



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

**“AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA MADEJADORA DE
HILOS DE CONSTRUCCIÓN NACIONAL PARA LA
EMPRESA IMBATEX”**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

AUTOR: FERNANDO WLADIMIR ORTEGA LOZA

DIRECTOR: ING. COSME MEJIA

IBARRA - ECUADOR

JUNIO 2013

IMBATEX

Hilos Innovación y Ecología

Dirección: Galo Plaza Lasso 6-24 y Victoria Castelló. Telf. 062630867
Ibarra-Ecuador

CERTIFICADO

A petición verbal del interesado:

Yo, Ingeniero Darwin Esparza Encalada, en calidad de Gerente Propietario de la empresa "IMBATEX", tengo a bien certificar:

Que el señor Fernando Wladimir Ortega Loza estudiante de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte, ha realizado en esta empresa su trabajo de grado con el tema "Automatización de una máquina madejadora de hilos de construcción nacional para la empresa Imbatex", con la dirección del Ing. Cosme Mejía como tutor. Al momento la máquina se encuentra terminada y funcionando eficientemente de acuerdo a lo planificado inicialmente.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado dar uso del presente, como estime conveniente.

Ibarra, 3 de junio de 2013



ING. DARWIN J. ESPARZA E.
GERENTE-PROPIETARIO

IMBATEX
FÁBRICA DE HILADOS
RUC. 1001584570001
Ibarra - Ecuador



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA IDENTIDAD:	DE	100263579-3	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	ORTEGA LOZA FERNANDO WLADIMIR	
DIRECCIÓN:		JUAN MONTALVO 10-187 Y AV. TEODORO GOMEZ DE LA TORRE	
EMAIL:		Fernando.ortega.innovatec@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	2601-921	TELÉFONO MÓVIL:	0981846427

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA MADEJADORA DE HILOS DE CONSTRUCCIÓN NACIONAL PARA LA EMPRESA IMBATEX”
AUTOR (ES):	ORTEGA LOZA FERNANDO WLADIMIR
FECHA: AAAAMMDD	2013/06

SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
ASESOR /DIRECTOR:	ING. COSME MEJIA

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

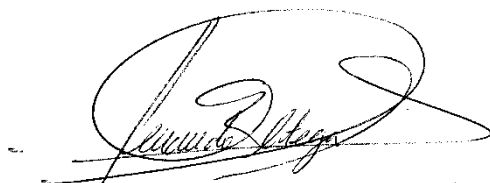
Yo, Fernando Wladimir Ortega Loza con cédula de ciudadanía 100263579-3 en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días del mes de Junio del 2013.

AUTOR



Fernando Wladimir Ortega Loza

ACEPTACIÓN:



Lic. Betty Chávez
JEFE BIBLIOTECA

Facultado por resolución de Consejo Universitario



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

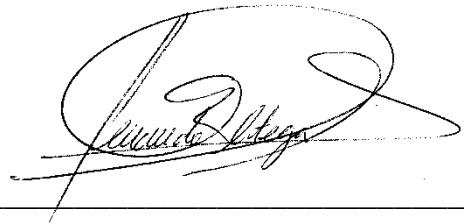
Yo, Fernando Wladimir Ortega Loza; portador de la cédula de ciudadanía N 100263579-3, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado: **“AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA MADEJADORA DE HILOS DE CONSTRUCCIÓN NACIONAL PARA LA EMPRESA IMBATEX”** que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA**, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
Fernando Wladimir Ortega Loza.

DECLARACIÓN

Yo, FERNANDO WLADIMIR ORTEGA LOZA, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado calificación profesional; y certifica la verdad de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

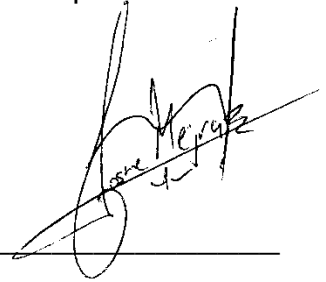


Fernando Wladimir Ortega Loza

CI. 100263579-3

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director de Trabajo de Grado, presentado por el señor Fernando Wladimir Ortega Loza, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que dicho trabajo fue realizado por mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Cosme Mejía', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

Ing. Cosme Mejía
DIRECTOR
C.I. 100264128-8

DEDICATORIA

Una especial dedicatoria a mi madre Lic. Marcela Loza por su paciencia y su apoyo incondicional durante toda mi vida estudiantil.

A mis familiares que desde el cielo me han guiado.

.

Fernando Ortega Loza

AGRADECIMIENTO

A mis padres, hermano y novia, por brindarme su apoyo constante y no dejarme vencer por las adversidades.

A todos los profesores que he tenido en mi vida estudiantil, por apoyarme y creer en mí.

Al Ing. Darwin Esparza por abrirme las puertas de su empresa para poder realizar este trabajo de grado.

A todos los amigos que influyeron de manera directa o indirecta en la elaboración del proyecto.

Fernando Ortega Loza

INDICE

CERTIFICADO IMBATEX	II
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN.....	III
CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	V
DECLARACIÓN	VI
CERTIFICACIÓN.....	VII
DEDICATORIA	VIII
AGRADECIMIENTO.....	IX
INDICE.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS, DIAGRAMAS, TABLAS Y ECUACIONES.....	XIV
RESUMEN.....	XIX
ABSTRACT	XX
PRESENTACIÓN	XXI
CAPÍTULO I.....	1
1. EL MADEJADO EN LA INDUSTRIA TEXTIL	1
1.1. PROCESO DE HILADO.....	1
1.1.1. Preparación.....	1
1.1.2. Estirado y Doblado.....	5
1.1.3. Estirado y falso torcido.....	6
1.1.4. Hilado.....	7
1.1.5. Bobinado.....	8
1.1.6. Retorcido.....	9
1.1.7. Madejado	10
1.1.8. Generalidades del Tintura.....	10
1.1.9. Devanado o desmadejado	11
1.1.10. El Cardado	12

1.2.	EL MADEJADO	13
1.2.1.	<i>Máquina Madejadora</i>	14
1.2.2.	<i>Parámetros que intervienen en el madejado</i>	15
1.2.3.	<i>Ajustes y Calibraciones</i>	16
1.2.4.	<i>Problemas más frecuentes en el madejado</i>	17
CAPÍTULO II		19
2. SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL		19
2.1.	GENERALIDADES DEL CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE.....	19
2.1.1.	<i>Arquitectura básica del PLC</i>	20
2.2.	PROGRAMACIÓN DEL PLC	22
2.2.1.	<i>Programación Ladder</i>	22
2.2.2.	<i>Programación en Diagrama de Bloques de Función</i>	25
2.2.3.	<i>Programación en Lista de Instrucciones</i>	27
2.2.4.	<i>Programación mediante Funciones Secuenciales (SFC)</i>	29
2.2.1.	<i>Programación en Alto Nivel</i>	31
2.3.	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	31
2.4.	COMUNICACIONES	33
2.4.1.	<i>RS 232</i>	33
2.4.2.	<i>RS 422</i>	34
2.4.3.	<i>RS 485</i>	35
2.5.	MOTOR TRIFASICO DE INDUCCION.....	36
2.5.1.	<i>Principios de Funcionamiento</i>	37
2.6.	VARIADOR DE FRECUENCIA	38
2.7.	ENCODER.....	40
2.7.1.	<i>Encoder Incremental</i>	41
2.7.2.	<i>Encoder Absoluto</i>	44
CAPITULO III		45
3. DIAGNOSTICO MAQUINA MADEJADORA IMBATEX		45
3.1.	SISTEMA MECÁNICO	45

3.1.1. Sistema de Biombo.....	46
3.1.2. Sistema de Vaivén.....	48
3.1.3. Sistema Eléctrico.....	49
3.1.4. Proceso.....	49
3.1.5. Eficiencia de la máquina.....	50
3.1.6. Precisión.....	52
3.2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	55
3.3. SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	57
CAPITULO IV.....	61
4. DISEÑO.....	61
4.1. SISTEMA MECÁNICO.....	61
4.2. SISTEMA DE CONTROL DE PESOS.....	66
4.3. TABLERO DE CONTROL.....	67
4.4. COMUNICACIONES.....	68
4.5. PROGRAMACIÓN.....	73
4.5.1. PLC.....	73
4.5.2. Programación del HMI.....	81
CAPITULO V.....	89
5. CONSTRUCCION.....	89
5.1. CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DE CONTROL.....	90
5.2. CONSTRUCCIÓN ELECTRONICA.....	92
5.3. INSTALACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL Y ENCODER.....	93
CAPITULO VI.....	97
6. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	97
6.1. PRUEBAS DE REPETITIVIDAD.....	97
6.2. PRUEBAS DE PESO.....	100
6.3. PRUEBAS DE EFICIENCIA.....	104
6.4. DESGLOSE DE COSTOS.....	109
CAPITULO VII.....	111

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
7.1. CONCLUSIONES.....	111
7.2. RECOMENDACIONES.....	113
BIBLIOGRAFIA.....	114
REFERENCIAS	116
ANEXOS.....	118
ANEXO 1
OBTENCIÓN DE LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN ENTRE EL BIOMBO Y EL ENCODER	119
ANEXO 2
VELOCIDAD MÁXIMA DEL MOTOR A 60HZ, 1700RPM.....	121
ANEXO 3
ESPECIFICACIONES GABINETE MODULAR BEAUCOUP.....	122
ANEXO 4
DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES PLC DELTA 32ES2.....	123
ANEXO 5
ESPECIFICACIONES VARIADOR DE FRECUENCIA DELTA VFD-M	126
ANEXO 6
ESPECIFICACIONES ENCODER YUMO	127
ANEXO 7
ESPECIFICACIONES HMI DOPB5S100	128
ANEXO 8
ESPECIFICACIONES COUPLING.....	130
ANEXO 9
PLANOS ELÉCTRICOS Y DE CONTROL.....	131

ANEXO 10	
MARCAS Y REGISTROS PLC.....	136
ANEXO 11	
PLANO BASE ENCODER.....	137
ANEXO 12	
MANUAL DE OPERACIÓN.....	138

ÍNDICE DE FIGURAS, DIAGRAMAS, TABLAS Y ECUACIONES

FIGURAS

Figura 1. Máquina Gill Intersecting	6
Figura 2. Máquina Finisor	7
Figura 3. Máquina Continua de Hilar	8
Figura 4. Máquina Bobinadora.....	9
Figura 5. Máquina Retorcedora	10
Figura 6. Máquina devanadora	11
Figura 7. Sección de una máquina carda de cardado.....	13
Figura 8. Máquina Madejadora	13
Figura 9. Partes Principales de la Madejadora	14
Figura 10. Partes, movimientos y ajustes de la maquina madejadora	17
Figura 11. Controlador Lógico Programable PLC	19
Figura 12. Representación (a) eléctrica, (b) ladder.....	23
Figura 13. Ejecución de un programa en Ladder	23
Figura 14. Diagramas Básicos Ladder.....	24
Figura 15. Notación: (a) Mitsubishi, (b) Siemens,	25
Figura 16. Diagramas de Bloques de Función	26

Figura 17. Diagrama de Función de Bloque de un Contador.....	26
Figura 18. Programa de Operación de una Válvula.....	27
Figura 19. Programa muestra AND (a) Lista de Instrucciones, (b) Ladder.....	28
Figura 20. Secuencia de estados de un semáforo simple.....	29
Figura 21. Estados y Transiciones de la programación SFC.....	30
Figura 22. Programa (a) SFC, (b) Ladder.....	31
Figura 23. Interfaz Hombre Máquina HMI.....	32
Figura 24. Aplicación Típica EIA RS 232.....	34
Figura 25. Aplicación típica de RS 422.....	35
Figura 26. Aplicación típica de RS485.....	36
Figura 27. Motor trifásico de Inducción.....	37
Figura 28. Variadores de Frecuencia Delta VFD-M.....	39
Figura 29. Formas de onda PWM y sinusoidal de un variador de frecuencia.....	40
Figura 30. Elementos básicos de un encoder incremental óptico.....	42
Figura 31. Despiece de un encoder incremental industrial.....	42
Figura 32. Pulsos en canales A, B y Z de un encoder incremental.....	43
Figura 33. Código Binario del disco de un encoder absoluto.....	44
Figura 34. Máquina madejadora de construcción nacional empresa “Imbatex”....	46
Figura 35. Biombo de Maquina Madejadora Imbatex.....	46
Figura 36. Sistema de Transmisión Madejadora.....	47
Figura 37. Mecanismo de ajuste de radio del biombo.....	47
Figura 38. Rodamiento de apoyo.....	48
Figura 39. Movimiento axial del sistema de vaivén.....	49
Figura 40. PLC Delta DVP-32ES2.....	57
Figura 41. Variador Delta DVP-M.....	58
Figura 42. Encoder Incremental YUMO.....	59
Figura 43. Pintura de la estructura de la máquina madejadora.....	62
Figura 44. Coupling.....	63
Figura 45. Relación entre Engranés A y B.....	64
Figura 46. Relación de Transmisión de la máquina Madejadora.....	65
Figura 47. Software VDF Soft 1.46.....	70
Figura 48. Diagrama electrónico del adaptador RS232 a RS485.....	71

Figura 49. Diseño PCB del Adaptador de RS232 a Rs485	71
Figura 50. Conector RJ11 del variador Delta	72
Figura 51. Flujograma del programa del PLC	73
Figura 52. Entorno del programa WPLSoft 2.0	74
Figura 53. Primera Sección del Programa del PLC	74
Figura 54. Segunda Sección del Programa del PLC.....	75
Figura 55. Tercera Sección del Programa del PLC.....	76
Figura 56. Cuarta Sección del Programa del PLC	76
Figura 57. Quinta Sección del Programa del PLC	77
Figura 58. Sexta Sección del Programa del PLC.....	78
Figura 59. Séptima Sección del Programa del PLC.....	79
Figura 60. Octava Sección del Programa del PLC.....	80
Figura 61. Entorno del Programa DOP-B Screen Editor 2.00.23.....	81
Figura 62. Caratula	83
Figura 63. Pantalla Tipos de Lanas	83
Figura 64. Macros del botón a) Lana 1,5 b) Lana 1,8 c) Alpaca 1,45 d) Lana Moliné 0,6 e) Lana Buclé 1,1 f) Acrílico Moliné 2,5 g) Acrílico Buclé 3,8	84
Figura 65. Pantalla Titulo	85
Figura 66. Pantalla Velocidad	85
Figura 67. Pantalla Perímetro	86
Figura 68. Pantalla Peso.....	86
Figura 69. Pantalla Confirmación y macro del botón RUN.....	87
Figura 70. Pantalla Proceso y macro botón ABORTAR.....	88
Figura 71. Macros a) Botón Abortar b) Cambio de Velocidad.....	88
Figura 72. Construcción del tablero de Control.....	91
Figura 73. Tarjeta de Salidas a relé	93
Figura 74. Acople de encoder a la máquina	94
Figura 75. Marco metálico de soporte del tablero de control	94
Figura 76. Tablero de Control Instalado.....	95
Figura 79. Botón de Ingreso de valores numéricos.....	139
Figura 80. Ingreso de valores por teclado.....	139
Figura 81. Pantalla de Tipos de Lanas	139

Figura 82. Configuración del perímetro.....	140
Figura 83. Pantalla de confirmación.....	141
Figura 84. Pantalla de Proceso o Producción	141

DIAGRAMAS

Diagrama 1. Sistema de un PLC.....	21
Diagrama 2. Diseño del Sistema de Automatización	56
Diagrama 3. Protección del PLC estándar	68
Diagrama 4. Flujograma de Pantallas del HMI.....	82
Diagrama 5. Flujograma de Armado del Tablero de Control.....	90
Diagrama 6. Flujograma de Fabricación de Tarjeta de Relés	92
Diagrama 7. Gráfico de dispersión de Lana 1-5 sin tinte	98
Diagrama 8. Gráfico de dispersión de Lana 1.5 con tinte café	99
Diagrama 9. Gráfico de dispersión de Hilo Fantasía Azul.....	100

TABLAS

Tabla 1. Problemas y Soluciones comunes en las maquina madejadoras	18
Tabla 2. Códigos de Instrucción (IL)	28
Tabla 3. Ruptura de Hilo en Lana 1.5	50
Tabla 4. Ruptura de Hilo Lana 1.8	51
Tabla 5. Ruptura de Hilo Alpaca 1.45	51
Tabla 6. Promedio de Ruptura	52
Tabla 7. Error de peso en Lana 1.5	53
Tabla 8. Error de Peso en lana 1.8	53
Tabla 9. Error de Peso Alpaca 1.45	54
Tabla 10. Error Porcentual Promedio de peso	54
Tabla 11. Necesidades del Controlador del Sistema	56
Tabla 12. Parámetros programados en el variador	69
Tabla 13. Funciones en Modbus ASCII del variador Delta VFD-M	72
Tabla 14. Representación formato float IEEE	77

Tabla 15. Simbología de la norma ASME para diagramas de flujo.....	89
TABLA 16. PRUEBA DE REPETITIVIDAD DE LANA 1-5 SIN TINTE	97
Tabla 17. Prueba de Repetitividad de Lana 1-5 con tinte café	98
Tabla 18. Prueba de Repetitividad de Hilo Fantasía Azul.....	99
Tabla 19. Error de Peso Lana 1.5.....	100
Tabla 20. Error de Peso lana 1,8	101
Tabla 21. Error de Peso en Alpaca 1,45	101
Tabla 22. Error de Peso Lana Moliné 0,6	102
Tabla 23 Error de Peso lana Bucle 1,1	102
Tabla 24. Error de peso Acrílico Moliné 2,5	103
Tabla 25. Error de peso Acrílico Buclé.....	103
Tabla 26. Promedio de Error de Peso.....	104
Tabla 27. Ruptura Lana 1,5	104
Tabla 28. Ruptura Lana 1,8	105
Tabla 29. Ruptura Alpaca 1,45	105
Tabla 30. Ruptura Lana Moliné 0,6.....	106
Tabla 31. Ruptura Lana Buclé 1,1	106
Tabla 32. Ruptura Acrílico Moliné	107
Tabla 33. Ruptura Acrílico Buclé 2,5.....	107
Tabla 34. Promedio de Rupturas	108

ECUACIONES

Ecuación 1. Velocidad de Sincronismo de un motor de Inducción.....	38
Ecuación 2. Relación de Transmisión.....	63
Ecuación 3. Peso en madejado	66
Ecuación 4. Conversión del formato float IEEE	78
Ecuación 5. Número de Pulsos del Encoder.....	79
Ecuación 6. Título numero Métrico de un hilo.....	142

AUTOMATIZACION DE UNA MAQUINA MADEJADORA DE HILOS DE CONSTRUCCION NACIONAL PARA LA EMPRESA IMBATEX.

Autor: Fernando Ortega

Tutor: Ing. Cosme Mejía

Año: 2013

RESUMEN

El trabajo detallado a continuación describe la automatización de una máquina de construcción nacional de madejar hilos en diferentes pesos y a diferentes velocidades, mediante un sistema de control basado en PLC.

Para lograr automatizar la máquina se ha procedido de la siguiente manera. Primero se ha realizado el ensamblaje mecánico de la máquina madejadora de construcción nacional, luego se ha adaptado el sensor de posición angular encoder y el motor trifásico, luego se ha diseñado y armado el tablero de control donde alberga la parte de control y de fuerza, posteriormente se ha programado y configurado comunicaciones en el PLC, la HMI y el variador de frecuencia y por último se ha calibrado y ensayado con los diferentes tipos de madejado, realizando así los cambios necesarios para su buen funcionamiento.

La interfaz gráfica en la pantalla HMI, cuenta con un menú simple e intuitivo el cual permite escoger el tipo de lana a madejar, el PLC automáticamente selecciona los parámetros óptimos de velocidad de madejado y el peso requerido, estos parámetros se han obtenido previamente en pruebas, para el correcto desempeño de la máquina en el hilo específico a madejar.

Se cuenta con un manual de operación para poder utilizar y calibrar correctamente la máquina.

AUTOMATION OF A SKEINING MACHINE FROM DOMESTIC MANUFACTURING FOR IMBATEX COMPANY

Author: Fernando Ortega L.

Tutor: Ing. Cosme Mejía

Year: 2013

ABSTRACT

This work detailed below describes on reeling machine automation for different weights threads, and at different speeds, using a PLC control system.

In order to automate the machine has proceeded as follows. First was the mechanical assembly to reeling machine, this machine has a national building, then, adapted the angular position encoder sensor and three phase motor, then designed and assembled the control panel whit the control and force electric systems, then programmed and configured the PLC, HMI and VFD (variable frequency driver) and finally was calibrated and testing different types of reeling, then making the necessary changes for a good performance.

The GUI (graphic user interface), in to the HMI screen, has a simple and intuitive menu which lets you choose the type of reeling thread, the PLC automatically selects the optimal reeling settings speed and the required weight, previously obtained evidence for the proper performance machine in reeling specific thread.

There is an operation manual for a good machine calibrate.

PRESENTACIÓN

El presente escrito, correspondiente a la tesis Automatización de una Máquina Madejadora de hilos de construcción nacional para la empresa Imbatex, está estructurado en dos partes, la parte teórica, la cual comprende dos capítulos: el madejado en la industria textil y sistemas de automatización industrial, y la parte práctica, la cual comprende cuatro capítulos: diagnóstico de la máquina madejadora Imbatex, diseño y construcción del sistema control, pruebas, conclusiones recomendaciones y anexos.

El primer capítulo, describe los fundamentos teóricos e información necesaria de la hilatura y del madejado, la importancia y funcionalidad del madejado, así como máquinas madejadoras existentes en el mercado.

El segundo capítulo, describe los principales fundamentos teóricos de automatización industrial utilizados en el presente trabajo de grado, como la arquitectura del PLC, los lenguajes de programación de PLC, comunicaciones industriales, variadores de frecuencia y encoder.

En el tercer capítulo, se realiza una evaluación del estado inicial de la máquina y de las partes más importantes de la misma; y se tabula su funcionamiento previo la automatización, así como una descripción general de la arquitectura y diseño que se quiere realizar.

En el cuarto capítulo, se describe los criterios de diseño tanto en la parte mecánica, eléctrica. Se diseña el sistema de control de peso, sistema de comunicaciones entre los dispositivos, así como el programa detallado del PLC y del HMI.

En el quinto capítulo, se realizan las pruebas de la máquina ya automatizada, tanto en peso como en eficiencia.

En el sexto capítulo, se detalla las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

EL MADEJADO EN LA INDUSTRIA TEXTIL¹

El madejado es uno de los procesos complementarios en la fabricación de hilos, principalmente para hilos de lana o acrílico, en el presente trabajo se va a tener como referencia el proceso de hilado de lana en el cual entra necesariamente el proceso de madejado, que es parte principal del tema de este trabajo. Con el madejado se produce madejas para poder posteriormente salir a la venta o dar color a los hilos en las máquinas de tintura. Para la fabricación de hilos de lana se sigue el siguiente proceso: preparación de la materia prima, cardado, estirado y doblado, estirado y falso torcido, hilado, bobinado, retorcido, madejado, tintura, secado y venta.

1.1. PROCESO DE HILADO

1.1.1. Preparación

En la preparación se procede a disponer las fibras textiles provenientes del corte de pelo de la oveja para poder trabajar correctamente en las máquinas de hilatura, La fibra de lana al ser esquilada de la oveja se encuentra sucia y enredada, para ser procesada convenientemente se requiere someterla a una serie de procesos hasta que esta se encuentre limpia, desenredada y con las condiciones de humedad y lubricación adecuadas, todos estos procesos son los que forman parte de la denominada preparación de la lana.

¹Esparza, 2010

Los procesos que comprende la preparación de la lana son: reclasificación, apertura y limpieza, lavado, escurrido, secado, ensaimaje y apertura y limpieza.

- **Apertura y Limpieza**

Este proceso tiene la finalidad de separar los vellones en partes más pequeñas, abrir relativamente las fibras y limpiarlas de materiales grandes y pesados como por ejemplo piedras, tierra, arena y residuos vegetales grandes.

Mediante la apertura y limpieza se facilita hacer el proceso siguiente que es el lavado, porque es más fácil lavar grupos de lana pequeños que conjunto de fibras unidas o vellones grandes que causarían problemas en el transporte y en la agitación que sufren en las máquinas.

Este proceso se fundamenta en la acción de desgarrar fuertemente un conjunto de fibras mediante la acción de púas que halan algunas fibras y un par de cilindros que sostienen a otras fibras, este proceso se realiza en forma continua en la máquina llamada Abridora de Lana o Batuar.

- **Lavado**

Mediante el lavado de la lana se consigue eliminar las impurezas, las grasas, las sales que segregan las ovejas, tierras, arena, residuos biológicos y otras impurezas que contiene la lana.

Con el lavado se logra dar a la fibra las condiciones de limpieza adecuadas para que esta pueda ser procesada posteriormente.

Las máquinas utilizadas en el proceso de lavado se denominan leviatanes, cuyo principio se fundamenta en agitar suavemente la fibra de lana en agua

con la utilización de detergentes y álcalis, para eliminar las grasas hasta un porcentaje de 0,8% como mínimo.

- **Escurrido**

Es el proceso mediante el cual se elimina el exceso de agua que contiene la fibra, debido a que la lana es muy higroscópica esta puede almacenar gran cantidad de agua y cuando la lana ha sido lavada esta se carga de gran cantidad de agua, por lo que es necesario eliminar rápidamente el exceso de agua para ayudar al secado posterior.

Con el escurrido se evita que la lana se amarille debido a la oxidación de esta con el agua y ayuda también al secado rápido de la fibra.

Para hacer el escurrido se puede emplear tres procedimientos, los mismos que son:

Escurrido por presión.- Este se realiza utilizando dos rodillos entre los cuales debe haber una fuerte presión para que al pasar la lana por estos se elimine el agua de la fibra, este procedimiento se utiliza en los leviatanes y es un proceso continuo.

Escurrido por gravedad.- Para realizar este proceso se debe colocar la lana lavada y húmeda en una superficie porosa que este sobre el suelo, el agua debido a su mayor densidad y por estar en estado líquido cae hacia el suelo, mientras que la fibra se mantiene sobre la superficie porosa. El escurrido de lana mediante este proceso requiere el empleo de mucho tiempo.

Escurrido por fuerza centrífuga.- Este proceso se realiza con las máquinas centrifugas, las cuales hacen girar a la fibra colocadas en su interior a grandes velocidades generando una fuerza de gravedad hacia el exterior y debido a esta, el agua por su estado líquido y mayor densidad sale hacia el exterior de la máquina.

- **Secado**

Es el proceso mediante el cual se procede a eliminar el resto de humedad que todavía contiene en exceso la lana.

Este proceso se puede realizar con el empleo de aire caliente en forma continua. Para el secado se utiliza unos hornos especiales, en los cuales existen unas cámaras por donde circula el aire caliente, aire que proviene del exterior por medio de unos ventiladores los cuales impulsan el aire hacia arriba haciendo pasar por unos radiadores o serpentines los cuales son calentados con vapor o aceite, luego el aire caliente pasa por las fibras húmedas las mismas logrando evaporar el agua de la fibra y separándola

- **Ensaimaje**

Es el proceso que se da a las fibras de lana previamente lavadas con el fin de conferirle características de lubricación, cohesión, humectación y para evitar la electricidad estática que pueda originarse cuando sea procesada. Esta operación se realiza colocando ensimaje en las fibras de lana. El ensimaje es un producto lubricante, coherente, antiestático y humectante que se coloca en las fibras para ser procesadas con facilidad en los siguientes procesos del hilado evitando que las fibras se enreden en los cilindros, se peguen en las partes de trabajo, etc. El ensimaje debe colocarse necesariamente en la lana ya que esta luego del lavado se ha vuelto reseca, quebradiza y sería así imposible ser procesada en estas condiciones.

- **Apertura y mezcla**

La apertura y mezcla tiene como objetivos: Abrir las fibras que se han enredado o compactado durante el proceso de lavado, mezclar las fibras en forma homogénea y eliminar las impurezas que todavía acompañan a la

fibra. Si no se desenredan las fibras, estas se romperían en mayor cantidad en el proceso de cardado, lo que afectaría la calidad de los hilados. La máquina que se utiliza para hacer este proceso es el Lobo Abridor o llamada también Diablo.

1.1.2. Estirado y Doblado

Es el proceso mediante el cual se procede a paralelizar y homogenizar las fibras, así como, regularizar las cintas a través de estirajes y doblajes con la finalidad de obtener una cinta de mejor calidad. Los objetivos del estirado y doblado son:

- Paralelizar las fibras mediante los estirajes.
- Regularizar las cintas por medio de los doblados.
- Homogenizar todas las fibras a través de los estirajes y doblados.

Para hacer el estirado y doblado de las cintas de lana o cualquier otro tipo de cintas de corte lanero se utilizan las máquinas denominadas Gills (Figura 1), estas máquinas permiten alimentar algunas cintas, estirar las cintas mediante diferencia de velocidades de cilindros controlando la velocidad de las fibras flotantes mediante peines y recolectar las cintas trabajadas en botes.

Figura 1. Máquina Gill Intersecting



Fuente: Hilatura Lanera, 2010.

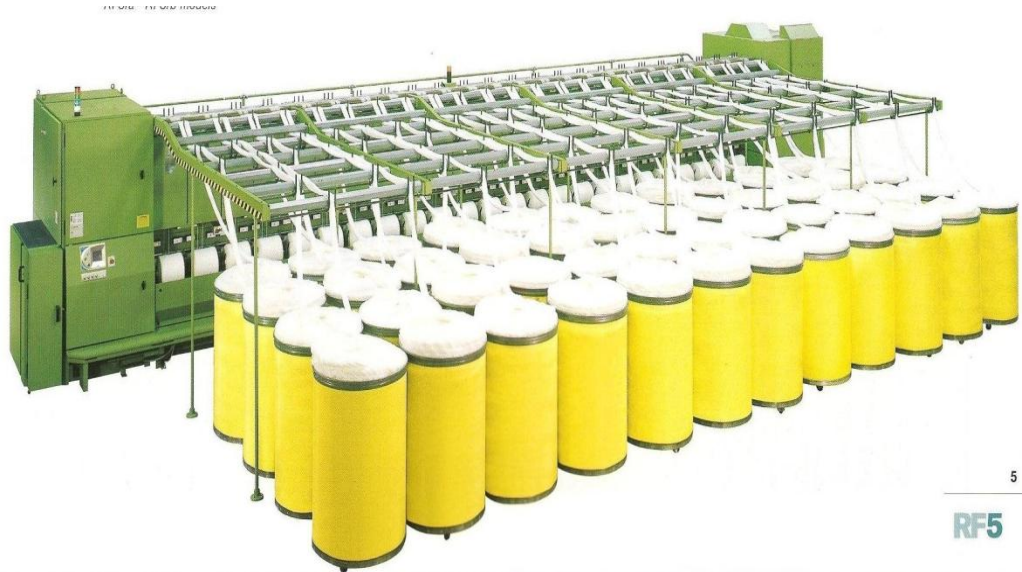
1.1.3. Estirado y falso torcido

La elaboración de hilos utilizando este proceso, permite obtener hilos con características de gran volumen, En este proceso se utilizan fibras con un cierto grado de cohesión inter fibra como fibras largas, con rizos; no se pueden utilizar fibras cortas y sin rizos. Los objetivos de este proceso son:

- Disminuir el diámetro de la cinta proveniente de los gills, lo que se consigue por medio de los estirajes.
- Dar falsa torsión al material estirado para que tenga la suficiente consistencia con la finalidad de poder ser transportado el material a los siguientes procesos, el material producido se denomina mecha.
- Recolectar las mechas en canillas formando bobinas de 3 a 6 Kg.

Las máquinas utilizadas para este proceso son las llamadas frotadores o finisores (Figura 2).

Figura 2. Máquina Finisor



Fuente: Hilatura Lanera, 2010.

1.1.4. Hilado

El hilado es el proceso final de formación del hilo. Los principios de este proceso son:

- Dar el título definitivo al hilo.
- Dar las torsiones definitivas.
- Formar bobinas.

