



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

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

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

**TEMA: MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE
LA MÁQUINA DE CARDADO RIETER C50 PARA EL
PROCESO DE HILATURA EN LA EMPRESA TEXTILES DEL
VALLE S.A.**

AUTOR: LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS MAURICIO

DIRECTOR: ING. ORTIZ HUGO

SANGOLQUÍ

2016



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACION Y
CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *“MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA DE CARDADO RIETER C50 PARA EL PROCESO DE HILATURA EN LA EMPRESA TEXTILES DEL VALLE S.A.”*, realizado por el señor *LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS MAURICIO*, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti – plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor *LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS MAURICIO* para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 9 de Noviembre del 2016

Ing. Ortiz Hugo

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACION Y
CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS MAURICIO**, con cédula de identidad 1716607922, declaro que este trabajo de titulación ***“MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA DE CARDADO RIETER C50 PARA EL PROCESO DE HILATURA EN LA EMPRESA TEXTILES DEL VALLE S.A.”***, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose con las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 9 de Noviembre del 2016

Carlos Mauricio López Martínez

C.C 1716607922



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, **LÓPEZ MARTÍNEZ CARLOS MAURICIO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA DE CARDADO RIETER C50 PARA EL PROCESO DE HILATURA EN LA EMPRESA TEXTILES DEL VALLE S.A.”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 9 de Noviembre del 2016

Carlos Mauricio López Martínez

C.C 1716607922

DEDICATORIA

Este logro lo dedico principalmente a toda mi familia, amigos y personas especiales en mi vida.

De manera especial quiero dedicarles este logro a mi padre, Carlos López Bustamante, por haberme forjado como la persona que soy ahora, su aliento fue mi motivación para alcanzar mis anhelos.

Y a mi abuelo Washington Martínez, por nunca rendirse en los momentos más duros de la vida. De ti he aprendido a no botar la toalla por más difícil que se pongan las cosas, eres realmente un gran ejemplo de persona siempre atento y cariñoso con todos nosotros. Cuando tenga tu edad, quiero ser así de sabio como tú.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios por llenarme de bendiciones y haberme dado las fuerzas necesarias en el día a día para culminar esta etapa en mi formación académica.

A mis padres Carlos y María Isabel, que son mi ejemplo a seguir por todo su esfuerzo, dedicación y constancia. Durante toda mi vida me han enseñado que con trabajo duro y mucho empeño se puede lograr cualquier meta que te propongas.

A mis hermanos Pedro y Gaby, por su motivación y palabras de aliento. Los dos son realmente el reflejo del sacrificio duro y de lucha por cumplir sus ideales. Me han enseñado a no rendirme jamás a pesar de las adversidades. Y por eso, les estoy muy agradecido.

A mi novia Denisse por ser mi luz en mis momentos de oscuridad. Tú siempre fuiste capaz de levantarme en esos ratos cuando ni yo me podía encontrar. Eres mi motivación para ser alguien mejor, alguien de bien. La verdad no lo habría logrado sin ti. Muchas gracias, amor.

A mi abuelo Washington, por darme esos sabios consejos que me han permitido superar varios retos y obstáculos que se han presentado en mi vida. Eres mi alegría y mi apoyo, contigo me entiendo como nadie más en este mundo. Gracias por todo.

Al Ing. Mauricio Iza, por su valioso apoyo para solventar mis dudas en gran parte del proyecto. Gracias por compartir esos conocimientos. He aprendido mucho de ti, eres una excelente persona.

A mis amigos incondicionales gracias por esa sincera amistad. Con ustedes hemos compartido difíciles y gratos momentos en la universidad.

A todos quienes formaron parte de este proyecto tanto en la dirección como en el desarrollo del mismo.

Este nuevo logro es en gran parte gracias a todos ustedes; he logrado concluir con éxito esta etapa académica y ahora es tiempo de continuar con las siguientes metas en mi vida.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE	vi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	4
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4. ALCANCE	6
CAPÍTULO II	8
MARCO DE REFERENCIA	8
2.1. INTRODUCCIÓN.....	8
2.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE HILATURA.....	9
2.2.1. APERTURA Y LIMPIEZA	10
2.2.2. CARDADO	13
2.2.3. ESTIRAJE.....	15
2.2.4. HILADORAS.....	15
2.3. PROPIEDADES DE LA FIBRA E IMPORTANCIA EN EL PROCESO TEXTIL	16
2.3.1. FIBRAS NATURALES	17
2.3.1.1. ALGODÓN	17
2.3.2. FIBRAS SINTÉTICAS	19
2.3.2.1. POLIÉSTER.....	19
2.3.2.2. POLIALGODÓN Y POLIPEINADO.....	20
2.3.3. PARÁMETROS DE FIBRAS TEXTILES	21
2.3.3.1. TEMPERATURA	22

2.3.3.2. HUMEDAD	22
2.3.3.2.1. INFLUENCIA DE LA HUMEDAD EN LOS PROCESOS	23
TEXTILES	23
2.4. PROCESO DE CARDADO	24
2.4.1. CARDADO	24
2.4.2. MATERIAL ENTRANTE	24
2.4.3. MATERIAL SALIENTE	25
2.4.4. DEFECTOS EN EL CARDADO Y CAUSAS	26
2.4.4.1. CAUSAS DIRECTAS	28
2.4.4.2. CAUSAS INDIRECTAS	28
2.4.5. MÁQUINA CARDA	28
2.4.5.1. ZONAS PRINCIPALES DE LA MÁQUINA CARDA	30
2.4.5.1.1. ZONA DE ALIMENTACIÓN	30
2.4.5.1.2. ZONA DE CARDADO	30
2.4.5.2. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CARDADO	31
2.4.5.2.1. AEROFEED O SILO	33
2.4.5.2.2. ALIMENTADOR / TOMADOR	34
2.5. CONTROL DE CALIDAD	37
2.5.1 EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD	38
2.5.1.1. USTER TESTER 4 - SE	38
2.5.1.2. BÁSCULA O BALANZA DE MEDICIÓN	39
CAPÍTULO III	41
DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	41
3.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	41
3.2. ANÁLISIS PREVIO	42
3.2.1. DIMENSIONAMIENTO DE DISPOSITIVOS EN LA MÁQUINA	42
3.2.1.1. ESPECIFICACIÓN DE ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS PREVIO A LA MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA	42
3.3. ALIMENTACIÓN PRINCIPAL	50
3.3.1. DIAGRAMA UNIFILAR DE ACOMETIDA PRINCIPAL	52
3.5. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL	52
3.5.1. CONSIDERACIONES PARA EL SISTEMA DE CONTROL	58
3.6. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE	59
3.6.1. SELECCIÓN DEL AUTÓMATA PROGRAMABLE	67

