente Alterna (CA)

2.3.1. Motores eléctricos

La principal función de un motor eléctrico es transformar energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas, su principio de funcionamiento se basa en que, si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, este tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético produciendo así energía mecánica. Existen dos principales tipos de motores, el motor de corriente continua (CC) y los motores de corriente alterna (CA), los motores de corriente continua son los más versátiles en la industria, pero con la llegada de la electrónica su uso ha disminuido en gran medida, pues el motor de corriente alterna del tipo asíncrono, pueden ser controlado de igual forma y a menor costo para el consumidor de la industria. Dicho lo anterior nos enfocaremos principalmente en los motores de corriente alterna(CA).

2.3.2. Motores de corriente alterna (CA)

Existen dos tipos de motores que utilizan corriente alterna, el motor síncrono y el motor asíncrono, el primero es en esencia un alternador trifásico que funciona de forma inversa y el segundo gira mediante un campo magnético giratorio, el cual se obtiene con tres devanados

desfasados 120° acoplados en estrella o triángulo y conectados a un sistema trifásico de corriente alterna (CA), a continuación, se enfoca principalmente en el motor de corriente alterna de tipo asíncrono.

2.3.2.1. Motores de corriente alterna asíncrono

Uno de los motores más usados en la industria es el motor de inducción trifásico, este motor está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos: de tipo jaula de ardilla o bobinado, y un estator, en el que se encuentran las bobinas inducidas. Cuando por estas bobinas circula un sistema de corrientes trifásicas, se induce un campo magnético giratorio que envuelve al rotor produciendo movimiento. En la Figura 8, se puede observar un motor eléctrico asíncrono y las partes mencionadas anteriormente. En la Figura 9 se puede observar el principio de funcionamiento del motor asíncrono.

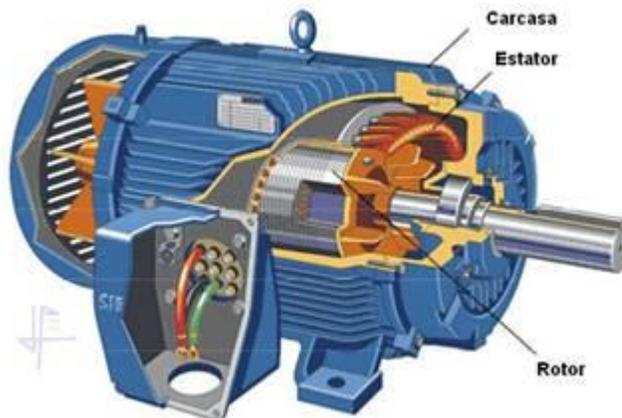


Figura 8. Partes principales de un motor eléctrico asíncrono
Fuente: (SIEMENS ,2010)

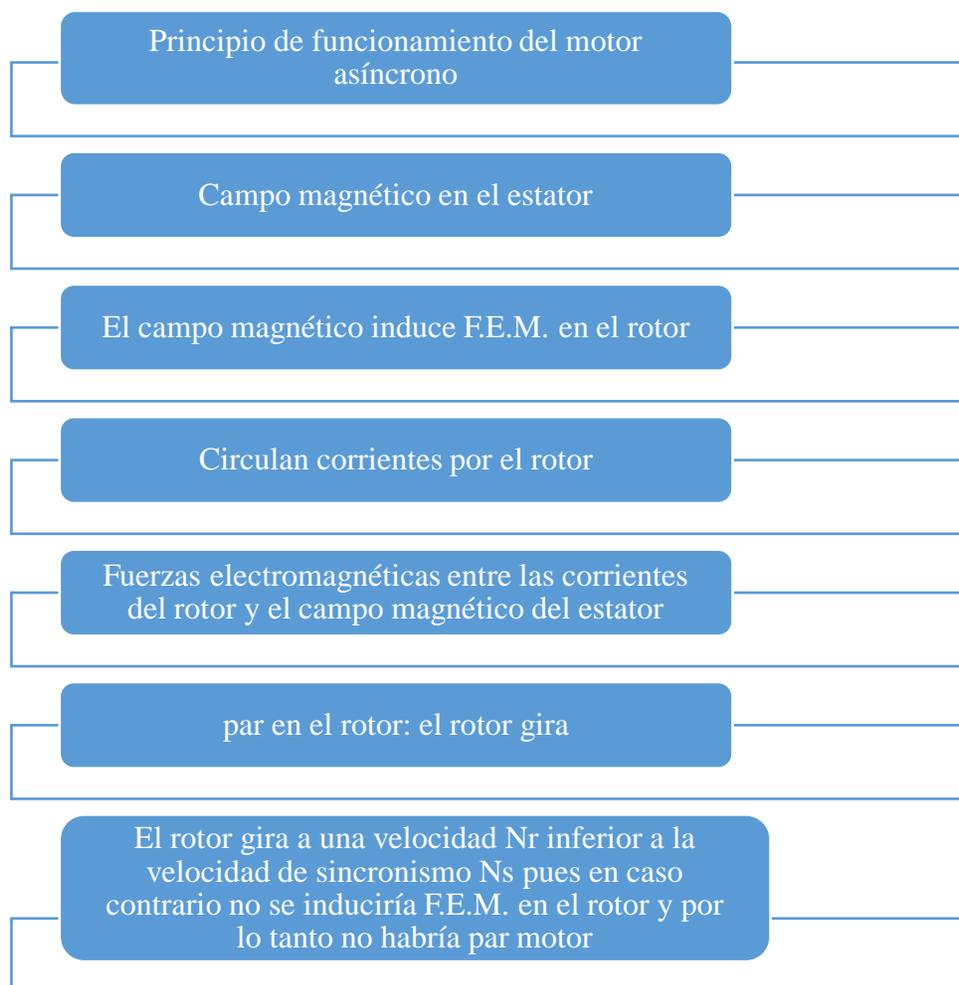


Figura 9. Principio de funcionamiento del motor asíncrono
Fuente: (UTN,2009)

2.3.2.2. Motor asíncrono de rotor de Jaula de Ardilla

También se lo conoce como rotor en cortocircuito, es el más sencillo y el más utilizado actualmente. El núcleo del rotor se hace por apilamiento de finas láminas de acero para formar un cilindro. En lugar de rollos de alambre como conductores, se usan barras conductoras en las ranuras equidistantes entre si alrededor del cilindro. La mayoría de los rotores de jaula de ardilla son hechos en fundición de aluminio para formar las barras conductoras. Después de la fundición a presión, las barras conductoras del rotor son mecánicamente y eléctricamente conectado con anillos externos. El montaje se presiona sobre un eje de acero para formar un rotor conjunto. Las barras

del devanado van conectadas a unos anillos conductores denominados anillos externos. El bobinado así dispuesto tiene forma de jaula de ardilla como se puede observar en la Figura 10.

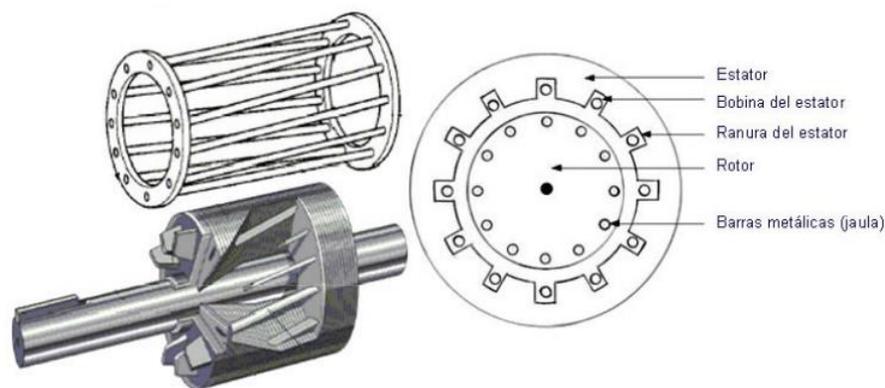


Figura 10. Motor con rotor tipo Jaula de Ardilla
Fuente: (SIEMENS, 2010)

2.3.2.3. Motor asíncrono de rotor bobinado

Son motores asíncronos con un devanado trifásico de cobre dispuestos en las ranuras de rotor, que va conectado a tres anillos metálicos por uno de sus extremos, en tanto que, en el otro lado se conecta en estrella. De este modo se puede controlar desde el exterior la resistencia total del circuito retórico, facilitando un control de la velocidad y corriente de arranque con un elevado par de arranque y un mejor factor de potencia que con el rotor en jaula de ardilla (Sistemas automáticos SAP,2011). En la figura 11 se puede observar las partes del motor de rotor bobinado.

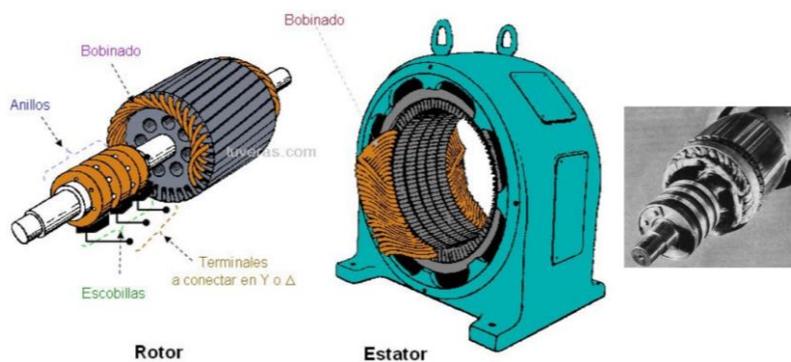


Figura 11. Partes de un motor de rotor bobinado
Fuente: (UTN,2009)

2.3.3. Conexión de los bobinados de un motor trifásico

El estator de un motor trifásico suele tener tres devanados distintos que corresponden con cada uno de las fases que se conectará a la red eléctrica. En la Figura 12 se puede observar la denominación de los terminales de las bobinas y los dos tipos de conexiones en las que se puede conectar y arrancar un motor eléctrico trifásico.

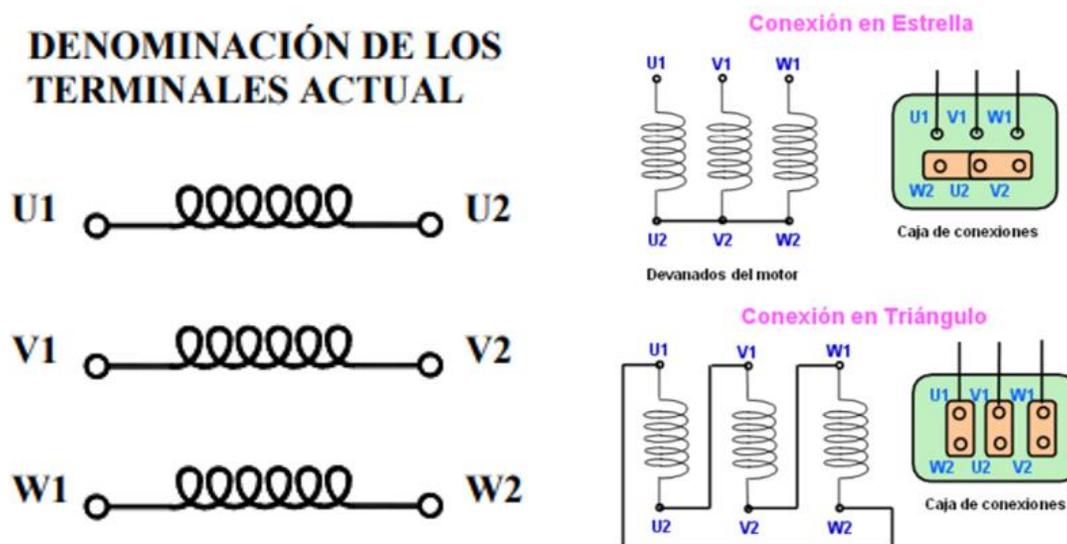


Figura 12. Denominación de los terminales de las bobinas
Fuente: (Sistemas automáticos SAP,2011)

2.3.4. Servomotores de corriente alterna (CA)

A los servomotores se puede clasificar según el tipo de movimiento en: motores rotativos, motores lineales y motores angulares. También los se puede clasificar según su topología como: motor inducido de tres fases (CA), motor tipo Brush DC, Brushless servomotor (CA & CD), motor paso a paso y motor lineal entre otros. Los motores aptos para servosistemas y más utilizados en aplicaciones industriales son los motores de CA sin escobillas tipo Brushless, de los cuales hablaremos a continuación.

2.3.4.1. Servomotores Brushless (CA)

Básicamente están formados por un estator segmentado en el que el espacio relleno de cobre es casi el doble que, en los motores tradicionales, esto permite desarrollar una mayor potencia con un menor volumen. Este servomotor posee un estator parecido al de un motor de jaula, con un núcleo laminado y un bobinado trifásico uniformemente distribuido.

El rotor está constituido por un grupo de imanes permanentes fijados en el eje de rotación. La forma de los rotores a imanes varía de acuerdo al diseño y puede clasificarse en cilíndricos o de polos salientes. La fijación de los imanes al rotor ha sido uno de los puntos críticos en la construcción de estos motores debido a las altas fuerzas centrífugas a las que se encuentran sometidos durante los procesos de aceleración y frenado. Actualmente se combinan fijaciones mecánicas de diferentes tipos con pegado utilizando diferentes adhesivos especiales. El rotor incorpora una serie de imanes permanentes especiales que proporcionan mayor densidad de flujo, para un mejor rendimiento y obtención de mejor par en menor tamaño (DSCS,2015). En la Figura 13 se puede observar la constitución básica de un servomotor tipo Brushless.

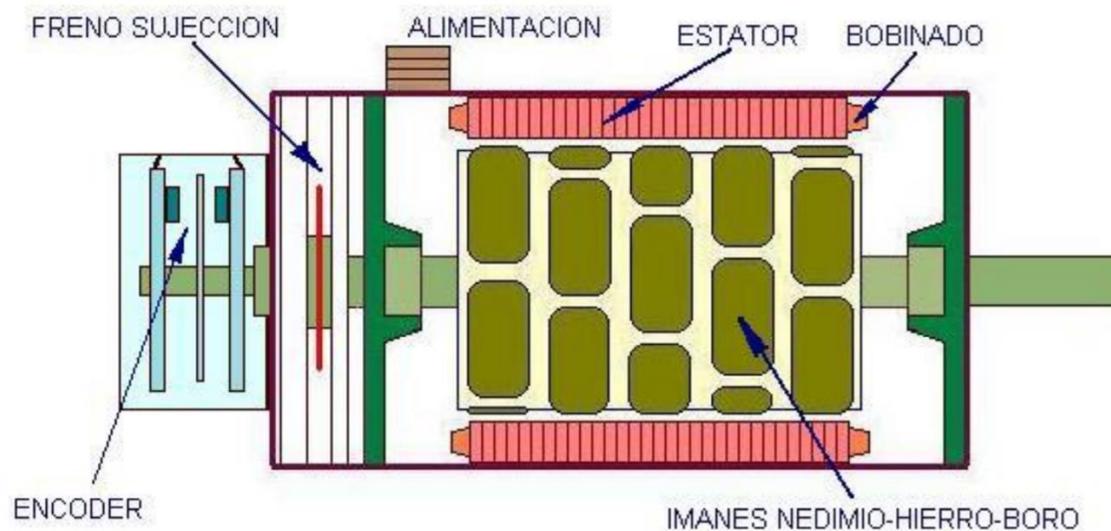


Figura 13. Constitución básica de un motor Brushless
Fuente: (DSCS,2015)

Tabla 1.