Para hacer este proceso existen diferentes métodos y máquinas con las que se pueden producir hilos con diferentes características, en el proceso de hilatura lanera se utiliza generalmente las máquinas continuas de hilar (Figura 3).

Figura 3. Máquina Continua de Hilar



Fuente: Hilatura Lanera, 2010.

1.1.5. Bobinado

El material procedente de las hilas en bobinas con un peso que generalmente está alrededor de 150 gr, cantidad que es muy pequeña y no conveniente ser utilizada en los procesos posteriores o en la venta, debe ser colocado en una bobina de mayor peso, peso que puede estar entre 1,5 y 2,5 Kg y que sea de fácil manipulación. Los objetivos del bobinado son:

- Pasar el hilo de bobinas continuas de hilar a bobinas cónicas cruzadas y de un peso que oscila entre 2 y 3 Kg.
- Controlar y corregir imperfecciones como partes gruesas, delgadas y neps.
- Parafinar el hilo.

La máquina utilizada para este proceso se denomina Bobinadora (Figura 4).

Figura 4. Máquina Bobinadora



Fuente: Hilatura Lanera, 2010.

1.1.6. Retorcido

Para utilizar el hilo de lana en muchas aplicaciones, se requiere dar al hilo un retorcido. El retorcido se hace uniendo dos o más hilos a los cuales se les dan torsión en sentido contrario a su torsión original. Por lo general la torsión inicial del hilo tiene sentido Z (sentido de giro del viajero horario) y la retorsión tiene sentido S (sentido de giro del viajero anti horario). Las máquinas utilizadas en el retorcido son las retorcedoras de anillos y las retorcedoras de doble torsión, como se puede ver en la figura 5.

Figura 5. Máquina Retorcedora



Fuente: Hilatura Lanera, 2010.

1.1.7. Madejado

Este es un proceso a través del cual se pasa los hilos procedentes de los conos de las bobinadoras o de las retorcedoras a madejas cruzadas con la finalidad de permitir al hilo ser tinturado. La máquina utilizada en este proceso se denomina madejadora.

1.1.8. Generalidades de la Tintura

Mediante este proceso se da el color deseado a los hilos de lana. Las madejas son colocadas en las máquinas de tintura denominadas armarios de tintura, en las cuales se somete a los hilos dispuestos en forma de madejas en una solución de agua con colorantes, detergentes y otros auxiliares químicos de tintura, para seguir una curva de tintura alcanzando los 90 grados centígrados en donde el colorante paulatinamente va uniéndose al hilo dando el color a este.

1.1.9. Devanado o desmadejado

Luego del proceso de tintura el hilo coloreado que está en madejas debe ser pasado nuevamente a conos, los objetivos de este proceso son:

- Pasar el hilo de madejas a conos.
- Colocar parafina para lubricar el hilo.

Las máquinas utilizadas para este proceso son las devanadoras o desmadejadoras.

Figura 6. Máquina devanadora



Fuente: Hilatura Lanera, 2010.

Luego del devanado en donde el hilo está con el color, el peso y la presentación deseada, finalmente está listo para la venta.

1.1.10. El Cardado

Es la acción de abrir, individualizar, paralelizar y limpiar las fibras en una forma sucesiva hasta obtener una masa de fibras ordenadas y limpias en forma de cintas o mechas.

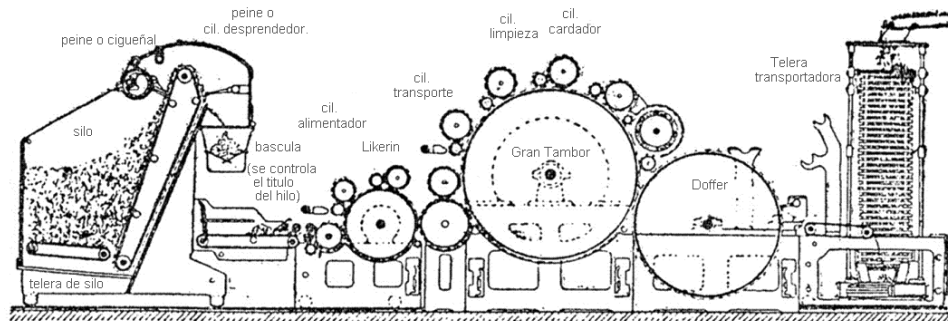
El objetivo del cardado es abrir, desenredar e individualizar las fibras; así como, eliminar neps, limpiar las fibras y finalmente formar cintas que se recolectan en botes, bobinas o mechas.

La cinta es una masa de fibras en forma cilíndrica y que tiene un peso de alrededor de 20 g/m. y las mechas son masas de fibras con pesos de 0.8 g/m aproximadamente.

Para hacer el cardado de lana y otras fibras de corte lanero, se requiere el empleo de las máquinas denominadas cardas laneras (Figura 7), estas se diferencian de las cardas algodoneras principalmente por los cilindros que se ubican sobre los tambores en remplazo de los chapones giratorios, estos cilindros permiten que las fibras largas sean procesadas progresivamente.

Las cardas para lana son de dos clases, las unas denominadas cardas de cardado que se utilizan para fabricar hilos generalmente gruesos y con todo tipo de fibras y las otras denominadas cardas de peinado que se utilizan para fabricar hilos finos y regulares con fibras de mejor calidad y de longitud más larga.

Figura 7. Sección de una máquina carda de cardado



Fuente: Hilatura Lanera, 2010.

1.2. EL MADEJADO

Este es un proceso a través del cual se pasa los hilos procedentes de los conos de las bobinadoras o de las retorcedoras a madejas cruzadas con la finalidad de permitir al hilo ser tinturado o salir a la venta. El objetivo de esta máquina es pasar el hilo de conos a madejas cruzadas.

La máquina utilizada en este proceso se denomina madejadora

Figura 8. Máquina Madejadora



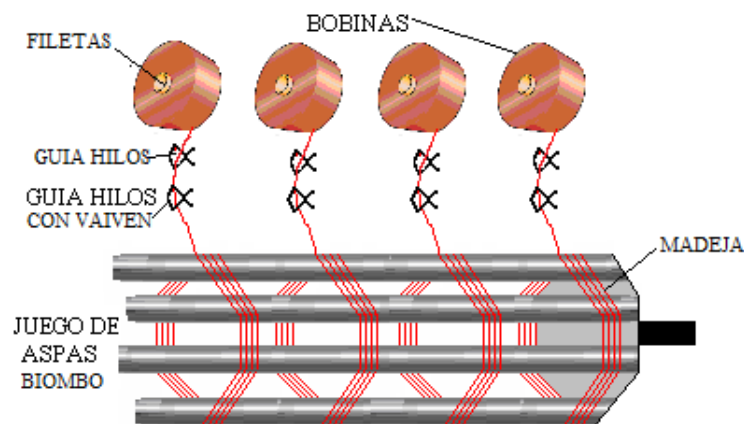
Fuente: Hilatura Lanera, 2010.

1.2.1. Máquina Madejadora

- **Partes Principales de la Madejadora**

Las partes principales de una maquina madejadora son: Bobinas, filetas, guías de hilos, guías de hilos con vaivén, juego de aspás o biombo (Figura 9).

Figura 9. Partes Principales de la Madejadora



Fuente: Autor, modificado de Manual Teórico práctico de hilatura acrílica, 2012.

- **Proceso en el madejado**

Los hilos colocados en bobinas de las bobinadoras o retorcedoras son colocados en la fileta de alimentación, estos mediante guía hilos y tensores son dirigidos hasta las aspás, las cuales mediante giros envuelven al hilo alrededor de su periferia, mientras los hilos están siendo enrollados un movimiento de vaivén previo al enrollamiento permite dirigir al hilo en un segmento de espacio con lo que se logra producir las madejas cruzadas. Una vez envuelto la cantidad de hilo programada, se procede a unir los extremos de hilo en la madeja mediante un nudo y además es necesario marcar o señalar estos extremos para una posterior identificación, luego se coloca los cruceros los cuales permiten mantener la forma de la madeja

durante su manipulación en los procesos posteriores, colocados los cruceros, se procede a retirar las madejas de las aspas.

1.2.2. Parámetros que intervienen en el madejado

Para la formación adecuada de las madejas se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- El tamaño de la madeja debe estar de acuerdo a las dimensiones de la máquina de tintura, no se deben formar madejas grandes o pequeñas que puedan causar hilos manchados.
- El peso de la madeja debe estar también en relación al tipo de fileta de la devanadora de madejas utilizada en el proceso posterior. Madejas de 1 a 2 Kg es lo más utilizado.
- El ángulo de cruzamiento de los hilos que conforman la madeja debe ser tal que permita no este ni muy floja ni ajustada, madejas flojas pueden provocar su deformación y madejas ajustadas pueden ocasionar tinturas desiguales.

El cruzamiento de los hilos forma ángulos entre estos, los cuales al formar ángulos bajos producen madejas flojas y ángulos altos forman madejas ajustadas. Una madeja formada correctamente es cuando el ángulo formado por los hilos resulta del enrollamiento del hilo que parte desde un punto extremo de la madeja, avanzando al otro extrema y volviendo al mismo extremo durante tres vueltas en la madeja.

Para mantener el hilo en posición fija en la madeja, se debe hacer pasar hilos en forma de ocho y luego amarrarlos, hilos denominados cruceros, a través de los hilos en el ancho de la madeja. Los cruceros deben colocarse por lo menos en tres partes de la madeja. Si no se colocará los cruceros, la madeja se deformaría fácilmente durante su manipulación o cuando se tintura y no se podría pasar el hilo de la madeja nuevamente a cono.

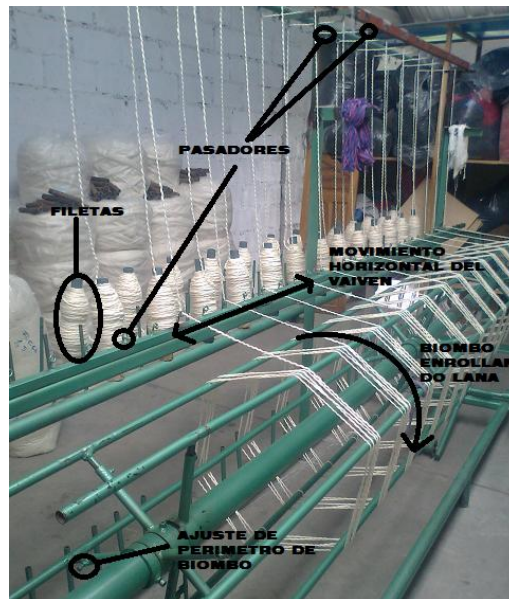
Los cruceros deben ser de un material diferente al material que se vaya a tinturar, esto para que sea fácilmente identificable. El crucero no debe cruzarse y amarrarse ajustado porque causaría manchas en la tintura, ni muy flojo porque la madeja podría deformarse. El amarrado de los cruceros debe ser tal que permita posteriormente ser desamarrado fácilmente.

1.2.3. Ajustes y Calibraciones

Para que el proceso de madejado pueda realizarse eficiente y las madejas obtenidas puedan ser las más óptimas para poder ser utilizadas en el proceso posterior de tintura, es necesario considerar los siguientes parámetros:

- Regulación del tamaño de la madeja mediante la calibración de la longitud de los brazos que sostienen las aspas de la madejadora, este tamaño tiene una relación con la máquina de tintura en la cual va a colocarse las madejas para dar el color.
- Longitud total de hilo en la madeja o peso de la madeja, generalmente regulado mediante un medidor de longitud del hilo madejado o también mediante el número de vueltas de giro de las aspas, este peso de la madeja está en función del peso del cono para la venta que se desea obtener.
- Para ajustar los cruces de la madeja se dispone de guía de hilos con vaivén que un sistema de corredera que hace que el vaivén se mueva horizontalmente, la longitud de este movimiento horizontal se ajusta mecánicamente en el sistema, la calibración del vaivén se hace solo cuando haya problemas en la tintura por madejas flojas o ajustadas.

Figura 10. Partes, movimientos y ajustes de la maquina madejadora



Fuente: Autor.

1.2.4. Problemas más frecuentes en el madejado

Los hilos deben vigilarse durante su recorrido por las madejadoras, parte por parte de estos, para evitar dificultades en los procesos subsecuentes.

En la tabla 1, se describen los problemas más comunes en las madejadoras y las soluciones.

Tabla 1. Problemas y Soluciones comunes en las maquina madejadoras

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION
Material sin revisión antes de poner los conos en la fileta	Falta de revisión del material.	Asegúrese que el hilo en proceso corresponda al título y divisa especificados, para evitar revolturas.
Constantes roturas del hilo	Bobinas con problemas de deterioro evitando el devanado del hilo,	No trabajar estas bobinas, e infórmelo al supervisor
	Hilos faltos de torsiones, en especial los hilos a un cabo	Revisar la hoja de ruta de este hilo, para detectar en donde puede estarse dando la causa de este error.
	Aspas descalibradas	Informar al supervisor o al mecánico de esta anomalía
	Sistema guía hilo con demasiadas pelusas o borras del material que se está madejando.	Informar al supervisor o al mecánico de esta anomalía
	Velocidad de madejado excesiva	Sistema de control de velocidad
Madejas salen no con los parámetros esperados.	Rpm de la devanadera mal programadas	Informar al supervisor o al mecánico de esta anomalía
	Título del hilo equivocado	Informar al supervisor de esta anomalía
	Dimensión de las aspás demasiado abiertas o cerradas.	Informar al supervisor o al mecánico de esta anomalía

Fuente: Hilatura Lanera, 2010.

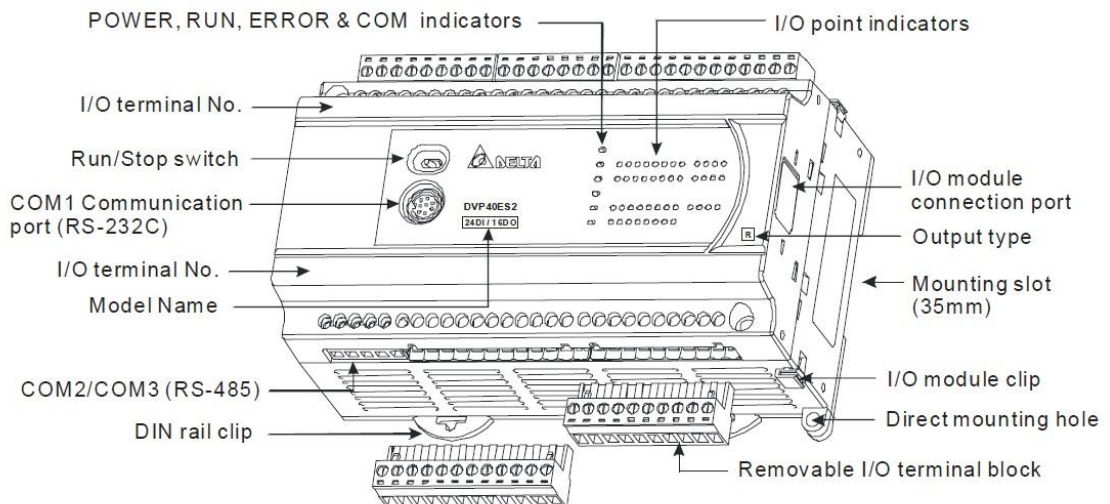
CAPÍTULO II

SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

2.1. GENERALIDADES DEL CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE

Un controlador lógico programable “PLC” (Figura 11), es una forma especial de controlador basado en microprocesador que utiliza la memoria programable para almacenar instrucciones y para implementar funciones como lógica, secuencia, temporizaciones, contadores y la aritmética con el fin de controlar las máquinas y procesos (Bolton, 2006).

Figura 11. Controlador Lógico Programable PLC



Fuente: Delta Electronics, sf.

El término PLC proviene de las siglas en inglés para Programmable Logic Controller, que traducido al español se entiende como “Controlador Lógico Programable”. Se trata de un equipo electrónico, que, tal como su mismo nombre lo indica, se ha diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por lo general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales.

Para que un PLC logre cumplir con una función específica, es necesario programarlo con cierta información acerca de los procesos que se quiere controlar.

Dentro de las funciones que un PLC puede cumplir se encuentran operaciones como las de detección y de mando, en las que se elaboran y envían datos de acción a los preaccionadores y accionadores. Además cumplen la importante función de programación, pudiendo introducir, crear y modificar las aplicaciones del programa.

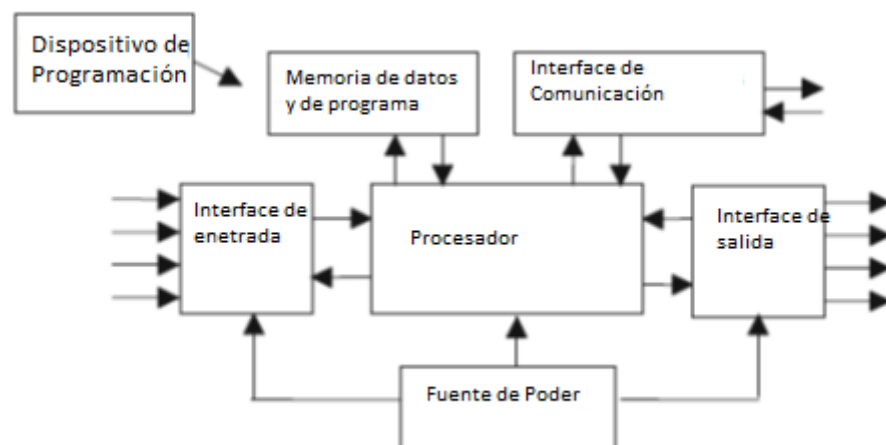
Las ventajas de utilizar un PLC son: ahorrar tiempo en la elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales, el tamaño reducido y mantenimiento de bajo costo de los PLC, además permiten ahorrar dinero en mano de obra y la posibilidad de controlar más de una máquina con el mismo equipo. Sin embargo, y como sucede en todos los casos, los controladores lógicos programables, o PLC, presentan ciertas desventajas como es la necesidad de contar con técnicos calificados y capacitados específicamente para ocuparse de su buen funcionamiento.

2.1.1. Arquitectura básica del PLC

El típico sistema de un PLC básico funcional, se observa en el diagrama 1, el PLC internamente se compone de una unidad de procesamiento, memoria, fuente de poder, sección de interface de entradas y salidas, dispositivo de programación e interface de comunicación, además se necesita de un

ordenador o de dispositivo programador portátil, para poder cargar el programa en el PLC, algunos PLC incorporan una pequeña pantalla y un teclado básico para poder programarlo.

Diagrama 1. Sistema de un PLC



Fuente: Bolton, 2006.

- El Procesador Central: es la unidad que contiene el microprocesador, el cual lee las entradas, las procesa y escribe las salidas dependiendo del programa almacenado en la memoria.
- La fuente de poder: es la convierte el voltaje de entrada que comúnmente es de 90 a 240 voltios de corriente alterna o de 12 a 24 voltios de corriente continua, y la convierte en voltaje adecuado para la operación de los sistemas internos generalmente a 5V.
- El dispositivo de programación: es el encargado de ingresar el programa requerido dentro de la memoria del PLC.
- La unidad de memoria: es donde se almacena el programa que rige las acciones de control y se almacena los valores de las entradas y las salidas.

- La sección de entradas y salidas: es donde se conectan las señales de entrada físicas y se convierten en señales adecuadas para el procesamiento, así mismo convierte las señales del microprocesador en señales físicas adecuadas para interactuar con elementos externos.
- La interface de comunicación: es la encargada de transmitir y recibir datos en redes de comunicación con otros PLC o dispositivos compatibles.

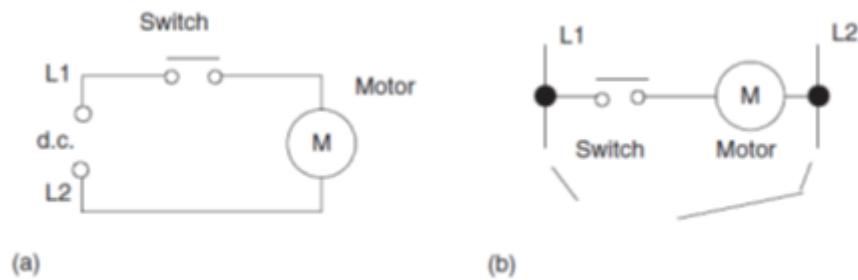
2.2. Programación del PLC

La programación del PLC, se la hace pasando un código de instrucciones desde un terminal de programación o una PC hacia el PLC, este código de instrucciones puede estar en distintos lenguajes como pueden ser Ladder (LAD), Diagrama de Bloques de Función (FBD), Lista de Instrucciones (LI) y Funciones Secuencias (SFC); además de lenguajes de alto nivel como el C, Basic, Pascal, FORTRAN y COBOL entre otros, sin embargo los más utilizados son ladder y Bloques de Funciones.

2.2.1. Programación Ladder

Como una introducción a los diagramas ladder hay que considerar un circuito eléctrico sencillo, el cual se lo representa con dos líneas verticales que son las líneas de poder y líneas horizontales en la cuales se colocan los elementos del circuito.

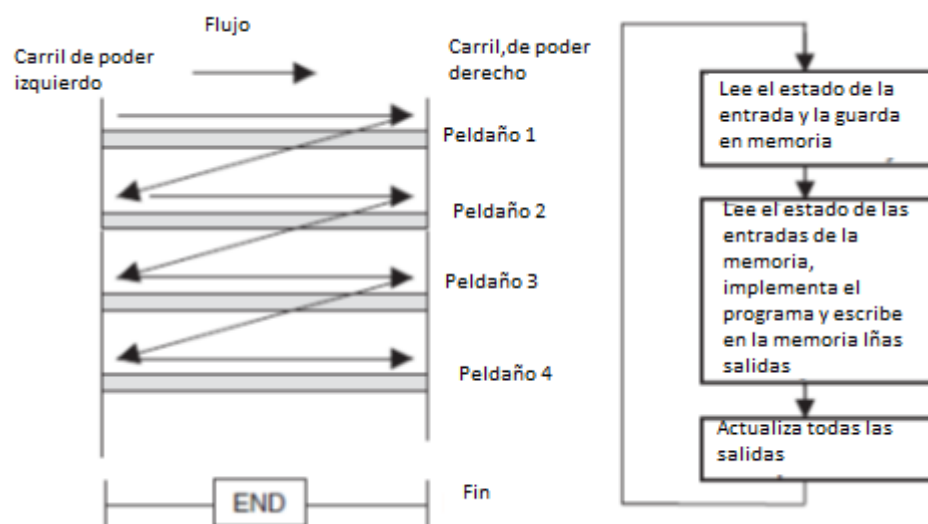
Figura 12. Representación (a) eléctrica, (b) ladder



Fuente: Bolton, 2006.

El flujo del programa va de arriba hacia abajo ejecutando cada línea horizontal de programa y terminado en la instrucción END, antes de comenzar a ejecutar la primera línea de código el PLC lee las entradas y al final de la ejecución escribe sobre las salidas (Figura 13), este proceso se llama ciclo de scan.

Figura 13. Ejecución de un programa en Ladder



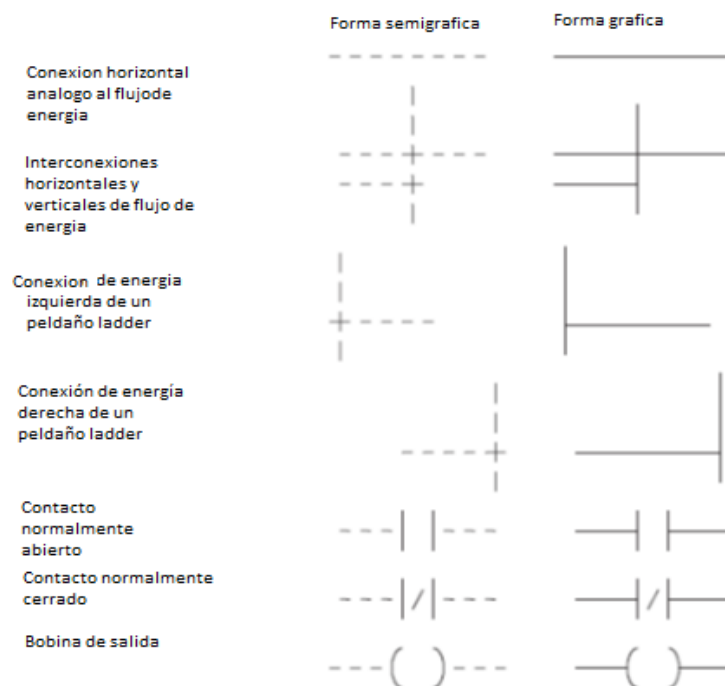
Fuente: Bolton, 2006.

Las referencias gráficas de los elementos básicos de entrada y salida de un diagrama ladder se establecen en el estándar IEC-1131-3², los símbolos pueden ser utilizados en forma semigráfica y gráfica (Figura 14).

Los símbolos básicos representan interruptores abiertos o cerrados y las salidas representan bobinas, además del gráfico, cada elemento tiene una representación alfanumérica que depende de la marca del PLC, en la figura 15 se muestra un diagrama ladder básico usando nomenclatura para PLC (a) Mitsubishi (b) Siemens (c) Allen-Bradley y (d) Telemecanique, que son unas de las marcas más representativas a nivel mundial.

Con los símbolos básicos se puede realizar operaciones lógicas AND, OR, NAND, NOR, XOR, además de tener funciones de temporización, conteo y matemáticas entre otras

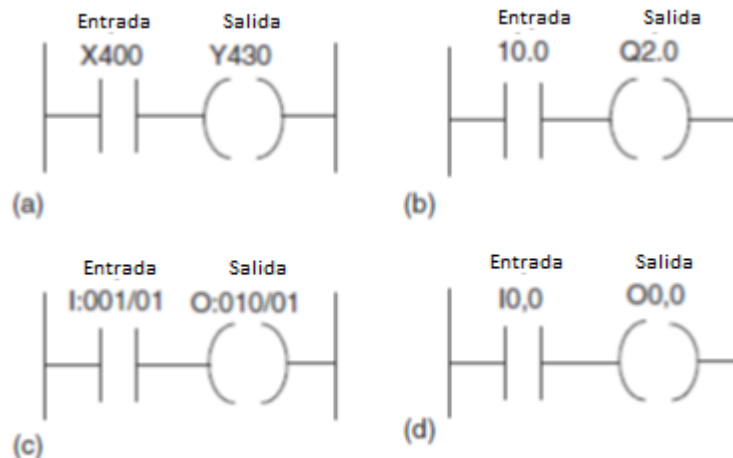
Figura 14. Diagramas Básicos Ladder



Fuente: Bolton, 2006.

² Bolton, Programmable Logic Controllers 2006, p.114

Figura 15. Notación: (a) Mitsubishi, (b) Siemens, (c) Allen-Bradley, (d) Telemecanique



Fuente: Bolton, 2006.

2.2.2. Programación en Diagrama de Bloques de Función

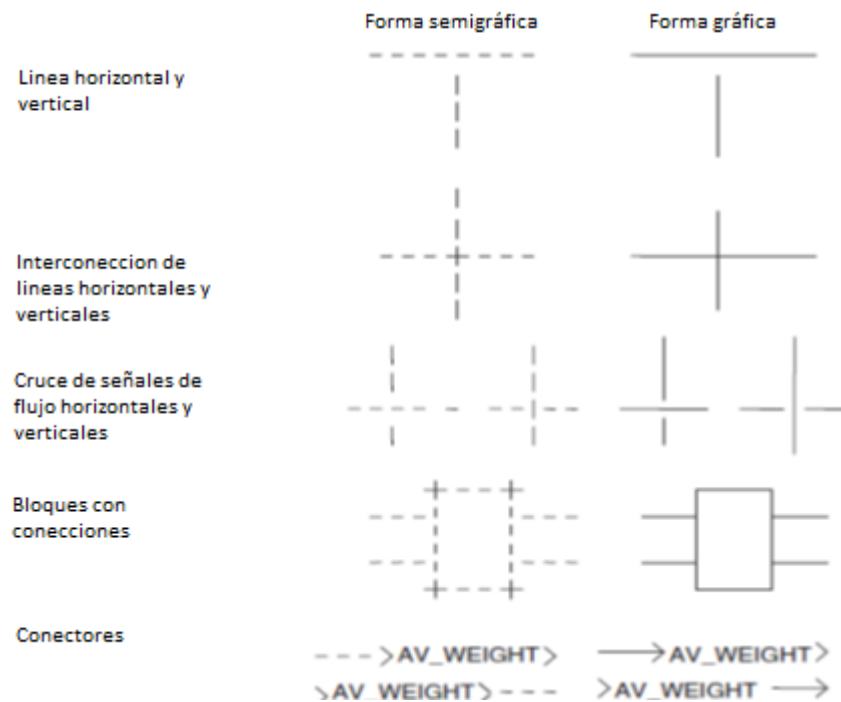
El termino Bloques de Función (FBD), es usado para describir el programa del PLC en términos de diagrama de bloques. Se describe como un lenguaje gráfico para representar los flujos de datos y señales a través de bloques, que son elementos de software reutilizables³.

El estándar IEC 1113-3⁴ para la elaboración de estos bloques se muestra en la figura 16. Un bloque de función se presenta como un bloque rectangular con entradas por la izquierda y las salidas por la derecha (Figura 17). El tipo de bloque de función se muestra en el bloque, como la AND, y demás operaciones lógicas, existen bloques de temporizadores, contadores, sumadores, entre otros.

³ Bolton, Programmable Logic Controllers, 2006, p.12

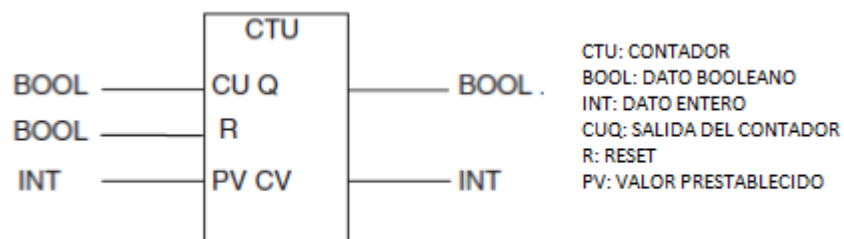
⁴ Bolton, Programmable Logic Controllers, 2006, p.114

Figura 16. Diagramas de Bloques de Función



Fuente: Bolton, 2006.

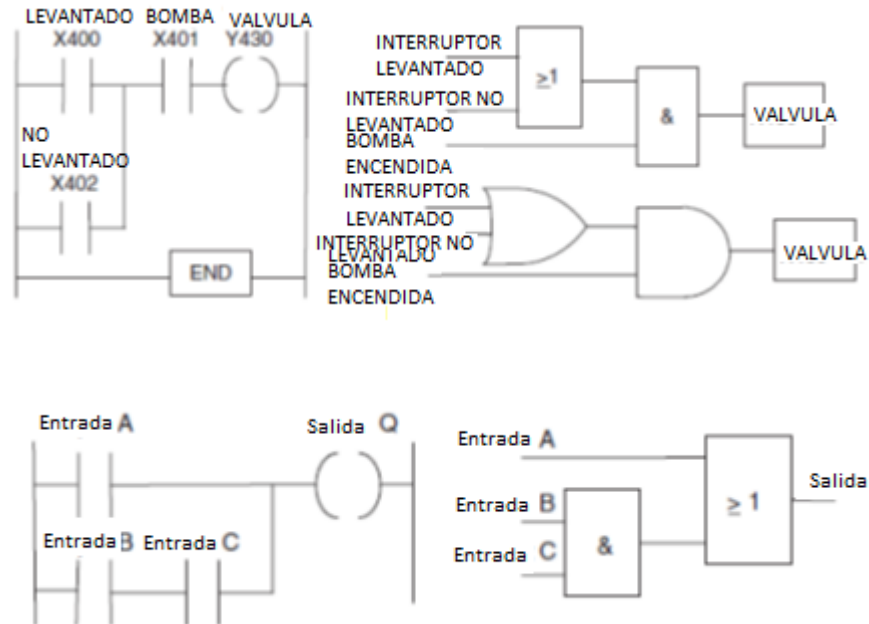
Figura 17. Diagrama de Función de Bloque de un Contador



Fuente: Bolton, Programmable Logic Controllers, 2006.