3.6.2. MÓDULO DE LECTURA ENCODER CD522	69
3.6.3. MÓDULO DE ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS AX561	70
3.6.4. MÓDULO DE ENTRADAS DIGITALES DI524	71
3.6.5. MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES DO524	72
3.7. PANTALLA DEL OPERADOR	73
3.8. CONEXIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS AL SISTEMA	74
3.8.1. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE MÓDULOS Y ENTRADAS	75
3.8.2. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE SALIDAS	78
3.9. DISEÑOS DE CIRCUITOS DE POTENCIA	79
3.10. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL	80
3.10.1. CIRCUITO DE POTENCIA	82
3.10.1.1. VARIADORES DE FRECUENCIA	82
3.11. TABLERO DE CONTROL	88
3.11.1. DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS	89
CAPÍTULO IV	91
DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL	91
4.1. MODO DE OPERACIÓN	91
4.2. FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO	92
4.3. SOFTWARE DE CONTROL	96
4.4. PROGRAMACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DEL PLC	97
4.4.1. DIAGRAMA DE FLUJO	98
4.4.2. PROGRAMACIÓN DEL PLC	102
4.4.3. BLOQUES DE CONTROL	110
4.4.3.1. BLOQUE DE LINEALIZACIÓN	110
4.4.3.2. BLOQUE DE LECTURA ENCODER	111
4.4.3.3. BLOQUE RAMPA	112
4.4.4. CONTROL DE NIVEL	112
4.4.4.1. FORMA DE TRABAJO	114
4.4.5. CONTROL DE VELOCIDAD	117
4.4.5.1. TAMBOR	118
4.4.5.2. SALIDA/PEINADOR	121
4.4.5.3. ALIMENTADOR/TOMADOR	126
4.4.6. COMUNICACIÓN DE DATOS PLC CON PANTALLA HMI	132
4.5. PROGRAMACIÓN VARIADORES DE FRECUENCIA	134

4.5.1. PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN	135
4.6. DESARROLLO Y CONFIGURACIÓN DEL HMI.....	142
4.6.1. FUNCIONES DEL HMI.....	142
4.6.2. ARQUITECTURA DEL HMI	143
4.6.3. CONFIGURACIÓN DEL HMI EN EASYBUILDER 8000	144
4.6.4. DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DE LAS HMI	144
4.6.4.1. VENTANA PRINCIPAL.....	145
4.6.4.2. VENTANA DE CONFIGURACIONES	145
4.6.4.3. VENTANA DE SELECCIÓN PARÁMETROS DE TRABAJO.....	146
4.6.4.4. VENTANA DE SEGURIDADES	147
4.6.4.5. VENTANA DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN	147
4.6.4.6. VENTANA DEL SISTEMA DEL ALIMENTADOR	148
4.6.4.7. VENTANA DEL SISTEMA DEL TAMBOR.....	149
4.6.4.8. VENTANA DEL SISTEMA DE SALIDA	149
4.6.4.9. VENTANA DEL SISTEMA DEL SILO	150
CAPÍTULO V	153
IMPLEMENTACIÓN	153
5.1. MONTAJE DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	153
5.1.1 MONTAJE DE ELEMENTOS EN TABLERO PRINCIPAL	153
5.2. MONTAJE DEL VARIADOR DE FRECUENCIA	154
5.3. MONTAJE DEL PLC	157
5.4. MONTAJE DE LA PANTALLA HMI.....	160
5.5. MONTAJE DEL SENSOR REFLECTIVO	161
5.2. MONTAJE DE ELEMENTOS MECÁNICOS	162
5.2.1. MONTAJE DE PUERTA EN EL SILO	162
5.2.2. ACABADOS Y MANTENIMIENTO.....	164
5.3. PUESTA EN MARCHA Y ETIQUETADO	165
CAPÍTULO VI	171
PRUEBAS Y RESULTADOS	171
6.1. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA MECÁNICO.....	172
6.1.1. CATARINA REEMPLAZADA EN EL SISTEMA TOMADOR.....	172
6.2. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	173

6.2.1.	PRUEBAS Y RESULTADOS DE PULSADORES E INTERRUPTORES	174
6.2.2.	PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PANEL DE CONTROL	174
6.2.3.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SENSORES INDUCTIVOS DEL ALIMENTADOR / TOMADOR.....	175
6.2.4.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO SENSOR ENCODER	176
6.3.	PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	178
6.3.1.	PRUEBAS Y RESULTADOS EN LA COMUNICACIÓN MODBUS	178
6.3.2.	PRUEBAS Y RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA PANTALLA HMI.....	179
6.4.	PRUEBAS Y RESULTADOS DEL CONTROL DE NIVEL DEL SILO	179
6.5.	PRUEBAS Y RESULTADOS DEL CONTROL DE VELOCIDAD	181
6.6.	PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA COMPLETO DE CARDADO	183
6.6.1.	PRUEBAS DE PESO EN LA CINTA FINAL PRODUCIDA.....	183
6.6.2.	PRUEBAS DE CALIDAD EN LA CINTA FINAL PRODUCIDA .	193
6.7.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA MÁQUINA DESPUES DE LA MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	200
CAPÍTULO VII.....		202
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		202
7.1.	CONCLUSIONES.....	202
7.2.	RECOMENDACIONES	203
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		204
ANEXOS		206