Ventajas y Características principales del motor Brushless

Ventajas y Características
Prestaciones y par elevado
Fiabilidad de funcionamiento
Bajo mantenimiento
Gran exactitud en el control de velocidad y posición
Capacidad de velocidades muy altas
Pérdidas en el rotor muy bajas
Rotor con poca inercia
Amplia gama de potencias

Fuente: (DSCS,2015)

En el interior el servomotor incluye un elemento para el control del mismo. Se trata de un captor angular de posición que por lo general es un encoder de tipo incremental o absoluto. El de tipo incremental no distingue el sentido de giro, mientras que el absoluto si lo hace, a continuación, se habla de estos tipos de encoder.

2.4. Sensores de posicionamiento y velocidad

2.4.1. Encoders

Los encoders son sensores que generan señales digitales en respuesta al movimiento. Se puede encontrar en dos tipos, uno que responde a la rotación, y el otro al movimiento lineal. Cuando se los usa en conjunto con dispositivos mecánicos como engranajes o ruedas de medición, estos pueden ser utilizados para medir movimientos lineales, velocidad y posición.

Los encoders pueden ser utilizados en muchas aplicaciones. Estos actúan como transductores de retroalimentación para el control de la velocidad en motores, también como sensores para medición de desplazamiento, y de posicionamiento. Entre algunas aplicaciones como en la Robótica, máquinas de ensamblaje, maquinas taladradoras y entre otras. En cuanto a la tecnología, pueden utilizar tanto tecnología óptica como magnética. En la Figura 14 se puede observar el principio de funcionamiento de estas dos tecnologías (WEST).

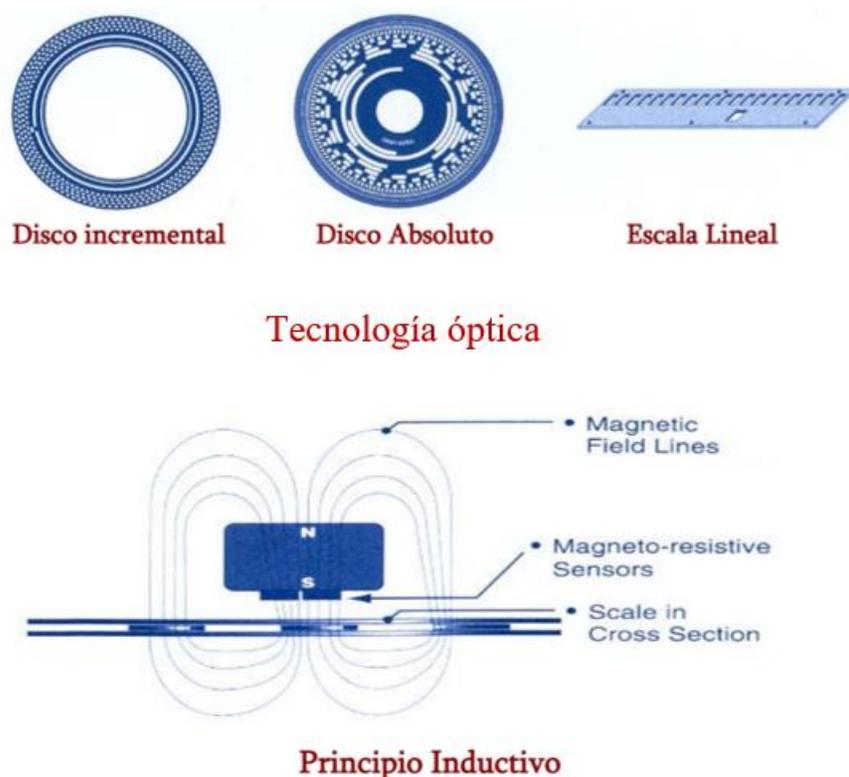


Figura 14. Tecnologías óptica y magnética
Fuente: (WEST,2016)

Otros sensores que se consideran, son los sensores magnéticos ya que se utilizan frecuentemente en aplicaciones de trabajo pesado como en laminadoras de papel y acero, estos son resistentes al polvo, la humedad y a golpes mecánicos dependiendo el tipo de fabricación que tenga. Los encoders están disponibles en diferentes tipos de salida entre estas el encoder incremental y el encoder absoluto de los cuales se detalla su funcionamiento a continuación.

2.4.1.1. Encoder incremental

Estos proveen un número específico de pulsos mientras se mueven, se utilizan para medir velocidad o la trayectoria de la posición. Estos pulsos son espaciados de forma equitativa ya sea en pulgadas o en milímetros. Se utiliza un solo canal de salida en aplicaciones que no se toma en cuenta el sentido del movimiento, caso contrario se utiliza la salida de cuadratura bidireccional con

dos canales desfasados eléctricamente 90 grados; el circuito determina la dirección de movimiento basado en la fase de relación entre ellos. Para aplicaciones que requieren más resolución, es posible computar los márgenes de dirección y rastreo de la serie de pulsos de un canal. Al contar ambos márgenes de dirección y de rastreo de los dos canales obtendremos una resolución por cuatro. Para determinar la posición, los pulsos de salida tienen que ser acumulados por un contador, algunos encoders incrementales también producen otra señal conocida como índice o canal Z, esta señal es producida una vez por revolución de un encoder de eje es utilizada frecuentemente para localizar una posición específica (WEST). En la Figura 15 se puede observar los canales de salida de un encoder incremental.

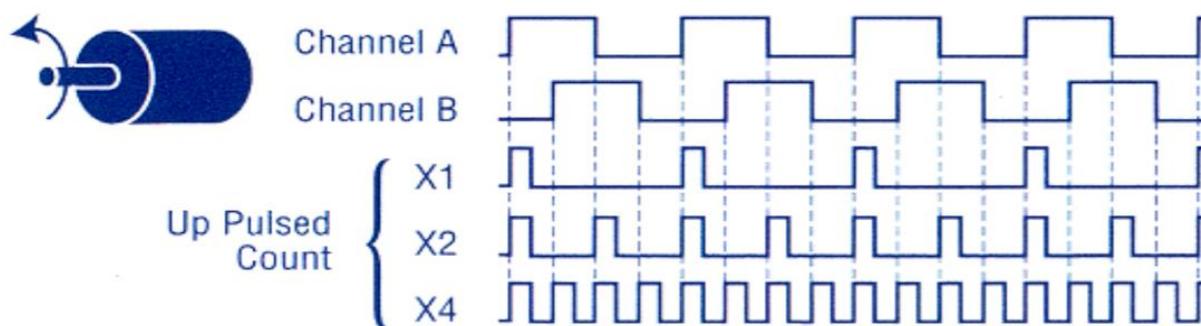


Figura 15. Canales de salida del encoder incremental
Fuente: (WEST,2016)

2.4.1.2. Encoder absoluto

Estos generan multi-bits digitales que indican directamente su posición actual, velocidad y dirección de movimiento. A diferencia del encoder incremental si existe un corte de energía no es necesario regresar a una posición referencial como con el encoder incremental. Los transistores eléctricos pueden producir únicamente errores de datos transitorios, usualmente muy breve como para afectar la dinámica de control de un sistema. La resolución es definida como el número de bits por mensaje de salida. Esta salida puede ser en código binario o Gray (WEST). En la Figura 16 se puede observar la zona de conmutación y los códigos de salida de un encoder absoluto.

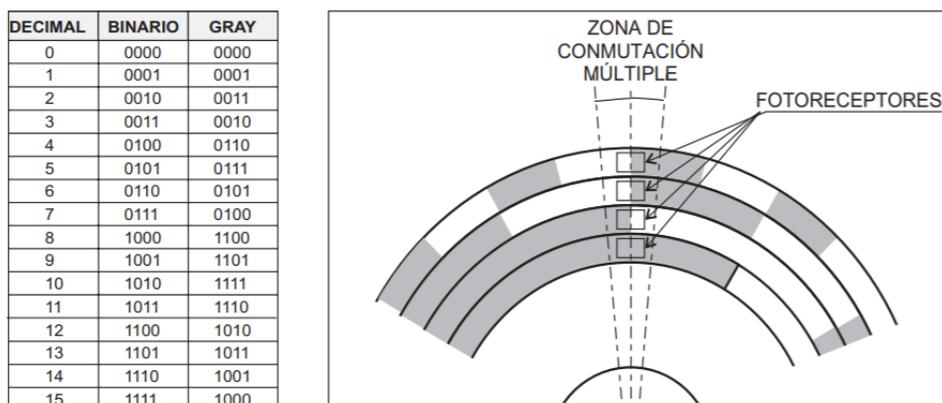


Figura 16. Constitución de la zona de conmutación y códigos binarios de salida
Fuente: (ELTRA,2013)

2.4.2. Sensores inductivos

Se induce o genera un campo magnético en la bobina cuando se energiza eléctricamente, esta bobina electromagnética es usada para detectar la presencia de un objeto metálico conductor. Los sensores inductivos ignoran la presencia de objetos no metálicos. En la Figura 17 se puede observar las partes de un sensor inductivo.

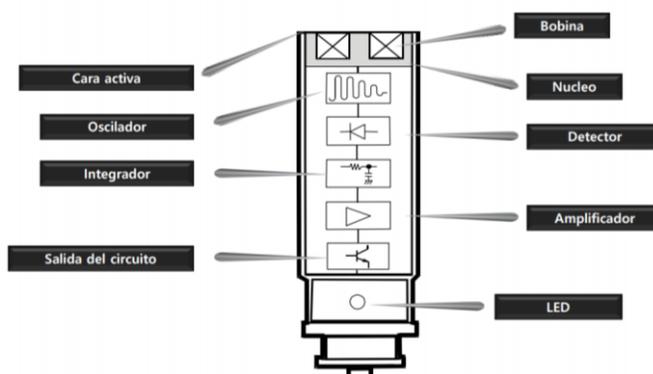


Figura 17. Partes de un sensor inductivo
Fuente: (AUTONICS,2016)

2.4.2.1. Principio de operación del sensor inductivo

Cuando un objetivo metálico entra al campo magnético, circulan corrientes de Eddy dentro del objetivo. Esto aumenta la carga en el sensor, disminuyendo la amplitud del campo

electromagnético. El circuito de disparo monitorea la amplitud del oscilador a un nivel predeterminado, dependiendo del estado de este nivel el circuito de disparo conmuta el estado de la salida del sensor. Conforme el objetivo se aleja del sensor, la amplitud del oscilador aumenta a un nivel predeterminado y el circuito de disparo conmuta el estado de la salida del sensor de nuevo a su condición normal (UASLP). En la Figura (18) se puede observar el principio de funcionamiento del sensor inductivo.

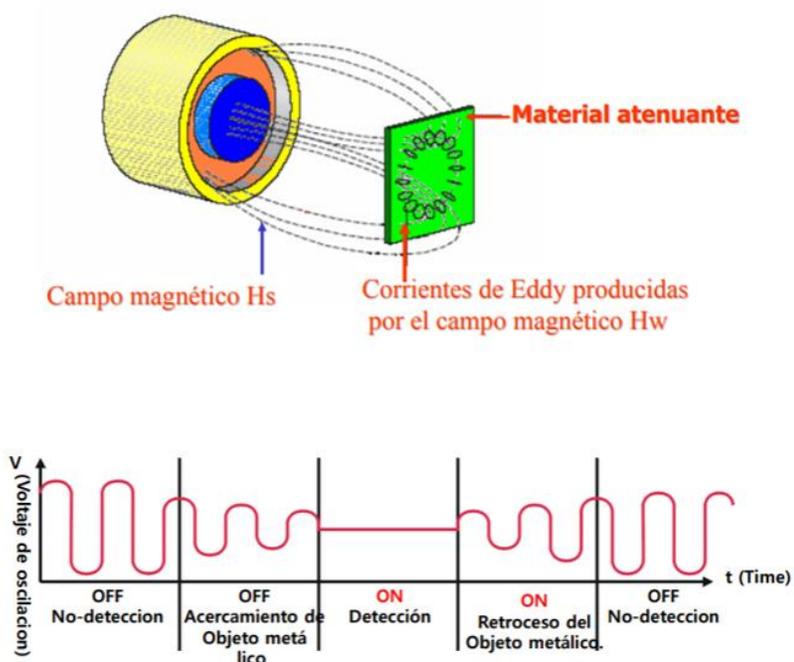


Figura 18. Principio de operación y forma de onda de la oscilación
Fuente:(AUTONICS,2016)

2.4.2.2. Aplicaciones en la industria y tipo de salidas del sensor inductivo

Las principales aplicaciones de los sensores inductivos son la detección de piezas metálicas sin contacto físico, estas aplicaciones pueden ser de conteo, detección de posición, forma del objetivo, detección de presencia de latas y tapas entre otras más. La aplicación más común en control de movimiento, es la detección de pernos, tornillos o muescas empotrados en los ejes de los motores o acoplamientos de transmisión de movimiento, la detección de los mismo nos permite controlar la dirección o velocidad del eje de un motor, también se puede controlar la posición del eje del motor

o de un objetivo para realizar inversión de giro o cambio de velocidad dependiendo la necesidad del proceso. En la Figura 19 se puede observar una técnica que permite medir la frecuencia de un eje y calcular la velocidad de movimiento del mismo. Entre las salidas del sensor inductivo tenemos: la salida CD 2 hilos, CD 3 hilos universal NPN o PNP y en CA 2 hilos, todas estas salidas se puede encontrar en estado normalmente abierto (NO) o normalmente cerrado (NC).