Algunos software de programación de PLC, tienen herramientas de traducción entre el ladder y diagrama de función de bloques (Figura 18), como es el caso del Logo de Siemens.

Figura 18. Programa de Operación de una Válvula



Fuente: Bolton, 2006.

2.2.3. Programación en Lista de Instrucciones

La lista de instrucciones (IL), es un método de programación que puede ser considerado como la entrada de un programa ladder usando texto. Una lista de instrucciones ofrece una serie de instrucciones, cada instrucción es una línea nueva de código. Cada instrucción se compone de un operador seguido por uno o más operandos, es decir, los sujetos del operador. Así pues, podría tener: LD A para indicar que el operando A se va a cargar, LD es el operador que se utiliza para indicar la carga.

Los códigos de instrucción según el estándar IEC 1131-3 (Tabla 2), son usados como operadores y así como los operandos siguen con la notación alfanumérica dependiendo de la marca de PLC.

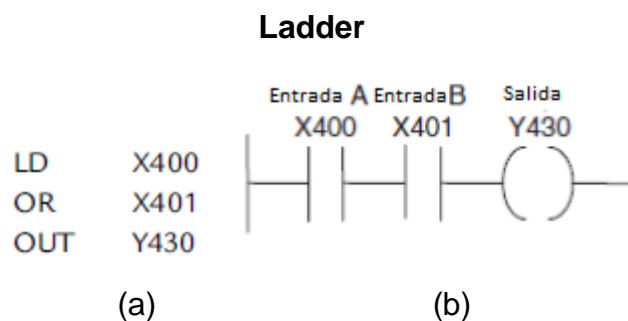
Tabla 2. Códigos de Instrucción (IL)

IEC 1131-3	Mitsubishi	OMRON	Siemens	Operation	Ladder Diagram
LD	LD	LD	A	Operador de carga dentro de un registro	Contacto Normalmente Abierto
LDN	LDI	LD NOT	AN	Operador de carga negativa dentro de un registro	Contacto Normalmente cerrado
AND	AND	AND	A	AND Booleano	Elemento en serie con un contacto NO
ANDN	ANI	AND NOT	AN	AND Booleano con un operador negativo	Elemento en serie con contacto NC
OR	OR	OR	O	OR Booleano	Elemento paralelo con un contacto NO
ORN	ORI	OR NOT	ON	OR Booleano con operador negativo	Elemento paralelo con un contacto NC
ST	OUT	OUT	-	Guarda el resultado de la operacion en un registro	Salida

Fuente: Bolton, 2006.

Algunos tipos de software de programación de PLC como el Delta, ofrece traducciones entre el ladder y lista de instrucciones, más no diagrama de funciones de bloques, como se muestra en la figura 19.

Figura 19. Programa muestra AND (a) Lista de Instrucciones, (b)

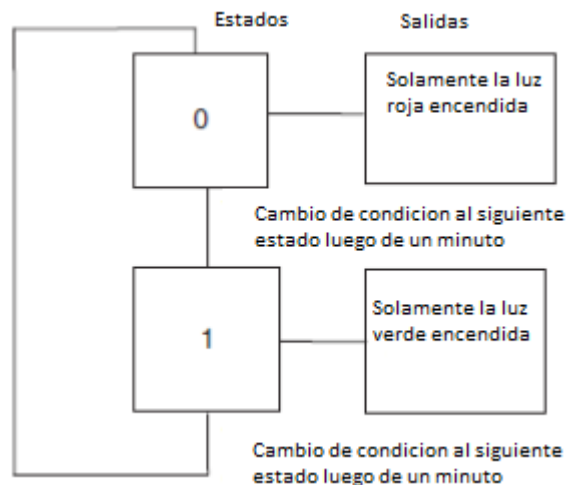


Fuente: Bolton, 2006.

2.2.4. Programación mediante Funciones Secuenciales (SFC)

Las funciones secuenciales son similares a un diagrama de flujo, suponiendo tener un semáforo con luz roja y verde solamente las únicas alternativas de la secuencia serían el estar con luz verde encendida y pasar a luz roja encendida, con el orden de estados correspondiente (Figura 20), este tipo de programación se orienta a la secuenciación de eventos.

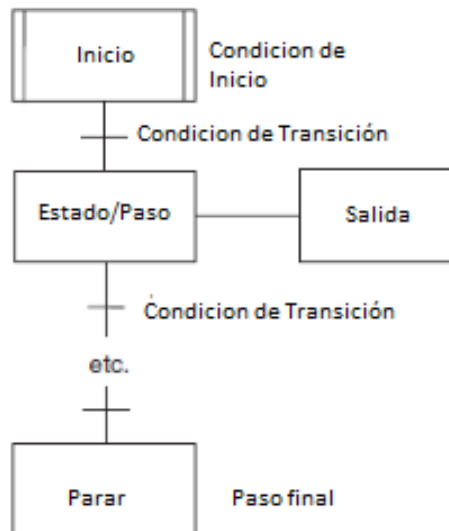
Figura 20. Secuencia de estados de un semáforo simple



Fuente: Bolton, 2006.

En este tipo de programación el funcionamiento es descrito por una serie de estados de forma secuencial, cada estado es representado por un rectángulo, el paso inicial se representa diferente que los demás (Figura 21).

Figura 21. Estados y Transiciones de la programación SFC



Fuente: Bolton, 2006.

Cada conexión entre estados tiene una barra horizontal que representa la transición entre estados, dos pasos no pueden estar conectados sin una transición y dos transiciones no pueden estar juntas sino separadas por un estado.

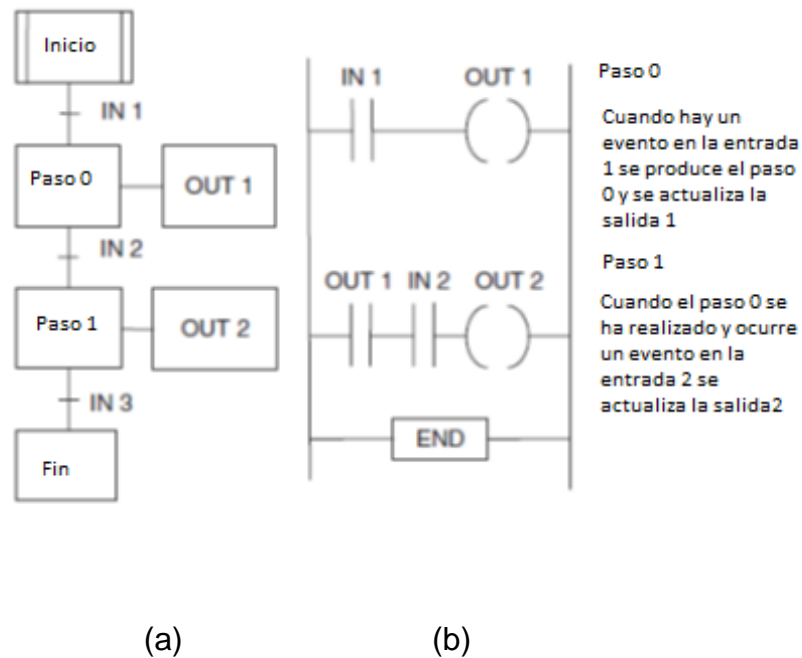
El programa pasa de un estado a otro hasta que el ciclo de programa se ha completado.

La acción de escribir a una salida se representa en un cuadro con vinculación horizontal y se actualiza una vez terminado el estado.

El lenguaje gráfico de función secuencial es una poderosa técnica gráfica para describir el comportamiento secuencial de un programa. Lenguajes gráficos se han utilizado durante varios años, Grafset comenzó como un lenguaje gráfico de Europa. El estándar IEC 1131-1⁵, es decir SFC, se parece a muchas de las características de Grafset, en la figura 22 se muestra un programa en SFC y en ladder.

⁵ Bolton, Programmable Logic Controllers, 2006, p.157

Figura 22. Programa (a) SFC, (b) Ladder



Fuente: Bolton, 2006.

2.2.1. Programación en Alto Nivel

Los lenguajes de programación en alto nivel como el C, Basic, Pascal entre otros, si bien son de uso minoritario en cuanto a PLC se refiere, la tendencia general de aumento de velocidad de procesamiento y memoria de los microprocesadores los hace cada vez más aceptados, la única falencia de estos tipos de lenguaje es que se requiere preparación especializada para poder manejarlos, sin embargo en el mercado existen PLC que manejan dichos lenguajes.

2.3. INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)

La interfaz hombre máquina (Figura 23) o HMI por sus siglas en ingles tiene como objetivo la interacción entre un humano y una máquina, es un

dispositivo que permite la operación y el control de la máquina, y la retroalimentación de la máquina que ayuda al operador en la toma de decisiones operativas. Ejemplos de este concepto amplio de interfaces de usuario incluyen los aspectos interactivos de los sistemas operativos, herramientas de mano, pesados elementos de manejo de maquinaria, y controles de proceso. Las consideraciones de diseño aplicables al crear interfaces de usuario están relacionadas o se refieren a disciplinas como la ergonomía y psicología. Una interfaz de usuario es el sistema por el cual las personas (usuarios) interactuar con una máquina. La interfaz de usuario incluye el hardware (físico) y software (lógico). Las interfaces de usuario proporcionar un medio de entrada, lo que permite a los usuarios a manipular un sistema, y / o salida, permitiendo al sistema indicar los efectos de la manipulación de los usuarios.

Figura 23. Interfaz Hombre Máquina HMI



Fuente:

http://www.dactecnica.com/esp/servicios/armario_control_interfaces_hombre_maquina_HMI.html

En general, el objetivo de la ingeniería de la interacción hombre-máquina es la producción de una interfaz de usuario que hace que sea fácil, eficiente y agradable de manejar una máquina en la forma en que produce el resultado deseado. Esto generalmente significa que el operador tiene que proporcionar un aporte mínimo para lograr el resultado deseado, y también que la máquina reduce al mínimo las salidas no deseadas para el ser humano.

2.4. COMUNICACIONES

Los primeros PLC sólo se comunicaban con el terminal de programación para las tareas de programación y verificación de programas. Con el tiempo los terminales de programación se han ido sustituyendo por ordenadores tipo PC que permiten más facilidad de programación y control del autómeta.

Al hablar de redes locales nos referimos, no obstante, a las comunicaciones entre diferentes PLC, dispositivos de automatización industrial y en algunos casos con ordenadores se llega a redes más sofisticadas en las cuales el autómeta participa en una red de comunicaciones informáticas.

Las comunicaciones de un PLC pueden ser diversas sin embargo la mayoría trabaja bajo la capa física RS 232 y RS 485.

2.4.1. RS 232

Es un estándar de comunicación para la transmisión de datos en serie entre equipos (Figura 24). La EIA⁶ liberada de DTE⁷ a DCE⁸, para cubrir las

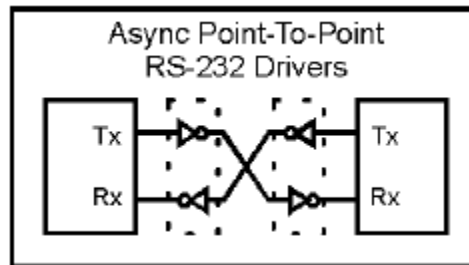
⁶ Electronics Industries Association

⁷ Data Terminal Equipment

⁸ Data Communications Equipment

conexiones eléctricas, mecánicas y funcionales entre terminales y equipos de comunicaciones⁹.

Figura 24. Aplicación Típica EIA RS 232



Fuente: Mayné Jordi, sf.

La comunicación bajo RS-232 es la más vieja y el estándar más ampliamente conocido de DTE/DCE¹⁰. La transmisión de datos digital se hace en serie a través de una línea asimétrica, no terminada, entre dos equipos. La distancia máxima de enlace está sobre los 15 metros y la velocidad de transmisión máxima es de 20Kbps.

2.4.2. RS 422

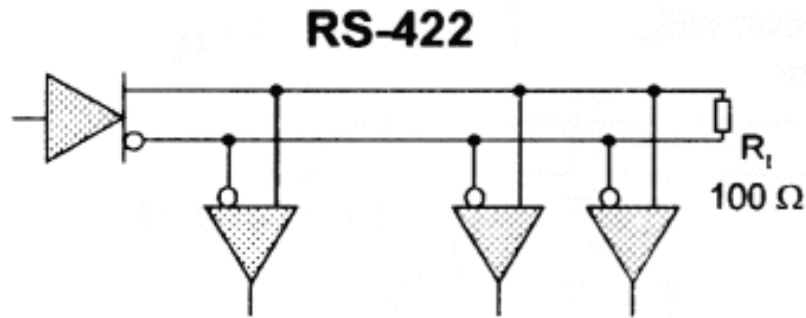
RS 422 es un estándar de la industria que especifica las características eléctricas de un circuito de interconexión diferencial (Figura 25). EIA RS422 se introdujo en 1975 para resolver los problemas de limitación de un solo terminal del estándar RS232¹¹.

⁹ Mayné Jordi, Sistemas de Comunicaciones, sf, p17

¹⁰ Data Terminal Equipment / Data Controller Equipment

¹¹ Mayné Jordi, Sistemas de Comunicaciones, sf, p18

Figura 25. Aplicación típica de RS 422



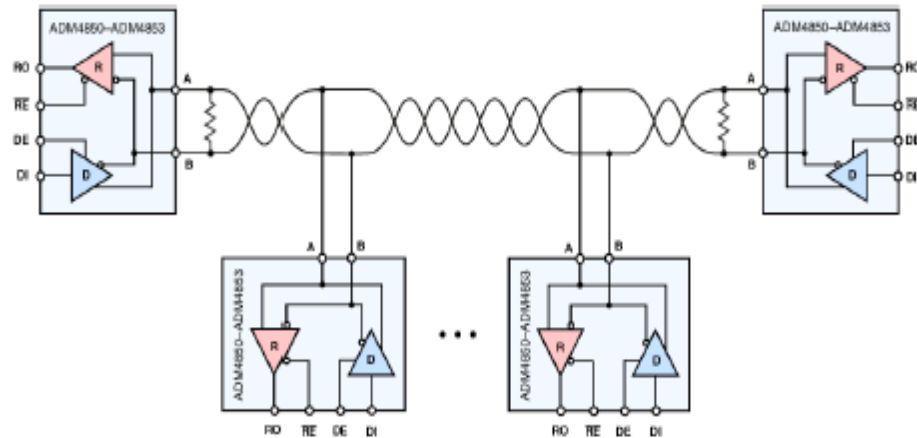
Fuente: <http://hw-server.com/rs-485-rs-422>

Las interconexiones de un solo terminal carecen la capacidad de rechazo del ruido y las velocidades de transmisión de datos están limitadas generalmente a menos de 0.5 Mbps. Una interconexión RS 422 puede vencer estas limitaciones. Un driver diferencial de RS 422 puede llegar hasta 10 unidades de carga y transmitir datos a distancias de hasta 1200m de cable, pero no a velocidades de transmisión máxima.

2.4.3. RS 485

La Electronics Industries Association (EIA), en 1983 aprobó un Nuevo estándar de trasmisión diferencial llamado RS485 (Figura 26). Es similar en muchos aspectos al popular estándar RS 422 de hecho se puede considerar como el resultado de la expansión del RS 422, para permitir drivers y receptores múltiple multiterminal, compartiendo la misma línea de datos de transmisión . El estándar RS 485, como el estándar RS 422, especifica solamente las características eléctricas del driver y del receptor para ser utilizado en la línea de transmisión, pero no especifica o no recomienda ningún protocolo.

Figura 26. Aplicación típica de RS485



Fuente: Mayné Jordi, sf.

La diferencia principal entre RS 422 y RS 485 es el número de señales usadas en el cable de transmisión. RS422 usa 4 señales y su tierra, RS485 usa solo 2 señales y su tierra. RS485 requiere de un protocolo half dúplex para operar, dado que las mismas líneas son usadas tanto para transmisión como recepción, además el RS 485 admite hasta 256 unidades de envío y recepción.

2.5. MOTOR TRIFASICO DE INDUCCION

El motor de inducción trifásico (Figura 27), también llamado motor asíncrono, es hoy día el motor eléctrico que más se utiliza en las aplicaciones industriales, sobre todo el motor con rotor de jaula de ardilla.

Figura 27. Motor trifásico de Inducción



Fuente: Rockwell Automation, 1996.

2.5.1. Principios de Funcionamiento

La sección del motor de inducción trifásico, tal como se muestra en la Figura 27, se compone de un bastidor o estator fijo, un bobinado trifásico alimentado por una red eléctrica trifásica y un rotor giratorio. No hay ninguna conexión eléctrica entre el estator y el rotor. Las corrientes del rotor se inducen desde el estator a través del entrehierro. Tanto el estator como el rotor están fabricados de una lámina de núcleo altamente magnetizable que proporciona pérdidas por corrientes de Foucault e histéresis bajas.

- Estator: El bobinado del estator está formado por tres bobinados individuales que se superponen y están decalados con un ángulo

eléctrico de 120°. Cuando se conecta a la alimentación, la corriente de entrada primero magnetiza el estator. Esta corriente de magnetización genera un campo rotativo que gira con la velocidad de sincronismo n_s .

Ecuación 1. Velocidad de Sincronismo de un motor de Inducción

$\text{Velocidad de sincronismo } n_s = 60 \frac{f}{p}$	$n_s = \text{velocidad de sincronismo/minuto}$
	$f = \text{frecuencia } s^{-1} \text{ (segundo)}$
	$p = \text{número de pares de polos}$ (número de polos/2)

Fuente: Rockwell Automation, 1996.

- Rotor: En los motores de inducción con rotor de jaula de ardilla, el rotor está formado por un bloque laminar de núcleo de rotor cilíndrico y ranurado provisto de barras de aluminio unidas por delante con anillas para formar una jaula cerrada.

2.6. VARIADOR DE FRECUENCIA

Los variadores de frecuencia (Figura 28), pueden variar la velocidad de un motor de inducción AC y producir torque constante en todo el rango de velocidad. Los variadores de frecuencia están diseñados para compensar fluctuaciones electromagnéticas en el estator mediante la reducción de voltaje cuando se varía la frecuencia. Internamente se componen por circuitos moduladores de ancho de pulso capaces de producir cualquier frecuencia a cualquier voltaje dentro de los límites físicos de los

componentes, generando señales PWM¹², las cuales al estar conectadas a un motor que es una carga inductiva suavizan los pulsos produciéndose así una señal muy parecida a una senoide (Figura 28).

Figura 28. Variadores de Frecuencia Delta VFD-M



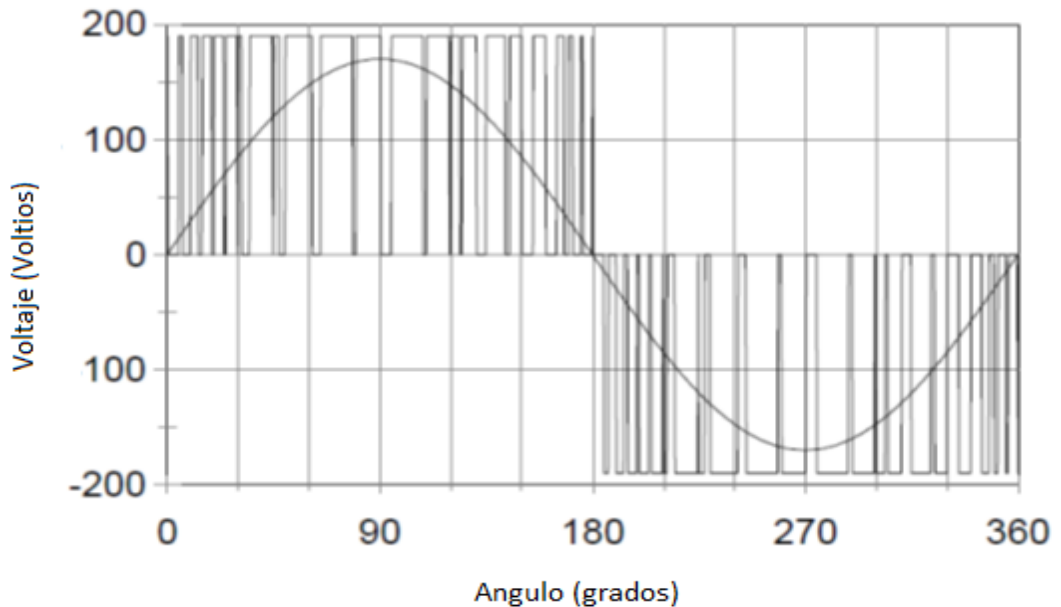
Fuente: Delta Electronics, Inc, sf.

La mayoría de los variadores de frecuencia también proporcionan una gran cantidad de características que hacen el sistema versátil y proporcionan una protección para el motor que está siendo controlado. Estos incluyen características tales como control de sobrecorrientes, disparo automático de sobrecarga ajustable, la rampa de velocidad, la configuración de rampa, rotación de control de dirección y de frenado. Algunos variadores de frecuencia tienen la capacidad de operar de una línea monofásica mientras que proporciona 3 fases de alimentación al motor. Para la selección de un VFD¹³, por lo general sólo requiere conocer la tensión de la línea, voltaje nominal entrada y potencia del motor.

¹² Siglas en inglés de modulación de ancho de pulso

¹³ Siglas en inglés de driver de frecuencia variable

Figura 29. Formas de onda PWM y sinusoidal de un variador de frecuencia



Fuente: Hackworth & Hackworth, 2004.

El control de los VFD se puede hacer mediante frecuencias preestablecidas seleccionadas mediante entradas digitales, con el panel de operador del VFD, con una entrada analógica de 0-10V, con un potenciómetro, mediante el puerto de comunicación que depende del tipo y marca del variador, además el variador de frecuencia tiene salidas que indican los diferentes fallos y/o alarmas que puede tener, siendo estas accesibles mediante el puerto de comunicación o mediante las salidas digitales del VFD.

2.7. ENCODER

Los encoder son transductores electromecánicos que convierten la rotación del eje en pulsos de salida, que se puede contar para medir las revoluciones del eje o ángulo del eje. Proporcionan información sobre la

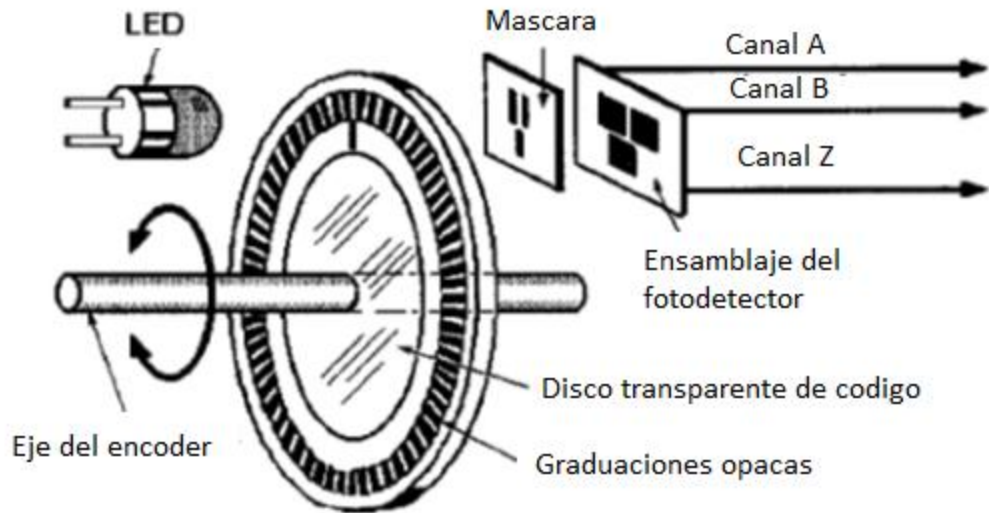
posición y velocidad del eje. Un encoder puede detectar una serie de posiciones discretas por revolución. La resolución está dada en pulsos por revolución. La velocidad de un encoder está en unidades de cuenta por segundo y la posición depende de la resolución del encoder, ya que por cada pulso avanza un ángulo específico (Sadin, 2003).

Los encoders más populares son los incrementales y absolutos; existen en el mercado encoders con contacto directo a las escobillas y encoders magnéticos, sin embargo estos son raramente utilizados, por lo que nos centraremos en los encoders incrementales y absolutos.

2.7.1. Encoder Incremental

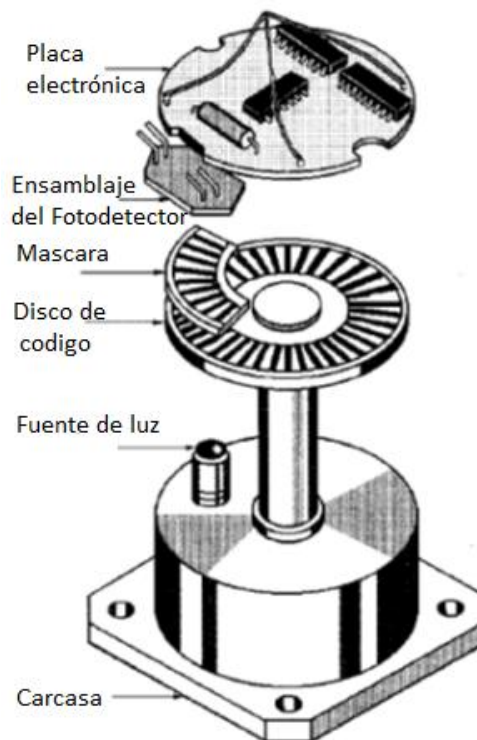
Las partes básicas de un encoder incremental óptico se muestran en la figura 30. Un disco de códigos montado en el eje del encoder rota entre una fuente de luz interna, por lo general un diodo emisor de luz por un lado, y del otro lado una máscara y el correspondiente fotodetector. El disco de códigos incremental contiene un patrón de igual espaciados segmentos opacos y transparentes, como se muestra. Las señales electrónicas que se generan por la codificación de la junta directiva se introducen en un controlador de movimiento que calcula información de posición y velocidad para fines de retroalimentación. Un despiece de un encoder incremental de grado industrial se muestra en la figura 31.

Figura 30. Elementos básicos de un encoder incremental óptico



Fuente: Sadin Paul, 2003.

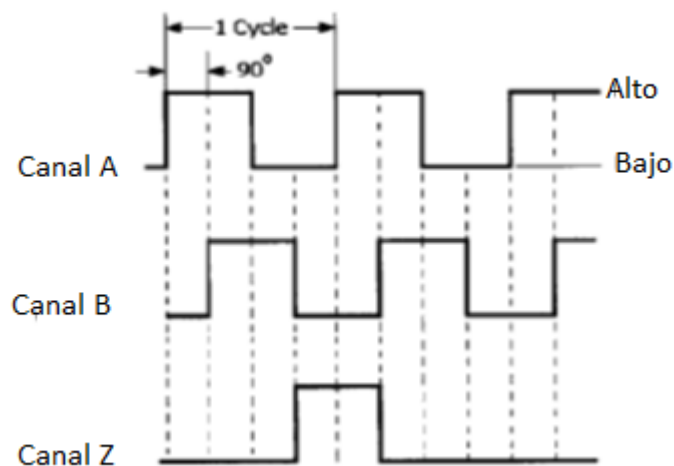
Figura 31. Despiece de un encoder incremental industrial



Fuente: Sadin Paul, 2003.

El encoder de cuadratura es el tipo de encoder incremental más común. La luz del led pasa a través del disco de código rotativo y la máscara antes de que llegue el fotodetector de montaje. Las señales de salida del fotodetector se convierten en dos canales de pulsos cuadrados (A y B) como se muestra en la figura 32. El número de pulsos cuadrados para cada canal es igual al número de segmentos de disco que dejan pasar la luz hacia los fotodetectores mientras el disco gira. Las formas de onda están desfasadas 90° entre sí. Si, por ejemplo, los impulsos en el canal A adelantan a los del canal B, el disco está girando en el sentido de las agujas del reloj, pero si el pulso del canal A está retrasado al del B, el disco está girando en sentido antihorario, mediante el número de pulsos, la frecuencia de pulsos y el desfase de las señales A y B, se puede controlar la posición, la velocidad y el sentido de giro respectivamente.

Figura 32. Pulsos en canales A, B y Z de un encoder incremental



Fuente: Sadin Paul 2003.

Muchos codificadores de cuadratura incremental también incluyen una tercera canal de salida Z para obtener una cero de referencia o señal de

referencia que se produce una vez por revolución. Este se utiliza para activar ciertos eventos con precisión dentro del sistema. La señal también se puede utilizar para alinear el eje del encoder hacia una referencia mecánica.

2.7.2. Encoder Absoluto

El encoder óptico absoluto contiene varias fuentes de luz y fotodetectores, y un disco de códigos de hasta 20 pistas de segmentación con patrones dispuestos como anillos anulares, como se muestra en la figura 33. El código del disco proporciona una salida binaria que define de manera única a cada ángulo del eje, por lo tanto proporciona una medida absoluta. Este tipo de encoder esencialmente se organiza en de la misma manera que el encoder que se muestra en la Figura 32, pero el disco de código gira entre las matrices lineales de leds y los fotodetectores dispuestos radialmente.

Figura 33. Código Binario del disco de un encoder absoluto



Fuente: Sadin Paul, 2003.

CAPITULO III

DIAGNOSTICO MAQUINA MADEJADORA IMBATEX

La empresa Imbatex, ubicada en la ciudad de Ibarra y dedicada a la fabricación de hilos sintéticos y de lana natural, para el proceso de madejado cuenta con una máquina de fabricación nacional de segunda mano, la misma que antes de la implementación del presente proyecto se encontraba desarmada, mecánicamente intacta, con rayones, su transmisión estaba sin lubricación y tenía algunas poleas dañadas, por lo cual se procedió a armar, pintar, lubricar y remplazar partes viejas o dañadas; además se tiene un motor bifásico de 220VAC sin ensamblar a la máquina.

La empresa necesita poder madejar diferentes tipos de hilo o lana, las cuales en su mayoría necesitan velocidades más bajas a la velocidad nominal que entrega el motor, para que así el hilo no se rompa al madejar y necesita tener control del peso de madeja para poder ofrecer un producto estándar.

3.1. SISTEMA MECÁNICO

El sistema mecánico de la máquina madejadora de construcción nacional de la empresa Imbatex (Figura 34), se distinguen el sistema de biombo y el sistema de vaivén.

Figura 34. Máquina madejadora de construcción nacional empresa “Imbatex”



Fuente: Autor.

3.1.1. Sistema de Biombo.

El sistema se compone de un biombo el cuál es el encargado de enrollar la madeja (Figura 35), El biombo gira propulsado por un sistema de transmisión de poleas y engranes como se puede observar en la figura 36, este sistema de transmisión está conectado a un motor bifásico de 220VAC de 0.75HP a 1700rpms. El radio de biombo es variable mediante un mecanismo corredera con prisionero (Figura 37).

Figura 35. Biombo de Maquina Madejadora Imbatex



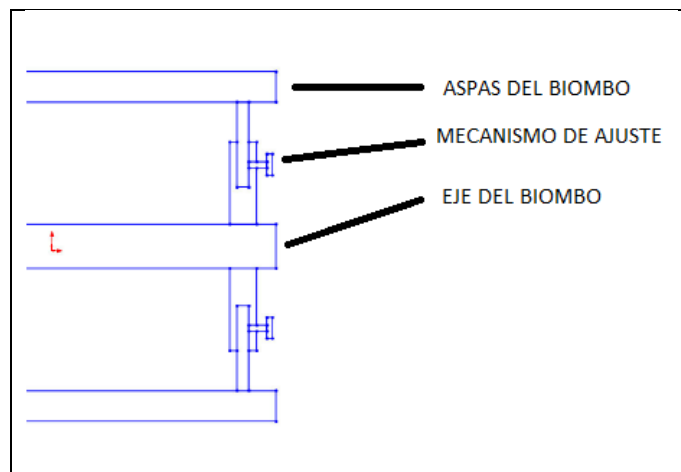
Fuente: Autor.