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Hilos de poliéster</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2 Telas 100% poliéster.....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 3 Proyecto Hilando el Desarrollo.....</i>	<i>3</i>
<i>Figura 4 Proceso de hilatura.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 5 Zona de apertura de las pacas de materia prima</i>	<i>11</i>
<i>Figura 6 Algodón con suciedad en el proceso de apertura.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 7 Máquina abridora de pacas de poliéster.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 8 Máquina balanza (Izquierda: Algodón Derecha: Poliéster).....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 9 Sistema de ductos turbinados desde la apertura</i>	<i>13</i>
<i>Figura 10 Sistema de ductos turbinados hacia las máquinas cardas.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 11 Máquina de cardado</i>	<i>14</i>
<i>Figura 12 Manuar o máquina de estiraje</i>	<i>15</i>
<i>Figura 13 Hiladoras</i>	<i>16</i>
<i>Figura 14 Planta de algodón</i>	<i>18</i>
<i>Figura 15 Fibra de poliéster.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 16 Proceso de cardado</i>	<i>24</i>
<i>Figura 17 Materia prima o napa</i>	<i>25</i>
<i>Figura 18 Cinta o manto a la salida de la máquina de cardado.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 19 Botes llenos de cinta producida por la máquina de cardado</i>	<i>26</i>
<i>Figura 20 Neps formados en la formación del hilo</i>	<i>27</i>
<i>Figura 21 Vista frontal de la máquina carda C 50.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 22 Vista externa de la máquina carda C 50.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 23 Guarnición de la máquina carda.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 24 Vista interna lateral de la máquina carda C50 con sus componentes.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 25 Silo lleno de material en la entrada de la máquina carda C50.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 26 Tolva de alimentación vacía (izq) y con el material uniforme (der).</i>	<i>34</i>
<i>Figura 27 Cilindro gran Tambor.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 28 Cilindro de salida / peinador.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 29 Botes llenos de cinta producida por la máquina carda.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 30 Cinta con gran cantidad de grumos producida en la carda.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 31 Equipo USTER TESTER 4 – SE.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 32 Báscula o balanza de medición.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 33 Diagrama unifilar</i>	<i>51</i>
<i>Figura 34 Circuito de control para las seguridades</i>	<i>53</i>
<i>Figura 35 PLC ABB gama AC500 modelo PM573</i>	<i>68</i>
<i>Figura 36 PLC ABB gama AC500 modelo PM573</i>	<i>69</i>
<i>Figura 37 Módulo de lectura encoder modelo CD522.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 38 Módulo de entradas/salidas analógicas modelo AX561.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 39 Módulo de entradas digitales modelo DI524.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 40 Módulo de salidas digitales modelo DO524.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 41 Pantalla WEG modelo MT8070Ip</i>	<i>74</i>
<i>Figura 42 Conexión módulos de entradas y salidas digitales.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 43 Circuito de Potencia Silo, Alimentador, Tambor y Peinador.....</i>	<i>81</i>

<i>Figura 44</i>	<i>Arquitectura del sistema de control para el proceso de cardado.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 45</i>	<i>Distribución de dispositivos electrónicos en el Tablero Principal.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 46</i>	<i>Modo de operación de la máquina carda</i>	<i>93</i>
<i>Figura 47</i>	<i>Esquema de control de la máquina Carda C 50.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 48</i>	<i>Entorno CoDeSys.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 49</i>	<i>Entorno AUTOMATION BUILDER PLUS.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 50</i>	<i>Red montada con topología en estrella.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 51</i>	<i>Procedimiento para producción de cinta en la máquina Carda parte A</i>	<i>100</i>
<i>Figura 52</i>	<i>Procedimiento para producción de cinta en la máquina Carda parte B</i>	<i>101</i>
<i>Figura 53</i>	<i>Diagrama Ladder.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 54</i>	<i>Bloques del programa.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 55</i>	<i>Llamado a los bloques de función.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 56</i>	<i>Función cambio de botes</i>	<i>103</i>
<i>Figura 57</i>	<i>Lectura encoder Tambor bloque CD522</i>	<i>104</i>
<i>Figura 58</i>	<i>Arranque tambor e inicio de aspiración local.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 59</i>	<i>Encerar metraje acumulado</i>	<i>105</i>
<i>Figura 60</i>	<i>Disminución y aumento de la tasa de cambio.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 61</i>	<i>Revoluciones plenas 450 RPM para el material 1.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 62</i>	<i>Programación bloque de linealización LIN_TRAFO</i>	<i>106</i>
<i>Figura 63</i>	<i>Bloque de configuración RAMP_INT</i>	<i>107</i>
<i>Figura 64</i>	<i>Verificación del estado del sistema Alimentador y Salida OK.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 65</i>	<i>Paro en la alimentación por napa muy delgada.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 66</i>	<i>Linealización de sensores analógicos con el bloque LIN_TRAFO.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 67</i>	<i>No hay materia prima en el silo.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 68</i>	<i>Mover a cero el setpoint de referencia Drive Tambor.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 69</i>	<i>Condición de paro en la producción por puerta abierta.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 70</i>	<i>Condiciones para el despliegue de mensajes en pantalla HMI.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 71</i>	<i>Bloque LIN_TRAFO.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 72</i>	<i>Bloque CD522_FREQ_SCAN.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 73</i>	<i>Bloque RAMPA_INT.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 74</i>	<i>Parámetros de entrada y salida al control de nivel.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 75</i>	<i>Procedimiento para el control de nivel en el Silo.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 76</i>	<i>Referencia setpoint rampa de control del silo de la máquina</i>	<i>116</i>
<i>Figura 77</i>	<i>Referencia setpoint a diferentes condiciones de trabajo del silo.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 78</i>	<i>Referencia del setpoint de entrada al bloque rampa del silo.</i>	<i>117</i>
<i>Figura 79</i>	<i>Parámetros de entrada y salida al control de velocidad Tambor</i>	<i>118</i>
<i>Figura 80</i>	<i>Bloque de lectura encoder para el cilindro Tambor</i>	<i>118</i>
<i>Figura 81</i>	<i>Bloque de división 14 pulsos encoder Tambor</i>	<i>119</i>
<i>Figura 82</i>	<i>Condición revoluciones plenas de trabajo.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 83</i>	<i>Comparación setpoint ingresado y valor actual encoder Tambor</i>	<i>120</i>
<i>Figura 84</i>	<i>Subir la velocidad cilindro Tambor.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 85</i>	<i>Bajar la velocidad cilindro Tambor.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 86</i>	<i>Condición de estabilidad Setpoint deseado cilindro Tambor.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 87</i>	<i>Configuración pasos de control bloque rampa cilindro Tambor</i>	<i>121</i>
<i>Figura 88</i>	<i>Condición de paro por patinaje en la banda cilindro Tambor.....</i>	<i>121</i>