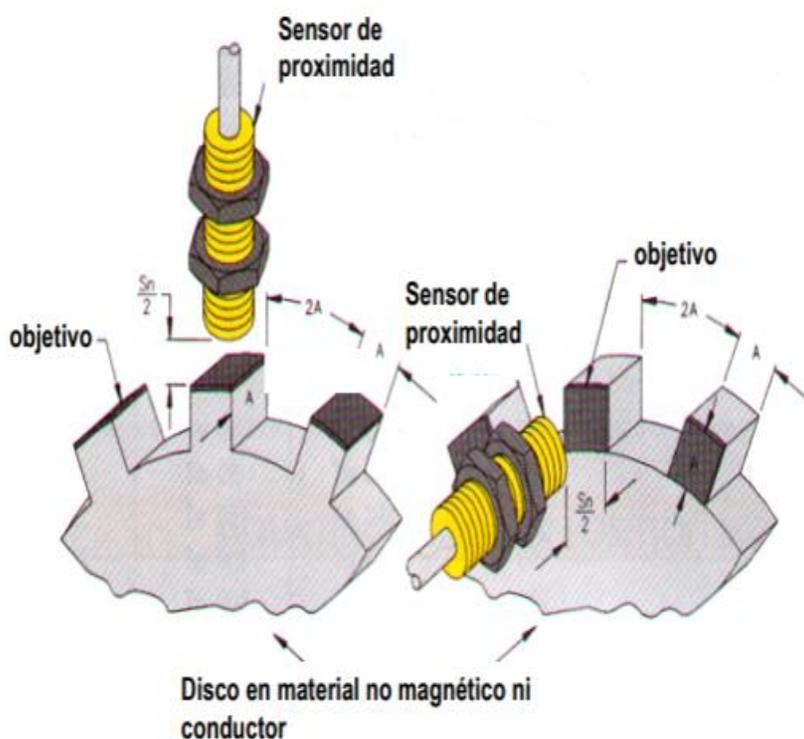


Figura 19. Técnica para medir la frecuencia de un eje
Fuente: (UASLP,2012)

2.5. Dispositivos de monitoreo

En el pasado los procesos industriales se los supervisaba manualmente, es decir se tomaba nota de productos, número de piezas producidas, valores de temperatura o niveles de líquidos que estaban presentes en un proceso. Este método resultaba muy complicado para el operador encargado de realizar este trabajo y además provocaba muchos errores en la lectura de indicadores y apuntes de registros de supervisión, ya que las variables podían cambiar drásticamente su valor en segundos. Actualmente el escenario industrial tiene la tendencia de expandirse hacia un

ambiente totalmente automatizado, gracias al avance de los sistemas tecnológicos se puede implementar aplicaciones y equipos de monitoreo más potentes capaces de realizar el registro de variables de forma automática y guardarlas en una base de datos para su posterior análisis, esto a permitido que las fabricas agilicen de forma significativa su proceso productivo. Entre las principales herramientas de monitoreo se puede encontrar paneles de membrana, supervisión móvil, paneles táctiles, paquetes SCADA y supervisión WEB, en los siguientes subcapítulos nos enfocaremos en los paneles de operador táctiles ya que serán implementados en el módulo de entrenamiento de control de movimiento.

2.5.1. Paneles de operador táctiles

En la actualidad en el mundo de la industria es necesario disponer de interfaces de comunicación entre el hombre y la máquina, siendo además indispensables, que estos se encuentren instalados en la máquina para así, permitir al operario controlar en todo momento el estado actual de la máquina y realizar cambios de parámetros o enviar órdenes. Estas interfaces pueden ser los paneles de operador actualmente táctiles, estos paneles permiten obtener todo tipo de información de las condiciones de trabajo de la maquina como valores de temperatura, velocidad, presión, graficas, alarmas entre otros. Estos pueden interactuar con diferentes equipos como: PLC's, variadores de frecuencia, impresoras, conexión a bus de datos, memorias entro otros, esto depende de los puertos de comunicación de redes industriales que tenga incorporado (ETITU,2010). Estos pueden ser monocromáticos o a color dependiendo la necesidad del proceso.

Para su programación se utilizan softwares específicos de cada fabricante que en su mayoría suelen ser fáciles y muy intuitivos de programar, aunque algunos paneles son más complejos dependiendo de su capacidad y necesidad del proceso. En la Figura (20) se puede observar un panel de operador táctil y sus principales componentes.

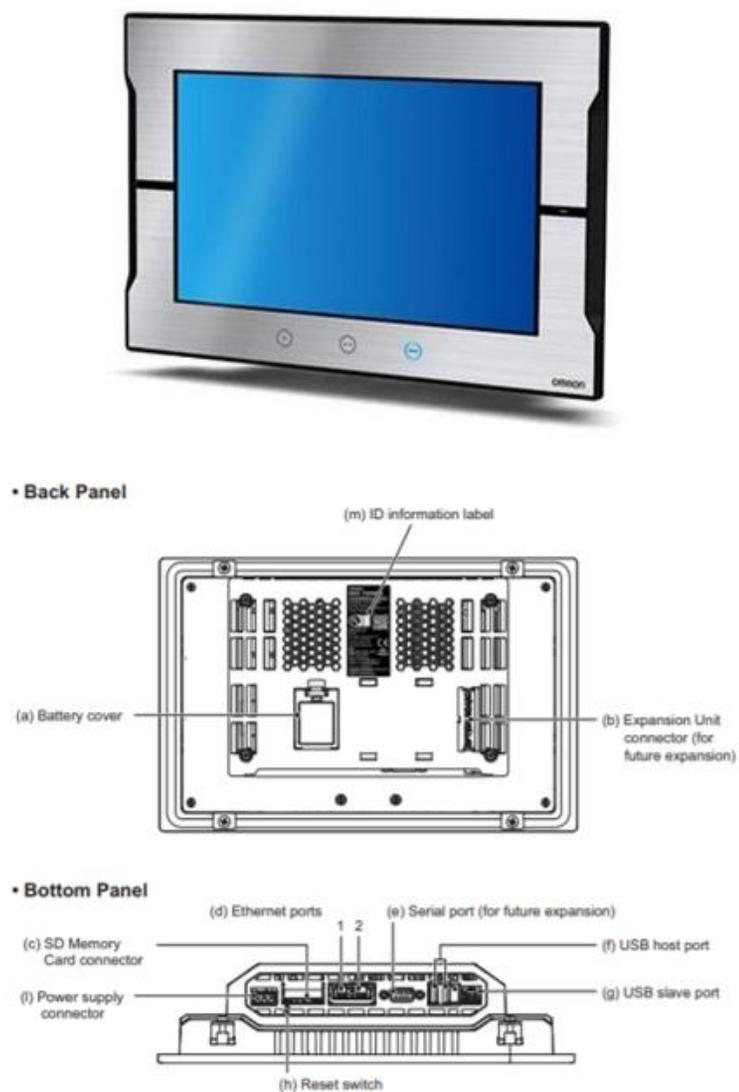


Figura 20. Panel de operador táctil y sus principales componentes
Fuente: (OMRON,2017)

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA

3.1. Requerimientos del sistema de entrenamiento

Las principales necesidades y falencias encontradas están relacionadas con los aspectos técnico y práctico, esto debido al constante avance y desarrollo tecnológico de equipos para control de movimiento industrial. Una vez analizadas las condiciones de equipos y técnicos del departamento de ingeniería de la empresa SENSORETECSA S.A. se ha expuesto las siguientes necesidades técnicas que se pretende solventar.

- Sistema de entrenamiento en control de movimiento con equipos de última generación y fácil movilidad del mismo.
- Integrar diferentes tecnologías y equipos en control de movimiento industrial para el departamento de ingeniería de la empresa SENSORETECSA S.A.
- Realizar control de velocidad y sentido de giro para un motor de CA mediante la programación del variador de frecuencia utilizando sus entradas y salidas lógicas.
- Realizar control de velocidad y sentido de giro para un motor de CA, mediante la integración de una red ModbusS RTU.
- Realizar el control y monitoreo de velocidad para un motor de CA mediante la activación del control PID del variador de frecuencia.
- Realizar el control de velocidad y posición para un motor de CA mediante el uso de la entrada de pulsos del variador.
- Realizar control de velocidad y sentido de giro para un servomotor de CA mediante el uso de un módulo de salida de pulsos.
- Realizar control y monitoreo de velocidad y de posición para un servomotor de CA mediante la integración de redes de comunicación EthernetIp/EtherCat.
- Integrar equipos y módulos que permitan interactuar con equipos antiguos, para evitar desecharlos y al mismo tiempo reducir el alto coste de migrar a equipos de última tecnología.

- Equipos que cumplan con normas internación y se adapten a las condiciones de trabajo con gran flexibilidad de integración.
- Generación de guías de práctica que permitan identificar, programar, configurar e integrar en su totalidad equipos de control de movimiento.

3.1.1. Beneficios y productos por entregar

- Para satisfacer la necesidad de integrar equipos de campo actuales en control de movimiento, se adquirirán equipos que se encuentren vigentes en el mercado y posean flexibilidad de integración e interacción entre los mismos, con tecnologías actuales como: redes de comunicación industriales para el control y monitoreo de procesos e integración, autonomía de funcionamiento mediante su programación y que cumplan con estándares de protecciones internaciones de funcionamiento y adaptación al ambiente de trabajo al cual serán integrados.
- Para que los técnicos puedan adquirir destrezas sobre los equipos de control de movimiento industrial, el módulo integrará equipos industriales. Con la finalidad que los técnicos de la empresa SENSORTECSA S.A. puedan realizar el control de movimiento, velocidad, inversión de giro y monitoreo de un motor de CA y un servomotor de CA a través de la integración de diferentes tecnologías de comunicación y equipos de control de movimiento industrial.
- Para el correcto funcionamiento y uso del módulo de entrenamiento en control de movimiento, se hará la entrega de guías de práctica y documentación técnica de cada uno de los equipos, que permitan la identificación, programación, configuración e integración de los diferentes equipos en control de movimiento industrial.

3.2. Alternativas de solución

Una vez realizado el análisis de las necesidades y requerimientos técnicos del personal y laboratorio del departamento de ingeniería de la empresa SENSORTECSA S.A. Se concluye que, al no poseer un sistema de entrenamiento en control de movimiento que permita solventar la problemática de entrenamiento e integración de estos equipos, aumenta considerablemente el tiempo de integración en el campo de la industria. Para lo cual, tomando en cuenta el alcance establecido para el presente proyecto, requerimientos del personal técnico y necesidades del

departamento de ingeniería de la empresa SENSORTECSA S.A. se proponen dos posibles soluciones.

Estas alternativas de solución se basan en las siguientes necesidades del laboratorio de departamento de ingeniería y en el alcance del presente proyecto.

- Equipos industriales en control de movimiento que integren tecnología de última generación
- Guías de práctica que permitan identificar, configurar, programar y simular procesos industriales
- Capacitación y documentación técnica
- Fácil movilidad del sistema de entrenamiento
- Aparte de ser un sistema de entrenamiento, deberá cumplir con las necesidades de un sistema demostrativo de funcionamiento de equipos en control de movimiento y sus diferentes aplicaciones

Para satisfacer estas necesidades a continuación se detallarán dichas soluciones.

3.2.1. Diseño modular

3.2.1.1. Descripción

Es un diseño basado en módulos tipo red que permitan disminuir el tiempo de integración de equipos, debido a que son fáciles de transportar, conectar, interactuar y programar, permitiendo una flexibilidad de adaptación a múltiples funcionalidades. Este diseño tiene modularidad, que hace referencia a la capacidad que tiene un sistema de ser estudiado, visto y entendido como la unión de varias partes que interactúan entre si y que trabajan en conjunto para alcanzar un objetivo. Cada una de estas partes en que se encuentra dividido el sistema recibe el nombre de módulo, son independientes del resto de módulos, pero pueden comunicarse entre ellos a través de redes de comunicación o entradas y salidas bien definidas.

Una de las principales características que debe cumplir el módulo de entrenamiento es ser un módulo pedagógico. Por lo que se considerará un diseño basado en módulos de aprendizaje y

demostrativos de la empresa mexicana GIEN INDUSTRIES, esta solución cumple con la mayoría de los requerimientos expuestos anteriormente.

Otra de las principales características que tendrá el módulo de entrenamiento es, su fácil movilidad, el cual tendrá dimensiones las que están basadas en estudios de adaptación al lugar de trabajo. Las dimensiones serán adecuadas para que el módulo pueda ser introducido en una maleta industrial para su fácil para demostración y entrenamiento en campo.



Figura 21. Módulo de entrenamiento Demo PLC y Networking
Fuente:(GIEN INDUSTRIES,2015)

3.2.1.2. **Ventajas del diseño**

- Ayuda didáctica y demostrativa para capacitaciones de equipos en control de movimiento
- Flexibilidad y fácil integración de equipos que permitirá el desarrollo de prácticas propuestas en las guías de práctica.
- Escalabilidad en hardware a futuro
- Fácil movilidad del sistema

3.2.1.3. Detalle de la estructura y requerimientos eléctricos

- Base metálica
- Dimensiones 0.53 x 0.401 x 0.29 m. alto, ancho y profundidad respectivamente, dimensiones adecuadas para su fácil transportación
- Maleta industrial con protecciones contra el polvo, agua y válvula de despresurización
- Alimentación principal 220 V en CA
- Conductores para la instalación calibre 12-14-16-18 AWG flexible

3.2.2. Sistema compacto

3.2.2.1. Descripción

A un diseño compacto se puede definir como un diseño que se encuentra condensado, resumido o apretado sin espacios libres o se lo puede ver como algo sólido. En la Figura 22 se puede observar un sistema de entrenamiento compacto.



Figura 22. Sistema de entrenamiento con diseño compacto
Fuente: (I.E.S. EL ARENAL,2016)

3.2.2.2. Ventajas del diseño

- Mayor número de elementos integrados en un solo sistema de entrenamiento.
- Ayuda didáctica

3.2.2.3. Detalle de la estructura y requerimientos eléctricos

- Estructura de tol galvanizado
- Dimensiones 1,60 x 1,20 x 0,50 m. Alto, ancho y profundidad respectivamente
- Alimentación principal 220 V CA tres fases y neutro
- Conductores para instalación calibre 14-16 AWG
- Conexión a tierra

La limitante principal de este diseño es las dimensiones de la estructura, que podría dificultar la movilidad a largas distancias para capacitaciones en campo. Otra limitante sería una difícil adaptación de espacio en salas de reunión o capacitación que se dictarán las capacitaciones.

3.2.3. Tabla comparativa entre las posibles soluciones

Tabla 2.

Matriz comparativa entre las dos posibles soluciones

	Diseño modular	Diseño compacto
Flexibilidad y fácil integración de nuevos equipos	x	
Fácil identificación de equipos para su mantenimiento	x	x
Cumplimiento con el alcance	x	
Escalabilidad a futuro de hardware	x	
Fácil movilidad	x	
Menor costo de integración		x
Facilidad de montaje	x	x

- El sistema con diseño modular presenta las características de fácil movilidad, flexibilidad de integración para nuevos equipos, escalabilidad a futuro de hardware y ayuda didáctica, lo que se puede decir que cumple con la mayoría de requerimientos planteados anteriormente.
- El diseño compacto cumple con algunos requerimientos, pero su mayor limitante es la estructura física del sistema y su movilidad a largas distancias el cual tendría una difícil adaptación del espacio de trabajo para el entrenamiento de técnicos en campo.