Figura 36. Sistema de Transmisión Madejadora



Fuente: Autor.

Figura 37. Mecanismo de ajuste de radio del biombo



Fuente: Autor.

Para sacar las madejas del biombo, se tiene en un lado del eje un rodamiento apoyado en una base tipo semiluna (Figura 38), de esta forma el biombo puede desacoplarse por un lado para sacar las madejas.

Figura 38. Rodamiento de apoyo



Fuente: Autor.

3.1.2. Sistema de Vaivén

El sistema de vaivén, se compone por una barra cuadrada hueca de hierro de 1 pulgada la cual se mueve axialmente como indica la figura 39, y esta propulsada por una derivación del mismo sistema de poleas que mueve al biombo, sobre la barra cuadrada se ubican 31 ojales por los cuales pasa el hilo el objetivo del vaivén es el de no aglomerar el enrollado en un solo punto de la madeja, para que esta salga con una holgura apropiada.

Figura 39. Movimiento axial del sistema de vaivén



Fuente: Autor.

3.1.3. Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico está constituido por un motor bifásico de 220VAC de 0.75HP, este motor tras pruebas de funcionamiento en la máquina, tiene potencia suficiente para mover el biombo y el sistema de vaivén mediante la transmisión de poleas y engranes, la protección del motor es un braker de ducha no adecuado para cargas inductivas.

3.1.4. Proceso

El proceso de madejado con la máquina de construcción nacional de la empresa textil “Imbatex”, inicia ingresando la lana a madejar en las filetas, posteriormente se amarra el extremo de la lana a una aspa del biombo, el cual al girar enrolla la lana y forma las madejas, después de haber completado el proceso, se amarra los extremos de la madeja y se pone cruceros para sacarlos de la maquina hacia la venta o a la tintura.

Después de realizar algunas tareas como pintura de la estructura, cambiar bandas de poleas, lubricar, ensamblar partes mecánicas y conectar el motor, dichas tareas permitieron comenzar el proceso de automatización, la

máquina entró en operación sin tener ningún tipo de automatización electrónica, con el fin de obtener datos de eficiencia y precisión para luego compararlos con los datos arrojados con el sistema automatizado.

3.1.5. Eficiencia de la máquina

La eficiencia de la maquina se midió en función del número de rupturas de hilo durante el proceso de madejado, con los diferentes hilos manejados por la empresa. En las tablas 3, 4,5 y 6 se detalla los resultados para cada tipo de hilo madejado, para 10 operaciones con 30 madejas en cada operación.

Tabla 3. Ruptura de Hilo en Lana 1.5

LANA 1.5		
Muestra	Madejas por proceso	Rupturas
1	30	5
2	30	4
3	30	5
4	30	3
5	30	6
6	30	5
7	30	5
8	30	3
9	30	6
10	30	4
TOTAL	300	46
PROMEDIO DE RUPTURAS POR OPERACION (30 MADEJAS)	4,6 (15,33%)	

Fuente: Autor.

Tabla 4. Ruptura de Hilo Lana 1.8

LANA 1.8		
Muestra	Madejas por proceso	Rupturas
1	30	4
2	30	3
3	30	2
4	30	4
5	30	3
6	30	4
7	30	3
8	30	2
9	30	2
10	30	4
TOTAL	300	29
PROMEDIO DE RUPTURAS POR OPERACION (30 MADEJAS)	2,9 (9,66%)	

Fuente: Autor.

Tabla 5. Ruptura de Hilo Alpaca 1.45

ALPACA 1.45		
Muestra	Madejas por proceso	Rupturas
1	30	5
2	30	4
3	30	6
4	30	6
5	30	5
6	30	5
7	30	6
8	30	4
9	30	4
10	30	5
TOTAL	300	50
PROMEDIO DE RUPTURAS POR OPERACIÓN (30MADEJAS)	5 (16,66%)	

Fuente: Autor.

Para los hilos: lana Moliné 0.6, Lana Buche 1.1, Acrílico Moliné 2.5, Acrílico Bucle 2,8; es imposible madejar en la máquina debido a la rapidez del biombo el cual rompe frecuentemente el hilo, así de la tabla 3,4 y 5 se ha promediado las rupturas por operación es de 4,17 (Tabla 6), esto quiere decir que la máquina sufre 4 paros aproximados por operación, dato que sirve como referencia para una comparación con la máquina ya automatizada.

Tabla 6. Promedio de Ruptura

Tipo de Hilo/Lana	Núm. Rupturas
Lana 1,5	4,6
Lana 1,8	2,9
Alpaca 1,45	5
PROMEDIO	4,17 (13,9%)

Fuente: Autor.

3.1.6. Precisión

La precisión se midió en función del peso de la madeja final, en relación con el estándar de la empresa, en la tabla 7,8 y 9 se detalla el resultado para cada tipo de hilo madejado, recalcando que el peso se lo obtenía empíricamente por observación del volumen de la madeja, y con el operario de mayor experiencia.

Tabla 7. Error de peso en Lana 1.5

LANA 1.5			
Muestra	Peso Deseado gr.	Peso Real gr	Error %
1	500	600	20%
2	500	560	12%
3	500	680	36%
4	500	570	14%
5	500	540	8%
6	500	540	8%
7	500	580	16%
8	500	580	16%
9	500	570	14%
10	500	610	22%
PORCENTAJE DE ERROR	16,6%		

Fuente: Autor.

Tabla 8. Error de Peso en lana 1.8

LANA 1.8			
Muestra	Peso Deseado gr.	Peso Real gr	Error %
1	500	600	20%
2	500	610	22%
3	500	600	20%
4	500	590	18%
5	500	570	14%
6	500	570	14%
7	500	590	18%
8	500	580	16%
9	500	580	16%
10	500	600	20%
PORCENTAJE DE ERROR	17,8%		

Fuente: Autor.

Tabla 9. Error de Peso Alpaca 1.45

ALPACA 1.45			
Muestra	Peso Deseado gr.	Peso Real gr	Error %
1	500	580	16%
2	500	600	20%
3	500	590	18%
4	500	610	22%
5	500	590	18%
6	500	590	18%
7	500	560	12%
8	500	580	16%
9	500	620	24%
10	500	580	16%
PORCENTAJE DE ERROR	18,0%		

Fuente: Autor.

Realizando un promedio de la tablas 7,8 y 9 del error porcentual para cada lana, obtenemos un error de 17,47% (Tabla 10) global de la maquina con respecto al peso, este nos sirve para analizar comparativamente el error de peso con la máquina ya automatizada.

Tabla 10. Error Porcentual Promedio de peso

Tipo de Hilo/Lana	Error %
Lana 1,5	16,60%
Lana 1,8	17,80%
Alpaca 1,45	18,00%
PROMEDIO	17,47%

Fuente: Autor.

3.2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Los requerimientos de la empresa son:

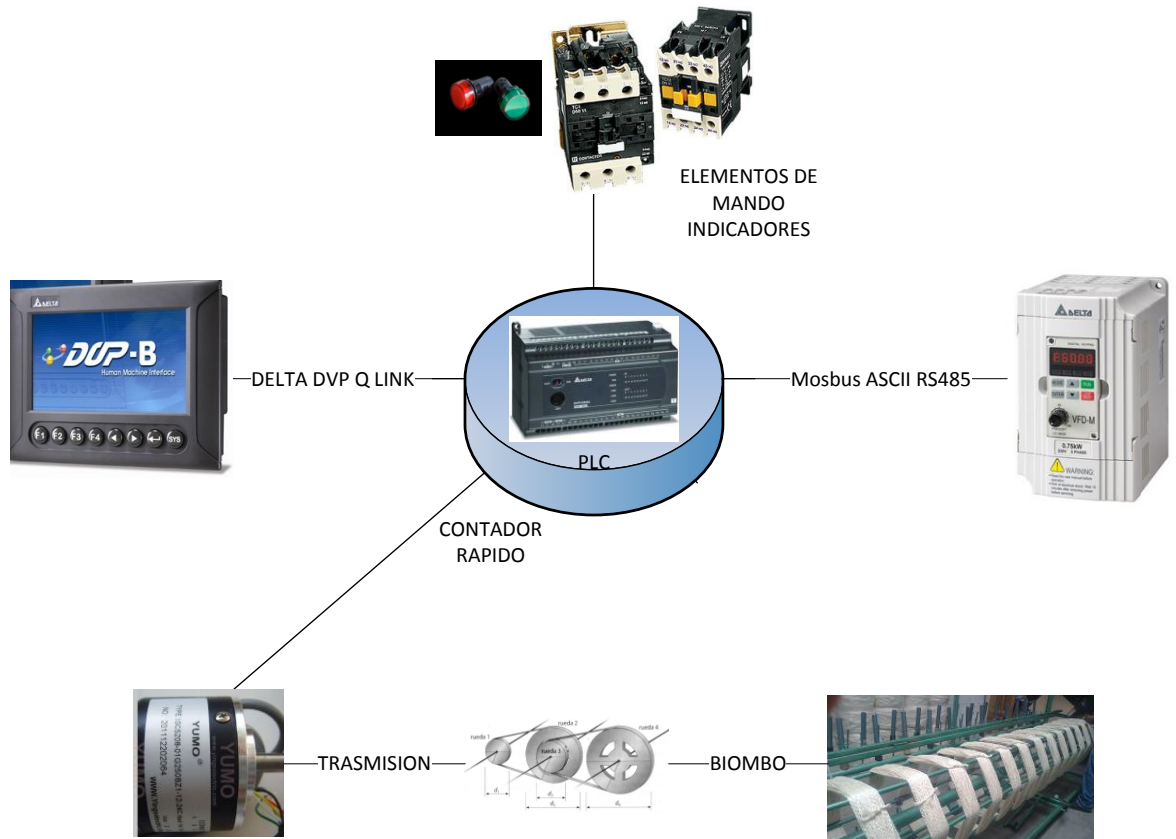
- Eficiencia: que el madejado se haga con un índice mínimo de ruptura aceptado de 1 ruptura por operación de 30 madejas.
- Flexibilidad: que el sistema incluya todas las lanas o hilos predeterminados por la empresa que son: Lana 1.5, lana 1.8, alpaca 1,45, Lana Moliné 0.6, Lana Buclé 1.1, Acrílico Moliné 2.5, Acrílico Buclé 3.8, además pueda incluir tipos de lanas transitorias o nuevas.
- Precisión: que el hilo o lana tenga un peso estándar establecido por la empresa, y que tenga un error máximo de peso de $\pm 5\%$.

Para satisfacer estas necesidades se debe disponer de:

- Encoder, el cual será conectado al eje del biombo y nos brindará una medición del número de vueltas que da el biombo, proporcional al peso.
- Variador de frecuencia, el cual nos permite tener diferentes velocidades específicas para cada tipo de lana, tal que el biombo al enrollar no rompa la lana
- Interfaz Hombre máquina (HMI), para tener flexibilidad y que el operario ingrese parámetros de madejado y seleccione el tipo de hilo o lana.
- PLC, el cual será el controlador de las operaciones y secuencias del proceso.
- Elementos de mando y maniobra, que son dispositivos auxiliares como contactores, luces piloto, pulsadores, etc., que permiten tener accionamientos seguros y visualización del estado de la máquina.

La arquitectura del sistema se muestra en el diagrama 2, así podemos tabular las necesidades del controlador del sistema en función de los componentes del sistema (Tabla 11).

Diagrama 2. Diseño del Sistema de Automatización



Fuente: Autor

Tabla 11. Necesidades del Controlador del Sistema

COMPONENTE	ENTRADAS DIGITALES		SALIDAS DIGITALES	PUERTOS COM
	CONTEO RAPIDO	NORMALES		
ENCODER	2			
LUZ PILOTO ROJA			1	
LUZ PILOTO VERDE			1	
ACTIVACION DE VARIADOR			1	
HMI				1
VARIADOR				1
TOTAL	2	0	3	2

Fuente: Autor

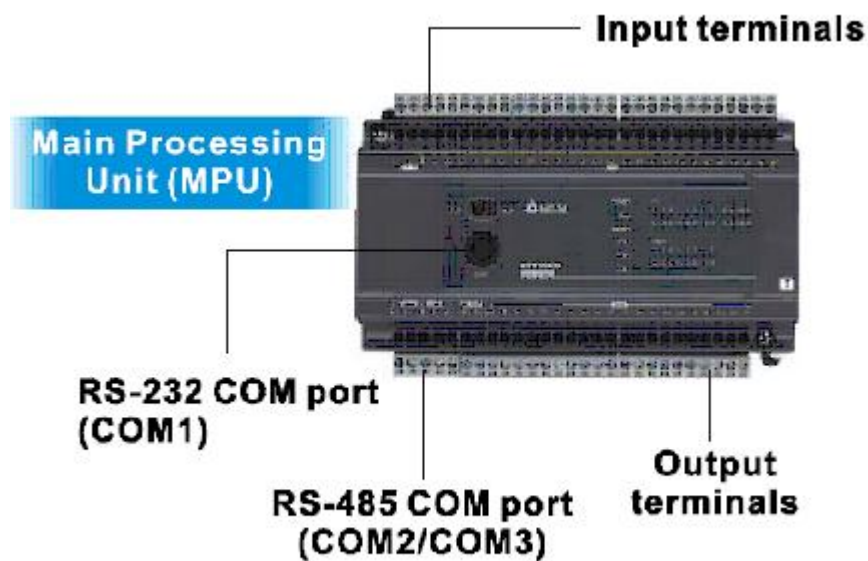
3.3. SELECCIÓN DE COMPONENTES

3.3.1. PLC

Para el control del sistema se selecciona un PLC Delta Modular de gama media, el DVP-32ES2 (figura 40), entre las características más destacadas de este PLC tenemos las siguientes:

- 16 entradas digitales.
- 16 salidas digitales (2 transistor, 14 relé).
- 2 entradas de contadores rápidos máximo 100 Khz.
- 1 puerto RS232 y 2 puertos RS485.
- Velocidad de programa: 0.35-1us
- Voltaje de alimentación 90-250VAC
- Voltaje de salida para alimentar sensores: 24VDC

Figura 40. PLC Delta DVP-32ES2



Fuente: Delta Electronics, Inc, sf.

El PLC en mención ofrece características de gama alta a un costo relativamente bajo, en comparación a los PLC de alta gama de otras marcas, además de tener varios puertos de comunicación, software gratuito y fuente 24VDC incorporada, con referencia a la tabla 11, podemos ver que el PLC, excede a los requerimientos del sistema esto es para tener recursos para una futura expansión del sistema.

3.3.2. Variador

Para el control de la velocidad del motor se escogió un variador de frecuencia Delta DVP-M de 1HP (figura 41), con un motor trifásico de 1HP, con 0,25HP más que el motor original de la máquina, suficiente para mover el mecanismo.

Al tener el variador de la misma marca del PLC podemos acceder a ejemplos y foros del fabricante.

Figura 41. Variador Delta DVP-M



Fuente: Delta Electronics, Inc, sf.

Las características del variador se puede observar en el anexo 5.

3.3.3. Encoder

Para la lectura de las vueltas utilizaremos un encoder incremental de un canal de 10ppr marca YUMO (figura 42), por lo cual nuestra resolución será 36 grados.

Figura 42. Encoder Incremental YUMO



Fuente:

http://yings.en.alibaba.com/product/543196003202327246/Rotary_encoder_ISC3806_003G_50BZ3_12_24F.html

Para controlar el variador de frecuencia desde el PLC se utiliza un puerto RS485 del PLC bajo Modbus ASCII, con el fin de ahorrarnos el módulo de expansión analógico, el cual significa un gasto sustancial.

CAPITULO IV

DISEÑO

Tomando en consideración la descripción de la máquina madejadora de construcción nacional de la empresa “Imbatex”, se realiza el diseño para poder automatizarla según el diagrama 2.

4.1. SISTEMA MECÁNICO

La máquina madejadora de la empresa textil “Imbatex”, se la adquirió usada y sin condiciones de operación, para que la máquina pueda entrar en operación se realizó tareas de ensamblaje con poleas nuevas, se lubrico los engranajes, finalmente se pintó la máquina para mejor presentación (Figura 43), luego de esto la máquina pudo ser operable.

Figura 43. Pintura de la estructura de la máquina madejadora



Fuente: Autor.

Para medir las revoluciones del biombo, se instaló un encoder incremental, el cual se lo adaptó soldando a la estructura de la máquina una platina de hierro la cual sujeta al encoder. Se unió el eje del encoder con el eje de la máquina mediante coupling (Figura 44), el cual es tiene como características:

- Buena rigidez anti-torsión.
- Eliminación el error de balance entre los dos ejes.
- Absorción de vibraciones.
- Buen balance de rotación.
- Perfecta transmisión de rotación.
- No requiere mantenimiento.

Figura 44. Coupling



Fuente: Autor.

La relación entre el movimiento del biombo y el encoder se aplica analizando el sistema de transmisión de la figura 46, y aplicando la ecuación 2, que describe la relación entre velocidad angular, número de dientes y diámetro entre dos engranes A y B, también se aplica la relación de diámetros para poleas (Figura 45).

Ecuación 2. Relación de Transmisión

$$\frac{w_A}{w_B} = \frac{\text{numero de dientes de B}}{\text{numero de dientes de A}} = \frac{d_A}{d_B}$$

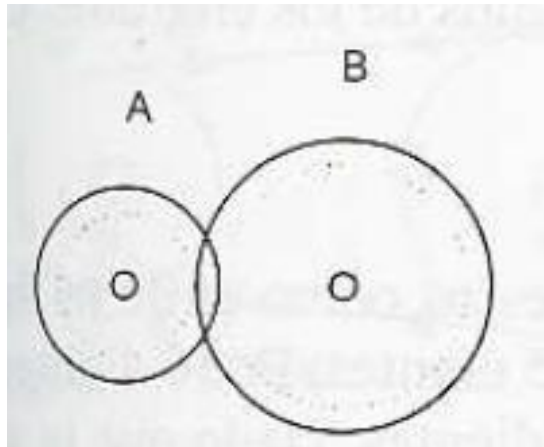
Donde:

w: Velocidad Angular

d= diámetro

Fuente: Mecatrónica, 2001.

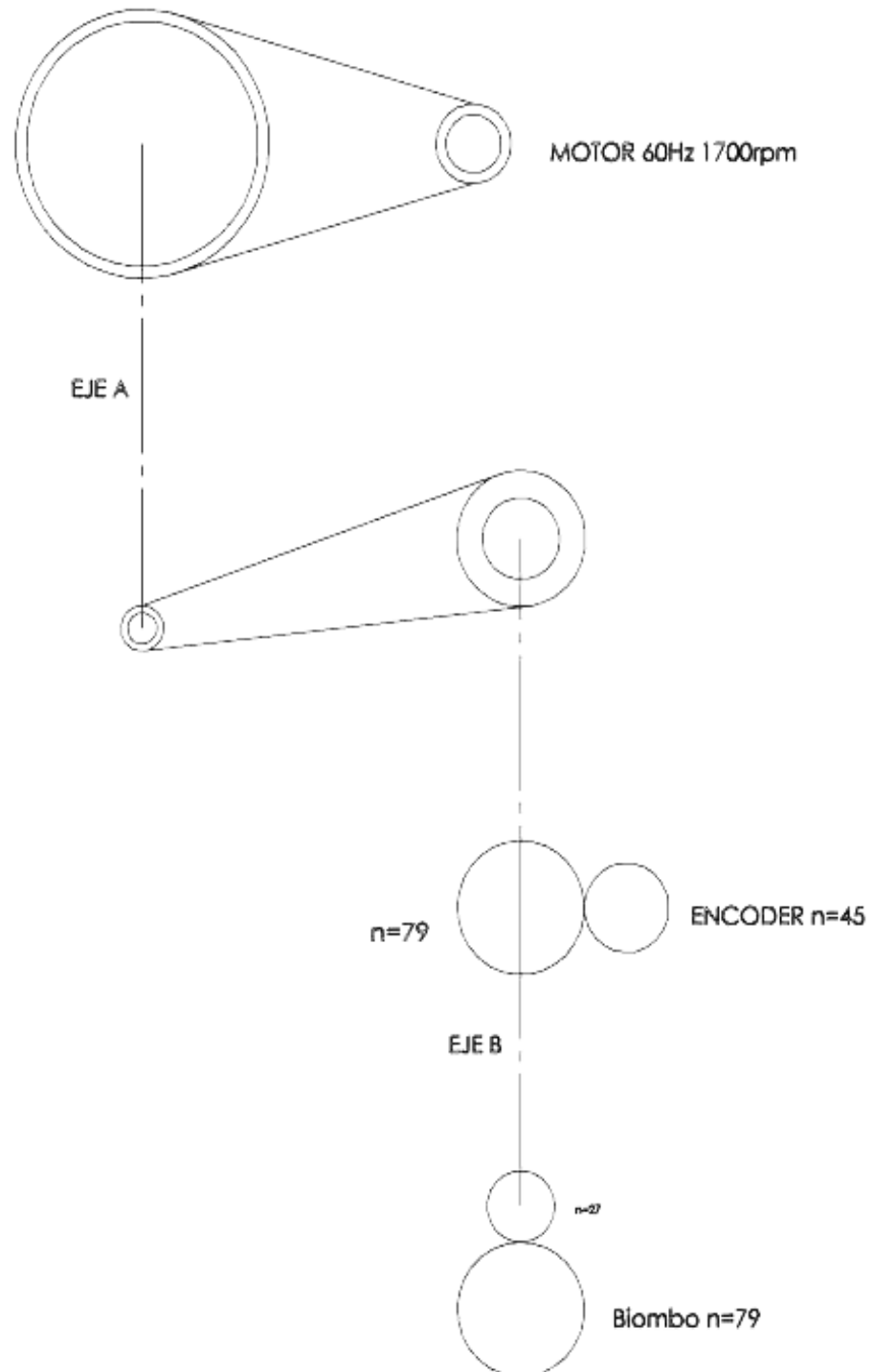
Figura 45. Relación entre Engranés A y B



Fuente: Mecatrónica, 2001.

Para poder controlar la velocidad del motor mediante un variador de frecuencia, se cambió el motor bifásico de 0,75 HP por un motor trifásico de 1HP a 1700 rpm, a 220VAC.

Figura 46. Relación de Transmisión de la máquina Madejadora



Fuente: Autor.

4.2. SISTEMA DE CONTROL DE PESOS

Para poder controlar el peso, partimos de la proporcionalidad entre la longitud de un hilo con el número de vueltas en el bobinado, a la vez la longitud tiene una relación proporcional con el peso para cada tipo de hilo, con este argumento se calcula el peso de las madejas mediante la ecuación 3.

Ecuación 3. Peso en madejado

$$\text{Peso}(\text{gr}) = \frac{\text{Perimetro m}}{\text{Título}(\text{m/gr})}$$

Fuente: Hilatura Llanera, 2010.

El número métrico es una constante de relación entre peso y longitud de cada tipo de hilo. En nuestro sistema el radio del biombo es una constante por lo que deberá ser ajustado en cada procedimiento con el mismo radio.

En el PLC se utiliza un contador de alta velocidad especial en el cual se conecta el encoder incremental, este cuenta los pulsos proporcionados por el encoder de 10 pulsos por revolución, así aplicando la ecuación 2 y con referencia en la figura 46, entre el biombo y el encoder se tiene una relación de transmisión de 19.506, esto quiere decir que el encoder dará 19.506 vueltas por cada vuelta del biombo, para ampliar este análisis revisar el Anexo 1.

Utilizando la misma ecuación se obtuvo la frecuencia máxima del encoder de 48,8 Hz, a una frecuencia máxima de trabajo del variador de 60Hz y con el motor que a esa frecuencia entrega una velocidad de 1700 rpm, entonces en la hoja de datos del PLC tenemos una velocidad máxima en los contadores de alta velocidad de 100KHz, más que suficiente para leer nuestro encoder a nuestra máxima velocidad, los cálculos realizados se encuentran en el Anexo 2.

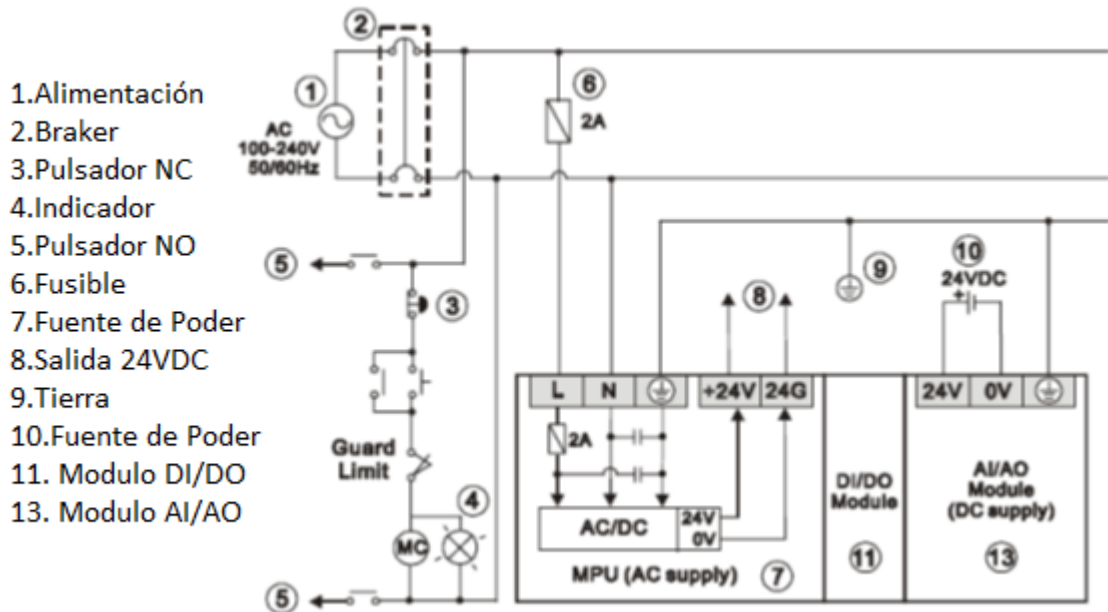
4.3. TABLERO DE CONTROL

Previo a la construcción del tablero de control, se diseñó el plano de ubicación de los elementos para el tablero de control. Las especificaciones del gabinete se pueden revisar en el anexo 3.

El circuito de alimentación y de fuerza del tablero de control (Anexo 9), consta de:

- Braker Bifásico Principal: este elemento se desconecta automáticamente cuando la intensidad de corriente es mayor que 20 A., este abre sus contactos automáticamente, su función es alimentar a todo el tablero y elementos.
- Braker Monofásico para Control: este braker alimenta a los dispositivos de control, como el PLC, encoder y HMI.
- Contactor de alimentación de variador: este contactor de 3HP, activa o desactiva la alimentación al variador de frecuencia y al motor, por mando del PLC, además si ocurre un problema con el PLC, este se desconectara evitando que se accione el motor.
- Contactor Principal: este Contactor activa a todo el sistema luego del braker principal, este se manda bajo un sistema de enclavamiento con los pulsadores de Marcha, Paro y emergencia.
- Fusibles de Protección: se cuenta con fusibles de protección para la alimentación del PLC (Diagrama 3), así como para la salida de 24VDC que tiene el PLC incorporada.

Diagrama 3. Protección del PLC estándar



Fuente: Delta Electronics, Inc., sf.

El circuito de control consta de las conexiones del PLC, para poder accionar el Contactor del variador, como se conecta el PLC al variador y a la HMI, así como la conexión del encoder y luces piloto (Anexo 9).

4.4. COMUNICACIONES

Para establecer la comunicación se debe configurar al variador con los siguientes parámetros:

- El parámetro 0 nos permite seleccionar la fuente de la señal de frecuencia para nuestro caso se programa en 3, para que la señal de frecuencia sea dada por el puerto de comunicación RS485.
- El parámetro 1 programado en 4 nos permite realizar el paro del variador mediante RS485 y dejar sin efecto el botón de stop del teclado integrado del variador.

- Existen otros parámetros importantes los cuales no cambiaremos, el parámetro 2 en 0 para utilizar rampas de aceleración y desaceleración, el parámetro 3 de máxima frecuencia de salida en 60 para 60Hz, el parámetro 10 y 11 de tiempo de aceleración y desaceleración respectivamente en 10 segundos, lo cual nos permitirá tener movimientos y consumos de corriente suaves para el mejor funcionamiento de la máquina y alargar su vida útil, el parámetro 92 en 0 para obtener un protocolo de comunicación modbus ASCII <7,N,2> a 7 bits sin paridad y con 2 bits de stop, todos estos parámetros se los dejamos en su valor default.

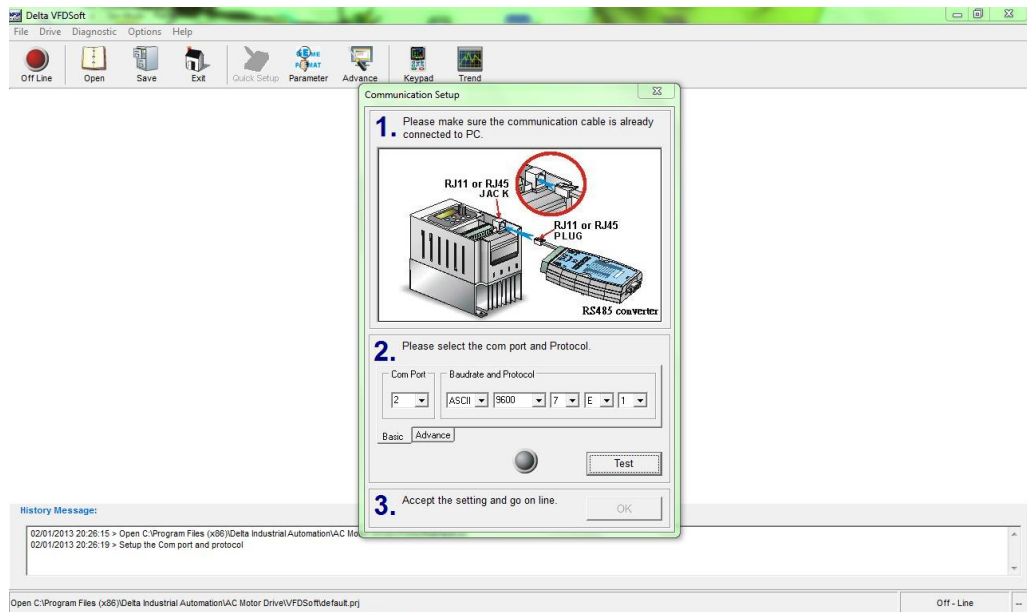
Tabla 12. Parámetros programados en el variador

Parameter	Explanation	Settings	Factory Setting	Customer
✓ Pr.00	Source of Frequency Command	00: Master frequency determined by digital keypad (LC-M02E) 01: Master frequency determined by 0 to +10 V input on AVI terminal with jumpers 02: Master frequency determined by 4 to 20mA input on ACI terminal with jumpers 03: Master frequency determined by RS-485 Communication port 04: Master frequency determined by potentiometer on digital keypad	00	
✓ Pr.01	Source of Operation command	00: Operation determined by digital keypad 01: Operation determined by external control terminals, keypad STOP is effective 02: Operation determined by external control terminals, keypad STOP is ineffective 03: Operation determined by RS-485 communication port, keypad STOP is effective 04: Operation determined by RS-485 communication port, keypad STOP is ineffective	00	

Fuente: Delta Electronics, Inc., sf.

Para poder probar nuestra programación del variador se utiliza el software Delta VDF Soft 1.46 (figura 47), el cual es un hyperterminal modbus propio del variador para poder enviar los comandos desde el computador hacia el variador, este funciona bajo RS485.