<i>Figura 89 Lazo cerrado de control de velocidad para el cilindro Alimentador</i>	122
<i>Figura 90 Bloque de lectura encoder para el cilindro Salida/Peinador.....</i>	123
<i>Figura 91 Bloque de división 12 pulsos encoder Salida/Peinador.....</i>	123
<i>Figura 92 Condición velocidad lenta de trabajo cilindro Salida/Peinador.....</i>	124
<i>Figura 93 Condición sensor de vigilancia cilindro Salida/Peinador.....</i>	124
<i>Figura 94 Comparación setpoint ingresado y valor actual encoder Peinador.....</i>	125
<i>Figura 95 Subir la velocidad cilindro Salida/Peinador</i>	125
<i>Figura 96 Bajar la velocidad cilindro Salida/Peinador</i>	125
<i>Figura 97 Condición de estabilidad Setpoint deseado cilindro Salida/Peinador ...</i>	126
<i>Figura 98 Configuración pasos de control bloque rampa cilindro Peinador.....</i>	126
<i>Figura 99 Sensor de Entrada relación (Corriente/Distancia).....</i>	127
<i>Figura 100 Sensor de Entrada relación (Corriente/Valor digital).....</i>	129
<i>Figura 101 Condición paro por alimentación de napa muy delgada en máquina..</i>	129
<i>Figura 102 Comparación setpoint con la lectura del sensor analógico de salida..</i>	130
<i>Figura 103 Condición de aumentar tasa de cambio cilindro Tomador</i>	130
<i>Figura 104 Condición de disminuir tasa de cambio cilindro Tomador</i>	131
<i>Figura 105 Bloque Timer para la tasa de cambio.....</i>	131
<i>Figura 106 Condición de aumentar la velocidad cilindro Alimentador/Tomador..</i>	132
<i>Figura 107 Condición de disminuir la velocidad cilindro Alimentador/Tomador..</i>	132
<i>Figura 108 Tabla de direcciones Modbus</i>	134
<i>Figura 109 Diagrama de conexiones driver ABB ACS355</i>	135
<i>Figura 110 Arquitectura y navegación entre pantallas de distintos niveles</i>	143
<i>Figura 111 Pantalla para diseño HMI</i>	144
<i>Figura 112 Ventana principal.....</i>	145
<i>Figura 113 Ventana configuraciones.....</i>	146
<i>Figura 114 Ventana selección parámetros de trabajo</i>	146
<i>Figura 115 Ventana de seguridades</i>	147
<i>Figura 116 Ventana del sistema de ventilación.....</i>	148
<i>Figura 117 Ventana del sistema Alimentador/Tomador.....</i>	148
<i>Figura 118 Ventana del sistema Tambor.....</i>	149
<i>Figura 119 Ventana del sistema de Salida/Peinador</i>	150
<i>Figura 120 Ventana del sistema de Silo</i>	150
<i>Figura 121 Distribución de dispositivos en el Tablero Principal</i>	153
<i>Figura 122 Identificación de señales en el Tablero Principal</i>	154
<i>Figura 123 Variadores de frecuencia anteriores en el tablero principal.....</i>	155
<i>Figura 124 Fijación de los Variadores de frecuencia actuales en el tablero</i>	155
<i>Figura 125 Cableado de control y fuerza en los Variadores de Frecuencia.....</i>	156
<i>Figura 126 Energización de Drivers para pruebas manuales en modo LOCAL ...</i>	156
<i>Figura 127 Controlador antiguo desmontado del tablero principal de control.....</i>	157
<i>Figura 128 Antiguo conector con señales de entradas y salidas al controlador</i>	157
<i>Figura 129 Conexión a bornera de señales de entradas y salidas al controlador..</i>	158
<i>Figura 130 Controlador Lógico Programable actual fijado al tablero principal ..</i>	158
<i>Figura 131 Medición de voltaje de alimentación antes de energizar el autómeta..</i>	159
<i>Figura 132 Controlador Lógico Programable cableado con señales de control....</i>	159
<i>Figura 133 Panel del operador antiguo desmontado del tablero principal.....</i>	160