Una vez analizada la matriz comparativa de las dos alternativas de solución, optaremos por el diseño modular, ya que abarca con la mayoría de requerimientos que debe cumplir el sistema de entrenamiento en control de movimiento para la empresa SENSORTECSA S.A. y cumple con el alcance del proyecto planteado. A continuación, se procede a la etapa de ingeniería a detalle.

3.3. Diseño del sistema de entrenamiento

En esta sección se detallará el diseño del sistema de entrenamiento en control de movimiento previo a la fase de implementación como dimensiones de la estructura metálica con su respectiva distribución de los equipos, dimensionamiento de las protecciones eléctricas y características de los elementos que van a ser instalados.

3.3.1. Estructura física del sistema de entrenamiento

La estructura física del sistema tendrá un diseño enfocado en el entrenamiento teórico y práctico de técnicos, como también en el funcionamiento demostrativo de equipos en control de movimiento. Su etiquetado como también sus conexiones eléctricas estarán sujetas a normas y estándares internacionales vigentes para garantizar su buen funcionamiento.

Las principales normas que se tomará en cuenta para el diseño e implementación del sistema de entrenamiento en control de movimiento, corresponden a las normas IEC 61439 e IEC 60529, la primera hace referencia a la construcción óptima y funcional de tableros o cuadros eléctricos armados de tipo abiertos o cerrados y la segunda hace referencia a los grados de protección proporcionados por los contenedores que resguardan los materiales eléctricos.

3.3.2. Dimensionamiento de la estructura metálica del tablero eléctrico

Tomando en cuenta las normas y necesidades de diseño de implementación del sistema de entrenamiento expuestas anteriormente, se procede al dimensionamiento de la estructura metálica la cual también debe cumplir con los requerimientos técnicos de un módulo de entrenamiento didáctico.

Según la norma IEC 61439-1 los cuadros o tableros eléctricos pueden clasificarse en función de diversos criterios como su tipología de construcción, diseño externo, condiciones de instalación o función realizada.

La estructura metálica de acuerdo con la tipología de su construcción será de tipo abierto, en el que las piezas con tensión del equipo eléctrico son accesibles y solo pueden ser utilizados en lugares cubiertos y por personal con conocimientos previos de electricidad y electrónica.

Para el transporte del módulo de entrenamiento se utilizarán maletas especiales que permitan un transporte adecuado y seguro del mismo. En la figura (23) se muestra las dimensiones frontal y lateral con las que la estructura fue elaborada.

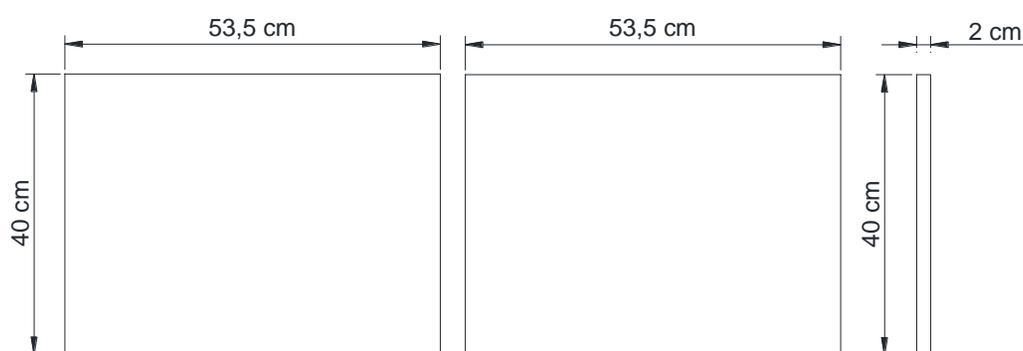


Figura 23. Ilustración de la estructura metálica tipo abierto

3.4. Planos de construcción y especificaciones de los equipos

3.4.1. Distribución de los equipos

Como se puede observar en la Figura 24 el diseño de distribución de los equipos se lo ha realizado en dos tableros eléctricos y dos divisiones horizontales en cada uno de ellos, este diseño nos permitirá garantizar el fácil transporte del módulo de entrenamiento.

En el primer tablero se distribuirán equipos de control de movimiento para motores y servomotores de corriente alterna trifásicos, en la primera división superior horizontal estarán distribuidos los siguientes equipos, un HMI, un variador de frecuencia, un Servo-Drive y un Servo-Motor, en la segunda división horizontal inferior estarán distribuidos los siguientes equipos: protección principal del módulo, una fuente DC, un PLC, y borneras de conexión, el motor de corriente alterna estará ubicado en una base externa.

En el segundo tablero se distribuirán equipos de control de movimiento para servomotores de corriente alterna trifásicos con comunicación EtherNet/IP y EtherCat de la familia Sysmac, en la primera división superior horizontal estarán distribuidos los siguientes equipos, un HMI, un Servo-Drive y un Servo-Motor, en la segunda división horizontal inferior estarán distribuidos los siguientes equipos, protección principal del módulo, una fuente DC, un PLC, módulos remotos de E/S y borneras de conexión.

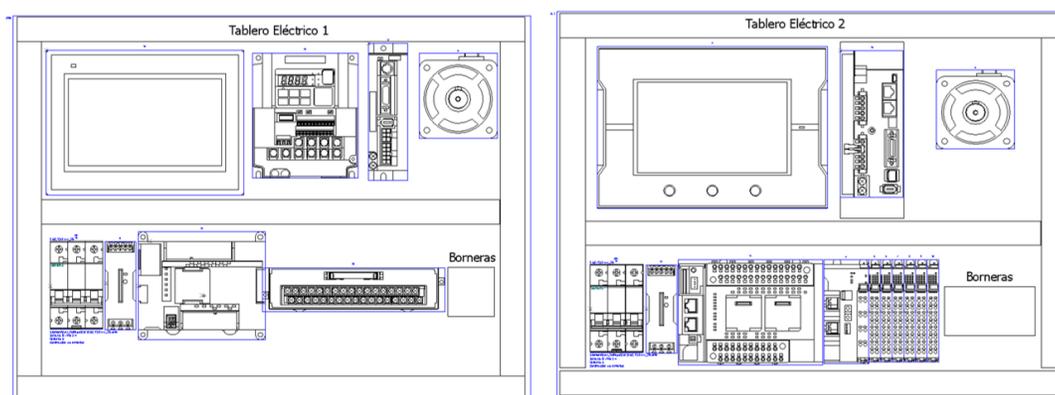


Figura 24. Plano de distribución de los equipos

3.4.2. Dimensionamiento de equipos de protección eléctrica

En el diseño de sistema de entrenamiento es importante tomar en cuenta factores técnicos que podrían afectar el correcto funcionamiento de los equipos implementados y afectar al personal técnico que interactuará con el sistema. Los factores de riesgo a tomar en cuenta son: cortocircuitos por una mala conexión eléctrica y sobrecargas eléctricas. A continuación, se realizará los cálculos correspondientes para las protecciones eléctricas que contrarrestarán los factores técnicos expuestos anteriormente.

3.4.2.1. Cálculo de consumo de potencia de los equipos implementados

El consumo de potencia de los equipos instalados se puede tomar de las hojas técnicas de cada uno de estos.

Datos:

$$V_1 = 24 \text{ VDC} ; V_2 = 220 \text{ VCA}$$

$$P_T = P_1 + P_2 + \dots + P_n \text{ en [W]}$$

$$I_T = \frac{P_{TDC} [W]}{V_1 [V]}$$

3.4.2.2.1 Módulo parte 1

Cálculo de corriente en CD

- HMI serie NB $P_1 = 11 \text{ [W]}$
- PLC serie CP1L $P_2 = 13 \text{ [W]}$
- Fuente de poder serie S8VK $P_3 = 60 \text{ [W]}$

Aplicando

$$P_{TDC} = P_1 + P_2 + \dots + P_n \text{ en [W]}$$

$$P_{TDC} = 11[W] + 13[W] + 60[W] = 84[W]$$

$$I_{TDC} = \frac{P_{TDC}[W]}{V[V]}$$

$$I_{TDC} = \frac{84[W]}{24[V]} = 3.5 [A]$$

Cálculo de corriente en CA

- Variador de frecuencia serie MX2 $P_1 = 750 [W]$
- Servo-Drive serie R7D $P_2 = 400[W]$
- Fuente de poder serie S8VK $P_3 = 286 [W]$

Aplicando

$$P_{TCA} = P_1 + P_2 + \dots + P_n \text{ en } [W]$$

$$P_{TCA} = 750[W] + 400[W] = 1436[W]$$

$$I_{TCA} = \frac{P_{TCA}[W]}{V_2[V]}$$

$$I_{TCA} = \frac{1436[W]}{220[V]} = 6.5 [A]$$

$$I_{TM1} = I_{TCD} + I_{TCA} = 6.5 + 3.5 = 10[A]$$

3.4.2.2.2 Módulo parte 2

Cálculo de corriente en CD

- HMI serie NA $P_1=35 [W]$
- PLC serie NX1P2 $P_2 = 21 [W]$

- Fuente de poder serie S8VK $P_3 = 60 [W]$
- Coupler de módulos remotos serie $P_4 = 24 [W]$

Aplicando

$$P_{TDC} = P_1 + P_2 + \dots + P_n \text{ en [W]}$$

$$P_{TDC} = 35[W] + 21[W] + 60[W] + 24[W] = 140[W]$$

$$I_{TDC} = \frac{P_{TDC}[W]}{V[V]}$$

$$I_{TDC} = \frac{140[W]}{24[V]} = 5.83 [A]$$

Cálculo de corriente en CA

- Servo-Drive serie R88D-1SN $P_2 = 750[W]$

Aplicando

$$P_{TCA} = P_1 + P_2 + \dots + P_n \text{ en [W]}$$

$$P_{TCA} = 750[W]$$

$$I_{TCA} = \frac{P_{TCA}[W]}{V_2[V]}$$

$$I_{TCA} = \frac{750[W]}{220[V]} = 3.5 [A]$$

$$I_{TM2} = I_{TCD} + I_{TCA} = 5.8 + 3.5 = 9.3[A]$$

3.4.2.2. Selección del interruptor automático térmicomagnético

Es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando sobrepasa su valor máximo de corriente nominal. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente en un circuito: el magnético y el térmico. Estos dispositivos protegen la instalación contra sobrecargas y cortocircuitos. (ONE-TOUCH, 2010).

Tomando en cuenta los cálculos anteriores se procederá a la selección de los dispositivos de protección para el módulo de entrenamiento.

Sabiendo:

$$I_{TM2} = 10 [A] \text{ y } I_{TM2} = 9.3[A]$$

Utilizando criterios de dimensionamiento de dispositivos de protección y estándares de comercialización de los mismos, y que las características físicas del módulo de entrenamiento, a continuación, se presenta el listado de las protecciones seleccionadas. No se realizará el dimensionamiento de la protección para el motor ya que el equipo de control al que será conectado tiene la capacidad de monitorear y controlar el funcionamiento del motor.

- 1 Breaker 3 polos, 16 A: protección para el M1
- 1 Breaker 3 polos, 16 A: protección para el M2

3.4.3. Selección de conductores para las conexiones de control y potencia

Para la selección de un conductor se debe tomar en cuenta las características eléctricas, térmicas, mecánicas y químicas. Nosotros nos enfocaremos principalmente en la característica eléctrica de conducción de corriente máxima del conductor, tomando en cuenta esta característica se podrá determinar el diámetro del conductor según la corriente requerida por la aplicación.

3.4.3.1. Conductor de equipos de monitoreo y control

Como se mencionó anteriormente la selección del conductor estará basado en los cálculos realizados de consumo de corriente de cada uno de los equipos implementados. Considerando esto se decide utilizar el cable de calibre 16AWG (ver Tabla 3).

Tabla 3.

Elección del tipo de conductor para equipos de control y monitoreo

Número AWG	Diámetro de mm	Sección en mxm	Resistencia por Km	Capacidad de corriente [A]
11	2,053	4,17	4,07	12
12	2,053	3,31	5,13	9,5
13	1,828	2,63	6,49	7,5
14	1,628	2,08	8,17	6
15	1,45	1,65	10,3	4,8
16	1,29	1,31	12,9	3,7
17	1,15	1,04	16,34	3,2
18	1,024	0,82	20,73	2,5
19	0,91	0,65	26,15	2
20	0,811	0,52	32,36	1,6

Fuente: (NEC 310-16, 2002)

3.4.3.2. Conductor de actuadores y conexiones de potencia

Como se mencionó anteriormente la selección del conductor estará basado en los cálculos realizados de consumo de corriente de cada equipo implementados. Considerando esto se decide utilizar el cable de calibre 12AWG (ver Tabla 4).

Tabla 4.*Elección del tipo de conductor para actuadores y conexiones de potencia*

Número AWG	Diámetro de mm	Sección en mxm	Resistencia por Km	Capacidad de corriente [A]
11	2,053	4,17	4,07	12
12	2,053	3,31	5,13	9,5
13	1,828	2,63	6,49	7,5
14	1,628	2,08	8,17	6
15	1,45	1,65	10,3	4,8
16	1,29	1,31	12,9	3,7
17	1,15	1,04	16,34	3,2
18	1,024	0,82	20,73	2,5
19	0,91	0,65	26,15	2
20	0,811	0,52	32,36	1,6

Fuente: (NEC 310-16, 2002)

3.4.4. Lista de equipos a ser implementados

En la tabla 6, se realiza una breve descripción de cada uno de los equipos y elementos que serán integrados en el módulo de entrenamiento tales como dispositivos de control, módulos de comunicación, módulos de E/S remotas, dispositivos de monitoreo, cables especiales y equipos actuadores.