Figura 47. Software VDF Soft 1.46

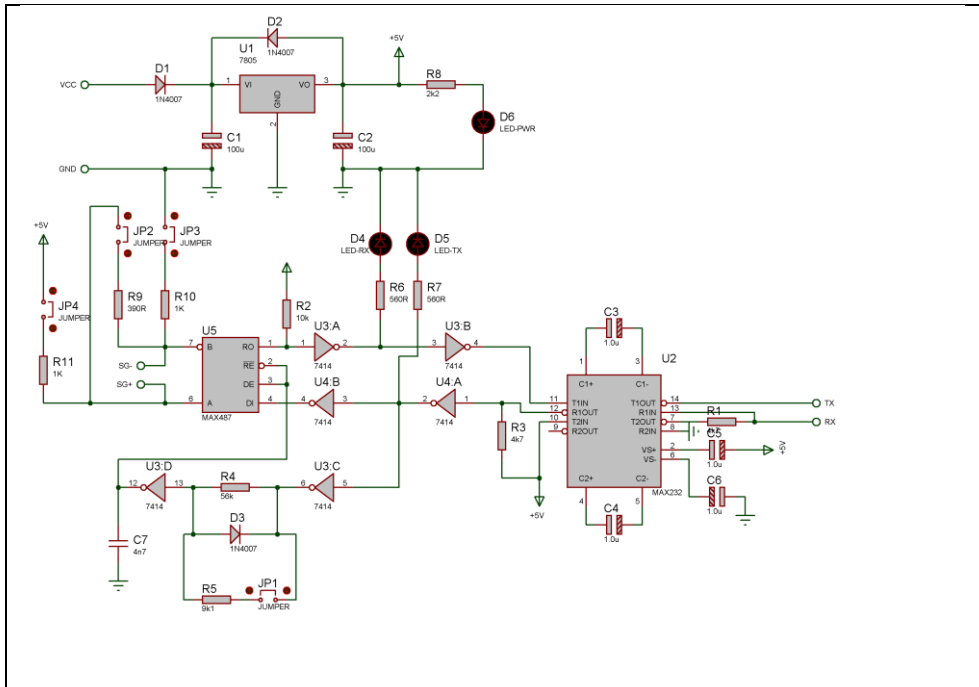


Fuente: Autor.

Para la conexión con la PC, se necesitó realizar una tarjeta de adaptación de RS232 a RS485, el circuito de esta tarjeta permite mediante un juego de compuertas lógicas tener una comunicación half dúplex ya que siempre está en lectura de datos a excepción de cuando se envía datos, lo que la hace ideal para nuestro sistema.

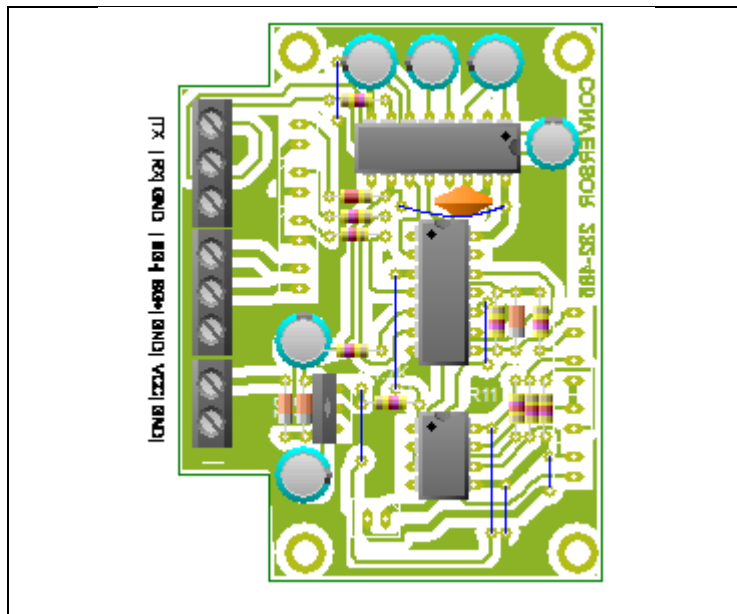
El circuito impreso se diseñó en PCB Wizard (Figura 49), la manufactura de tarjeta se la hizo artesanalmente con el método de oxidación química.

Figura 48. Diagrama electrónico del adaptador RS232 a RS485



Fuente: Ing. Jorge Terán, Redes Industriales, notas de clase.

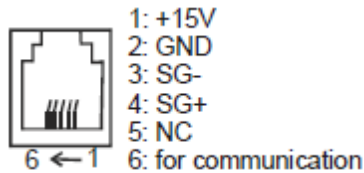
Figura 49. Diseño PCB del Adaptador de RS232 a Rs485



Fuente: Autor.

El puerto Rs485 del variador tiene un conector RJ11 para el cual se ponchó un cable con el diagrama del fabricante (figura 50).

Figura 50. Conector RJ11 del variador Delta



Fuente: Delta Electronics Inc., sf.

En la dirección 2000H, podemos escribir el dato 1 para Detener el variador y el dato 2 para dar marcha al variador (Tabla 13), en la dirección 2001H escribimos el datos de frecuencia sin tomar en cuenta el punto decimal es decir para 60.00Hz escribiremos como dato 6000 a la dirección 2001H.

Tabla 13. Funciones en Modbus ASCII del variador Delta VFD-M

Content	Address	Functions		
Command Read/Write	2000H	Bit 0-1	00: No function 01: Stop 10: Run 11: Jog + Run	
		Bit 2-3	Reserved	
		Bit 4-5	00: No function 01: FWD 10: REV 11: Change direction	
		Bit 6-15	Reserved	
	2001H	Freq. command		
	2002H	Bit 0	1: EF (external fault) on	
		Bit 1	1: Reset	
Bit 2-15		Reserved		

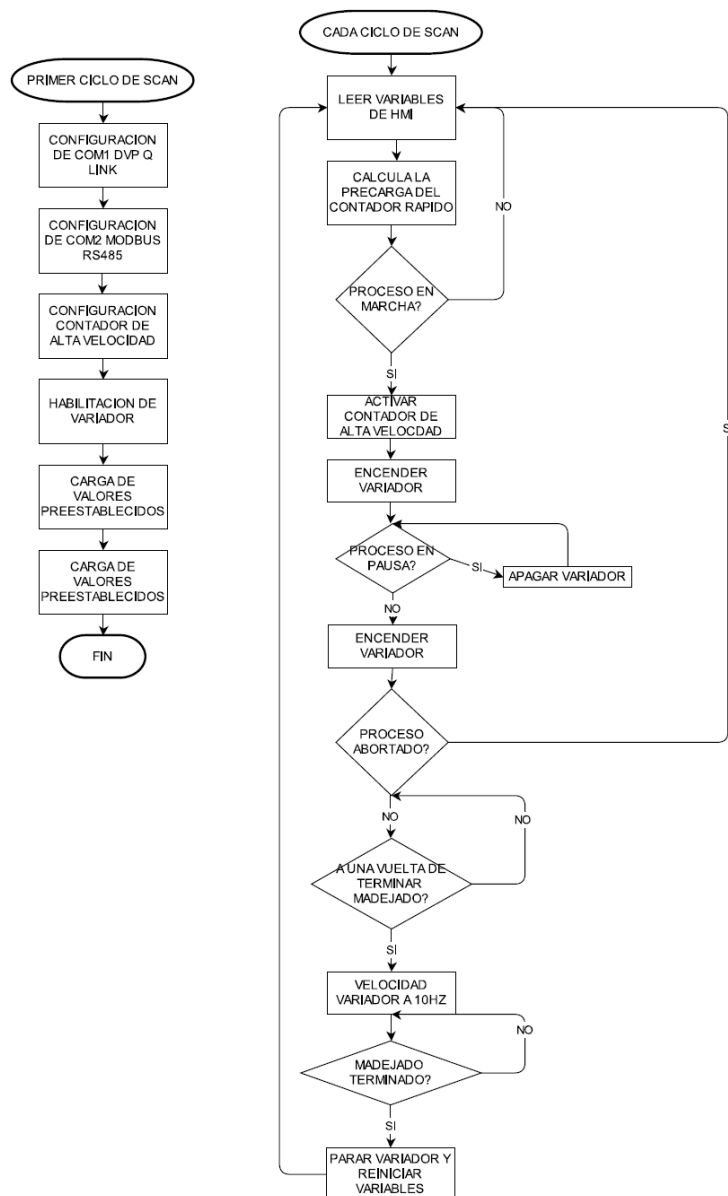
Fuente: Delta Electronics Inc., sf.

4.5. PROGRAMACIÓN

4.5.1. PLC

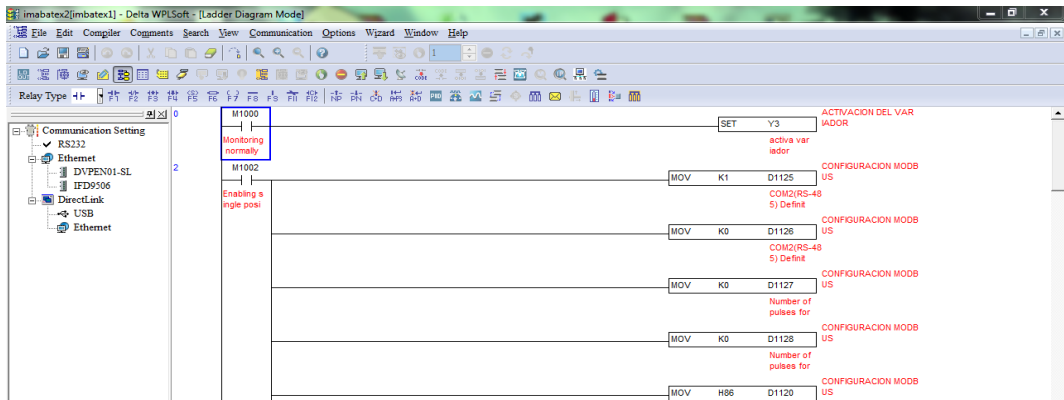
La programación del PLC, se la hace en el software libre Delta WPLSoft 2.0 para programación en Ladder (Figura 52), el diagrama de flujo del programa se lo puede observar en la figura 51.

Figura 51. Flujo del programa del PLC



Fuente: Autor.

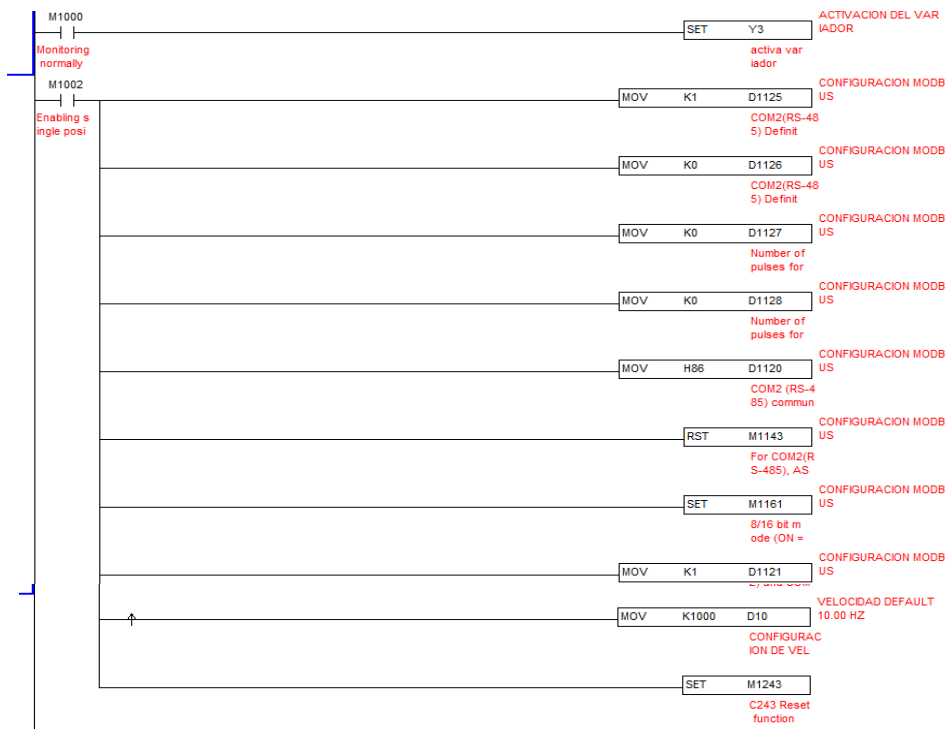
Figura 52. Entorno del programa WPLSoft 2.0



Fuente: Autor.

Un factor crítico son las comunicaciones, después de haber hecho las pruebas de comunicación y determinar los comandos a utilizar, se configuró el PLC para que realice la comunicación Modbus ASCII, de este modo analizaremos el programa sección a sección.

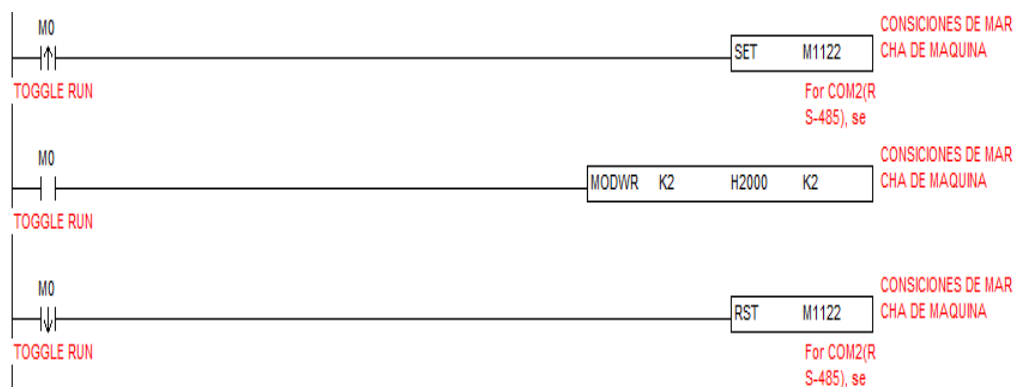
Figura 53. Primera Sección del Programa del PLC



Fuente: Autor.

En la primera sección del programa se activa la alimentación del variador, esto se hace con el fin de que el variador solo corra cuando el PLC está en modo RUN, si el PLC entra en estado error, el motor no funcionará. Se configura la comunicación Modbus ASCII para el COM2 del PLC, que es el que se conecta al variador, este puerto se configura a 7 bits sin paridad y con 2 bits de stop, se configura una velocidad default la cual se muestra en la HMI a 10Hz en el registro D10 y se resetea el contador rápido del encoder, esto solo una vez durante el primer ciclo de scan al iniciar a correr el programa.

Figura 54. Segunda Sección del Programa del PLC

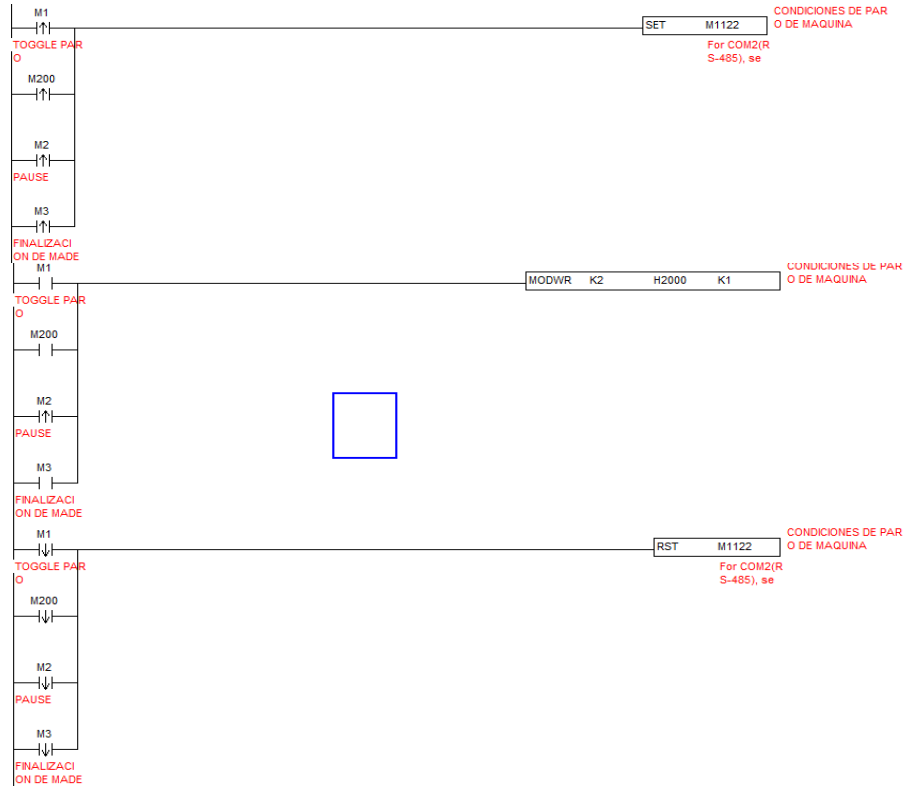


Fuente: Autor.

En la segunda sección se tiene la condición de marcha del variador, M0 está vinculado al botón de RUN en el HMI.

En la tercera sección se tiene la condición de paro del variador, la cual se hará con el botón paro, con el botón pause y cuando el proceso de madejado haya finalizado

Figura 55. Tercera Sección del Programa del PLC



Fuente: Autor.

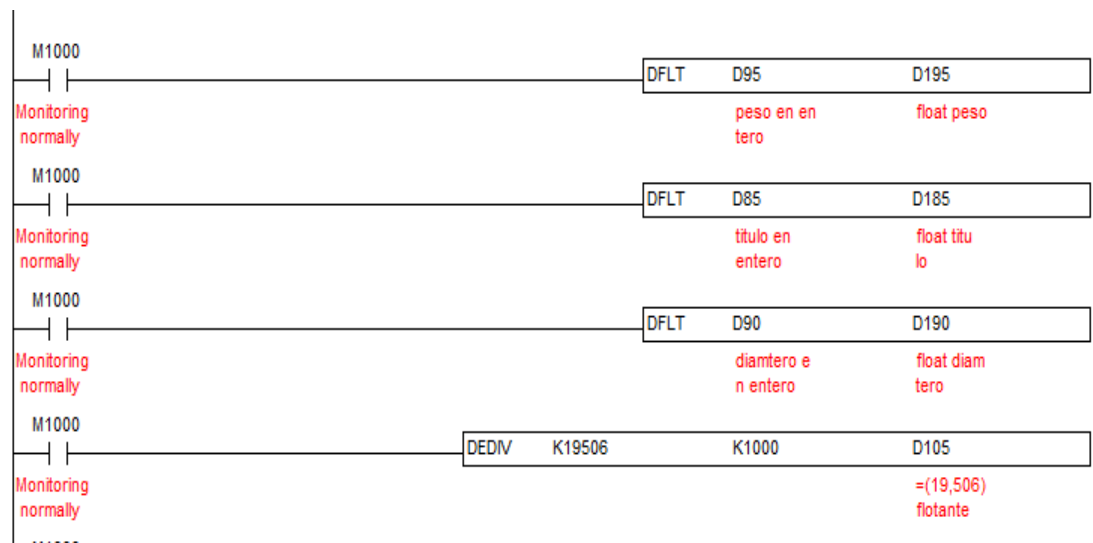
Figura 56. Cuarta Sección del Programa del PLC



Fuente: Autor.

En la cuarta sección se habilita la escritura modbus, se envía el comando modbus para cambio de frecuencia, la cual se almacena en el registro D10 y se deshabilita la escritura modbus.

Figura 57. Quinta Sección del Programa del PLC



Fuente: Autor.

En la sección 5 del programa, se transforma los parámetros ingresados desde el HMI a números flotantes en el formato IEEE, el cual es un formato de 32 bits binario con el que se representa flotantes, este formato se detalla la tabla y el número flotante se obtiene según la ecuación 4.

Tabla 14. Representación formato float IEEE

Bit de signo	Exponente	Fracción de la mantisa
1 bit	8 bits	23 bits
S	e	f

Fuente: <http://www.math.byu.edu/~schow/work/IEEEFloatingPoint.htm>.

Ecuación 4. Conversión del formato float IEEE

$$\text{Número float} = -1^s * 2^{e-127} * 1.f$$

Donde:

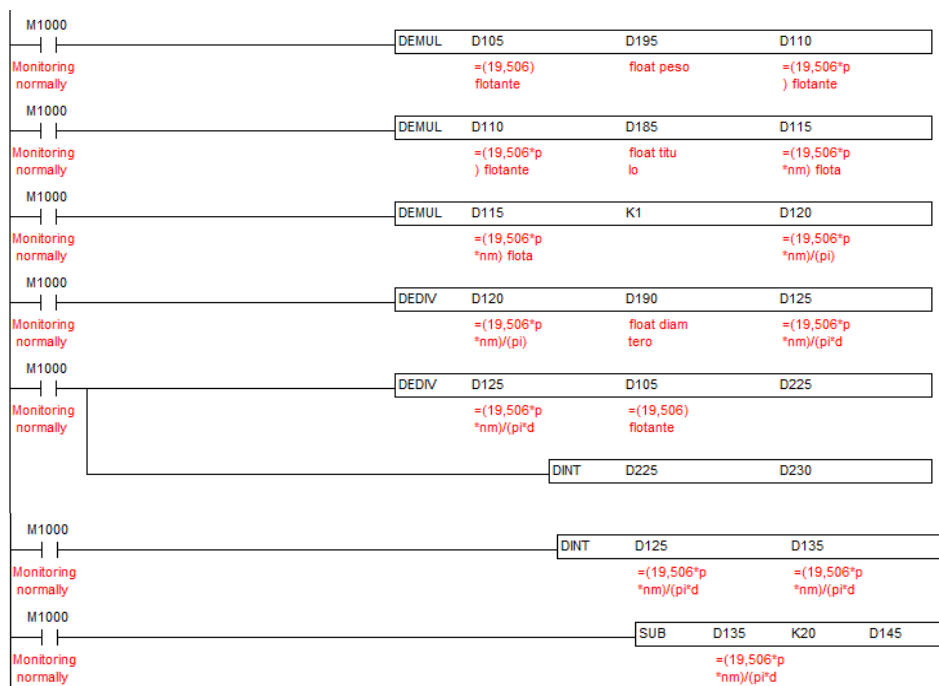
s: bit de signo

f: fracción de la mantisa

Fuente: <http://www.math.byu.edu/~schow/work/IEEEFloatingPoint.htm>.

Para tener mayor precisión en los cálculos, transformamos a float el valor de la relación de pulsos por revolución del biombo que se obtuvo en la ecuación del Anexo 1.

Figura 58. Sexta Sección del Programa del PLC



Fuente: Autor.

En la sección sexta del programa, realizamos la operación de la ecuación 5.

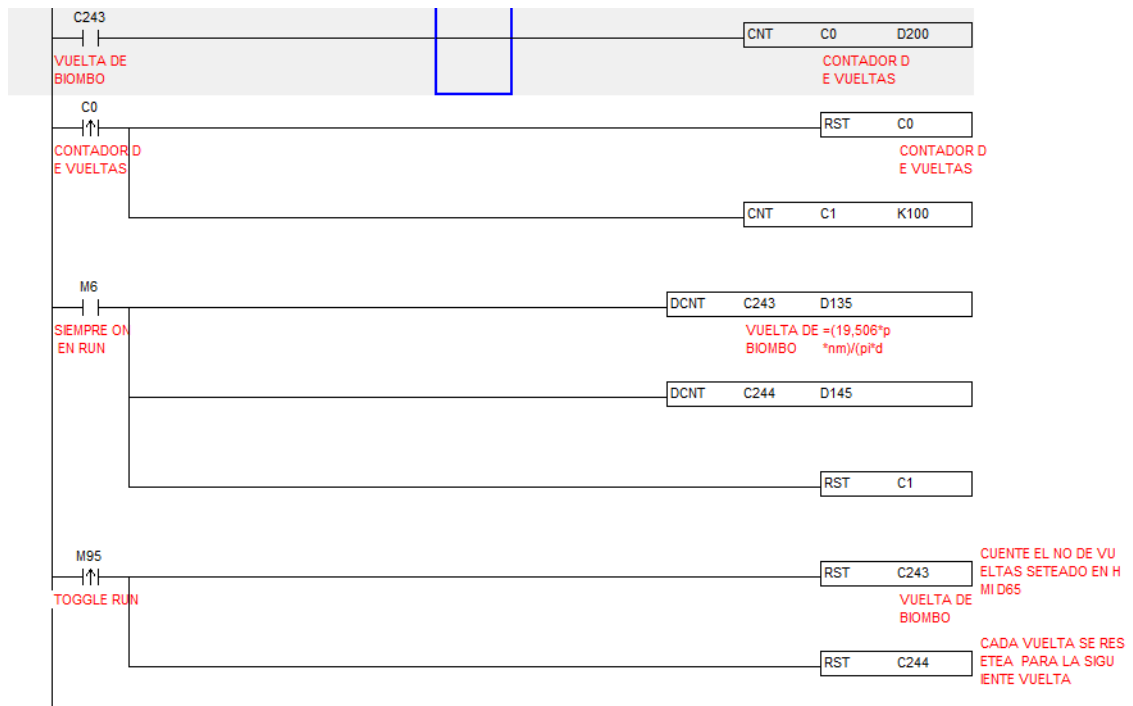
Ecuación 5. Número de Pulsos del Encoder

$$NP = \frac{19,506 * \text{Peso} * \text{Título ó Número Metrico}}{\text{Perimetro Biombo}}$$

Fuente: Autor.

Basados en la ecuación 5, se obtiene el número de pulsos que el encoder debe dar para obtener un peso en gramos, con parámetros como el número métrico o título que es la relación entre la longitud y el peso, es una constante para cada tipo de hilo, así mismo el perímetro en centímetros del biombo, todos estos parámetros se ingresa desde el HMI, todas la operaciones se realizan en formato float IEEE y luego el resultado se transforma a entero.

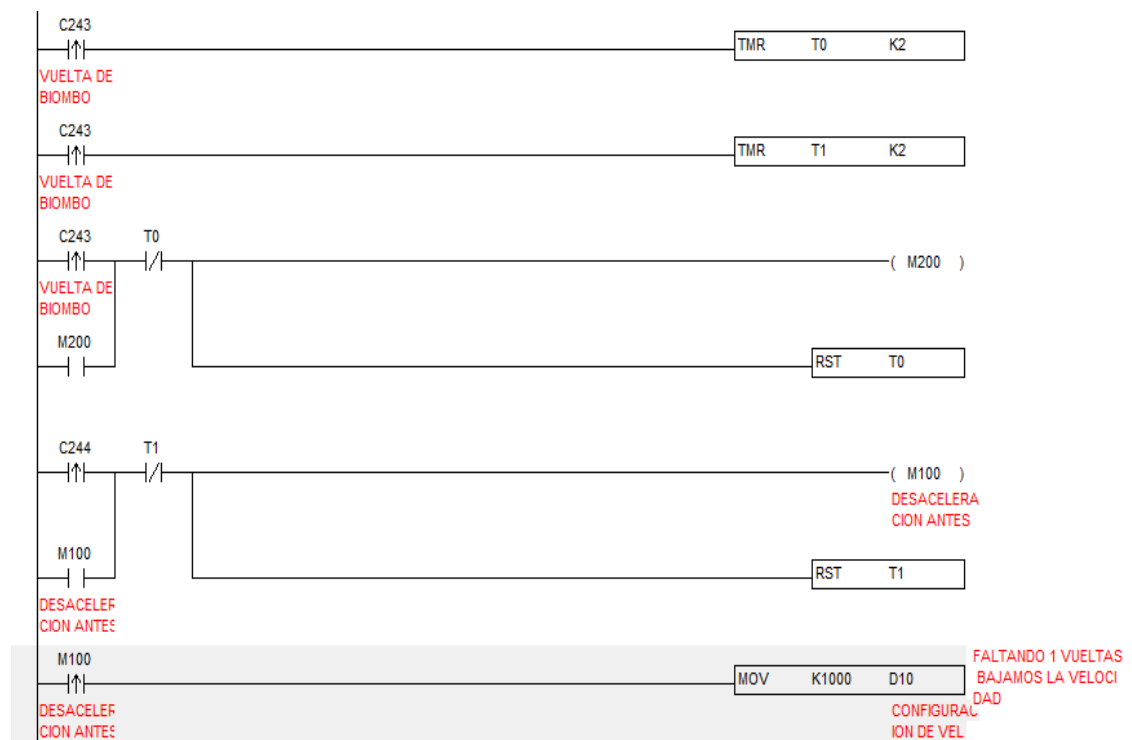
Figura 59. Séptima Sección del Programa del PLC



Fuente: Autor.

En la figura 60, se observa los contadores C243 y C244, que son los contadores de alta velocidad del PLC, con el C243 se cuenta hasta el número de pulsos calculados y con el C244 faltando una vuelta se baja la velocidad del biombo para evitar errores por inercia, además mediante el contador C0 vamos a obtener un valor entre 0 y 100 que será el porcentaje de madejado, así mismo cada vez que en el HMI entremos a la pantalla de producción estos contadores se resetean.

Figura 60. Octava Sección del Programa del PLC



Fuente: Autor.

La señal que da el contador rápido al terminar su conteo es muy rápido por lo que la comunicación hacia el variador no se realiza, por ende se alarga ese tiempo mediante un timer¹⁴ a 200ms, y se envía el valor de 10Hz al variador una vuelta antes para desacelerar el biombo.

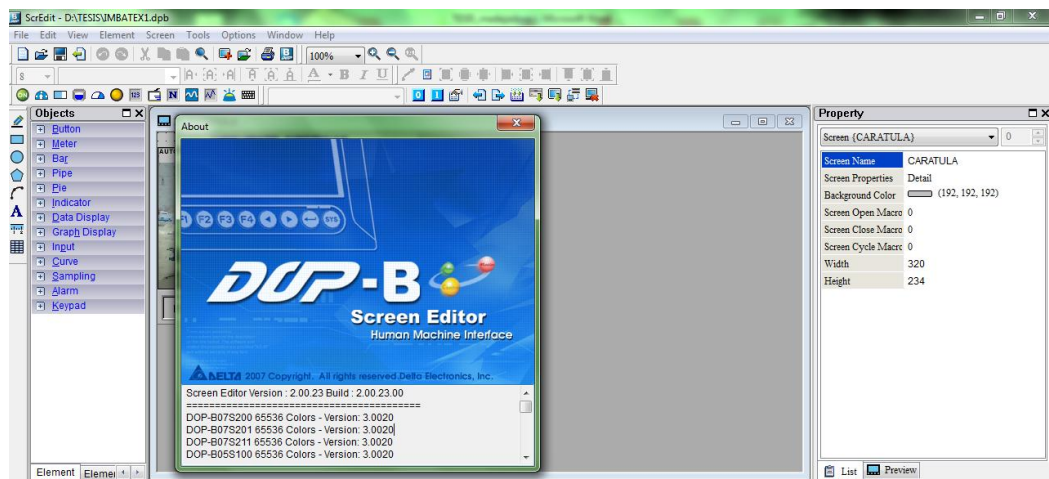
¹⁴ Nombre en inglés muy generalmente utilizado para el temporizador.

En el programa se tiene registros y marcas, los cuales son detallados en el anexo 10.

4.5.2. Programación del HMI

Para la programación del HMI Delta DOP-B5S100, se utiliza el programa DOP-B Screen Editor 2.00.23 (figura 61), el cual ofrece programación gráfica, mediante vínculos sencillos y subprogramas en basic¹⁵, llamados macros.

Figura 61. Entorno del Programa DOP-B Screen Editor 2.00.23



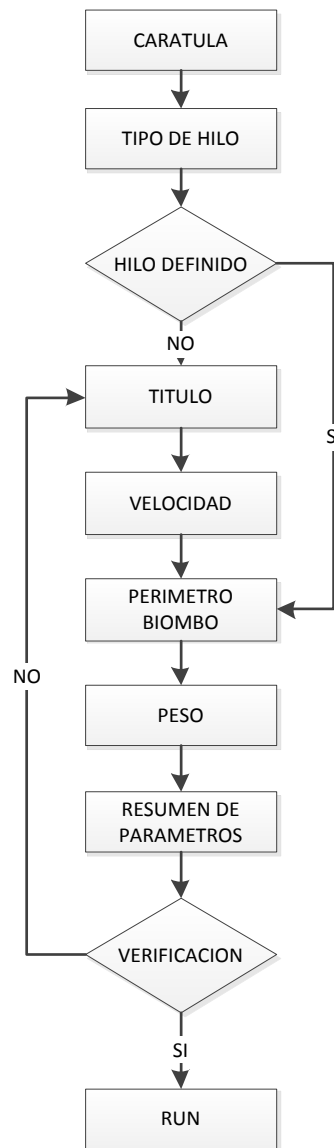
Fuente: Autor.