<i>Figura 134 Espacio libre al retirar el antiguo panel en el tablero principal.....</i>	<i>160</i>
<i>Figura 135 Pantalla HMI actual fijada al tablero principal.....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 136 Sensor de nivel reflectivo antiguo en el silo</i>	<i>162</i>
<i>Figura 137 Pruebas de funcionamiento con ambos sensores de nivel reflectivos ..</i>	<i>162</i>
<i>Figura 138 Ingreso irregular de material en la tolva proveniente del Silo.....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 139 Izq. puerta anterior y Der. puerta actual instalada en el Silo.....</i>	<i>164</i>
<i>Figura 140 Limpieza de napa en partes internas de la máquina.</i>	<i>164</i>
<i>Figura 141 Ajuste y mantenimiento en partes internas de la máquina.</i>	<i>165</i>
<i>Figura 142 Calibración del sensor de entrada.....</i>	<i>166</i>
<i>Figura 143 Calibración del sensor de salida</i>	<i>166</i>
<i>Figura 144 Catarina # 20 reemplazada en la máquina.....</i>	<i>167</i>
<i>Figura 145 Sistema de transmisión de potencia en el cilindro Tomador.....</i>	<i>167</i>
<i>Figura 146 Comprobación de funcionamiento de la pantalla HMI.</i>	<i>168</i>
<i>Figura 147 Comprobación de funcionamiento del Variador de Frecuencia</i>	<i>169</i>
<i>Figura 148 Etiquetado elementos internos.....</i>	<i>169</i>
<i>Figura 149 Etiquetado completo tablero eléctrico principal de control.....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 150 Comparación ingreso de material a la tolva de alimentación</i>	<i>172</i>
<i>Figura 151 Pruebas retirando la materia prima en la tolva de alimentación.....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 152 Prueba de medición en pulsadores e interruptores del tablero.....</i>	<i>174</i>
<i>Figura 153 Prueba de funcionamiento en el panel de control</i>	<i>175</i>
<i>Figura 154 Pruebas de funcionamiento del sensor inductivo</i>	<i>176</i>
<i>Figura 155 Pruebas de funcionamiento sensor encoder</i>	<i>177</i>
<i>Figura 156 Switch Siemens CSM 1277 y PLC con su comunicación Ethernet</i>	<i>178</i>
<i>Figura 157 Lectura de variables pantalla HMI con el programa del PLC.....</i>	<i>179</i>
<i>Figura 158 Comparación ingreso de material a la tolva de alimentación</i>	<i>180</i>
<i>Figura 159 Material lleno en el compartimiento del Silo</i>	<i>181</i>
<i>Figura 160 Excesivo ingreso de material al cilindro alimentador.....</i>	<i>182</i>
<i>Figura 161 Inicio de ingreso del material en la tolva de alimentación.....</i>	<i>182</i>
<i>Figura 162 Diagrama de Control por variables.....</i>	<i>189</i>
<i>Figura 163 Diagrama de Control por variables.....</i>	<i>190</i>
<i>Figura 164 Diagrama de Control mediante rangos.</i>	<i>191</i>
<i>Figura 165 Diagrama de masa informe 12.....</i>	<i>193</i>
<i>Figura 166 Espectrograma informe 12.....</i>	<i>194</i>
<i>Figura 167 Diagrama de masa informe 13.....</i>	<i>195</i>
<i>Figura 168 Espectrograma informe 13.....</i>	<i>195</i>
<i>Figura 169 Diagrama de masa informe 14.....</i>	<i>196</i>
<i>Figura 170 Espectrograma informe 14.....</i>	<i>196</i>
<i>Figura 171 Diagrama de masa informe 15.....</i>	<i>197</i>
<i>Figura 172 Espectrograma informe 15.....</i>	<i>197</i>
<i>Figura 173 Diagrama de masa informe 16.....</i>	<i>198</i>
<i>Figura 174 Espectrograma informe 16.....</i>	<i>198</i>
<i>Figura 175 Diagrama de masa informe 17.....</i>	<i>199</i>
<i>Figura 176 Espectrograma informe 17.....</i>	<i>199</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Fibras naturales.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2 Fibras sintéticas.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 3 Descripción y elementos externos de la máquina carda C 50.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4 Componentes de la máquina carda C50.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5 Estado de los componentes eléctricos del sistema de cardado</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 6 Estado de los componentes mecánicos del sistema de cardado</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 7 Designación de señales eléctricas de entrada del autómeta.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 8 Designación de señales eléctricas de salida del autómeta.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 9 Designación de entradas analógicas del autómeta.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 10 Designación de salidas analógicas del autómeta</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 11 Designación de variables del autómeta.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 12 Módulos del PLC ABB AC500.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 13 Datos técnicos del módulo CD522</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 14 Datos técnicos del módulo AX561</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 15 Datos técnicos del módulo DI524.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 16 Datos técnicos del módulo DO524</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 17 Entradas digitales del módulo DI562.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 18 Entradas Digitales del módulo DI524.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 19 Entradas Analógicas del módulo AX561</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 20 Entradas al módulo Encoder Módulo CD522</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 21 Salidas Digitales Módulo DO524.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 22 Salidas Analógicas Módulo AX561</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 23 Salidas Analogicas Módulo AO51</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 24 Datos de placa del motor del Tambor</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 25 Datos de placa de la salida/peinador.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 26 Datos de placa del alimentador/tomador</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 27 Datos de placa del silo</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 28 Leyenda del modo de operación de la máquina carda.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 29 Leyenda del esquema de control de la máquina carda C50.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 30 Tabla de direcciones IP de configuración en los equipos.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 31 Descripción de entradas y salidas bloque LIN_TRAFO</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 32 Parámetros de configuración variador de frecuencia Silo</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 33 Parámetros de configuración variador de frecuencia Alimentador.....</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 34 Parámetros de configuración variador de frecuencia Peinador.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 35 Parámetros de configuración variador de frecuencia Tambor.....</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 36 Descripción de botones en las pantallas HMI.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 37 Pruebas de funcionamiento órgano de medición inicial</i>	<i>176</i>
<i>Tabla 38 Pruebas de funcionamiento sensor encoder</i>	<i>177</i>
<i>Tabla 39 Promedio de los subgrupos y rangos de las pruebas realizadas.....</i>	<i>187</i>
<i>Tabla 40 Análisis de datos prueba espectrograma realizado informe 12</i>	<i>194</i>
<i>Tabla 41 Análisis de datos prueba espectrograma realizado informe 13</i>	<i>195</i>
<i>Tabla 42 Análisis de datos prueba espectrograma realizado informe 14</i>	<i>196</i>
<i>Tabla 43 Análisis de datos prueba espectrograma realizado informe 15</i>	<i>197</i>

Tabla 44 Análisis de datos prueba espectrograma realizado informe 16 198
Tabla 45 Análisis de datos prueba espectrograma realizado informe 17 199

RESUMEN

El presente proyecto describe la modernización del sistema de control de la máquina de cardado Rieter C50 para el proceso de hilatura en la empresa Textiles del Valle S.A. El cardado es una de las operaciones más importantes dentro del proceso de hilatura, ya que es una operación clave para determinar directamente las características finales del hilo. En este proceso se realizan operaciones de limpieza, comprimido y paralelizado de la fibra. Actualmente la empresa cuenta con cuatro máquinas marca Rieter para la operación de cardado, sin embargo por el desgaste con el transcurso de los años ciertos equipos dentro del tablero de control dejaron de estar operativos en una de las máquinas. Al ser estos equipos demasiado antiguos no fue posible encontrar repuestos ya que estos se encontraban fuera del mercado, por lo que la empresa se vio obligada a realizar una modernización en el sistema de control completo de la máquina. Esto implicó investigar y entender a detalle el funcionamiento de una máquina carda, así como realizar un nuevo diseño de control automático que consta de un control de nivel para la alimentación de la materia prima mediante la técnica ON – OFF, un control proporcional de velocidad para el paso del material por los diferentes cilindros de trabajo de la máquina y su correspondiente apilado en un bote final con la cinta producida. Para la manipulación eficaz y eficiente del sistema de control automático, se desarrolló una interfaz humano – máquina intuitiva y funcional, el cual consta de dos modos de operación, supervisión y monitoreo de las variables del proceso.