Tabla 5.*Lista de equipos y elementos*

Serie	Descripción	referencia	cantidad
M1			
HMI NB	Pantalla a color de 7" 24 vdc	NB7W-TW01B	1
EASY9	Braeker 3p 220 VCA-16A	EZ9F56316	2
S8KV	Fuente 24 VDC 2.5 A	S8VK-G06024	2
CP1L	PLC 24 VDC 20E/S PNP	CP1L-EL20DT1-D	1
MX2	Variador de frecuencia 0,75 KW 220 VCA	3G3MX2-AB007- V1	1
SMARTSTEP2	Servo-Drive 220 VCA 400W	R7D-BP04H	1

CONTINUA 

SMARTSTEP2	Servo-Motor 220 VCA 400W	R88M-G40030H-S2	1
SMARTSTEP2	Bornera 34P	XW2B-3465	1
LCIE07	Bornera tipo tornillo 22-12AWG	ATEX0010	30
CP1W	Módulo de comunicación RS422A/485	CP1W-CIF12	1
1LA7	Motor trifásico 220VCA 4POLOS 0.5 Hp	1LA7070-4YA60	1
FAMILIA SYSMAC			
HMI NA	Pantalla a color de 7" 24 vdc	NA5-7W001S	1
NX1P2	PLC 24VDC 2 Ejes 16E/10S PNP	NX1P2-1040DT1	1
CX1W	Módulo de comunicación RS422A/485	CX1W-CIF11	1
NX	Unidad acopladora EtherNet/IP	NX-EIC202	1
NX	Unidad de 16E/PNP	NX-ID5442	1
NX	Unidad de 2E/Corriente 4-20ma	NX-AD2203	1
NX	Unidad de salida de pulsos 1 eje	NX-PG0122	1
NX	Unidad IO-LINK master PNP	NX-ILM400	1
NX	Unidad de 16S/PNP	NX-OD5265	1
R88D-1SN	Servo-Drive 220 VCA 750W	R88D-1SN08H-ECT	1
R88M	Servo-Motor 220 VCA 750W	R88M-1M75030T-S2	1
CABLES			
SMARTSTEP2	Cable de control, cable de potencia y cable de encoder		1
SYSMAC	Cable de control, cable de potencia y cable de encoder		1
SMARTSTEP2			
SYSMAC	Cables especiales para comunicaciones industriales		4

3.4.5. Especificación de Equipos

El módulo de entrenamiento en control de movimiento será implementado con los equipos mencionados anteriormente ver Tabla 5. A continuación detallaremos cada uno de estos equipos para entender su funcionalidad y características generales de los mismos.

3.4.5.1. Fuente de Poder serie S8VK

La fuente de poder serie S8KV (ver Figura 25), sirve para generar el voltaje y corriente necesaria para alimentar equipos que trabajan en corriente directa. La tabla 6 muestra las características técnicas del equipo.

Tabla 6.

Características técnicas de la fuente de CD

Potencia nominal	Tensión de salida	Voltaje de entrada	Corriente de salida
60 [W]	24 [V]CD	100-220 [V]CA	2,5 [A]

Fuente:(OMRON,2012)



Figura 25. Fuente de poder CD serie S8VK
Fuente:(OMRON,2012)

3.4.5.2. Elemento de Protección termomagnético IEASY9

El interruptor termomagnético es un dispositivo con el que se interrumpe el paso de corriente si se ha detectado que ha sobrepasado un límite o valor máximo. A su vez, su acción se puede dar en dos tipos de eventos distintos, si se da una sobrecarga del circuito (térmica) o si se presenta un cortocircuito (magnética). Lo que dice que su funcionamiento se basa en los efectos magnéticos y térmicos que produce la electricidad a circular. Su principal función es proteger los componentes eléctricos ante los cortocircuitos y sobrecargas. La tabla 7 muestra las características técnicas principales del elemento.

Tabla 7.
Características técnicas del interruptor termomagnético

Número de polos	Corriente nominal	Frecuencia de red	Tensión de trabajo	tipo de montaje
3 P	16 [A]	60 [Hz]	230-400 [V] CA	Riel Din

Fuente: (Schneider,2010)



Figura 26. Interruptor termomagnético 3P

Fuente: (Schneider,2010)

3.4.5.3. Equipos de Control

Son equipos totalmente programables capaces de realizar un proceso de forma automática. Diseñados con múltiples señales de entradas y salidas digitales o analógicas. Son un claro ejemplo de un sistema en tiempo real, donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada en un tiempo limitado.

3.4.5.3.1 Autómata Programable serie CP1L

Este autómata programable CP1L (ver Figura 27), ofrece todas las funciones necesarias para controlar una máquina, incluye una excelente capacidad de posicionamiento. Para el presente proyecto el PLC cuenta con un puerto Ethernet incorporado, lo que proporciona una conectividad flexible para tareas de supervisión. Esta serie de PLC proporciona una gama de placas opcionales para comunicaciones serie o E/S analógicas, aprovechando estas ventajas el PLC contará con un módulo de comunicación MODBUS-RTU RS-485 que permitirá la comunicación con el variador de frecuencia MX2 para el control del mismo. También se utilizará las salidas de pulsos para el control del Servo-Motor de la serie SMARTSTEP-2. La programación de este equipo se lo realiza mediante el software CX-ONE.



Figura 27. Autómata Programable serie CP1L-EL20DT1-D
Fuente: (OMRON, 2015)

Tabla 8.*Características técnicas del PLC serie CP1L*

Características Técnicas CP1L	Uso general en el proyecto	
Alimentación	24 [V]CD	
Número de Salidas	8 PNP	2 salidas de pulsos
Número de entradas	12-24[V]CD	4 entradas de Encoder
Puerto Ethernet	1 incorporado	Conexión para supervisión
Puerto extra para módulos de comunicación	1 puerto	MODBUS-RTU RS-485
Software de desarrollo para programación	CX-ONE	CX-PROGRAMER

Fuente: (OMRON, 2015)

3.4.5.3.2 Autómata Programable para motion control serie NX1P2

Tiene un diseño compacto (ver Figura 28), ofrece un control sincronizado de los dispositivos de máquinas como el movimiento, las E/S, la seguridad y visión artificial, en un entorno de desarrollo integrado. Permite hasta 8 unidades de E/S NX locales, tiene incorporado puertos de comunicación EtherCat y EtherNet/IP. Es posible conectar hasta dos módulos opcionales para añadir comunicaciones serie o funcionalidad de E/S analógicas.

Para el presente proyecto se utilizará el puerto de comunicación EtherCat para el control de movimiento del Servo-drive serie R88D-1SN. La programación de este equipo se lo realiza mediante el software SYSMAC STUDIO.



Figura 28. Control motion serie NX1P2-1040DT1
Fuente: (OMRON, 2016)

Tabla 9.
Características técnicas PLC NX1P2-1040DT1

Características Técnicas NX1P		Uso general en el proyecto
Alimentación	24 [V]CD	
Número de Salidas	16 PNP	Uso general
Número de entradas	24	Uso general
Puerto Ethernet	1 incorporado	Conexión para supervisión
Puerto EtherCat	1 incorporado	Red de campo
Puertos extras para módulos	2 puertos	MODBUS-RTU RS-485
Software de desarrollo para programación	SYSMAC STUDIO	SYSMAC STUDIO

Fuente: (OMRON, 2016)

3.4.5.3.3 Variador de Frecuencia serie MX2

Este variador posee un circuito y componentes avanzados que proporcionan un elevado rendimiento (ver Figura 29). Tiene función de programación de usuario integrada, comunicación MODBUS-RTU RS485 incorporada otro bus de capo es opcional, funciones de supervisión de parámetros, niveles de velocidad programable, control PID en lazo cerrado o abierto, 7 E/S inteligentes programables, entradas analógicas de voltaje y corriente, entrada de tren de pulsos para posicionamiento simple, salidas tipo relé y funcionamiento automático mediante la programación en diagrama de flujos mediante su software de programación.

Para el presente proyecto se utilizará el puerto de comunicación MODBUS-RTU RS485 en dos partes distintas, en una primera parte para supervisar y controlar al variador mediante el HMI serie NB y en otra segunda parte para controlar al variador mediante el PLC serie CP1L. La programación de estos equipos se lo realiza mediante el software CX-ONE.

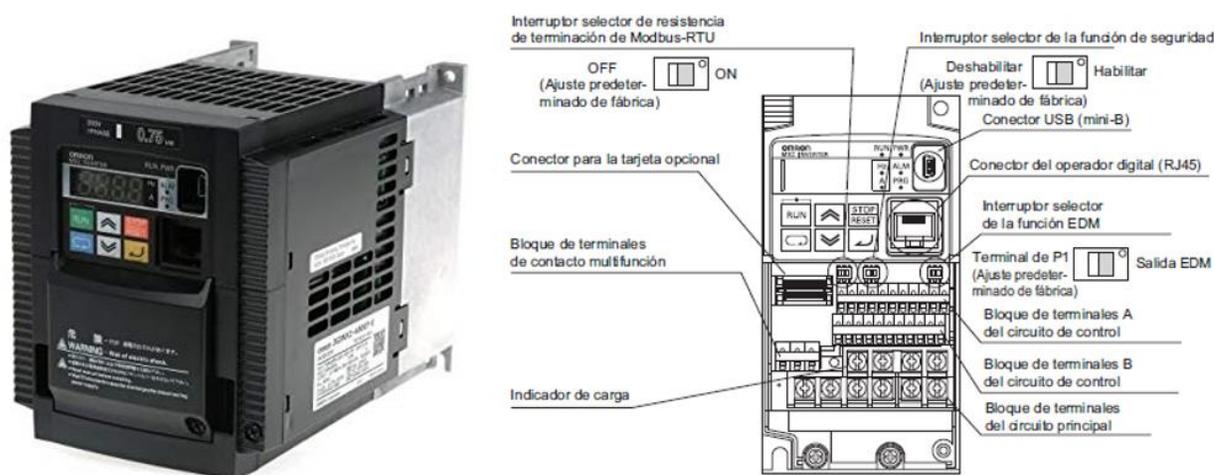


Figura 29. Variador de frecuencia 3G3MX2-AB007-V1
Fuente: (OMRON, 2013)

Tabla 10.
Características técnicas de variador serie MX2

Características Técnicas		Uso general en el proyecto
Alimentación	220 [V]CA	Monofásica
Número de Entradas o Salidas	7	Uso general programables
Entradas analógicas	1 de corriente y 1 de voltaje	Control PID o referencia de frecuencia
Puerto MODBUS-RTU	1 incorporado	Red de campo
Entrada de pulsos	1	Posicionamiento simple
Software de desarrollo para programación	CX-ONE	CX-DRIVE

Fuente: (OMRON, 2013)

3.4.5.3.4 Servo-Drive SmartStep2 serie R7D

Este dispositivo es muy pequeño y compacto (ver Figura 30), posee una configuración sencilla de parámetros mediante la unidad de parametrización o comunicación con un pc, también posee conectores que permiten el control y monitoreo de parámetros de posicionamiento.

Para el presente proyecto se utilizará el puerto de comunicación del conector CN3 para la parametrización del Servo-Drive, se utilizará la salida de pulsos del PLC de la serie CP1L para el control de posición y velocidad del Servo-Motor y mediante el HMI serie NB monitorearemos parámetros de funcionamiento utilizando el puerto de comunicación EtherNet de los dos equipos mencionados. La programación de estos equipos se lo realiza mediante el software CX-ONE.



Figura 30. Servo-Drive serie Smartstep2 R7D-BP04H
Fuente: (OMRON,2008)

Tabla 11.
Características técnicas del Servo-Drive R7D-BP04H

Características Técnicas		Uso general en el proyecto
Alimentación	220 [V]CA	
Entradas de pulsos	2	Uso general programables
Salidas	3	Retroalimentación para control
Puerto RS232	1 incorporado	Programación de parámetros
Potencia	400 [W]	Salida Servo-Motor
Software de desarrollo para programación	CX-ONE	CX-DRIVE

Fuente: (OMRON,2008)

3.4.5.3.5 Servo-Drive R88D-1SN

Este equipo es compacto (ver Figura 31), tiene incorporado una red de comunicación de campo EtherCat, se puede realizar un lazo de control de posición muy fácilmente, posee funciones de autoajuste, filtro de muesca adaptativo puede configurarse para suprimir las vibraciones y una alta capacidad de control de precisión.

Para el presente proyecto se utilizará el puerto de comunicación de campo EtherCat para el control del Servo-Motor y el puerto EtherNet del autómata programable para la comunicación entre el HMI serie NA para supervisión de la velocidad y posición del mismo. La programación y configuración se lo realiza mediante el software SYSMAC ESTUDIO.



Figura 31. Servo-Drive serie R88D-1SN08-HECT
Fuente: (OMRON, 2016)

Tabla 12.*Características técnicas del Servo-Drive R88D-1SN08-HECT*

Características Técnicas		Uso general en el proyecto
Alimentación	220 [V]CA 3F	
Puerto EtherCat	1 incorporado INT 1 incorporado OUT	Red de campo
Potencia	750 [W]	Salida Servo-Motor
Software de desarrollo para programación	SYSMAC ESTUDIO	SYSMAC ESTUDIO

Fuente: (OMRON, 2016)

3.4.5.4. Módulos de Comunicación

Estas tarjetas son módulos opcionales de comunicación para los PLC de OMRON, a continuación, se mencionará los módulos opcionales de comunicación que se utilizarán en el proyecto. Los módulos opcionales de comunicación a usarse en el proyecto son el CP1W-CIF12 para PLC de la serie CP1L y NX1W-CIF11 para el PLC de la serie NX.

3.4.5.4.1 Módulo de comunicación CP1W-CIF12

Es un módulo de comunicación serial (ver Figura 32), que permite comunicaciones RS-422/485 esto depende de la configuración del puerto 1 del PLC serie CP1L, En el presente proyecto se lo utilizó para realizar la comunicación MODBUS-RTU RS-485 entre el PLC y el variador de frecuencia MX2. La programación de estos equipos se lo realiza mediante el software CX-ONE.



Figura 32. Módulo de comunicación CP1W-CIF12
Fuente: (OMRON,2012)

Tabla 13.

Características técnicas de comunicación del módulo CP1W-CIF12

Características Técnicas		Uso general en el proyecto
Alimentación	Puerto 1PLC	
Comunicación	RS-422/485	Conexión MODBUS
Distancia de transmisión	500m	1m
Modo de comunicación	Host link, 1:N NT Link 1:1 Serial Gateway	Serial Gateway
Software de desarrollo para programación	CX-ONE	CX-PROGRAMER CX-DRIVE

Fuente: (OMRON,2012)

3.4.5.4.2 Módulo de comunicación NX1W-CIF11

Es un módulo de comunicación serial (ver Figura 33), que permite comunicaciones RS-422/485 esto depende de la configuración del puerto 2 del PLC serie NX1P2, En el presente proyecto se encontrará libre para una posible interacción entre los equipos NX1P2 y el variador de frecuencia MX2 mediante comunicación MODBUS-RTU RS-485. La programación de estos equipos se lo realiza mediante el software CX-ONE y SYSMAC ESTUDIO.



Figura 33. Módulo de comunicación NX1W-CIF11
Fuente: (OMRON,2016)

Tabla 14.

Características técnicas de comunicación del módulo NX1W-CIF11

Características Técnicas		Uso general en el proyecto
Alimentación	Puerto 2 PLC	
Comunicación	RS-422/485	Conexión MODBUS
Distancia de transmisión	500m	1m
Modo de comunicación	Host link Modbus-RTU master	Modbus-RTU master
Software de desarrollo para programación	SYSMAC STUDIO CX-ONE	CX-PROGRAMER

Fuente: (OMRON,2016)

3.4.5.5. Equipos de Monitoreo

Los HMI son equipos que permiten el monitoreo y cambio de parámetros de los procesos industriales, los HMI soportan varios tipos de comunicación y conexión a varias marcas de PLC's. Los HMI que se usarán en el proyecto son la serie NB para PLC de la serie CP1L y variador de frecuencia MX2 y HMI serie NA para el PLC de la serie NX.