Se crea un nuevo proyecto, en el cual se selecciona el modelo de la pantalla a utilizar, el protocolo de comunicación Delta DVP Q-Link, que es un protocolo propio de la marca delta.

Para el diseño de la interfaz gráfica se sigue una lógica de despliegue de pantallas (Diagrama 4), para que sea fácil para el operario y permitiendo flexibilidad al elegir los hilos predeterminados por la empresa e hilos nuevos que la empresa introduzca en el futuro.

¹⁵ Lenguaje de Programación.

Diagrama 4. Flujograma de Pantallas del HMI



Fuente: Autor.

En la pantalla Caratula (figura 62), se muestra el nombre de la máquina, el autor, la fecha y la hora, gracias al reloj de tiempo real interno de la pantalla, para ingresar a la siguiente pantalla se tiene un botón de inicio.

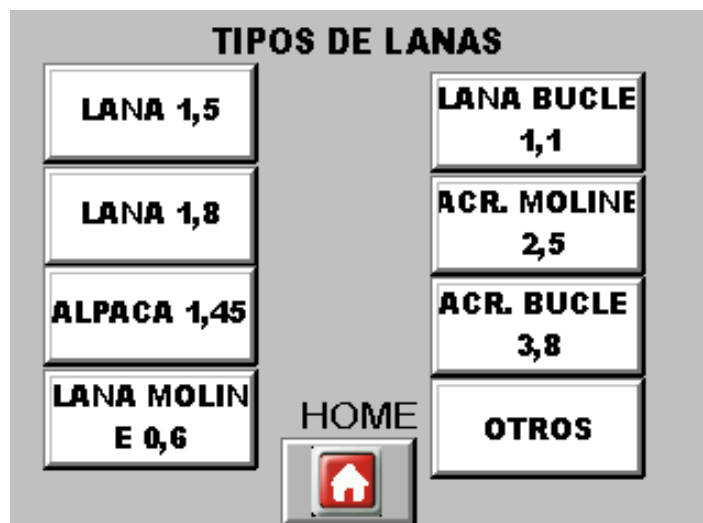
Figura 62. Caratula



Fuente: Autor.

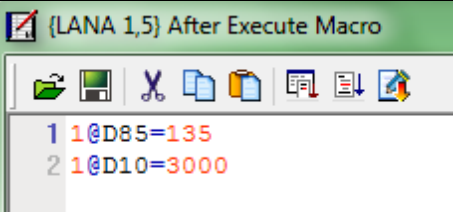
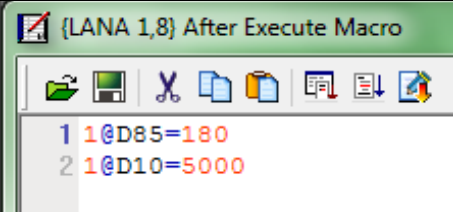
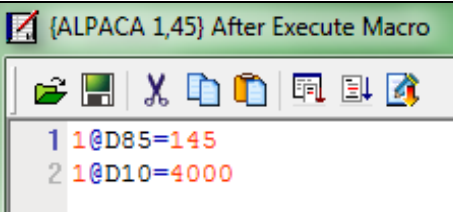
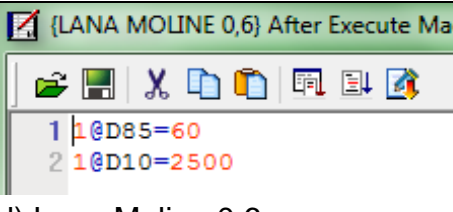
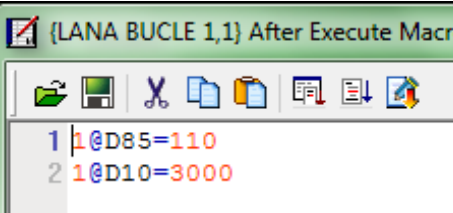
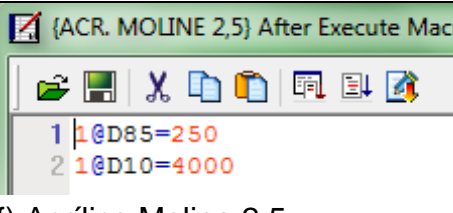
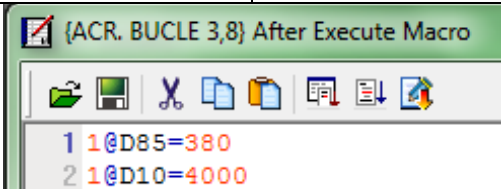
En la pantalla Tipos de Lanas (figura 63), se configura el tipo de hilo a madejar, en el cual se tiene 7 hilos predeterminados, sin embargo tenemos el botón OTROS, con el cual se puede configurar parámetros para un hilo nuevo o eventual. Para los hilos predeterminados se tiene una macro o subprograma, con el cual se envía hacia el PLC el título o número métrico y la velocidad (figura 64), y si se presiona la tecla home volvemos a la caratula.

Figura 63. Pantalla Tipos de Lanas



Fuente: Autor.

Figura 64. Macros del botón a) Lana 1,5 b) Lana 1,8 c) Alpaca 1,45 d) Lana Moliné 0,6 e) Lana Buclé 1,1 f) Acrílico Moliné 2,5 g) Acrílico Buclé 3,8

 <p>a) Lana 1,5</p>	 <p>b) Lana 1,8</p>
 <p>c) Alpaca 1,45</p>	 <p>d) Lana Moline 0,6</p>
 <p>e) Lana Bucle 1,1</p>	 <p>f) Acrílico Moline 2.5</p>
 <p>g) Acrílico Bucle</p>	

Fuente: Autor.

En la pantalla Título (Figura 65), se puede configurar el título o número métrico del hilo, esta pantalla se visualiza en el caso que no se escoja un

tipo de hilo predeterminado, adicionalmente en esta pantalla se puede avanzar o retroceder en la configuración de parámetros.

Figura 65. Pantalla Titulo



Fuente: Autor.

En la pantalla Velocidad (Figura 66), se puede configurar la velocidad del variador en Hz, que es proporcional a la velocidad de giro del motor, debido a la familiaridad que tienen los operarios con esta forma de parametrizar la velocidad.

Figura 66. Pantalla Velocidad



Fuente: Autor.

En la pantalla Perímetro (Figura 67), se configura el perímetro en centímetros del biombo, y los botones para avanzar o retroceder en la configuración de parámetros.

Figura 67. Pantalla Perímetro



Fuente: Autor.

En la pantalla Peso (Figura 68), se configura el peso en gramos de la madeja que se desea obtener, y los botones para avanzar o retroceder en la configuración de parámetros.

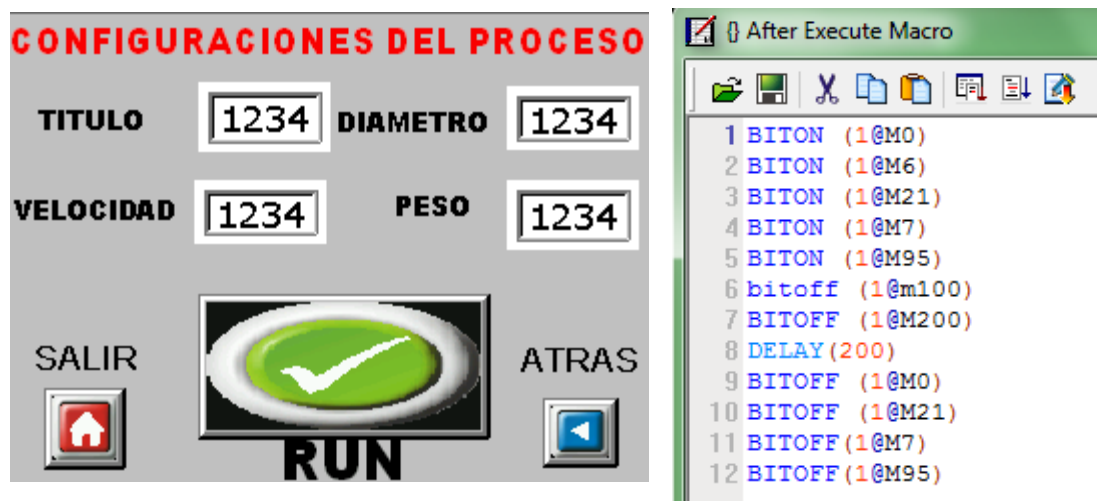
Figura 68. Pantalla Peso



Fuente: Autor.

En la pantalla Confirmación (figura 69), se observa los datos del proceso, aquí es donde se da el inicio del madejado con el botón RUN, con este botón se debe enviar el comando de marcha vía modbus hacia el variador, se reinicia los contadores, para ello se utilizan las marcas programadas en la macro regenerando un pulso de 200ms.

Figura 69. Pantalla Confirmación y macro del botón RUN



Fuente: Autor.

Al presionar el botón RUN, se despliega una ventana la cual pregunta si el operador está seguro de comenzar con el proceso, presionando en si se ejecuta la siguiente pantalla y la macro, si presionamos no, nos mantenemos en la pantalla confirmación.

La pantalla Proceso (Figura 70), se despliega luego de aceptar los parámetros ingresados presionando el botón RUN de la pantalla Confirmación (Figura 69), en este momento la máquina está en movimiento, en la pantalla se observa el avance del proceso, con el botón ABORTAR podemos parar el proceso perdiéndose los datos de los contadores y variables del PLC, con el botón PAUSA se detiene el proceso para luego reanudarlo con el botón RUN sin que se pierdan los datos, así como cambiar la velocidad en el transcurso del proceso, en esta pantalla se tiene un indicador, el cual se activa cuando el proceso ha terminado.

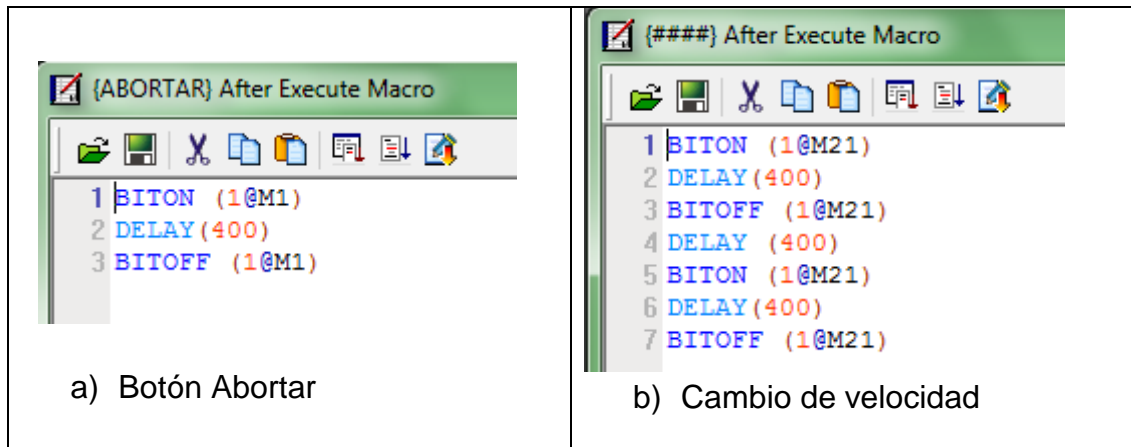
Figura 70. Pantalla Proceso y macro botón ABORTAR



Fuente: Autor.

En esta pantalla se utilizó macros en el botón abortar y al momento de ejecutar el cambio de velocidad (Figura 71).

Figura 71. Macros a) Botón Abortar b) Cambio de Velocidad








Fuente: Autor

CAPITULO V

CONSTRUCCION

Para la etapa de construcción se utiliza flujogramas basados en la simbología ASME¹⁶ Tabla 15.

Tabla 15. Simbología de la norma ASME para diagramas de flujo

ACTIVIDAD	SIMBOLOGIA
Operación: Indica las fases del proceso.	
Inspección: Verificación de calidad y/o cantidad.	
Desplazamiento o Transporte: Movimiento de empleados, material y equipo de un lugar a otro.	
Depósito provisional o espera: Indica demora en el desarrollo de los hechos.	
Almacenamiento permanente: Indica depósito de un documento o información dentro de un archivo u objeto cualquiera en un almacén.	

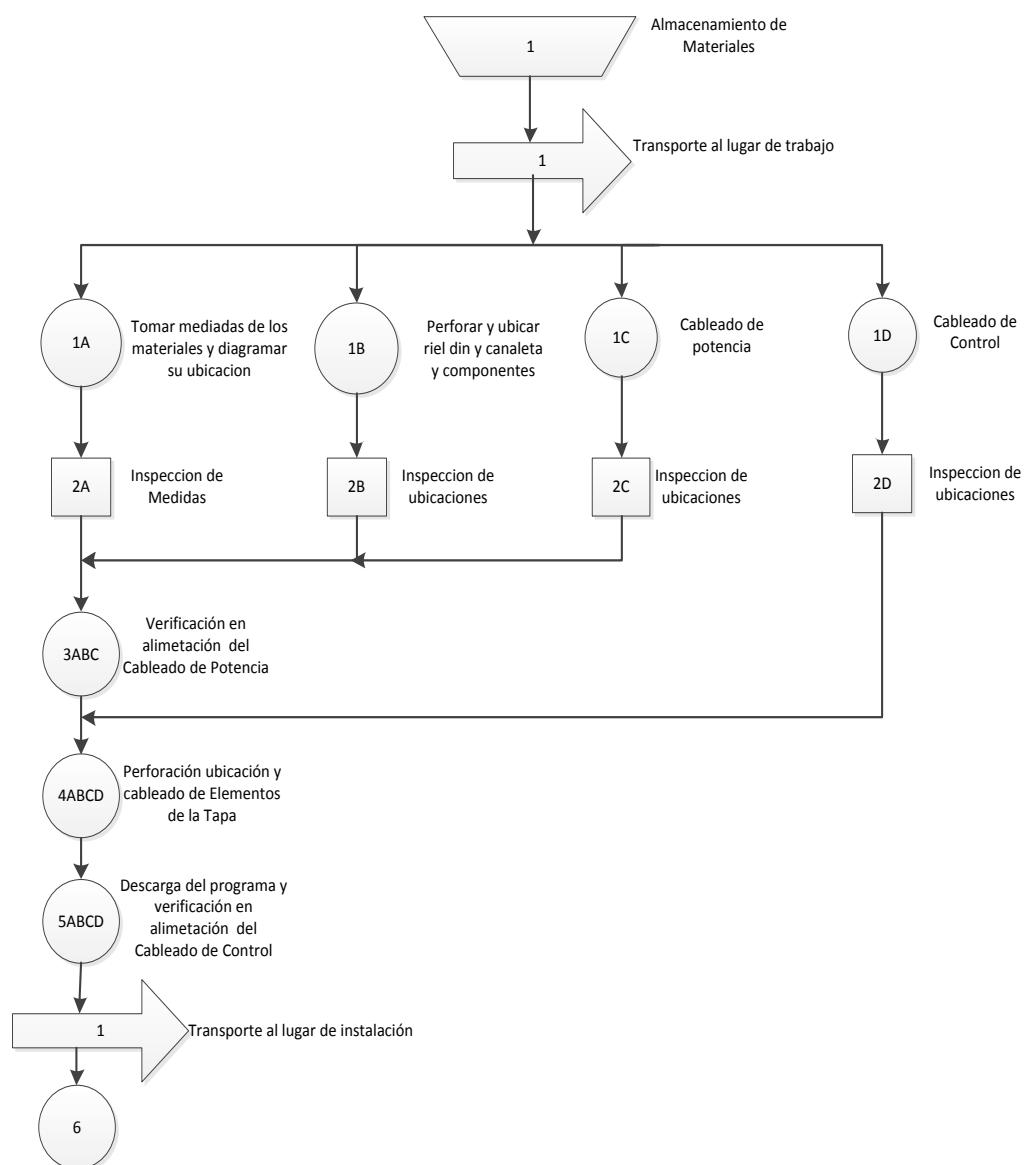
Fuente: <http://www.slideshare.net/racamachop/simbologa-ansi-y-asme>

¹⁶ American Society of Mechanical Engineers

5.1. CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DE CONTROL

Para la construcción del tablero de control se procedió de acuerdo al diagrama 5. En la figura 72, se observa los accesorios y detalles del proceso de construcción así como el tablero terminado.

Diagrama 5. Flujoograma de Armado del Tablero de Control



Fuente: Autor.

El cableado del tablero se lo hizo según el plano en el anexo 9, el cual detalla la disposición de las conexiones entre los elementos del tablero.

Figura 72. Construcción del tablero de Control



a) Accesorios para la construcción del tablero de control



b) Ensamblaje del Tablero de Control



c) Ubicación de elementos



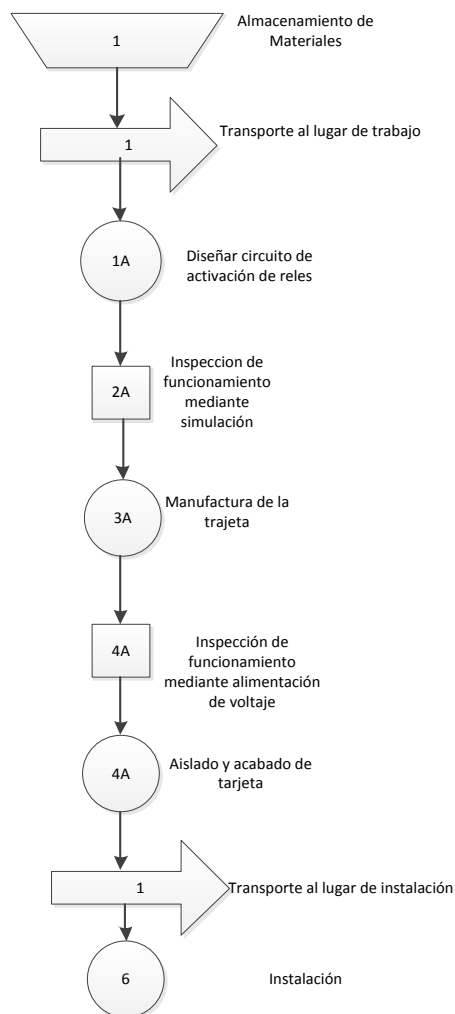
d) Tablero Terminado

Fuente: Autor.

5.2. CONSTRUCCIÓN ELECTRONICA

El PLC Delta DVP-32ES2, tiene salidas a transistor para poder activar contactores y dispositivos los cuales se alimentan de corriente alterna se necesitó hacer una tarjeta electrónica de salida a relés, para el proceso de fabricación de esta tarjeta se utilizó el flujograma del diagrama 6, el cual detalla el proceso de fabricación de la tarjeta electrónica de relés.

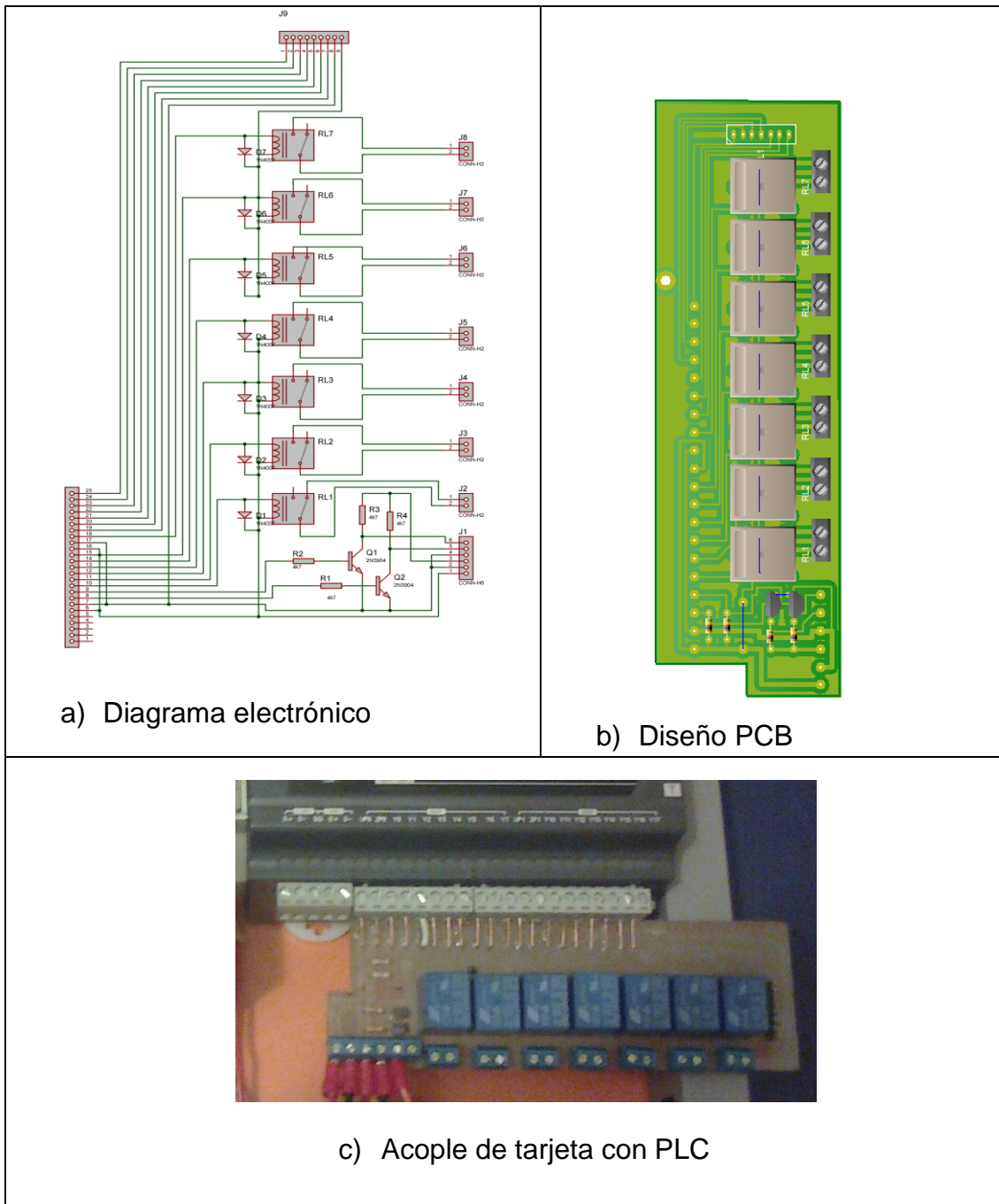
Diagrama 6. Flujograma de Fabricación de Tarjeta de Relés



Fuente: Autor.

En el circuito electrónico de la tarjeta de salidas a relé, se diseñó de tal forma que se acople directamente a los bornes de las salidas del PLC, en la tarjeta se añadió un conector J9 (ver figura 73), mediante el cual se podría acceder a las 8 salidas digitales del PLC, para una futura expansión.

Figura 73. Tarjeta de Salidas a relé



Fuente: Autor.

5.3. INSTALACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL Y ENCODER

Para la instalación del encoder, se realizó un pequeño soporte, el cual se muestra en la figura 74, y se acoplo mediante un coupling para encoder, los planos de las piezas del soporte se pueden ver en el anexo 11.

Figura 74. Acople de encoder a la máquina



Fuente: Autor.

Para la instalación del tablero de control se añadió a la maquina un pequeño marco (Figura 75), para que se sirva de soporte al tablero de control.

Figura 75. Marco metálico de soporte del tablero de control



Fuente: Autor.

Finalmente con el tablero fijo se procedió a cablear la alimentación y el encoder hacia el tablero (Figura 76).

Figura 76. Tablero de Control Instalado



Fuente: Autor.

CAPITULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1. PRUEBAS DE REPETITIVIDAD

Con el sistema en marcha e instalado se hacen pruebas en diferentes tipos de hilo para comprobar que el sistema se encuentre bien en repetitividad a diferentes velocidades, con el fin de observar si existe variación de peso a diferentes velocidades.

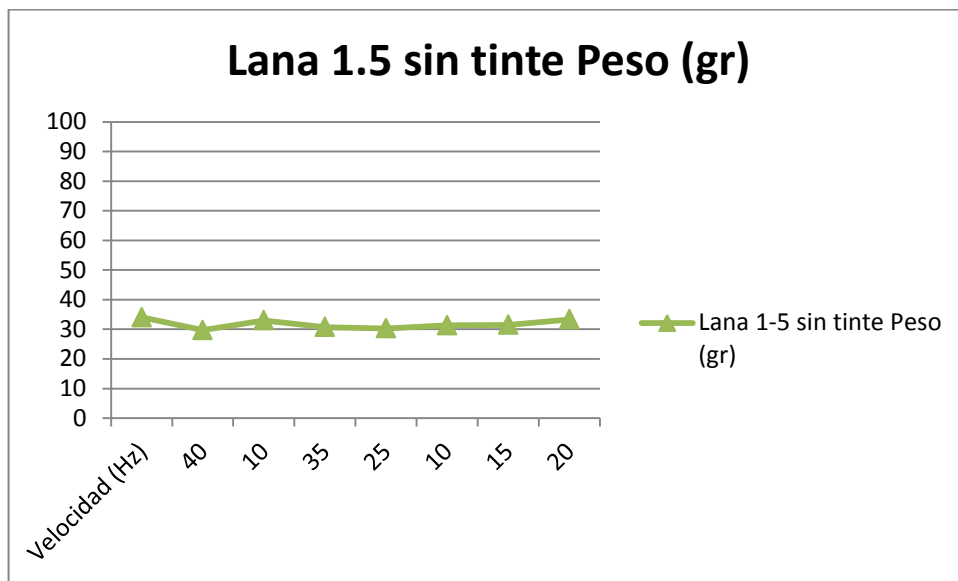
La primera prueba se hace con Lana 1.5 blanca, con 40 vueltas del biombo, arrojando así los datos de la tabla 16, la cual se grafica en el diagrama 7.

TABLA 16. PRUEBA DE REPETITIVIDAD DE LANA 1-5 SIN TINTE

Lana 1.5		
Vueltas del Biombo	Velocidad (Hz)	Peso (gr)
40	40	34
40	10	29,7
40	35	33
40	25	30,7
40	10	30,3
40	15	31,3
40	20	31,5
40	30	33,3

Fuente: Autor

Diagrama 7. Gráfico de dispersión de Lana 1-5 sin tinte



Fuente: Autor

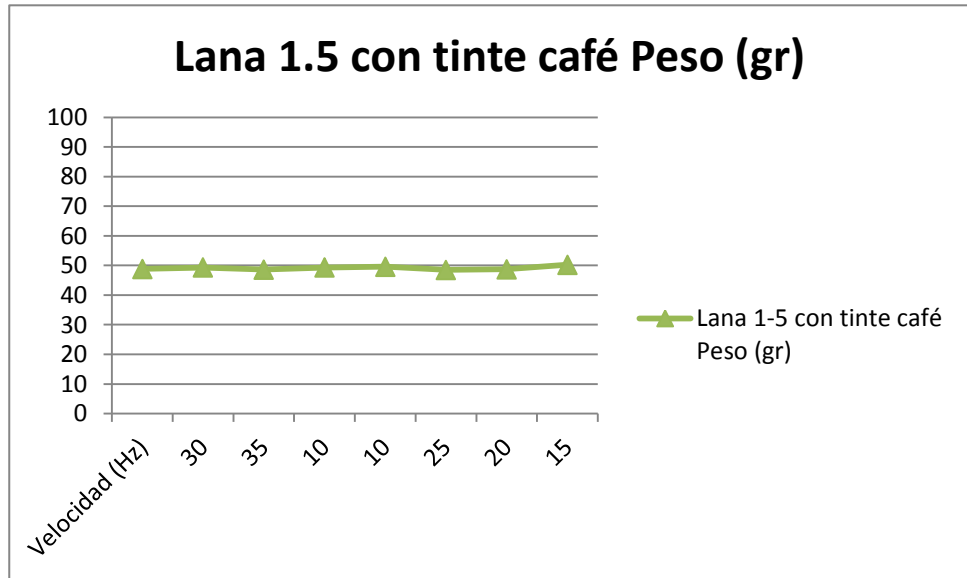
Se realiza la misma prueba con lana tinturada la cual es más pesada (Tabla 17), y se muestra una línea horizontal en el gráfico de dispersión (Diagrama 8), se determina que el peso no varía cuando se cambia la velocidad de madejado.

Tabla 17. Prueba de Repetitividad de Lana 1-5 con tinte café

Lana 1.5 con tinte café		
Vueltas del Biombo	Velocidad (Hz)	Peso (gr)
40	30	48,8
40	35	49,3
40	10	48,6
40	10	49,3
40	25	49,6
40	20	48,5
40	15	48,7
40	40	50,2

Fuente: Autor.

Diagrama 8. Gráfico de dispersión de Lana 1.5 con tinte café



Fuente: Autor.

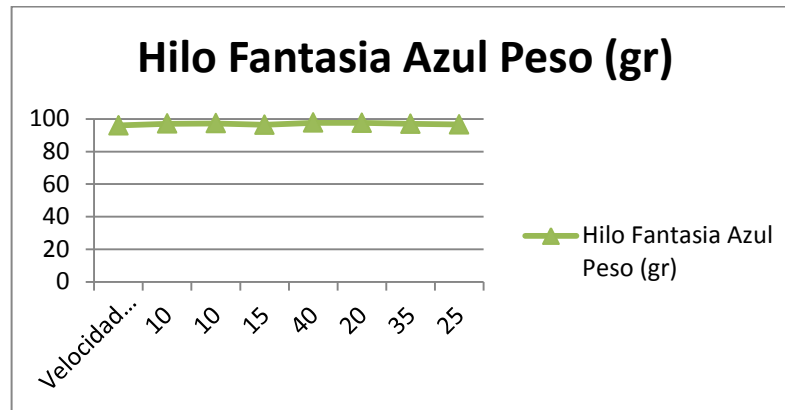
Se realiza la prueba de repetitividad a diferentes velocidades con uno de los hilos más delgados y sensibles que fabrica la empresa, si bien este hilo no se madeja nos puede dar un resultado sensible en lo que a repetitividad se refiere (Tabla 18), en el diagrama 8 podemos observar que el error es menor a ± 1 gr, lo cual se refleja con una línea muy horizontal.

Tabla 18. Prueba de Repetitividad de Hilo Fantasía Azul

Hilo Fantasía Azul		
Vueltas del Bombo	Velocidad (Hz)	Peso (gr)
400	10	96
400	10	97
400	15	97,2
400	40	96,3
400	20	97,6
400	35	97,5
400	25	96,9
400	30	96,5

Fuente: Autor.

Diagrama 9. Gráfico de dispersión de Hilo Fantasía Azul



Fuente: Autor.

En los diagramas 7, 8 y 9 se observa que la línea de dispersión es casi horizontal, lo cual muestra que no existe variación significativa de peso a diferentes velocidades.

6.2. PRUEBAS DE PESO

Para las pruebas de peso, se madejó 5 muestras, en cada muestra se hizo 30 madejas, y se las peso, sacando un promedio de error del peso real en función del peso deseado, para los tipos de hilos previstos, a continuación se detallan las tablas de medición y resultado para cada tipo de Hilo.

Tabla 19. Error de Peso Lana 1.5

LANA 1.5			
Muestra	Peso Deseado gr.	Peso Real gr	Error %
1	500	505	1,0%
2	500	502	0,4%
3	500	495	1,0%
4	500	503	0,6%
5	500	499	0,2%
6	500	497	0,6%
7	500	510	2,0%
8	500	501	0,2%
9	500	499	0,2%
10	500	496	0,8%
PORCENTAJE DE ERROR	0,7%		

Fuente: Autor.