PALABRAS CLAVE:

- **CARDADO**
- **CONTROL DE VELOCIDAD**
- **NAPA**
- **VARIADORES DE FRECUENCIA**
- **CONTROL DE NIVEL**
- **PLC**
- **CINTA DE CARDA**

ABSTRACT

This project describes the modernization of the control system of the C50 Rieter carding machine for spinning process in Textiles del Valle S.A company. Carding is one of the most important operations in the spinning process as it is a key operation for directly determining the final characteristics of the thread. In this process cleaning operations, compressed and parallelized fiber are made. Currently the company has four brand Rieter machines for carding operation, however over the years certain equipment within the control board were no longer operating in one of the machines. As these are too old equipment was not possible to find spare parts because these were outside the market, so the company was forced to realize modernization in the entire control system of the machine. This involved research and understand in detail the operation of a carding machine and make a new design of automatic control consisting of a level control for feeding the raw material by ON – OFF technique, proportional speed control for the passage of material through the various work rolls of the machine and the corresponding stack in a final pot with the tape produced. A intuitive and functional human – machine interface was developed for effective and efficient handling of automatic control machine, which has two modes of operation, supervision and monitoring of process variables.

KEYWORDS:

- **CARDING**
- **SPEED CONTROL**
- **NAPA**
- **VARIABLE FREQUENCY**
- **LEVEL CONTROL**
- **PLC**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

La hilatura es un proceso industrial en el cual mediante ciertas operaciones complejas con fibras textiles, ya sean naturales o artificiales, se crea un nuevo cuerpo textil alargado, fino, resistente y flexible el cual es llamado hilo.

La historia de la hilatura empieza en el mismo origen en el que el hombre hizo uso de las fibras naturales. En aquel entonces, las primeras herramientas de hilado fueron las propias manos del hombre con las que manufacturó un hilo simple, trenzado o empleado en la fabricación de tejidos.

La hilatura es la manufactura básica de toda la industria textil. En este proceso se llevan a cabo ciertos pasos para obtener el hilo como tal. La materia prima debe pasar por una serie de procesos para convertir finalmente en hilo las fibras textiles como la lana, el algodón u otras fibras sintéticas mediante un proceso industrial de refinamiento.

Según el proceso de hilatura, se sigue la siguiente secuencia:

- Apertura
- Limpieza
- Mezcla
- Cardado
- Estiraje
- Hilatura

El resultado final de este proceso es un hilo de buena calidad ya que se colocan las fibras en posición completamente paralela y se eliminan las fibras cortas, de

esta manera las fibras peinadas serán de una misma longitud, es decir serán uniformes y quedarán solamente las fibras más largas.

Desde inicios del siglo XX las primeras industrias textiles en el país se dedicaron al procesamiento del algodón, y a partir de la década de 1950 se consolidan las industrias dedicadas al procesamiento y utilización de esta fibra.

Actualmente, la industria textil ecuatoriana fabrica productos provenientes de varios tipos de fibras, siendo las más utilizadas el algodón, el poliéster, el nylon, los acrílicos, la lana y la combinación de algunas de ellas.



Figura 1 Hilos de poliéster

Fuente:(Coats, 2014)



Figura 2 Telas 100% poliéster

Fuente: (Coats, 2014)

Es así que TEXTILES DEL VALLE S.A., nace con el objetivo de satisfacer las necesidades del mercado ecuatoriano e internacional de hilados elaborados por medio de la mezcla de fibras sintéticas o artificiales, teniendo como materia prima el poliéster y el algodón de la más alta calidad.

Es una empresa familiar manufacturera de nacionalidad ecuatoriana que inicia su actividad industrial en 1985, ofreciendo productos como: los hilos open – end y cardado en algodón – polialgodón y poliéster. Su domicilio principal es en la ciudad de Sangolquí, El Carmen Km. 3 ½ - Sector Amaguaña. Los productos elaborados son de última tecnología y su comercialización es para el mercado nacional e internacional.

Alrededor del año 1990 la empresa contaba con 110 empleados y producían 60 toneladas de tela diaria. En esos tiempos existía una amplia demanda y había preferencia por el producto nacional. Actualmente, la empresa posee entre 50 y 60 empleados para los 3 turnos existentes, es decir, redujeron el personal casi a la mitad debido a ciertas complicaciones en el mercado y otros factores que los obligaron a bajar su producción.

Existe un proyecto de trabajo conjunto con el gobierno llamado “Hilando el Desarrollo” (HD), el cual busca brindar uniformes para los niños escolares sin muchos recursos económicos.



Figura 3 Proyecto Hilando el Desarrollo

Fuente: (Bracamontes, 2010)

En él se promueve la inclusión económica y movilidad social de miles de artesanos nacionales en el sector textil, en el cual se elaboran kits de uniformes a los estudiantes de educación general y bachillerato de las unidades educativas del sistema público de la región Sierra y Amazónica. La empresa TEXTILES DEL VALLE S.A. provee los hilos y telas para realizar dichos uniformes.

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La maquinaria textil es un factor muy importante en el proceso de hilatura debido a que se encuentra directamente relacionado con la calidad en la producción final de hilos. En el caso de disponer de un buen algodón será posible obtener un buen hilo, sin embargo no solo es necesario una buena materia prima sino de igual manera el tratamiento que se le da en el proceso de producción del hilo.

Al disponer de un material de buena calidad en el mercado, esto generará un producto final con un alto precio de venta, apuntando siempre a una mayor ganancia mediante la disminución de los costos de producción al reducir las pérdidas que se puedan dar durante el proceso de hilatura.

Este es uno de los motivos por los cuales se ha visto grandes mejoras en la industria textil, presenciándose año tras año una evolución en la automatización de maquinarias de producción, buscando siempre que el sistema sea más eficiente logrando la misma cantidad de producción en el menor tiempo posible.

Al tener maquinarias que den un buen tratamiento a la fibra en el proceso de producción, generará un producto final de buena calidad sin la necesidad incondicional de tener materia prima de la mejor calidad. Bajo la demanda nacional de hilos y telas la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A necesita incrementar la producción en un 15%, pese a que una línea de producción de cardado se encuentra en estado no operativo, por falta de mantenimiento correctivo y soporte técnico.

Es por ello que la empresa encontró necesaria una modernización completa del sistema eléctrico de la máquina de cardado identificando primeramente los puntos que presentan mayor conflicto actualmente para luego seleccionar los elementos

más adecuados que el mercado ofrezca e implementar una modernización en el sistema de control y fuerza para toda la máquina Rieter C 50.