3.4.5.5.1 HMI serie NB7W-TW01B

Es una HMI compacta (ver Figura 34), permite varios tipos de comunicación y esto depende de la configuración de los puertos incorporados en la misma. En el presente proyecto se la utilizará para una conexión directa con el variador de frecuencia MX2 mediante comunicación MODBUS-RTU y en una segunda configuración entre el PLC serie CP1L mediante comunicación EtherNet/Ip. La programación de estos equipos se lo realiza mediante el software CX-ONE.



Figura 34. HMI serie NB7W-TW01B
Fuente: (OMRON,2018)

Tabla 15.
Características Técnicas NB7W-TW01B

Características Técnicas		Uso general en el proyecto
Alimentación	24VCD	
Puerto de Comunicación COM1	RS-232C D-Sub 9-pin	Uso general
Puerto de Comunicación COM2	RS-232C/422/485 D-Sub 9-clavijas	MODBUS-RTU EtherNet/Ip
Puerto USB	USB 2.0 Tipo A	Uso General
Software de desarrollo para programación	CX-ONE	NB-DESIGNER

Fuente: (OMRON,2018)

3.4.5.5.2 HMI serie NA5-7W001S

Es una HMI compacta (ver Figura 35), permite varios tipos de comunicación y esto depende de la configuración de los puertos incorporados en la misma. En el presente proyecto se la utilizará para una conexión directa con el PLC serie NX1P2 mediante comunicación EtherNet/Ip. La programación de estos equipos se lo realiza mediante el software SYSMAC ESTUDIO.



Figura 35. HMI serie NA5-7W001S
Fuente: (OMRON,2018)

Tabla 16.
Características técnicas HMI serie NA57-7W001S

Características Técnicas		Uso general en el proyecto
Alimentación	24VCD	
Puerto de Comunicación COM1	RS-232C D-Sub 9-Hembra	Uso general
Puerto EtherNet 1	RJ-45 8P8C	EtherNet/Ip
Puerto EtherNet 2	RJ-45 8P8C	EtherNet/Ip
Puerto USB	USB 2.0 Tipo A	Programación
Software de desarrollo para programación	SYSMAC STUDIO	SYSMAC STUDIO

Fuente: (OMRON,2018)

3.4.5.6. Equipos Actuadores

Es un dispositivo compacto mecánico cuya función es proporcionar la fuerza para mover otro dispositivo. La fuerza que provoca el actuador podría provenir de fuentes como la energía neumática, hidráulica o eléctrica. Dependiendo del origen de la fuerza se da nombre al actuador como actuador neumático, hidráulico o eléctrico.

3.4.5.6.1 Motor de Corriente Alterna serie 1LA7070-4YA60 marca Siemens

Es un dispositivo compacto (ver Figura 36) tipo actuador eléctrico. En el presente proyecto se realizará el control de posición y velocidad del mismo, esto se realizará mediante la conexión eléctrica de la salida de potencia del variador MX2 el cual realizará un control avanzado del motor de corriente alterna.



Figura 36. Motor de corriente alterna 1LA7070-4YA60 de SIEMENS
Fuente: (SIEMENS,2017)

Tabla 17.

Características técnicas del motor de corriente alterna

Características Técnicas CA	
Alimentación	220 [V] CA 3F
Potencia	0.5 [Hp]
Revoluciones	1593 [rpm]
Corriente	1.9 In [A]
Factor de potencia	0.81
Torque nominal	2,24/2,9 [Nm]

Fuente: (SIEMENS,2017)

3.4.5.6.2 Servo-Motor SmartStep2 serie R88M-G40030H-S2

Es un equipo pequeño y compacto (ver Figura 37). En el presente proyecto se controlará velocidad, sentido de giro y posición del mismo. Este estará conectado a la salida de potencia del Servo-Drive serie R7D y entrada de realimentación de señal de encoder del Servo-Drive mencionado anteriormente.



Figura 37. Servo-Motor serie R88M-G40030H-S2
Fuente: (OMRON, 2008)

Tabla 18.

Características técnicas Servo-Motor R88M-G40030H-S2

Características Técnicas	
Alimentación	220 [V] CA
Potencia	400[W]
Revoluciones	3000 [rpm]

Fuente: (OMRON, 2008)

3.4.5.6.3 Servo-Motor SYSMAC control motion serie R88M-1M75030T-S2

Es un equipo compacto (ver Figura 38). En el presente proyecto se controlará velocidad, sentido de giro y posición del mismo. Este estará conectado a la salida de potencia del Servo-Drive serie R88D-1SN y entrada de realimentación de señal de encoder del Servo-Drive mencionado anteriormente.



Figura 38. Servo-Motor serie R88M-1M75030T-S2
Fuente: (OMRON, 2018)

Tabla 19.

Características técnicas del Servo-Motor R88M-1M75030T-S2

Características Técnicas	
Alimentación	220 [V] CA 3L
Potencia	750[W]
Revoluciones	3000 [rpm]

Fuente: (OMRON, 2018)

3.4.6. Software de Desarrollo

A continuación, se describe los softwares que se utilizarán para la configuración de parámetros y programación de los diferentes tipos de equipos que conforman el módulo de entrenamiento. Estos softwares se encuentran instalados en el computador de desarrollo de proyectos del departamento de ingeniería de la empresa SENSORTECSA S.A. con sus respectivas licencias de desarrollo de OMRON.

3.4.6.1. CX-One

CX-One es un paquete de herramientas integradas (ver Figura 39) que incorpora software de programación para los PLCs y otros componentes de OMRON. Este paquete de herramientas permite el funcionamiento integrado, desde la configuración de las unidades de CPU y unidades de E/S especiales y componentes de OMRON hasta la preparación/monitorización de la red y mejorar la eficacia de la preparación del sistema de PLC. Lo que se diría que en este paquete de software se puede dar soporte a la programación de PLCs, HMI, redes, equipos de control motion, regulación, controladores de temperatura y sensores (OMRON,2009).

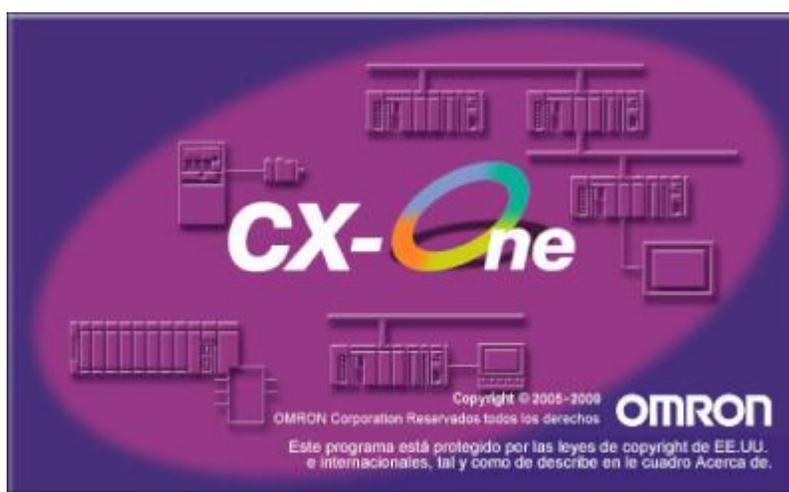


Figura 39. Caratula de software CX-One
Fuente: (OMRON,2009)

3.4.6.2.1 CX-Programmer

CX-Programmer es una herramienta completa de programación y configuración de PLCs de la marca OMRON. Mediante el uso de esta herramienta se puede configurar el tipo de comunicación de los puertos del PLC y tipo de funcionamiento de E/S de PLC, tales como entradas de conteo rápido para aplicaciones de retroalimentación de encoder o salidas de pulsos para el control de Servo-Drives y en lo que respecta a la configuración de los puertos de comunicación, se puede realizar la configuración de velocidades de transmisión, bits de verificación y tipo de comunicación. Actualmente contamos con la última versión de Cx-Programmer (ver Figura 40).



Figura 40. Versión de software Cx-Programmer
Fuente: (OMRON,2014)

3.4.6.2.2 CX-Drive

Esta herramienta permite una parametrización más rápida y sencilla de los variadores y servos de la línea de OMRON, además permite una programación en diagrama de flujos de los variadores de OMRON para un funcionamiento autónomo/independiente de la serie MX2. También se puede realizar un seguimiento de datos en tiempo real para visualizar el desempeño de funcionamiento de los mismos.

Para este proyecto se lo utilizara para la programación de funcionamiento autónomo del variador de frecuencia que se encuentra integrado en el módulo de entrenamiento. También se lo utilizara para parametrización de número de pulsos por vuelta del Servo-Motor entre otros parámetros de configuración importantes para el correcto funcionamiento de los mismos. Actualmente contamos con la última versión de Cx-Drive (ver Figura 41).



Figura 41. Versión de software Cx-Drive
Fuente: (OMRON,2013)

3.4.6.2.3 NB-Designer

Es una herramienta completa de programación intuitiva para los HMI de la serie NB de OMRON. Mediante el uso de esta herramienta se puede configurar el tipo de red de comunicación y el tipo de PLC o PLCs que interactuarán entre sí. Para el presente proyecto utilizaremos Nb-Designer para la programación del HMI que se encuentra integrada en el módulo, dicha programación permitirá el monitoreo, control y visualización de parámetros de interés de los equipos que conforman el módulo de entrenamiento en control de movimiento. Actualmente contamos con la última versión de Nb-Designer (ver Figura 42).



Figura 42. Versión de software Nb-Designer
Fuente: (OMRON,2012)

3.4.6.2.4 Sysmac Studio

Sysmac Studio es el nuevo entorno de desarrollo integral de OMRON, el cual ofrece un control total en un solo entorno de desarrollo. Sysmac Studio integra funciones de configuración, programación, simulación y monitorización de los equipos de la nueva familia Sysmac de OMRON. Lo que quiere decir que en este entorno se puede integrar equipos como controladores de la serie NJ, HMI serie NA, servos de la serie G5, sistemas de visión artificial, variadores MX2 y todos los equipos que conforman la nueva familia Sysmac para automatización de máquinas. En el presente proyecto lo utilizaremos para la configuración y programación de los equipos instalado en la parte 2 del módulo de entrenamiento. Actualmente contamos con la última versión de Sysmac Studio (ver Figura 43).



Figura 43. Versión de software Sysmac Studio
Fuente: (OMRON,2018)

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACION DEL SISTEMA

Después de realizar la etapa de diseño del sistema de entrenamiento en control de movimiento, procederemos a la implementación del mismo. Para la implementación del sistema de entrenamiento fue necesario especificar la funcionalidad de cada uno de los equipos que serán integrados y así cumplir con una distribución optima de los equipos cumpliendo reglas de seguridad y normas definidas en los capítulos anteriores. Para el proceso de implementación también fue necesario la construcción de diagramas y planos de instalación.

4.1. Diagramas y Planos de Instalación

Se realizó planos eléctricos y planos de conexiones de red con la finalidad de facilitar información a detalle del sistema de entrenamiento en control de movimiento. Estos planos se encuentran visibles en los anexos.

4.2. Instalación e Integración

Los tableros eléctricos son equipos que perteneces a los sistemas eléctricos y están destinados a cumplir con algunas de las siguientes funciones de medición, control, maniobra y protección. En el tablero eléctrico del sistema de entrenamiento en control de movimiento se encuentran los dispositivos y equipos de comunicación, HMI, controladores, elementos de protección y borneras de conexiones eléctricas.

Para garantizar el buen funcionamiento de las instalaciones eléctricas del tablero eléctrico del sistema de entrenamiento en control de movimiento se tomaron en cuenta reglas y normas para la instalación del mismo, estas reglas y normas al que se rige la implementación fueron expuestas en los capítulos anteriores.

4.2.1. Elaboración de la Estructura Mecánica

Una vez establecidas las dimensiones físicas y tipo de tablero eléctrico del sistema de entrenamiento se procederán a la fabricación de la estructura metálica del mismo, el material

utilizado para la elaboración del tablero eléctrico fue tol de acero inoxidable (ver Figura 44), este tipo de material es ideal para esta instalación y además cumple con las normas de diseño establecidas anteriormente.



Figura 44. Vista frontal y lateral de la estructura metálica

La estructura dispondrá de dos manijas aislada con material adecuado para la manipulación del mismo como dicta una de las normas planteadas anteriormente. Con el propósito de una fácil transportación del mismo, el sistema de entrenamiento fue dividido en dos partes que funcionarán de forma independiente o dependiente, esto dependerá de la aplicación o proceso que se pretenderá simular.

4.3. Distribución de elementos

Rigiéndonos a la distribución de equipos y elementos de la Figura 24 procederemos a la implementación del sistema. Los equipos de control y borneras de conexión estarán instalados en Riel Din, como se puede observar no dispondremos elementos físicos de señalización ni mando (ver Figura 45) ya que estos serán programados y se los visualiza en los HMIs instalados en cada parte del módulo de entrenamiento.



Figura 45. Distribución física de los equipos y elementos del sistema

Además, estará provisto de un paro de emergencia en la parte superior derecha (ver Figura 46) para garantizar la seguridad del personal que va manipular el sistema de entrenamiento y así estaríamos cumpliendo con la norma IEC-61439 la cual certifica la seguridad para personas y correcto funcionamiento del mismo.



Figura 46. Ubicación física de los paros de emergencias

Para tener una mejor visualización de los parámetros de monitoreo y control, los HMIs estarán instalados en una base metálica que estará al mismo nivel de los equipos de control de motores y Servo-Motores de corriente alterna, esto también permitirá una mejor manipulación de los HMIs (ver Figura 47).



Figura 47. Base metálica de los HMIs

4.4. Cableado de equipos y Etiquetado de conexiones

Una vez instalados los equipos y elementos que conforman el sistema de entrenamiento procederemos al cableado y etiquetado de conexiones del mismo. La principal norma a la que se rige la instalación es la norma IEC 61439-1, la cual garantiza el nivel mínimo de seguridad para bienes y personas.

4.4.1. Cableado del sistema de entrenamiento

El cableado del sistema de entrenamiento en control de movimiento se lo realizará de forma ordenada. Este se instaló en canaleta ranurada de 24*40 mm, la cual recorre todo el perímetro de las dos partes del sistema de entrenamiento como observamos en la Figura 48.



Figura 48. Distribución de la canaleta ranurada y cableado interno

La Figura 49. Muestra el cableado general del sistema de entrenamiento en control de movimiento.



Figura 49. Sistema de entrenamiento cableado

La Figura 50. Muestra el cableado de las redes de comunicaciones como MODBUS-RTU, EtherNet/IP y EtherCat las cuales permitirán el monitoreo y control del mismo.