Tabla 20. Error de Peso lana 1,8

LANA 1,8			
Muestra	Peso Deseado gr.	Peso Real gr	Error %
1	500	504	0,8%
2	500	504	0,8%
3	500	496	0,8%
4	500	503	0,6%
5	500	498	0,4%
6	500	495	1,0%
7	500	499	0,2%
8	500	499	0,2%
9	500	505	1,0%
10	500	504	0,8%
PORCENTAJE DE ERROR	0,7%		

Fuente: Autor.

Tabla 21. Error de Peso en Alpaca 1,45

ALPACA 1,45			
Muestra	Peso Deseado gr.	Peso Real gr	Error %
1	500	495	1,0%
2	500	496	0,8%
3	500	495	1,0%
4	500	499	0,2%
5	500	505	1,0%
6	500	502	0,4%
7	500	498	0,4%
8	500	504	0,8%
9	500	494	1,2%
10	500	505	1,0%
PORCENTAJE DE ERROR	0,8%		

Fuente: Autor.

Tabla 22. Error de Peso Lana Moliné 0,6

LANA MOLINE 0,6			
Muestra	Peso Deseado gr.	Peso Real gr	Error %
1	500	504	0,8%
2	500	497	0,6%
3	500	504	0,8%
4	500	505	1,0%
5	500	497	0,6%
6	500	504	0,8%
7	500	504	0,8%
8	500	501	0,2%
9	500	495	1,0%
10	500	496	0,8%
PORCENTAJE DE ERROR	0,7%		

Fuente: Autor

Tabla 23 Error de Peso lana Bucle 1,1

LANA BUCLE 1,1			
Muestra	Peso Deseado gr.	Peso Real gr	Error %
1	500	494	1,2%
2	500	493	1,4%
3	500	503	0,6%
4	500	502	0,4%
5	500	505	1,0%
6	500	503	0,6%
7	500	503	0,6%
8	500	495	1,0%
9	500	506	1,2%
10	500	500	0,0%
PORCENTAJE DE ERROR	0,8%		

Fuente: Autor.

Tabla 24. Error de peso Acrílico Moliné 2,5

ACRILICO MOLINE 2,5			
Muestra	Peso Deseado gr.	Peso Real gr	Error %
1	500	499	0,2%
2	500	500	0,0%
3	500	493	1,4%
4	500	508	1,6%
5	500	499	0,2%
6	500	492	1,6%
7	500	495	1,0%
8	500	499	0,2%
9	500	507	1,4%
10	500	494	1,2%
PORCENTAJE DE ERROR	0,9%		

Fuente: Autor.

Tabla 25. Error de peso Acrílico Bucle

ACRILICO BUCLE 3,8			
Muestra	Peso Deseado gr.	Peso Real gr	Error %
1	500	505	1,0%
2	500	493	1,4%
3	500	492	1,6%
4	500	493	1,4%
5	500	492	1,6%
6	500	495	1,0%
7	500	496	0,8%
8	500	499	0,2%
9	500	497	0,6%
10	500	503	0,6%
PORCENTAJE DE ERROR	1,0%		

Fuente: Autor.

Los resultados promedio de error de peso se muestran en la tabla 25.

Tabla 26. Promedio de Error de Peso

Tipo de Hilo/Lana	Error %
Lana 1,5	0,7%
Lana 1,8	0,7%
Alpaca 1,45	0,8%
Lana Moliné 0,6	0,7%
Lana Buclé 1,1	0,8%
Acrílico Moliné 2,5	0,9%
Acrílico Buclé 3,8	1,0%
PROMEDIO	0,8%

Fuente: Autor.

Mediante las pruebas de error de peso, se determina que el error de peso redujo y está dentro de los márgenes deseados por la empresa.

6.3. PRUEBAS DE EFICIENCIA

Para medir la eficiencia de la máquina se tomó como parámetro el número de rupturas que tenía el hilo por cada operación de 30 madejas, se realizó las pruebas con todos los hilos predeterminados por la empresa obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 27. Ruptura Lana 1,5

LANA 1,5		
Muestra	Madejas por proceso	Rupturas
1	30	0
2	30	0
3	30	0
4	30	0
5	30	0
6	30	0
7	30	0
8	30	0
9	30	0
10	30	0
TOTAL	300	0
PROMEDIO DE RUPTURAS POR OPERACION (30 MADEJAS)	0,00	

Fuente: Autor.

Tabla 28. Ruptura Lana 1,8

LANA 1,8		
Muestra	Madejas por proceso	Rupturas
1	30	0
2	30	0
3	30	0
4	30	0
5	30	0
6	30	0
7	30	0
8	30	0
9	30	0
10	30	0
TOTAL	300	0
PROMEDIO DE RUPTURAS POR OPERACION (30 MADEJAS)	0,00	

Fuente: Autor.

Tabla 29. Ruptura Alpaca 1,45

ALPACA 1,45		
Muestra	Madejas por proceso	Rupturas
1	30	0
2	30	0
3	30	0
4	30	0
5	30	0
6	30	0
7	30	0
8	30	0
9	30	0
10	30	0
TOTAL	300	0
PROMEDIO DE RUPTURAS POR OPERACION (30 MADEJAS)	0,00	

Fuente: Autor.

Tabla 30. Ruptura Lana Moliné 0,6

LANA MOLINE 0,6		
Muestra	Madejas por proceso	Rupturas
1	30	0
2	30	1
3	30	0
4	30	0
5	30	0
6	30	0
7	30	0
8	30	0
9	30	0
10	30	0
TOTAL	300	1
PROMEDIO DE RUPTURAS POR OPERACION (30 MADEJAS)	0,33	

Fuente: Autor.

Tabla 31. Ruptura Lana Buclé 1,1

LANA BUCLE 1,1		
Muestra	Madejas por proceso	Rupturas
1	30	0
2	30	0
3	30	0
4	30	0
5	30	0
6	30	0
7	30	0
8	30	0
9	30	0
10	30	0
TOTAL	300	0
PROMEDIO DE RUPTURAS POR OPERACION (30 MADEJAS)	0,00	

Fuente: Autor.

Tabla 32. Ruptura Acrílico Moliné

ACRILICO MOLINE 2,5		
Muestra	Madejas por proceso	Rupturas
1	30	0
2	30	0
3	30	0
4	30	0
5	30	0
6	30	0
7	30	0
8	30	0
9	30	0
10	30	0
TOTAL	300	0
PROMEDIO DE RUPTURAS POR OPERACION (30 MADEJAS)	0,00	

Fuente: Autor.

Tabla 33. Ruptura Acrílico Buclé 2,5

ACRILICO BUCLE 3,8		
Muestra	Madejas por proceso	Rupturas
1	30	0
2	30	0
3	30	0
4	30	0
5	30	0
6	30	0
7	30	0
8	30	0
9	30	0
10	30	0
TOTAL	300	0
PROMEDIO DE RUPTURAS POR OPERACION (30 MADEJAS)	0,00	

Fuente: Autor.

El promedio de ruptura de la máquina para los diferentes tipos de hilo es de 0,05 rupturas por operación de madejado, con treinta madejas por operación (Tabla 33).

Tabla 34. Promedio de Rupturas

Tipo de Hilo/Lana	Núm. Ruptura
Lana 1,5	0,0
Lana 1,8	0,0
Alpaca 1,45	0,0
Lana Moliné 0,6	0,3
Lana Buclé 1,1	0,0
Acrílico Moliné 2,5	0,0
Acrílico Buclé 3,8	0,0
PROMEDIO	0,05(0,016%)

Fuente: Autor.

De las tabla 34 de determina que el promedio de ruptura bajó del 13,9% antes de automatizar la máquina a 0,016%, para un análisis detallado referirse a las conclusiones.

6.4. DESGLOSE DE COSTOS

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	GABINETE METALICO DOBLE FONDO BEAUCOUP 600x400x200 MM	1	67,2	67,2
2	CONTACTOR SASSIN 3HP	2	18	36
3	BREAKER TERMICO 6AMPS 2 POLOS LS	1	17,99	17,99
4	BREAKER TERMICO 4AMPS 1 POLO LS	1	9,99	9,99
5	BORNERA PLOMA 12 AWG MAX	32	0,25	8
6	BORNERA TIERRA	2	0,5	1
7	TERMINALES 14, 16 Y 18 AWG METRO	200	0,05	10
8	RIEL DIN DORADO X1.8 MTRS METRO	2	2,35	4,7
9	CABLE 18 AWG SUPERFLEX VARIOS COLORES METRO	20	0,33	6,6
10	CABLE 16 AWG SUPERFLEX VARIOS COLORES METRO	10	0,48	4,8
11	CABLE 3X14 AWG SUCRE METRO	8	1,4	11,2
12	CABLE UTP CAT. 6 METRO			0
13	CABLE 4X22 AWG METRO	6	0,9	5,4
14	CANALETA RANURADA X 1.8 MTS	3	5	15
15	PULSADOR DE EMERGENCIA HONGO	1	6,5	6,5
16	PULSADOR DOBLE MARCHA Y PARO	1	9,6	9,6
17	PORTAFUSIBLES 10X18 RIEL DIN	4	3,5	14
18	FUSIBLES VARIOS 10X18	4	1,5	6
19	ESPIRAL FUNDA	1	9,6	9,6
20	AMARRAS PLATICAS VARIAS	20	0,15	3
21	PLAQUETTAS AUTOADHESIVAS	5	0,25	1,25
22	PLC DELTA ES2-32RT	1	213,5	213,5
23	HMI DELTA DOP-B5S100,655535 COLRES TOUCH	1	340,06	340,06
24	CABLE DE PROGRAMACION HMI DELTA	1	12	12
25	CABLE DE PROGRAMACION PLC DELTA	1	12	12
26	ENCODER	1	107,72	107,72
27	COUPLING 4MM	1	14,84	14,84
28	VARIADOR DELTA 1HP CON PANEL DE PROGRAMACION	1	220	220
29	REBONIADO Y PINTURA MOTOR TRIFASICO	1	50	50
30	ACOPLE ENCODER TORNO	1	10	10
31	CONECTOR RJ-11	2	0,25	0,5
32	IMPUESTO DE ADUANA	1	128,74	128,74
33	PAGO ENVIO DHL	1	145	145
34	MATERIALES CONVERTOR RS232-RS485	1	55	55
35	CABLE USB SERIAL	1	20	20
			TOTAL	1577,19

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se logró automatizó la máquina madejadora de construcción nacional de la empresa “Imbatex”, a ser utilizada para madejar hilos y lanas que la empresa produce.
- Mediante la automatización se ha logrado aumentar la gama de hilos o lanas, que se pueden madejar a siete predeterminadas y se tiene la posibilidad de madejar hilos nuevos, debido a que anterior a la automatización, la madejadora funcionaba a una sola velocidad, la cual permitía madejar dos tipos de hilos los cuales soportaban la velocidad de la máquina, actualmente se implementó un sistema de control de velocidad mediante un variador de frecuencia.
- Con la implementación del sistema de control automático, se ha logrado obtener un error en el peso de madeja de 0.8%, que está dentro del estándar aceptado por la empresa que es 5%, con una reducción del 16,67%, este margen de reducción se logró gracias a la implementación de un sistema de pesaje indirecto con un encoder, el cual nos permite saber en tiempo real el peso durante el proceso.

- Mediante la regulación de velocidad del sistema automático, se logró obtener mayor eficiencia en el madejado, parándose la máquina por rupturas de hilo o lana 0,05 veces promedio por proceso, ya que anteriormente habían 4.17 paros promedio por proceso de madejado, dicha mejora, ha permitido liberar la atención del operario durante el proceso, ya que este tiene un bajo índice de ruptura y tiene paro automático al cubrir el peso deseado, ahorrando tiempo de mano de obra.
- Se logró mejorar la operatividad de manera ergonómica e intuitiva, mediante la implementación de una interfaz hombre máquina, la cual se la hizo con una HMI full color y táctil, se reforzó el aprendizaje de operación del sistema con un manual de usuario (Anexo 12).
- El sistema de vaivén automático, no ofrece mayor beneficio para la máquina madejadora de construcción nacional de la empresa "Imbatex", ya que en un periodo de 14 meses no se ha necesitado regular el sistema mecánico de vaivén existente y por el costo adicional que involucra el hacerlo automático.

7.2. RECOMENDACIONES

- La maquinaria textil del Ecuador en gran parte utiliza máquinas artesanales, como es el caso de la empresa textil "Imbatex", por lo cual es recomendable incluir sistemas de automatización, para elevar la eficiencia y precisión de la maquinaria, como se lo hizo con la maquina madejadora de esta empresa.
- En el sistema de control implementado, el peso deseado depende de la exactitud con que se ingresen los parámetros, se recomienda comprobar periódicamente los números métricos o títulos de las lanas a madejar y medir regularmente el perímetro del biombo en diferentes secciones del mismo.
- Es importante tratar de alargar el tiempo de vida útil del sistema, por lo cual es recomendable hacer un mantenimiento periódico general cada 3 meses, y cada mes limpiar las pequeñas fibras que podrían ingresar en el tablero.
- Para incrementar la vida útil del encoder, se recomienda alinear el eje principal del biombo para generar menor vibración, ya que esta si bien es absorbida por el coupling este al ser un elemento mecánico tiene un tiempo de vida útil limitado.
- Dado el bajo coste de este tipo de proyectos de automatización de maquinaria nacional, a comparación de una máquina nueva con similares características, se recomienda el fomentar este tipo de automatizaciones que es un campo de trabajo viable para un Ingeniero Mecatrónico.

BIBLIOGRAFIA

1. Automation, R. (1996). *Conceptos Básicos sobre el uso de los motores de Inducción Trifásicos*. Millwaukee: SE.
2. Benalcazar, D. (2010). *Manual teórico Práctico de Hiltura Acrílica*. Ibarra: SE.
3. Bishop, R. (2008). *Mechatronic System Control, Logic, and Data Adquisition*. Texas: Tylor and Frnacis Group.
4. Boix, O., Saigí, M., & Zabaleta, F. (1998). *Automatísmos Electricos Programables*. sl: Edicons UPC.
5. Bolton, W. (2001). *Mectarónica*. Barcelona: Alfaomega.
6. Bolton, W. (2006). *Programmable Logic Controlllers*. Oxford: Elsever Newnes.
7. Clarke, G., & Reyderns, D. (2004). *Practical Modern SCADA Protocols*. Oxford: Elsevier.
8. Delta Electronics, I. (sf). *Delta Programmer Logic Controller DVP-ES2 Instruction Sheet*. Thailand: SE.
9. Delta Electronics, Inc. (sf). *VFD-M User Manual*. Thailand: SE.
10. Esparza, I. d. (2010). *Hilatura Lanera*. Ibarra: S.E.
11. Hackworth, J., & Hackworth, F. (2004). *Programable Logic Controllers*. sl: Merril.
12. Hugh, J. (2007). *Automating manufacturing System with PLCs*. sl: SE.
13. Mayné, J. (sf). *Sistemas de Comunicaciones*. sl: SILICA.

14. Omron automatización Industrial. (n.d.). Retrieved 01 27, 2013, from http://industrial.omron.es/es/products/catalogue/sensing/rotary_encoders/incremental/e6b2_c/default.html
15. Ridley, J. (2004). *Mitsubishi FX Programmable Logic Controllers*. Oxford: Elsevier.
16. Sadin, P. (2003). *Robot Mechanism and Mechanical devices*. sl: McGraw-Hill.
17. Shell , R., & Hall, E. (2000). *Handbook of Industrial Automation*. Ohio: Marcel Dekker.
18. Zhang, P. (2008). *Industrial Control Technology*. Beijing: William Andrew.

REFERENCIAS

1. Automation, R. (1996). *Conceptos Básicos sobre el uso de los motores de Inducción Trifásicos*. Millwaukee: SE.
2. Benalcazar, D. (2010). *Manual teórico Práctico de Hiltura Acrílica*. Ibarra: SE.
3. Bishop, R. (2008). *Mechatronic System Control, Logic, and Data Adquisition*. Texas: Tylor and Frnacis Group.
4. Boix, O., Saigí, M., & Zabaleta, F. (1998). *Automatísmos Electricos Programables*. sl: Edicons UPC.
5. Bolton, W. (2001). *Mectarónica*. Barcelona: Alfaomega.
6. Bolton, W. (2006). *Programmable Logic Controlllers*. Oxford: Elsever Newnes.
7. Clarke, G., & Reyderns, D. (2004). *Practical Modern SCADA Protocols*. Oxford: Elsevier.
8. Delta Electronics, I. (sf). *Delta Programmer Logic Controller DVP-ES2 Instruction Sheet*. Thailand: SE.
9. Delta Electronics, Inc. (sf). *VFD-M User Manual*. Thailand: SE.
10. Esparza, I. d. (2010). *Hilatura Lanera*. Ibarra: S.E.
11. Hackworth, J., & Hackworth, F. (2004). *Programable Logic Controllers*. sl: Merrill.
12. Hugh, J. (2007). *Automating manufacturing System with PLCs*. sl: SE.
13. Mayné, J. (sf). *Sistemas de Comunicaciones*. sl: SILICA.

14. Omron automatización Industrial. (s.f.). Recuperado el 27 de 01 de 2013, de http://industrial.omron.es/es/products/catalogue/sensing/rotary_encoders/incremental/e6b2_c/default.html
15. Ridley, J. (2004). *Mitsubishi FX Programmable Logic Controllers*. Oxford: Elsevier.
16. Sadin, P. (2003). *Robot Mechanism and Mechanical devides*. sl: McGraw-Hill.
17. Shell , R., & Hall, E. (2000). *Handbook of Industrial Automation*. Ohio: Marcel Dekker.
18. Zhang, P. (2008). *Industrial Control Technology*. Beijing: William Andrew.

ANEXOS

ANEXO 1

Obtención de la Relación de Transmisión entre el Biombo y el Encoder

Dónde:

MB: Movimiento del Biombo

MejeB: Movimiento del eje B

ZejeB: Número de dientes del engranaje en el eje B en contacto con el engranaje del biombo.

ZMB: Número de dientes en el engranaje del biombo.

$$\frac{MB}{MejeB} = \frac{ZejeB}{ZMB}$$

Relación según figura 46

$$\frac{MB}{MejeB} = \frac{27}{30}$$

$$MB = \frac{27 * MejeB}{79}$$

$$\frac{MejeB}{ME} = \frac{ZE}{ZejeB}$$

$$\frac{MejeB}{ME} = \frac{45}{79}$$

$$MejeB = \frac{45 * ME}{79}$$

$$MB = \frac{27 * 45 * ME}{79 * 30}$$

$$MB = \frac{27 * 45 * ME}{79 * 79}$$

$$MB = 1,9506 * ME$$

$$MB = 1,9506 * 10 \text{ ppr}$$

Resolución del encoder 10ppr

$$MB = 19,506 \text{ ppr}$$

ppr = pulsos por revolución

ANEXO 2

Velocidad máxima del motor a 60Hz, 1700rpm

$$\frac{Mm}{MejeA} = \frac{\emptyset PA}{\emptyset Pm}$$

Relación según figura 46

$$\frac{Mm}{MejeA} = \frac{12}{3,5}$$

$$MejeA = \frac{3,5 * Mm}{12}$$

$$\frac{MejeB}{MejeA} = \frac{\emptyset PA}{\emptyset PB}$$

$$\frac{MejeB}{MejeA} = \frac{2}{6}$$

$$MejeB = \frac{2 * 3,5 * Mm}{6 * 12}$$

$$ME = \frac{79 * 2 * 3,5 * Mm}{45 * 6 * 12}$$

$$ME = \frac{Mm}{5,86}$$

Sabiendo que nuestro motor a 60Hz que es nuestra mayor frecuencia tiene una velocidad de 1700rpm,

$$ME = \frac{1700rpm}{5,86}$$

$$ME = 290,15 \text{ rpm}$$

$$ME = 4,84 \text{ rps}$$

$$ME = 48,4 \text{ pps}$$

Multiplica x 10 por la resolución del encoder

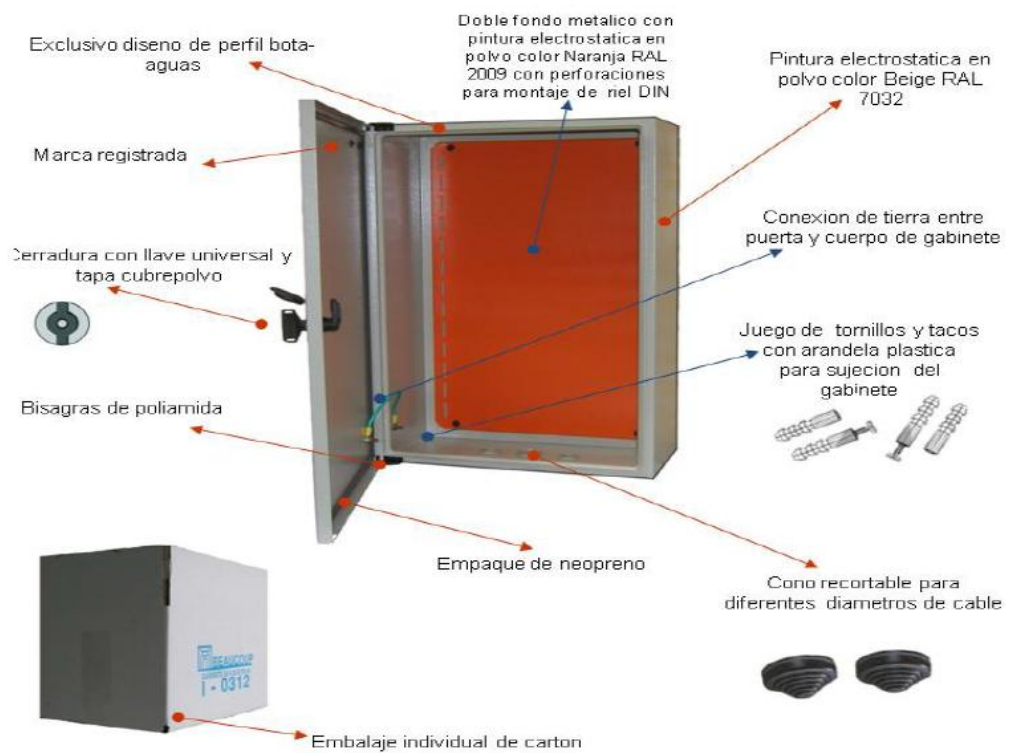
$$ME = 48,4 \text{ Hz}$$

Pulsos por segundo equivale a Hz

ANEXO 3

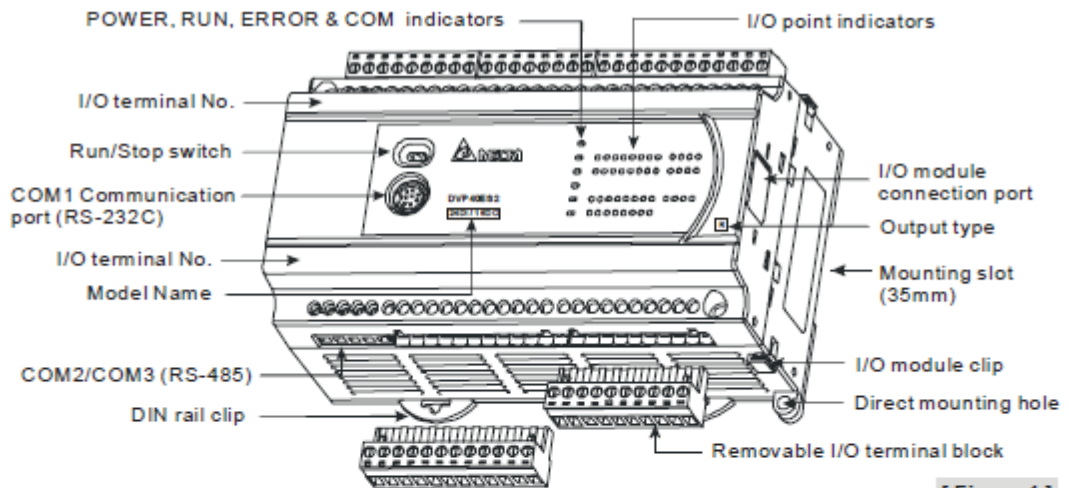
Especificaciones Gabinete Modular Beaucoup

GABINETES MODULARES IP-65 BEAUCOUP

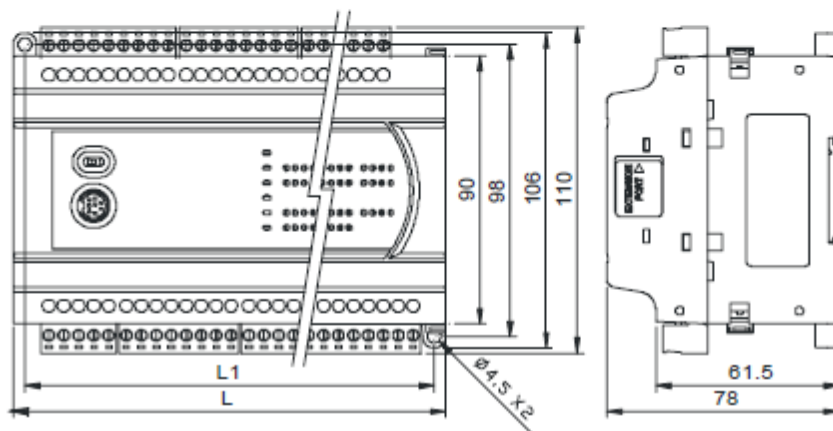


ANEXO 4

Dimensiones y especificaciones PLC Delta 32ES2



[Figure 1]



[Figure 2]

Unit: mm

Model name	16ES2 00R/T	24ES2 00R/T	32ES2 00R/T	40ES2 00R/T	60ES2 00R/T	20EX2 00R/T	32ES2 11T
L	105	125	145	165	225	145	145
L1	97	117	137	157	217	137	137

Item \ Model	16ES2 00□	24ES2 00□	32ES2 00□	40ES2 00□	60ES2 00□	20EX2 00□	32ES2 11T
Power supply voltage	100 ~ 240VAC (-15% ~ 10%), 50/60Hz ±5%						24VDC (-15~+20%)
Connector	European standard removable terminal block (Pin pitch: 5mm)						
Operation	ES 200	DVP-ES2 starts to run when the power rises to 95 ~ 100VAC and stops when the power drops to 70VAC. If the power is suddenly cut off, the MPU will continue running for 10ms.					
	ES 211	DVP-ES2 starts to run when the power rises to 20.4VDC~28.8VDC and stops when the power drops to 17.5VDC. If the power is suddenly cut off, the MPU will continue running for 10ms.					
Power supply fuse	2A/250VAC						2.5A / 30VDC, Polyswitch
Power consumption	30VA	30VA	30VA	30VA	30VA	30VA	1.8W
DC24V current output	500mA	500mA	500mA	500mA	500mA	500mA	—
Power supply protection	DC24V output short circuit protection						—
Voltage withstand	1,500VAC (Primary-secondary), 1,500VAC (Primary-PE), 500VAC (Secondary-PE)						
Insulation resistance	> 5MΩ at 500VDC (between all I/O points and ground)						
Noise Immunity	ESD: 8KV Air Discharge EFT: Power Line: 2KV, Digital I/O: 1KV, Analog & Communication I/O: 1KV RS: 26MHz ~ 1GHz, 10V/m						
Grounding	The diameter of grounding wire shall not be less than that of L, N terminal of the power supply. (When many PLCs are in use at the same time, please make sure every PLC is properly grounded.)						
Environment	Operation: 0°C~55°C (temperature), 50~95% (humidity), pollution degree 2 Storage: -25°C~70°C (temperature), 5~95% (humidity)						
Agency approvals	UL508 European community EMC Directive 89/336/EEC and Low Voltage Directive 73/23/EEC						
Vibration/shock immunity	International standards: IEC61131-2, IEC 68-2-6 (TEST Fc)/ IEC61131-2 & IEC 68-2-27 (TEST Ea)						
Weight	R: 377g T: 351g	R: 414g T: 387g	R: 489g T: 432g	R: 554g T: 498g	R: 696g T: 614g	R: 462g T: 442g	T: 321g

Input Point				
Input No.	ES200, EX200	X0, X2	X1, X3 ~ X7	X10 ~ X17, X20 ~ ^{#1}
	ES211	X0 ~ X3	X4 ~ X7	
type	Digital Input			
Input type	DC (SINK or SOURCE)			
Input current	24VDC, 5mA			
Input impedance	4.7KΩ			
Max. frequency	100kHz	10kHz	60Hz	
Action level	Off → On	>15VDC		
	On → Off	< 5VDC		
Response time	Off → On	< 2.5μs	< 20μs	< 10ms
	On → Off	< 5μs	< 50μs	< 15ms
Filter time	X0 ~ X7	Adjustable within 0 ~ 20ms in D1020 (Default: 10ms)		

Output Point					
Output point type	Relay-R	Transistor-T			
Output point number	All	Y0, Y2	Y1, Y3	Y4~Y17, Y20~ ^{#1}	
Voltage specification	< 250VAC, 30VDC	5 ~ 30VDC ^{#2}			
Max. frequency	1Hz	100kHz	10kHz	1kHz	
Maximum load	Resistive	2A/1 point (5A/COM)	0.5A/1 point (4A/COM) ^{#4}		
	Inductive	^{#3}	15W (30VDC)		
	Lamp	20WDC/100WAC	2.5W(30VDC)		
Response time	Off → On	Approx .10ms	< 2μs	< 20μs	< 100μs
	On → Off		< 3μs	< 30μs	< 100μs

ANEXO 5

Especificaciones variador de Frecuencia Delta VFD-M

VFD-M Series

Features

Sensorless Vector Micro AC Drive. The compact design is ideal for small and medium horsepower applications. The M drive is designed to provide an ultra-low-noise operation, and includes several innovative technologies that reduce interference.

Specifications

- Output frequency 0.1 ~ 400 Hz
- Adjustable V/f curve and vector control
- Carrier frequency up to 15 kHz
- Auto torque boost & slip compensation
- Built-in PID feedback control
- Built-in MODBUS communication, baud rate up to 38400 bps
- 0 speed holding function
- Built-in sleep / revival function
- Support communication module (DN-02, LN-01, PD-01)



Applications

Packing machine; dumpling machine; treadmill; temperature/humidity control fan for agriculture and aquaculture; mixer for food processing; grinding machine; drilling machine; small size hydraulic lathe; elevator; coating equipment; small size milling machine; robot arm of injection machine (clamp); wood machine (two-side woodworking planer); edge bending machine, elasticizer, etc.