Con la ejecución de este proyecto se busca dar solución a las principales necesidades de la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A., empresa posicionada en el mercado nacional dedicada a la producción de hilos y telas de la mejor calidad.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Reparar, modernizar y poner en marcha una línea de producción de cardado en la máquina Rieter C 50 para el proceso de hilatura que será instalado en la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado de componentes eléctricos y electrónicos que determinen el funcionamiento del sistema de cardado actual.
- Diseñar una interfaz para el usuario del equipo que le permita la manipulación y visualización del proceso.
- Implementar un sistema flexible tanto en operatividad como en funcionalidad que permita que la operación de cardado se realice de forma accesible para el operario.
- Evaluar el sistema desarrollado mediante pruebas de operación y funcionalidad a fin de conseguir un funcionamiento óptimo en la máquina carda.

- Desarrollar la documentación del proyecto de manera técnica, atendiendo las normativas respectivas.

1.4. ALCANCE

El presente proyecto propone la modernización del sistema de control de la máquina de cardado Rieter C 50 para el proceso de hilatura en la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A.

En una línea de producción para el cardado intervienen complejos procedimientos en la apertura, alimentación, peinado y apilado. La materia prima empleada en este proceso es cien por ciento algodón, poliéster y una combinación de ambos materiales; mientras que como producto terminado se obtiene una cinta con fibras individualizadas sin impurezas de un peso definido por la industria. De acuerdo a los requerimientos del sistema se entregará a la salida del equipo un contenedor compacto llamado bote de carda donde la cinta es enrollada en forma circular a velocidad configurable por el operador para su posterior transporte al estiraje que es la siguiente etapa que forma parte del proceso de hilatura.

El proyecto iniciará con el diagnóstico de todos los componentes eléctricos y electrónicos que permitan la operatividad de toda la línea de producción en el área de cardado. Parte importante también implica verificar el correcto funcionamiento de los dispositivos de protección: guardamotores, breakers, fusibles, etc. Al momento el sistema de control de la máquina no está operativo. Por este motivo en el proyecto se realizarán las acciones necesarias para poner en funcionamiento al sistema completo de cardado en la máquina.

Se prevé que será necesario sustituir varios equipos eléctricos manteniendo la estructura mecánica del sistema original. En el proyecto se diseñará e implementará un control de nivel para el sistema del Silo y controles de velocidad para el sistema Alimentador/Tomador, Tambor y Salida/Peinador. Para ello se trabajará con motores trifásicos asíncronos propios de la máquina controlados por

variadores de frecuencia para el control de fuerza, enconders incrementales y sensores inductivos.

Para el control de nivel del silo, la máquina cuenta con un sensor reflectivo para determinar el nivel de fibra de algodón que ingresa a la carda. El controlador está en condiciones de influir sobre la velocidad de entrega del motor del silo según el valor de la señal que presente. De esta manera la cantidad de material que entra en la carda queda constante.

El controlador lógico programable (PLC) controlará y manejará cada una de las referencias de velocidades que necesita cada uno de los cuatro variadores de frecuencia con los que trabaja la máquina de cardado que son: alimentación de materia prima en el silo, alimentación cilindro tomador, cilindro gran tambor y salida cilindro peinador - enrollado de botes. Esta referencia dependerá del resultado obtenido en el lazo de control.

En la parte operativa del sistema, el operador podrá ingresar parámetros variables de rangos de velocidad, parámetros de trabajo necesarios para la producción, tipo de producto, calibraciones y compensaciones a través de una interfaz humano máquina implementada en una pantalla touch la cual se comunicará con el PLC mediante el protocolo modbus.

CAPÍTULO II

MARCO DE REFERENCIA

2.1. INTRODUCCIÓN

El sector industrial se desarrolla rápidamente en varios sectores, con tendencia a la automatización de sus procesos para maximizar las ganancias y optimizar la producción en las empresas. Sin embargo este desarrollo todavía no es accesible en muchas empresas de nuestro país debido a los altos costos que esto significa y a la necesidad de disponer del personal capacitado necesario para su mantenimiento y operación; es por ello que varias empresas han optado por soluciones de ingeniería local, con la intervención de ingenieros con conocimientos en electrónica para la aplicación de nuevos conceptos y desarrollos tecnológicos.

Actualmente muchas empresas tienen la necesidad de mejorar sus procesos industriales así como ofrecer productos de calidad en un entorno competitivo, es por ello que la necesidad de contar con sistemas automatizados se ha vuelto cada vez más elevada en las industrias. Es indispensable estar a la vanguardia y siempre dar nuevos pasos para no ser relegado en la intensa competencia global del rápido desarrollo de las tecnologías. Existen ciertas industrias que están más relacionadas con la automatización que son básicamente la industria manufacturera y la industria de procesos.

Dentro de este tipo de industrias existen ciertas empresas que se enfocan en el desarrollo de proyectos o están dedicadas a la elaboración de un producto, las cuales poseen una automatización en ciertas etapas de sus procesos para mejorar la productividad de su servicio, aumentar la eficiencia y disminuir riesgos laborales a causa de la incorrecta manipulación en sus labores diarias. Por ejemplo la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A. destinada a la fabricación de hilos y telas

busca lograr la mejor calidad en sus productos al automatizar sus líneas de producción con la tecnología actual para llegar a ser más competitiva en el mercado laboral.

Dentro de la actividad textil la empresa constituye una importante fuente generadora de empleo y es además una industria integrada que requiere insumos de otros sectores. Su principal desafío es mejorar la competitividad de este tipo de industria, al hacerlo permitirá ingresar y posicionarse en mercados foráneos, incentivar la producción y por lo tanto generar importantes plazas de empleo. Dentro de la producción en la empresa, esta cuenta con 3 departamentos de trabajo: hilado, tejido y tinturado. El presente proyecto comprende solamente el primer departamento y se explicará el proceso completo de hilatura.

2.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE HILATURA

La hilatura es un proceso industrial en el cual mediante ciertas operaciones complejas con fibras textiles, ya sean naturales o artificiales, se crea un nuevo cuerpo textil alargado, fino, resistente y flexible el cual es llamado hilo. En la Figura 4 se muestra las diferentes etapas de este proceso.

El proceso de hilatura comienza con la apertura, este proceso es necesario pues las fibras vienen empacadas a presión, por lo que se requiere abrirlas para hacer posible la hilatura. En el caso del algodón, estas pacas de fibra natural se encuentran bastante sucias y contaminadas por lo que es necesario un proceso de limpieza, en el cual se remueve materias extrañas, como polvo, pajas y suciedad.