Figura 50. Conexiones de comunicaciones de red de monitoreo y campo

Además, se respetó un código de colores para el cableado de conexiones del sistema de entrenamiento, este código de colores se lo detalla en la Tabla 20.

Tabla 20.

Colores del cableado interno

Color de conductor	Cableado
Rojo	24 [V]DC Fase
Blanco	Gnd
Negro	Gnd
Azul	Fase
Plomo	Red de comunicación y control
Amarillo	Red de comunicación
Verde	Puesta a tierra

4.4.2. Etiquetado de Conexiones Eléctricas

Todos los cables de las conexiones de control y potencia serán etiquetados en ambos extremos como están descritos en los planos multifilar del proyecto, con la finalidad de una identificación clara de las conexiones eléctricas de control y potencia del sistema de entrenamiento (ver Figura 51).

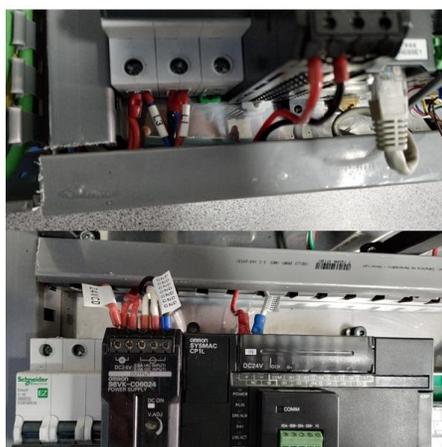


Figura 51. Etiquetado de conexiones eléctricas

El etiquetado se lo realizara mediante la impresión de la etiqueta utilizando una impresora de transferencia térmica portátil (ver Figura 52) marca Phoenix Contact. La etiqueta será impresa con la configuración de etiqueta tipo bandera la cual permitirá una visualización clara de las conexiones.



Figura 52. Impresión de etiquetas para identificación de conexiones

4.4.3. Conexión de puesta a tierra

Para un correcto funcionamiento e iteración de los equipos mediante comunicaciones industriales, el sistema de entrenamiento tendrá conexiones de puesta a tierra de los equipos y cables de comunicación mediante borneras (ver Figura 53). Esto permitirá que no se pierda la comunicación de los equipos de monitoreo y control por causa de ruido blanco que por lo general es producido por los Servo-drive, variadores de frecuencia y motores de corriente alterna.



Figura 53. Borneras de conexión de puesta a tierra

4.5. Puesta en Marcha del Sistema de Entrenamiento

Una vez realizado las conexiones eléctricas de alimentación de voltaje de los equipos, se procederá a la puesta en marcha del sistema. En la Figura 54 se muestra el sistema de entrenamiento e la fase final de implementación, el cual se encuentra completamente operativo y cumple todos los requerimientos técnicos establecidos de funcionamiento.



Figura 54. Puesta en marcha del sistema de entrenamiento

CAPÍTULO 5

DISEÑO Y DESARROLLO DE LAS GUÍAS DE PRÁCTICA

El desarrollo de las guías de práctica consiste en la identificación, integración, programación y parametrización de los equipos del módulo de entrenamiento en control de movimiento. Tomando en cuenta uno de los objetivos planteados para el presente proyecto que pretende solventar el entrenamiento en equipos de control de movimiento industrial para el personal del departamento de ingeniería de la empresa SENSORTECSA S.A. Se exponen el diseño de seis guías de práctica que se podrá realizar simulaciones de eventos en procesos industriales en control de movimiento. A continuación, se enlista las guías de práctica a desarrollarse:

- **Guía N°1:** Control de velocidad y de sentido de giro de un motor AC mediante la programación de las entradas lógicas del variador de frecuencia.
- **Guía N°2:** Control y monitoreo de velocidad y sentido de giro de un motor AC mediante comunicación Modbus-RTU.
- **Guía N°3:** Monitoreo y control de velocidad de un motor AC mediante la activación del control PID del variador.
- **Guía N°4:** Control de velocidad y posición de un motor AC mediante la entrada de tren de pulsos.
- **Guía N°5:** Control de velocidad y sentido de giro de un Servo-Motor mediante la salida de pulsos del PLC.
- **Guía N°6:** Monitoreo y control de velocidad y posición de un Servo-Motor mediante comunicación EtherCat/Ethernet/Ip.

5. Guías de prácticas a desarrollar

5.1. Descripción general de cada una de las guías de práctica

5.1.1. Práctica N°1.- Control de velocidad y de sentido de giro de un motor AC mediante la programación de las entradas lógicas del variador de frecuencia.

Se identificará los terminales de conexión de E/S de potencia, terminales de E/S de control lógico, entradas analógicas, puertos de comunicación, uso del teclado del panel frontal, principales parámetros de configuración y software de programación del variador de frecuencia serie MX2-Omron con la finalidad de simular un proceso real para la interacción del variador de frecuencia MX2 con equipos como HMI, sensores, pulsadores.

5.1.2. Práctica N°2.- Control y monitoreo de velocidad y sentido de giro de un motor AC mediante comunicación MODBUS-RTU.

Se utilizará un estándar de comunicación ModBus-RTU con el propósito de interacción entre los equipos PLC CP1L y variador de frecuencia serie mx2, esta comunicación permitirá controlar al variador de frecuencia y mediante comunicación EtherNet/Ip se realizará el monitorear la velocidad y el sentido de giro del motor de CA.

5.1.3. Monitoreo y control de velocidad de un motor de CA mediante la activación del control PID del variador.

Se utilizará un lazo de control PID, activando la función PID del variador de frecuencia MX2 con la finalidad de simular un proceso real mediante un sensor conectado a la entrada analógica de voltaje o de corriente.

5.1.4. Control de velocidad y posición de un motor de CA mediante la entrada de tren de pulsos.

Se utilizará la entrada de tren de pulsos del variador de frecuencia MX2 con la finalidad de simular un proceso real de posicionamiento simple mediante la conexión de un encoder el cual nos permitirá controlar velocidad y posición.

5.1.5. Control de velocidad y sentido de giro de un Servo-Motor mediante la salida de pulsos del PLC.

Se utilizará el módulo de salidas de pulsos del PLC serie CP1L de OMRON y comunicación EtherNet/Ip, con la finalidad de interacción entre el HMI- PLC-Servo-Drive-Servo-Motor permitiéndonos el monitoreo y el control de velocidad y sentido de giro del Servo-Motor SmartStep2.

5.1.6. Monitoreo y control de velocidad y posición de un Servo-Motor mediante comunicación EtherCat/EthernetIp.

Se utilizará un estándar de comunicación EtherCat/EthernetIp con la finalidad de interacción entre HMI, PLC, Servo-Drive y Servo-Motor de la familia SYSMAC de OMRON, esta comunicación permitirá controlar y monitorear posición, velocidad y sentido de giro del sistema.

5.2. Estructura de las guías de práctica

5.2.1. GUÍA PRÁCTICA 1

TEMA: Control de Velocidad y Sentido De Giro de un Motor de CA Mediante la Programación de las Entradas Lógicas del Variador de Frecuencia

OBJETIVOS

General

- Configurar e implementar el variador de frecuencia serie Mx2 y HMI serie Nb para simular un proceso real de control de movimiento de motores de CA.

Específicos

- Desarrollar un control y monitoreo del control de movimiento mediante la utilización de una interface humano maquina en el HMI serie Nb.

- Simular un proceso industrial mediante la programación en diagrama de flujos del variador de frecuencia serie MX2 para realizar el control de velocidades y cambio de sentido de giro de forma automática.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Computador portátil con sistema operativo Windows 10
- Software CX-One
- PLC serie CP1L
- HMI serie NB
- Variador de frecuencia serie MX2
- Cable de comunicación MODBUS-RTU
- Motor 4 polos de 0.5 Hp

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A SIMULAR

Realizar una programación del variador de frecuencia para el control de velocidad y sentido de giro de un motor de CA.

Secuencia de funcionamiento:

Se tiene una banda transportadora, en la cual se transporta materiales pintados, los cuales dependiendo la zona del horno de secado tiene que variar la velocidad de transporte de los mismos. Se tiene tres puntos de distancias A, B, C.

- Cuando el producto de secado se encuentre en el punto A-B, este viaja a una velocidad uno
- Cuando el producto llegue al punto B el producto cambia a velocidad dos
- Cuando el producto llegue al punto C, este se detiene, espera 5 segundos y realiza un cambio de giro del motor que mueve la banda transportadora realizando un retroceso por el horno a una velocidad 3
- Cuando llegue al punto A esta banda transportadora se detiene y espera la presencia de otro producto

El desarrollo de la práctica se lo puede encontrar en los anexos

5.2.2. GUÍA PRÁCTICA 2

TEMA: Control y monitoreo de velocidad y sentido de giro de un motor AC mediante comunicación MODBUS-RTU.

OBJETIVOS

General

- Configurar e implementar del variador de frecuencia serie Mx2 y PLC serie CP1L para simular un proceso real de control de movimiento de motores de CA.

Específicos

- Desarrollar una interface humana máquina para el monitoreo de parámetros de funcionamiento utilizando el HMI serie NB.
- Simular un proceso industrial mediante la programación del PLC y configuración de parámetros del variador de frecuencia serie MX2 para realizar el control de movimiento mediante comunicación MODBUS-RTU.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Computador portátil con sistema operativo Windows 10
- Software CX-One
- PLC serie CP1L
- HMI serie NB
- Variador de frecuencia serie MX2
- Módulo de comunicación CIF12
- Cable apantallado MODBUS-RTU
- Motor 4 polos de 0.5 Hp

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A SIMULAR

Programación del PLC serie CP1L y configuración del variador de frecuencia para el control de velocidad y sentido de giro de un motor de CA mediante el uso de la comunicación MODBUS-RTU.

Secuencia de funcionamiento:

Se tiene un ventilador industrial instalado en un cuarto climatizado.

- Cuando la temperatura establecida por el operario es menor que la temperatura actual del cuarto este deberá girar en sentido horario para introducir aire al cuarto.
- Cuando la temperatura establecida por el operario es mayor que la temperatura actual del cuarto este deberá girar en sentido antihorario para sacar el aire del cuarto.
- La velocidad de giro del ventilador depende de la frecuencia de trabajo establecida por el operario para el variador de frecuencia.
- Todos estos parámetros serán introducidos desde el HMI serie NB.

El desarrollo de la práctica se lo puede encontrar en los anexos

5.2.3. GUÍA PRÁCTICA 3

TEMA: Monitoreo y control de velocidad de un motor de CA mediante la activación del control PID del variador.

OBJETIVOS

General

- Configurar e implementar del variador de frecuencia serie Mx2 para simular un proceso real de control de movimiento de motores de CA.

Específicos

- Desarrollar una interface humana máquina para el monitoreo de parámetros de funcionamiento utilizando el HMI serie NB.

- Simular un proceso industrial utilizando la entrada analógica de voltaje del variador y configuración de parámetros para la activación de control PID del mismo.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Computador portátil con sistema operativo Windows 10
- Software CX-One
- HMI serie NB
- Variador de frecuencia serie MX2
- Cable de comunicación MODBUS-RTU
- Motor 4 polos de 0.5 Hp

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A SIMULAR

Programación del HMI serie NB y configuración del variador de frecuencia para el control de velocidad de motores de CA mediante la activación del control PID del variador.

Secuencia de funcionamiento:

Se tiene instalada una bomba de agua industrial que suministra agua purificada desde un tanque reservorio a unas máquinas que hacen hielo a una cierta presión.

- Dependiendo la presión establecida por el operario y demanda de agua por las máquinas, la presión en la tubería deberá tratar de permanecer constante mediante un control PID implementado en lazo cerrado.
- Para simular la salida de censado de la presión de agua de un presostato instalado en la tubería utilizaremos un potenciómetro conectado a la entrada de voltaje del variador.
- En el HMI podremos controlar y monitorear los siguientes parámetros como:
Cambio de presión
Entrada de voltaje de sensor

El desarrollo de la práctica se lo puede encontrar en los anexos

5.2.4. GUÍA PRÁCTICA 4

TEMA: Control de velocidad y posición de un motor de CA mediante la entrada de tren de pulsos.

OBJETIVOS

General

- Configurar e implementar el variador de frecuencia serie Mx2 para simular un proceso real de control de posicionamiento simple de motores de CA.

Específicos

- Desarrollar una interface humana máquina para el monitoreo de parámetros de funcionamiento utilizando el HMI serie NB.
- Simular un proceso industrial utilizando la entrada de tren de pulsos del variador serie MX2 y configuración de parámetros para la activación de posicionamiento simple del motor de CA.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Computador portátil con sistema operativo Windows 10
- Software CX-One
- HMI serie NB
- Variador de frecuencia serie MX2
- Cable de comunicación MODBUS-RTU
- Motor 4 polos de 0.5 Hp
- PLC serie CP1L
- Encoder incremental

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A SIMULAR

Programación del HMI serie NB y configuración del variador de frecuencia para el control de posicionamiento simple de motores CA mediante la entrada de tren de pulsos.

Secuencia de funcionamiento:

Se tiene una banda transportadora la cual transporta cajas para el sellado y etiquetado. El operario debe tomar en cuenta lo siguiente para el accionamiento del y posicionamiento de las cajas.

- Para cajas grandes avance una vuelta.
- Para cajas medianas avance dos vueltas.
- En el HMI podremos controlar y monitorear los siguientes parámetros como:
 - Cambio de velocidad
 - Posicionamiento finalizado
 - Presencia y tipo de caja

El desarrollo de la práctica se lo puede encontrar en los anexos

5.2.5. GUÍA PRÁCTICA 5

TEMA: Control de velocidad y sentido de giro de un Servo-Motor mediante la salida de pulsos del PLC

OBJETIVOS

General

- Configurar e implementar del Servo-drive, Servo-Motor y PLC serie CP1L para simular un proceso real de control de velocidad y posicionamiento de un Servo-Motor de CA.

Específicos

- Desarrollar una interface humana máquina para el monitoreo de parámetros de funcionamiento utilizando el HMI serie NB.
- Simular un proceso industrial utilizando una de las salidas de pulsos del PLC serie CP1L y configuración de parámetros para el posicionamiento del Servo-Motor de CA.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Computador portátil con sistema operativo Windows 10
- Software CX-One
- HMI serie NB
- Servo-Drive serie R7D
- Servo-Motor serie R88
- PLC serie CP1L
- Cables de comunicación

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A SIMULAR

Programación del HMI serie NB y programación del PLC serie CP1L para el control de velocidad y posición de un Servo-Motor mediante la salida de una de las salidas de pulsos del PLC.