ANEXO 6

Especificaciones Encoder YUMO

1. ELECTRICAL SPECIFICATIONS

- A). Output wave: Square wave
- B). Output signals: A, B, Z, (Line driver output A, A, B, B, Z, Z phase)
- C). Current consumption: $\leq 120\text{mA}$
- D). Response Frequency: 0~100KHz
- E). Output phase difference: 90°
- F.) Supply voltage: 5V DC, 5-12V DC, 12-24V DC
- G). Signal level: $V_{LH} \geq 85\%V_{CC}$, $V_{LD} \geq 0.3V$
- H). Number of pulses: 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 120, 125, 150, 180, 200, 240, 250, 256, 300, 360, 400, 480, 500, 512, 600, 720, 740, 800, 900, 960, 1000, 1024, 1200, 1250, 1440, 1500, 1800, 2000, 2048, 2500 (Other number of pulse available on request)
- I). Output circuit: Open collector NPN, Push pull, Line driver, Voltage

2. MECHANICAL SPECIFICATIONS

- A). Speed without sealing: 5000rpm
- B). Rotor moment of inertia: Appraisal $4.5 \times 10^{-6} \text{Kg}\cdot\text{m}^2$
- C). Starting torque without sealing: $\leq 1.5 \times 10^{-3} \text{Nm}$ (+25°C)
- D). Maximum load permitted on shaft: Radial: 20N; Axial: 10N
- E). Shock resistance: 980m/s^2 , 6ms, 2 times each on XYZ
- F). Vibration proof: 50m/s^2 , 10~200Hz, 2 hours each on XYZ
- G). Working life: MTBF $\geq 25000\text{h}$ (+25°C, 2000rpm)
- H). Weight: Appraisal: 130g (with 1 meter cable)

3. ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

- A). Working humidity: 30~85% (No condensation)
- B). Storage temperature: -40°C~100°C
- C). Working temperature: -25°C~85°C
- D). Protection class: IP54

ANEXO 7

Especificaciones HMI DOPB5S100

DOP-B05S100 / DOP-B05S101

Specifications

- 5.6"(320 x 234 pixels) TFT LCD 65536 colors
- 3 sets of COM ports, support RS232 / RS422 / RS485
- For data transfer/download: RS232, USB
- Supports USB Host, direct connection to USB disk, printer and mouse
- Touch screen complies with IP65
- Supports horizontal / vertical display
- Editing software, DOPSoft is compatible with operating systems: Windows XP, Windows Vista, Windows 7



MODEL	B058100	B058101	B078416	B07E416	B07P8416
Cooling Method	Natural air circulation				
Safety Approval	CE / UL ^(Note 4) / KCC ^(Note 4)				
Waterproof Degree	IP65 / NEMA4				
Operation Voltage ^(Note 2)	DC +24V (-10% ~ +15%) (please use isolated power supply)	DC +24V (-10% ~ +15%) (please use isolated power supply)	DC +24V (-10% ~ +15%) (has built-in isolated power circuit ^(Note 3))	DC +24V (-10% ~ +15%) (please use isolated power supply)	DC +24V (-10% ~ +15%) (please use isolated power supply)
Voltage Endurance	AC500V for 1 minute (between charging (DC24V terminal) and FC terminals)				
Power Consumption ^(Note 4)	3.0W	5W	7.5W	5W	5W
Backup Battery	3V lithium battery CR2032 x 1				
Backup Battery Life	It depends on the temperature used and the conditions of usage, about 3 years or more at 25°C.				
Operation Temp.	0°C ~ 50°C				
Storage Temp.	-20°C ~ +60°C				
Ambient Humidity	10% ~ 90% RH [0 ~ 40°C], 10% ~ 55% RH [41 ~ 50°C] Pollution Degree 2				
Vibration	IEC 61131-2 compliant 5Hz ≤ f < 8.3Hz = Continuous: 3.5mm, 8.3Hz ≤ f ≤ 150Hz = Continuous: 1.0g				
Shock	IEC 60068-2-27 compliant 15g peak for 11 ms duration, X, Y, Z directions for 6 times				
Dimensions (W) x (H) x (D) mm	184 x 144 x 50		215 x 161 x 50		
Panel Cutout (W) x (H) mm	172.4 x 132.4		196.9 x 142.9		
Weight	Approx.670g		Approx.970g		

ANEXO 8

Especificaciones Coupling

Coupling



Flexible precise coupling is a component which connects a shaft and an encoder and has flexibility.

Main features as below:

- Good rigidity for anti-torsion
- Small shaft imbalance
- To be able to absorb small shaft axial movement

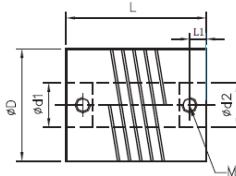
Flexible coupling also has good balance for rotation, it does not have the critical point which breaks a shaft, and there is no friction at all. Even though there is movement imbalance for the movement between shafts or the central line of one shaft does not aim at the other, the coupling also can transfer rotation perfectly. No maintenance in any form is required for this coupling because it has inside clearance, the min. allowable distance is 6.12mm between two shaft when connection.

Note: Dimension in British system for reference: A1=6.35mm A2=9.525mm A3=12.7mm

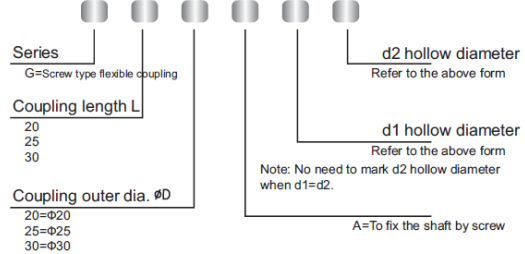
Screw type flexible coupling

Order model	Φd1/Φd2 Shaft dia.	ΦD	L	L1	Torque	Offset angle	Max. speed	Screw (M)
G20/20A□□□□	3 4 5 6 6.35(A1)	20	20	2.55	0.8N.m	1°	8000r/min	M3
G25/25A□□□□	5 6 6.35(A1) 8 9.525(A2) 10	25	25	3.55	1.8N.m	1°	8000r/min	M4
G30/30A□□□□	6 8 9.525(A2) 10 12 12.7(A3)	30	30	4.15	2.7N.m	1°	8000r/min	M5
G38/38A□□□□	8 9.525(A2) 10 12 12.7(A3) 14 15	38	38	4.15	6.3N.m	1°	8000r/min	M5
G50/50A□□□□	12 12.7(A3) 14 15 16 18 19	50	50	5.25	19.5N.m	1°	8000r/min	M6

Dimension:



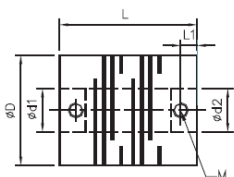
Order model: G 30 / 30 A 6 / 8



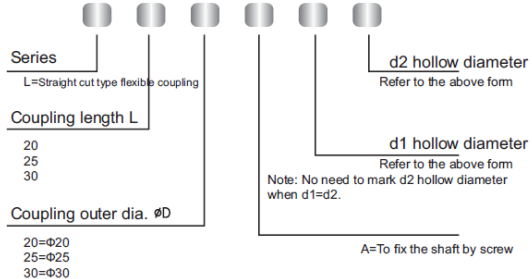
Straight cut type flexible coupling

Order model	Φd1/Φd2 Shaft dia.	ΦD	L	L1	Torque	Offset angle	Max. speed	Screw (M)
L20/20A□□□□	3 4 5 6 6.35(A1)	20	20	2.55	1.2N.m	1°	8000r/min	M3
L25/25A□□□□	5 6 6.35(A1) 8 9.525(A2) 10	25	25	3.55	1.7N.m	1°	8000r/min	M4
L30/30A□□□□	6 8 9.525(A2) 10 12 12.7(A3)	30	30	4.15	2.3N.m	1°	8000r/min	M5
L38/38A□□□□	8 9.525(A2) 10 12 12.7(A3) 14 15	38	38	4.15	6.5N.m	1°	8000r/min	M5
L50/50A□□□□	12 12.7(A3) 14 15 16 18 19	50	50	5.25	12N.m	1°	8000r/min	M6

Dimension:

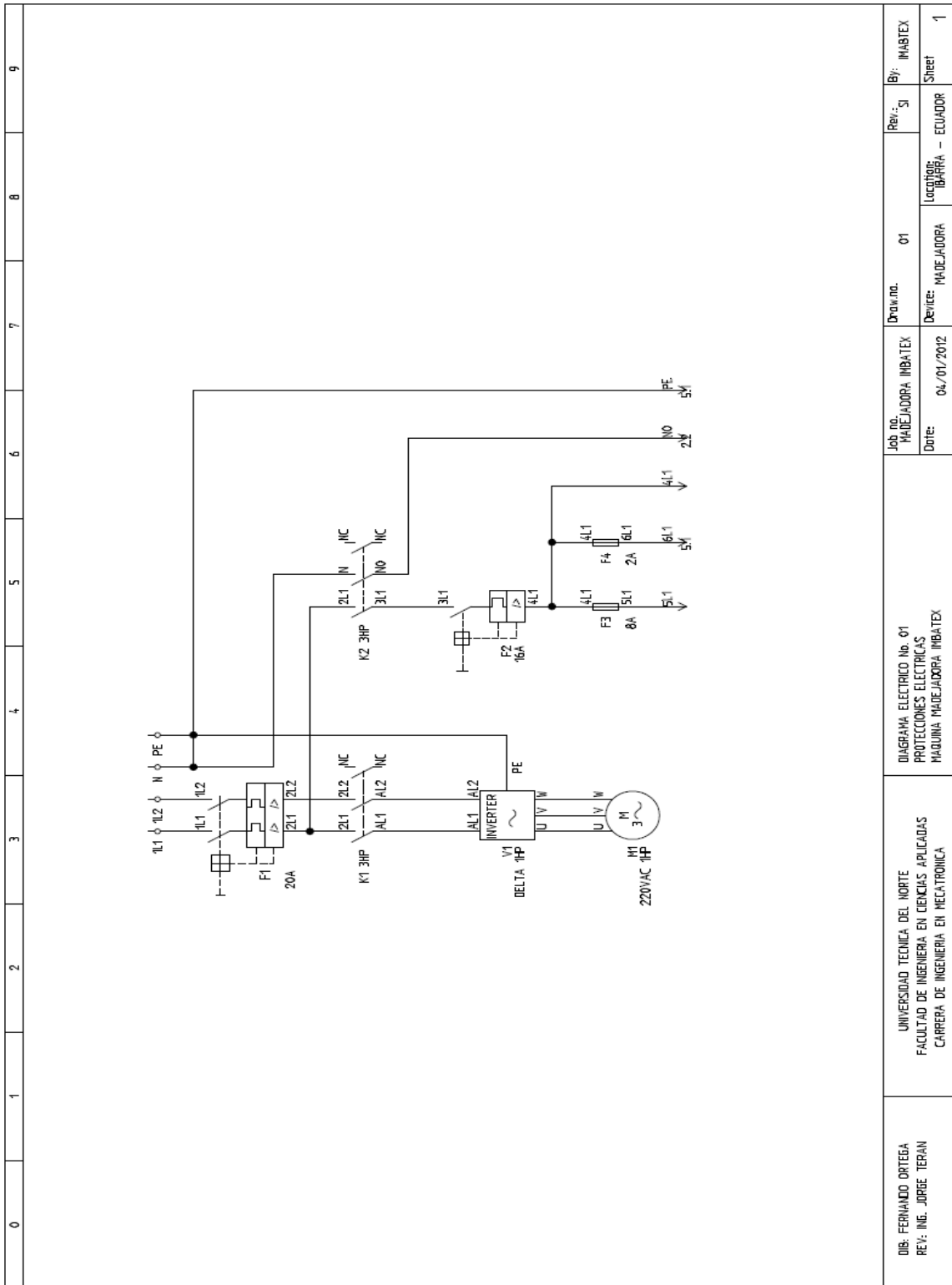


Order model: L 30 / 30 A 8 / 10



ANEXO 9

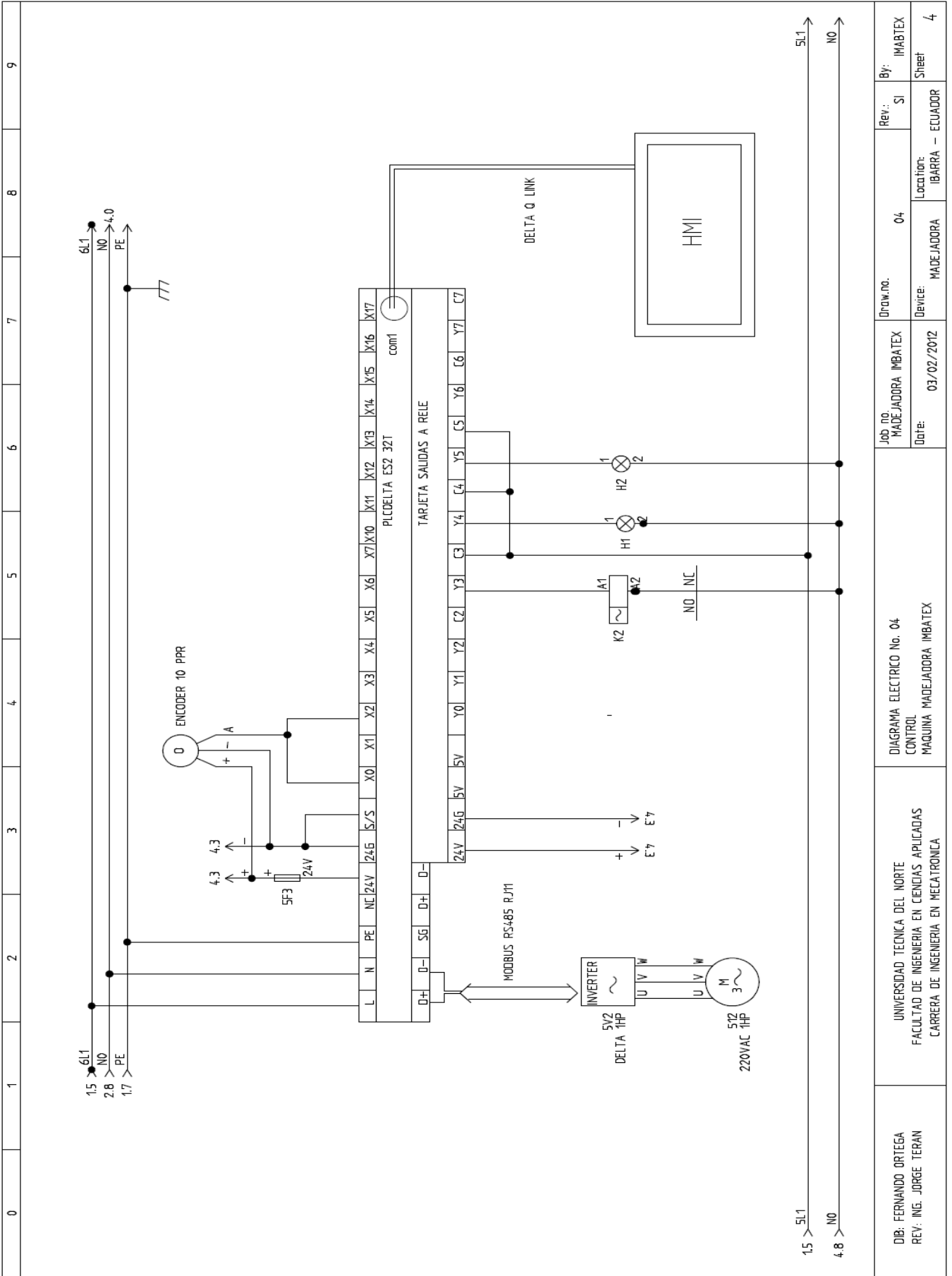
Planos Eléctricos y de Control



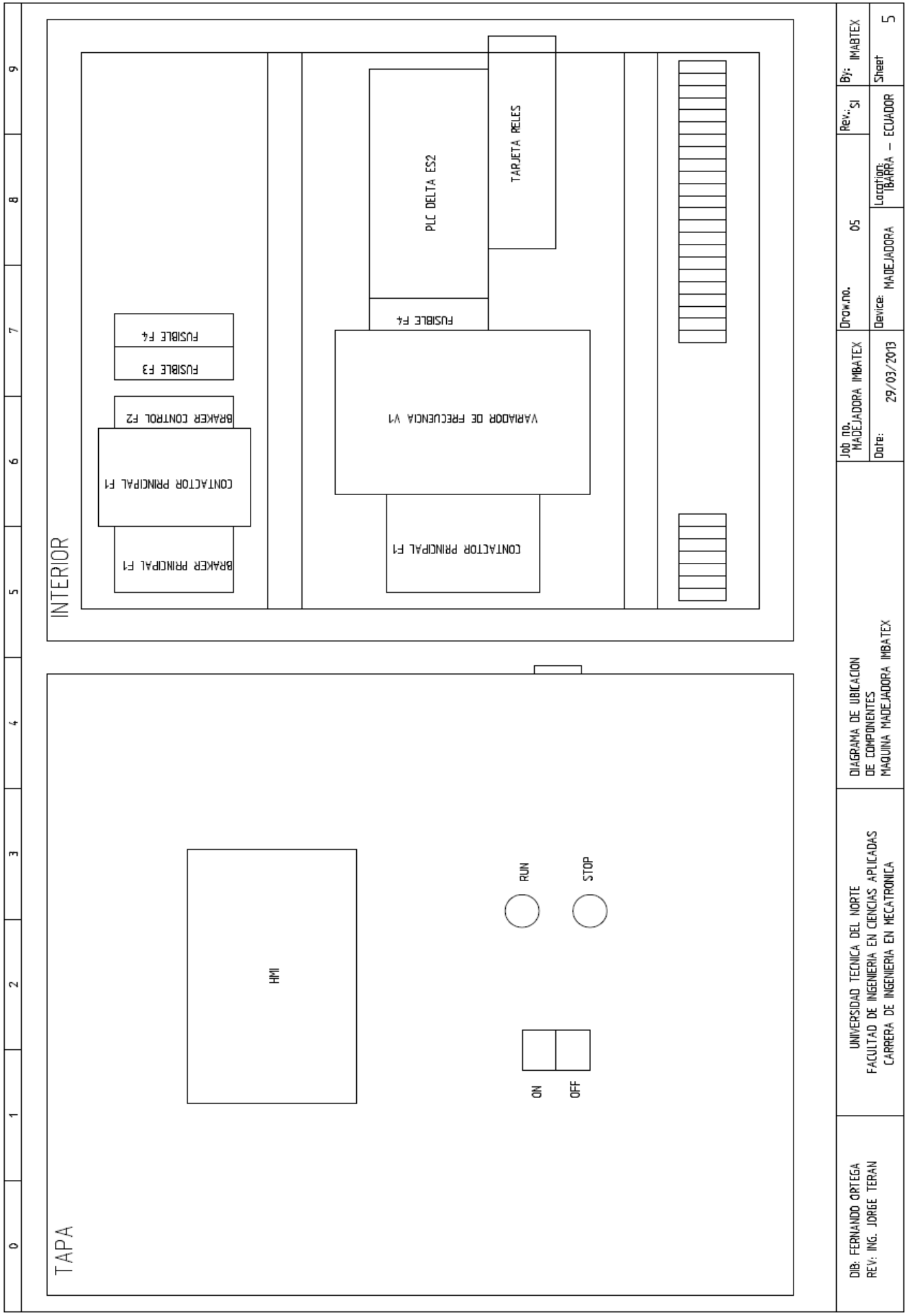
DIB: FERNANDO ORTEGA REV: ING. JORGE TERAN	UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERIA EN MECATRONICA	DIAGRAMA ELECTRICO No. 01 PROTECCIONES ELECTRICAS MAQUINA MADEJADORA IMBATEX	Job no. MADEJADORA IMBATEX Date: 04/01/2012
			By: IMBATEX Rev.: SI Location: IBARRA - ECUADOR Draw.no. 01 Device: MADEJADORA Sheet 1

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<p style="text-align: center;">SALIDAS PLC</p> <p>The diagram illustrates the output circuitry of a PLC. It features a +24V DC supply connected to a common terminal '2'. Two relays, Y0 and Y1, are shown with their common terminals connected to the supply. Relay Y0 has a normally open contact (NO) and a normally closed contact (NC). Relay Y1 has a normally open contact (NO). Below these, eleven solenoid coils (Y3 through Y11) are connected to the supply through various interlocking contacts. Each coil is controlled by a normally open contact (NO) and a normally closed contact (NC). The interlocking contacts include: Y3 (1Y3-411, 2Y3-11, 1Y4-1), Y4 (1Y4-1, 2Y4-1, 1Y5-1), Y5 (1Y5-1, 2Y5-1, 1Y6-1), Y6 (1Y6-1, 2Y6-1, 1Y7-1), Y7 (1Y7-1, 2Y7-1, 1Y10-1), Y10 (1Y10-1, 2Y10-1, 1Y11-1), and Y11 (1Y11-1, 2Y11-1).</p>										
DIB: FERNANDO ORTEGA REV: ING. JORGE TERAN			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERIA EN MECATRONICA				DIAGRAMA ELECTRICO No. 03 TARJETA DE RELES MAQUINA MADEJADORA IMBATEX			Job no. MADEJADORA IMBATEX
							Date: 05/01/2012		Draw.no. 03	Rev.: SI
							Device: MADEJADORA		Location: IBARRA -- ECUADOR	By: IMBATEX Sheet 3

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DIB: FERNANDO ORTEGA REV: ING. JORGE TERAN	UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERIA EN MECATRONICA	DIAGRAMA ELECTRICO No. 02 ENCLAVAMIENTO DE ENERGIZADO MAQUINA MADEJADORA IMBATEX			JOB. NO. MADEJADORA IMBATEX	Draw. no. 02	REV.: SI	By: IMBATEX	
		Date: 05/01/2012	Device: MADEJADORA	Location: IBARRA - ECUADOR	Street 2				



DIB: FERNANDO ORTEGA REV: ING. JORGE TERAN	UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERIA EN MECATRONICA	DIAGRAMA ELECTRICO No. 04 CONTROL MAQUINA MADEJADORA IMBATEX	Job no. MADEJADORA IMBATEX Date: 03/02/2012	Draw.no. 04 Device: MADEJADORA	Rev.: SI Location: IBARRA - ECUADOR	By: IMABTEX Sheet 4
---	---	--	---	--------------------------------------	---	------------------------------

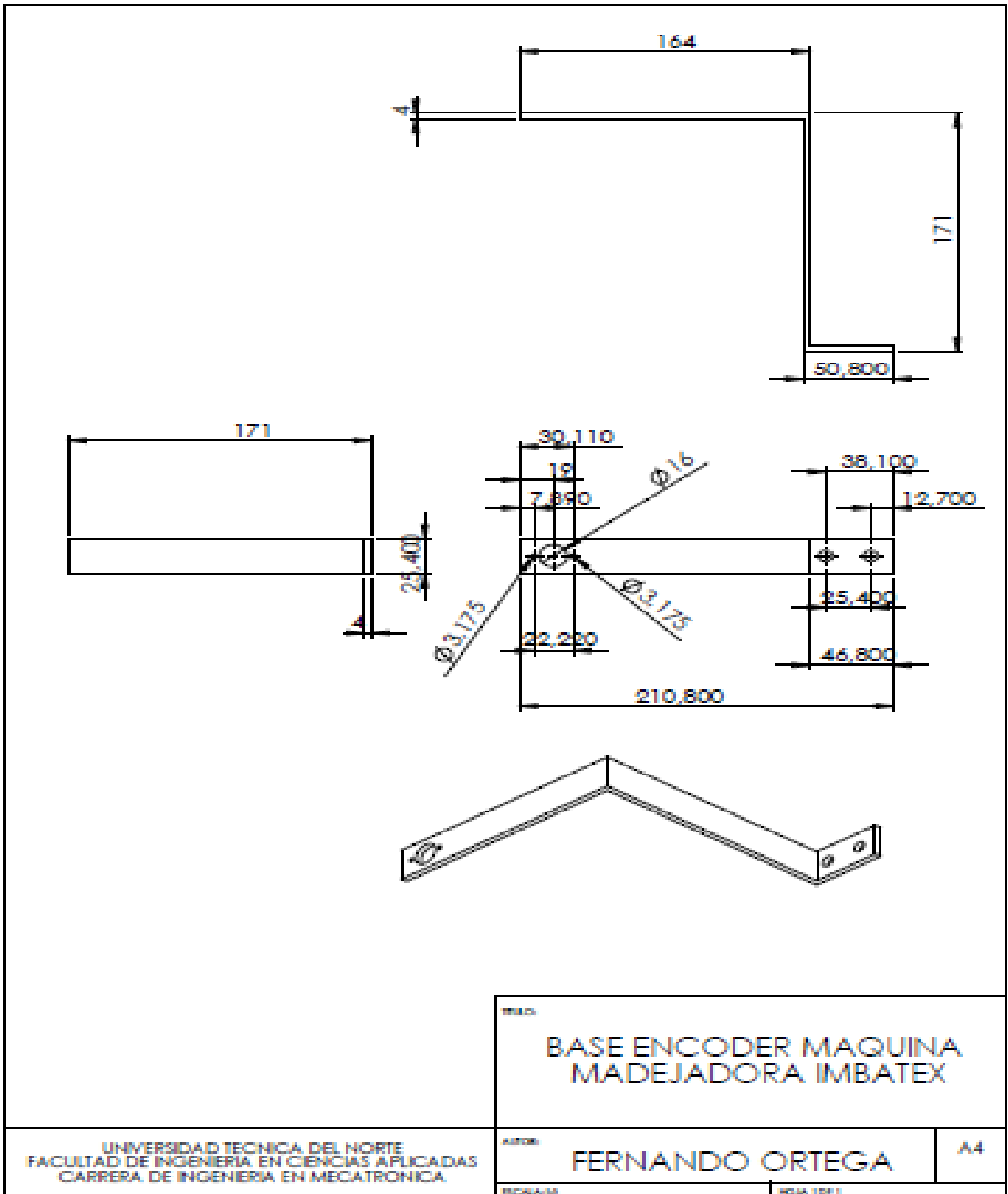


ANEXO 10

Marcas y Registros PLC

DESCRIPCION/ FUNCION	MARCA/REGISTRO
ON PLC en RUN	M1000
Activa Variador	Y3
ON Primer Ciclo SCAN	M1002
Habilita del COM2 Modbus	D1125
Configura del COM2 Modbus	D1126
Configura del COM2 Modbus	D1127
Configura del COM2 Modbus	D1128
Configura del COM2 Modbus	D1120
Configura del COM2 Modbus	M1143
Configura del COM2 Modbus	M1121
Habilita del COM1 RS232	D1121
Velocidad Variador	D10
contador 244 tipo Reset	M1244
ON habilita escritura modbus COM2	M1122
pause HMI	M2
Flag finaliza madejado	M3
Paro HMI	M1
Cambio de Frecuencia HMI	M21
Desaceleración 10 Hz	M100
INT peso	D95
FLOAT peso	D195
INT titulo	D85
FLOAT titulo	D185
INT perímetro	D90
FLOAT perímetro	D190
19.506	D105
Registro Auxiliar	D110
Registro Auxiliar	D115
Registro Auxiliar	D120
Registro Auxiliar	D125
Registro Auxiliar	D225
Registro Auxiliar	D230
Registro Auxiliar	D154
Registro Auxiliar	D200
Contador de Vueltas	C0
Contador Rápido Total	C243
Contador Rápido 1 vuelta antes	C244
Flag RUN	M6
Timer Auxiliar	T0
Timer Auxiliar	T1

ANEXO 11
Plano Base Encoder



ANEXO 12

Manual de Operación MANUAL DE OPERACIÓN

Existen dos tipos de hilo a madejarse los predeterminados que son: Lana 1.5, Lana1.8, Alpaca 1.45, Lana Moliné 0.6, Lana Bucle 1.1, Acrílico Moliné 2.5 y Acrílico Buclé 3.8, los cuales tiene un título y velocidad definido por cálculos y experiencia que la empresa tiene en la fabricación de estos hilos, el otro tipo de hilo sería un hilo nuevo o que tenga características diferentes a los predeterminados.

Pasos generales

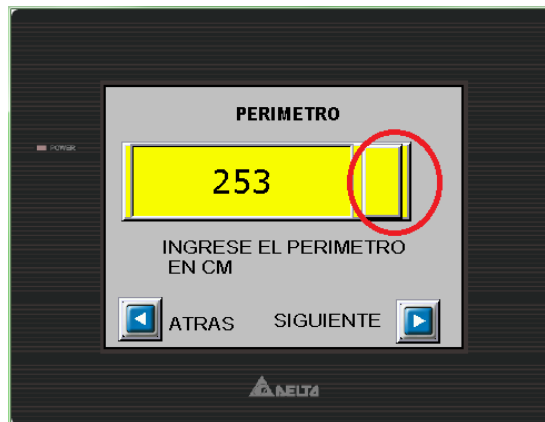
Prenda el equipo presionando el botón verde en el frente del tablero de control y bajo la pantalla de operación y asegúrese que el botón de emergencia tipo hongo ubicado a un lado del tablero de control no este presionado, si lo está gírelo 90 grados para que vuelva a su posición normal, debe observar que la pantalla HMI se prende.

Al final del madejado apague el equipo presionando el botón rojo junto al botón de encendido verde.

Si existe alguna emergencia y desea apagar abruptamente la máquina puede presionar el botón de emergencia tipo hongo o el botón rojo de apagado.

Para ingresar valores numéricos presione en el botón junto al cuadro de valor numérico, señalado en la figura 78 en una circunferencia roja.

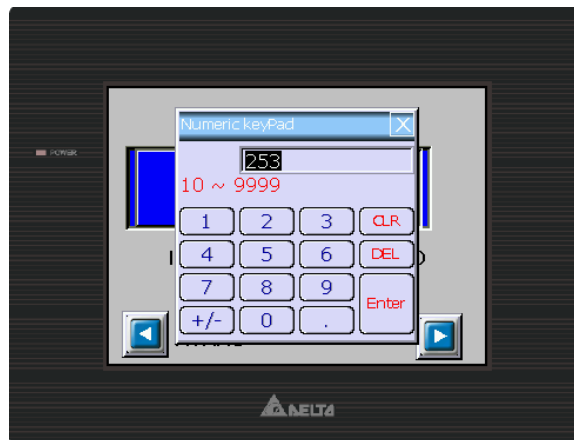
Figura 77. Botón de Ingreso de valores numéricos



Fuente: Autor.

Se despliega un teclado con el cual ingresaremos el valor deseado (figura 79).

Figura 78. Ingreso de valores por teclado

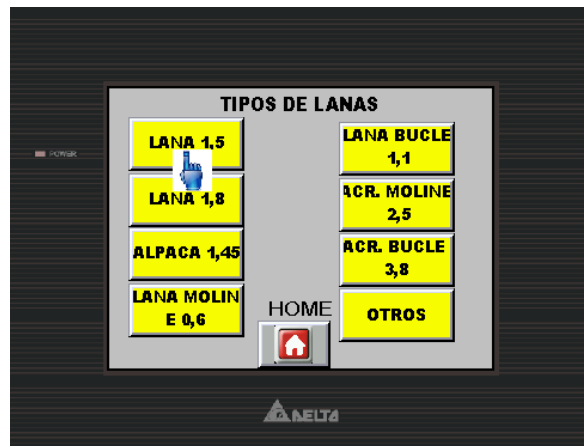


Fuente: Autor

Pasos para la operación con Hilos Predeterminados

- Luego de prender la máquina, verifique el tipo de hilo que va a madejar y presione el botón correspondiente en la pantalla Tipos de Lanás (Figura 80).

Figura 79. Pantalla de Tipos de Lanás



Fuente: Autor

- Al presionar el botón automáticamente nos mostrara la pantalla de configuración de perímetro del biombo, ingrese le valor en cm, y presione en el botón siguiente (Figura 81).

Figura 80. Configuración del perímetro



Fuente: Autor

- Se mostrara la pantalla peso donde especificaremos el peso en gramos que deseamos obtener, y presionamos siguiente.

- Se mostrara la pantalla de verificación donde podremos verificar los parámetros ingresados, luego de verificar podemos presionar atrás para rectificar parámetros o podemos presionar el botón RUN, con el cual se despliega una pequeña ventana de confirmación (figura 82), si presionamos SI comenzara el proceso, si presionamos NO volvemos a la pantalla de confirmación.

Figura 81. Pantalla de confirmación



Fuente: Autor

- Luego se despliega la pantalla de proceso donde podremos pausar el proceso, abortar el proceso, volver a iniciar en caso de que este en pause, podremos cambiar la velocidad y ver en el indicador cuando se haya terminado el madejado (Figura 83)

Figura 82. Pantalla de Proceso o Producción



Fuente: Autor

Pasos para madejar un Hilo nuevo

- Obtener el número métrico del hilo, midiendo 10 metros de hilo y pesándolo así el número métrico o título será la relación o división entre la longitud en metros y el peso en gramos (Ecuación 6)

Ecuación 6. Título numero Métrico de un hilo

$$Título = \frac{Longitud(m)}{Peso (gr)}$$

Fuente: Autor.

Ejemplo:

Longitud = 10 metros

Peso = 7.5 gramos

$$Título = \frac{10}{7.5} = 1.33$$

- Luego de saber el título del hilo a madejar, y encendida la máquina escoger en la pantalla Tipos de Lanas “OTROS”, e ingresar los parámetros extras título y velocidad, se recomienda comenzar con velocidades bajas e ir subiendo la velocidad dependiendo del grosor y la resistencia del hilo.
- Posteriormente llenamos los parámetros Perímetro y Peso de igual forma que en los hilos predeterminados.
- A continuación verificamos y presionamos el botón “RUN”, para entrar en producción.