Secuencia de funcionamiento:

Se tiene una máquina de sellado con resistencias térmicas calentadas eléctricamente, en esta máquina se sella la parte inferior de los tubos de gel que son transportados en carrusel, el Servo-motor gira a una cierta frecuencia buscando una referencia para el posicionamiento de sellado de los tubos de gel, una vez encontrada la marca de inicio de posicionamiento el Servo-Motor girara una determinada distancia de desplazamiento determinado por el operario. El operario debe tomar en cuenta lo siguiente para el accionamiento del y posicionamiento de los tubos de gel.

- Número de pulsos para la distancia de posicionamiento del tubo de gel.
- Para tubos medianos frecuencia baja.
- Para tubos grandes frecuencia alta.
- En el HMI podremos controlar y monitorear los siguientes parámetros como:
Cambio de velocidad
Selección del tamaño del tubo de gel.

El desarrollo de la práctica se lo puede encontrar en los anexos

5.2.6. GUÍA PRÁCTICA 6

TEMA: Monitoreo y control de velocidad y posición de un Servo-Motor mediante comunicación EtherCat/EthernetIp.

OBJETIVOS

General

- Configurar e implementar el Servo-drive, Servo-Motor y PLC de la familia SYSMAC para simular un proceso real de control de velocidad y sentido de giro de un Servo-Motor de CA.

Específicos

- Desarrollar una interface humana máquina para el monitoreo de parámetros de funcionamiento utilizando el HMI serie NA.
- Simular un proceso industrial utilizando el bus campo EtherCat del PLC serie NX1P2 y configurar parámetros para el control de velocidad y sentido de giro del Servo-Motor de CA.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Computador portátil con sistema operativo Windows 10
- Software SYSMAC ESTUDIO
- HMI serie NA
- Servo-Drive Familia Sysmac
- Servo-Motor familia Sysmac
- PLC serie NX1P2
- Cables de comunicación

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A SIMULAR

Programación del HMI serie NA y programación del PLC de la familia Sysmac para el control de velocidad y sentido de giro de Servo-Motores de control motion de la Familia Sysmac.

Secuencia de funcionamiento:

Se tiene una máquina cortadora con una cuchilla giratoria accionada por un Servo-Motor, dependiendo el largo del producto este cambiara la velocidad de giro de la cuchilla para realizar el corte del mismo. El operario debe tomar en cuenta lo siguiente para el accionamiento de velocidad de corte del producto.

- Número de pulsos por vuelta.
- Para productos cortos frecuencia de corte 1.
- Para productos medianos frecuencia de corte 2.
- En el HMI se puede controlar y monitorear los siguientes parámetros como:
Selección de frecuencia de corte

El desarrollo de la práctica se lo puede encontrar en los anexos

CAPÍTULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se realizan las pruebas y resultados obtenidos de un sin número de pruebas realizadas del correcto funcionamiento del hardware y software del sistema de entrenamiento implementado, se evaluaron también las características ergonómicas y de desempeño en el proceso de entrenamiento del personal del departamento de ingeniería de la empresa SENSORTECSA S.A.

6.1.Pruebas de software y hardware

6.1.1. Pruebas de Software

Las cinco primeras guías de prácticas tienen como software de desarrollo de programación y configuración mediante el uso de las herramientas del paquete de Cx-One. La selección de la herramienta depende del equipo a programar o a configurar, se realizó pruebas de instalación del mismo en versiones de Windows 7/8 y 10 y no se encontró ningún tipo de inconveniente de funcionamiento en ninguno de las versiones de Windows mencionados anteriormente, y se decidió instalar el software en un laptop con sistema operativo Windows 10.

Para la programación y configuración de los equipos integrados de OMRON es necesario realizar la instalación de forma manual de los controladores necesarios para un correcto funcionamiento de comunicación entre la PC y el equipo a ser configurado o programado.

6.1.2. Pruebas de Hardware

Previo al desarrollo de las guías prácticas propuestas, se realizó pruebas de funcionalidad de los equipos instalados y conexiones eléctricas, dichas pruebas consistían en la medición de voltejes de entrada y salida de los equipos, correcta comunicación para la programación de los mismos y se llegó a la conclusión que todo el sistema se encuentra operativo y funcionando correctamente y cumple con todos los parámetros establecidos en la etapa de diseño del mismo.

6.2. Resultados

El análisis de resultados se lo realizó con el propósito de obtener valores referentes a la calidad de servicios de sistemas de entrenamiento y prestación de bondades del mismo. Se realizó el entrenamiento de un cierto número de personas, a las cuales se le hizo una encuesta de conformidad de ergonomía del sistema. Todo este análisis a detalle cómo nivel de impacto, conformidad, interés, nivel de dificultad se puede observar en los anexos.

La primera pregunta que se realizó al personal capacitado, fue el nivel de aprendizaje adquirido en la capacitación, en la Figura 55 se puede observar que el 85% del personal capacitado considera que el nivel de aprendizaje utilizando el sistema de entrenamiento es alto y el resto de personal capacitado con más experiencia en este campo considera que el nivel de aprendizaje es medio. El resto de opciones fueron nulas.

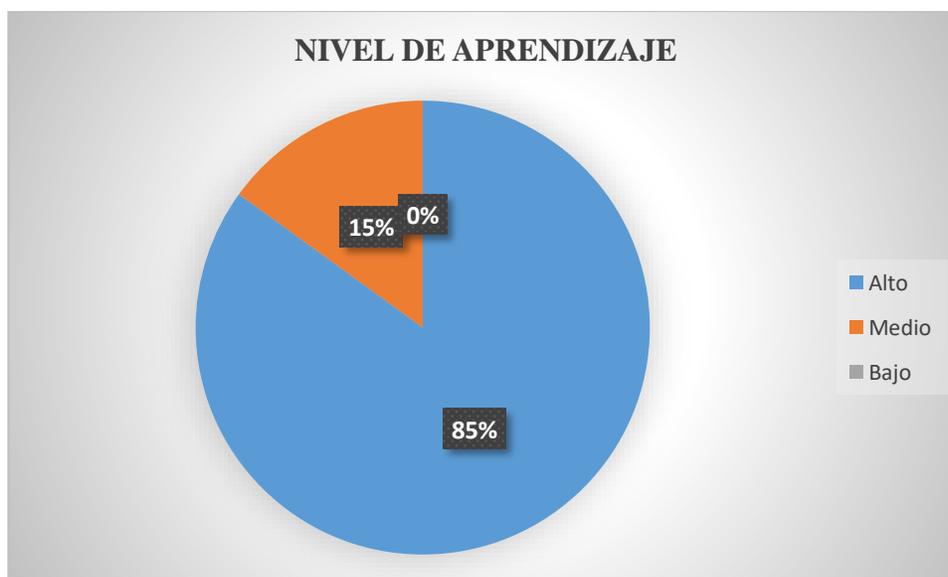


Figura 55. Análisis porcentual del aprendizaje del personal capacitado

Otra característica del sistema de entrenamiento es el uso de equipos en control de movimiento de última generación, los cuales permitan el uso de nuevas tecnologías como buses de campo y una fácil integración de los mismos. La segunda pregunta de la encuesta es cual fue el nivel de conformidad de las prestaciones didácticas que posee el sistema de entrenamiento en control de

movimiento. Como se puede observar en la Figura 56 un 51% del personal se encuentra muy conforme, un 49% conforme, mientras que las otras opciones no fueron marcadas.

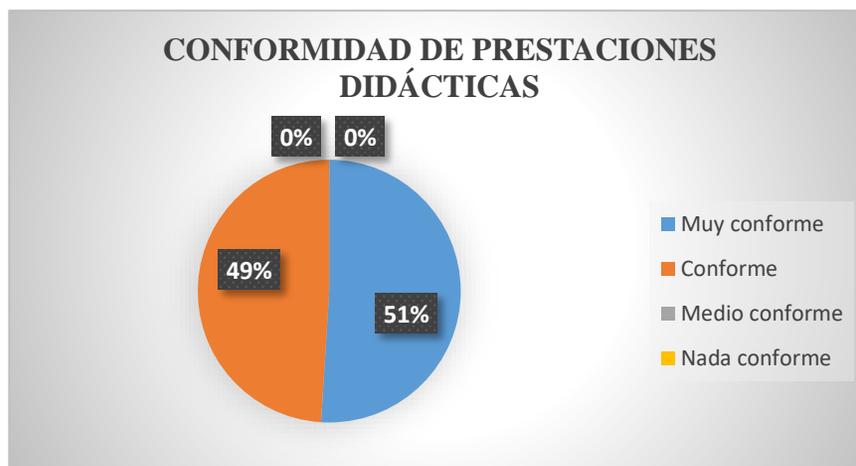


Figura 56. Análisis de conformidad de prestaciones didácticas

Otra de las preguntas que se realizó en la encuesta fue el grado de dificultad para la configuración y programación de los equipos en control de movimiento mediante el uso de las guías de práctica. Como se puede observar en la Figura 57 el nivel de configuración y programación de los equipos en control de movimiento indica que un 45% del personal capacitado señaló que el nivel es alto, mientras que un 45% asegura que el nivel es medio y nadie señaló las otras opciones.



Figura 57. Análisis del nivel de dificultad de configuración y programación

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Se diseñó e implementó un sistema de entrenamiento en control de movimiento industrial utilizando equipos de la marca OMRON, el cual permiten una capacitación práctica mediante la simulación de procesos industriales reales ayudando a la capacitación del personal del departamento de ingeniería de la empresa SENSORTECSA S.A.
- Una vez realizada la encuesta (ver anexos) a un cierto número de personas del personal del departamento de ingeniería de la empresa SENSORTECSA S.A. y ajenas al mismo, se puede ver que se logró captar el interés del uso de equipos en control de movimiento gracias al tipo de capacitación didáctica que el sistema posee.
- Se realizó el diseño de seis guías de prácticas del sistema de entrenamiento en control de movimiento para la capacitación de técnicos e ingenieros, gracias a estas guías de prácticas se simuló un proceso real el cual ya fue implementado en planta y disminuyó dramáticamente el tiempo de integración de equipos en control de movimiento de OMRON.
- Se logró integrar e implementar la mayoría de equipos y tecnologías de comunicación en control de movimiento de OMRON en un solo módulo de entrenamiento.
- Mediante el desarrollo de las guías de prácticas, el personal capacitado del departamento de ingeniería ha desarrollado habilidades de control e integración de equipos en control de movimiento.

7.2. Recomendaciones

Debido a que el sistema de entrenamiento en control de movimiento va ser movilizado a largas distancia, se recomienda el uso de maletas de transporte con altos estándares de protecciones contra agua, polvo y golpes para mantener intacta la integridad de los equipos y prevenir daños de los mismos.

Se recomienda gestionar un plan de movilización para evitar el robo del sistema de entrenamiento, ya que su principal característica que cumple es de fácil transporte cumplir con capacitaciones en plantas.

Antes de su manipulación realizar la identificación de los equipos instalados y posibles zonas de descargas eléctricas con el personal calificado para las capacitaciones.

Se recomienda revisar las características técnicas de funcionamientos de los equipos instalados detallados en los anexos de los manuales de manipulación de los mismos y así ampliar conocimientos de funcionalidad y prestaciones de los equipos instalados.

Bibliografía

Anónimo, *historia del control de movimiento*. Recuperado el 22 de 12 de 2018, de <https://www.a-m-c.com/experience/technologies/motion-control/history/>

Anónimo, *Servo-Drive*. Recuperado el 15 de 12 de 2018, de <http://www.infoplcn.net/blog/4/2010/08/04/elementos-de-un-servo-drive/>

Anónimo, *Motores eléctricos*. Recuperado el 27 de 12 de 2018, de <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/ing/pim/12.pdf>

Anónimo, *Motor asíncrono*. Recuperado el 29 de 12 de 2018, de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>

Anónimo, *Servo-Motores CA*. Recuperado el 30 de 12 de 2018, de <https://dscs.webcindario.com/Servos/Tipos%20de%20Servomotores.pdf>

Anónimo, *Tipo de encoder*. Recuperado el 22 de 12 de 2018, de <https://www.acomee.com.mx/ENCODERS.pdf>

Anónimo, *Normas IEC-61439*. Recuperado el 10 de 01 de 2019, de https://library.e.abb.com/public/05999db1911e4c6ec125791a003cfa4f/1TXA007110G0701_CT9.pdf

OMRON, (2013). *Introducción a los variadores de frecuencia*. Recuperado el 18 de 09 de 2018, de https://industrial.omron.us/en/media/I570-ES2-02B_3G3MX2_UsersManual_tcm849-107132.pdf

OMRON, (2012). *Manual de usuario PLC serie CP1L*. Recuperado el 01 de 10 de 2018, de [https://www.miel.si/wp-content/VsebinskePDF/W516-E1-01+CP1L-EL\(M\)+UsersManual.pdf](https://www.miel.si/wp-content/VsebinskePDF/W516-E1-01+CP1L-EL(M)+UsersManual.pdf)

OMRON, (2012). *Manual de usuario HMI serie NB*. Recuperado el 27 de 10 de 2018, de <https://www.miel.si/wp-content/uploads/2013/09/NB-Designer-manual.pdf>

OMRON, (2008). *Manual de usuario Servo-Drive R7D*. Recuperado el 5 de 11 de 2018, de http://www.omron.com.au/data_pdf/mnu/i561-e1-04_r88m-g_r7d-bp.pdf?id=1956

OMRON, (2002). *Manual de usuario fuente de poder CD*. Recuperado el 10 de 11 de 2018, de https://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/s8vk_t057-e1_2_3_csm1012220.pdf

OMRON, (2001). *Cx-One Software de desarrollo*. Recuperado el 20 de 09 de 2018, de https://assets.omron.eu/downloads/manual/es/v1/r135_cx-one_instruction_manual_es.pdf

OMRON, (2018). *Familia Sysmac*. Recuperado el 15 de 10 de 2018, de https://assets.omron.eu/downloads/catalogue/es/v3/p072_sysmac_catalogue_es.pdf

OMRON, (2016). *Familia Sysmac controlador NX1P*. Recuperado el 22 de 10 de 2018, de https://industrial.omron.us/en/media/NX1P_Datasheet_EN_201611_P234I-E-01_r4_tcm849-112524.pdf

OMRON, (2016). *Familia Sysmac Servo-Drive R88D-1S*. Recuperado el 8 de 11 de 2018, de <https://www.miel.si/wp-content/uploads/2017/02/Servo-sistem-1S-navodila-1.pdf>

OMRON, (2016). *Familia Sysmac HMI serie NA*. Recuperado el 8 de 11 de 2018, de https://industrial.omron.us/en/media/NA_HMI_Software_UsersManual_en_201512_V118-E1-05_tcm849-109087.pdf

OMRON, (2016). *Sysmac Studio Software de desarrollo*. Recuperado el 12 de 01 de 2019, de https://industrial.omron.us/en/media/Sysmac_Studio_Ver1_17_OperationManual_en_201610_W504-E1-19_tcm849-109434.pdf