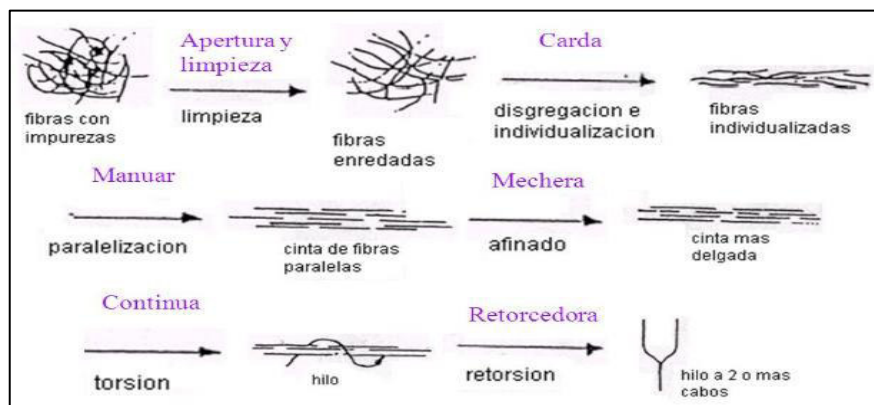


Figura 4 Proceso de hilatura

Fuente: (Mejía, 2011)

En el siguiente paso se requiere que las características propias de la materia prima sean homogeneizadas, esto trata de su longitud y finura. Cuando se requiere una mezcla entre dos o más fibras en esta parte del proceso, se tiene como objetivo llegar a una mezcla íntima de las fibras componentes.

La siguiente etapa es el cardado, el cual tiene como objeto fundamental paralelizar las fibras y entregar el material en forma de mecha o cinta, con una densidad lineal bastante uniforme. Esta etapa realiza la última limpieza de las fibras naturales y también separa las fibras de menor longitud, lo que mejora sensiblemente las propiedades de uniformidad de los hilados.

Las fibras naturales destinadas a los hilados más finos se peinan. El estiraje logra una mayor paralelización de las fibras, efectuada con anterioridad en el proceso de cardado. En la siguiente sección se detalla cada etapa mencionada anteriormente.

2.2.1. APERTURA Y LIMPIEZA

La apertura es la primera etapa en el proceso de hilatura y la primera labor a realizar sobre la fibra natural del algodón y sobre la fibra sintética de poliéster. Este proceso consiste en abrir las pacas del material para reducir su tamaño, ya que muchas veces el material puede presentar enredos que dificultarían las operaciones siguientes de estirado. Además, también facilita a la eliminación de las impurezas que se encuentran atrapadas dentro de ellos como se muestra en la Figura 5.



Figura 5 Zona de apertura de las pacas de materia prima

Fuente: Propia

Otro objetivo del proceso de apertura es evitar el barrado, es decir que no exista variación o gamas de colores en el algodón y su textura. Para ello se alinean las pacas de materia prima en cierto orden dispuesto por el operador en la máquina RIETER UNICLEAN B11 como se muestra en la Figura 5. Esta máquina genera la primera limpieza de la materia prima en el proceso de apertura, la cual solo es para las pacas de algodón ya que al ser una fibra natural es necesario remover material extraño como polvo, pepas, pajas y suciedad.

En la máquina llamada ERM1 y ERM2 es donde se desecha todo material contaminante que pueda afectar a la calidad del hilo como se muestra en la Figura 6. Aquí se genera la segunda y última limpieza en la apertura de la materia prima.



Figura 6 Algodón con suciedad en el proceso de apertura

Fuente: Propia

Respecto a las pacas de materia prima de poliéster, no es necesario que pasen por las máquinas de limpieza en el proceso de apertura ya que al ser una fibra sintética esta no posee polvo, pajas y suciedad como en el caso del algodón. Es por ello que este tipo de fibra pasa directamente a la máquina Abridora la cual como su nombre lo indica, abre las pacas de poliéster como se observa en la Figura 7, y manda esta fibra por medio de ductos turbinados a la balanza.



Figura 7 Máquina abridora de pacas de poliéster

Fuente: Propia

En la balanza ocurre la mezcla de las fibras donde los operadores escogen el porcentaje de algodón y de poliéster para dicha mezcla. No muchas empresas textiles cuentan con este proceso ya que es una máquina realizada por un contratista externo. Por lo general el porcentaje de esta mezcla es 60% poliéster y 40% algodón, todo depende del tipo de hilo que se vaya a fabricar ya que se puede variar este porcentaje de muchas formas. La balanza se muestra en la Figura 8.



Figura 8 Máquina balanza (Izquierda: Algodón Derecha: Poliéster)
Fuente: Propia

Una vez pesado y completado el proceso de apertura, una máquina inicia la tarea de recopilarlas por capas y por medio de ductos turbinados envía las fibras ya mezcladas hasta las máquinas cardas como se muestra en la Figura 9.



Figura 9 Sistema de ductos turbinados desde la apertura

Fuente: (Mejía, 2011)

2.2.2. CARDADO

Es una operación clave en el proceso de hilatura y determina directamente las características finales del hilo, una idea de su importancia es el hecho que se le considera el corazón de la hilatura ya que contribuye mucho a la calidad del hilado.

Son muchos los objetivos del cardado, aunque pueden resumirse como:

- Apertura de los copos de fibras e individualización de éstas.
- Eliminación de las impurezas contenidas en el material que no fueron eliminadas previamente en los procesos de limpieza.
- Selección de fibras en base a su longitud, removiendo las fibras cortas.
- Paralelizado y estiramiento de las fibras.
- Elaboración de una cinta, es decir, en una masa de fibras sin torsión.



Figura 10 Sistema de ductos turbinados hacia las máquinas cardas

Fuente: Propia

Esta etapa se la realiza mediante una máquina llamada *carda*, la cual transforma la napa de entrada en un velo continuo, comprimiéndolo posteriormente para dar origen a una cinta de masa por longitud estándar y debidamente dispuesto en un bote.



Figura 11 Máquina de cardado

Fuente: Propia

La carda está constituida por un cierto número de órganos móviles revestidos de puntos elásticos en acero y guarniciones rígidas de acero en forma de dientes de sierra. Estas piezas son movidas ya sea con sentido de rotación o de desplazamiento lateral, pero con velocidades diferentes.

2.2.3. ESTIRAJE

En esta etapa del proceso de hilatura, se utiliza una máquina para el estirado, laminado y doblado de las cintas de fibras que salen de las cardas. Se alimenta de 6 u 8 botes provenientes de las máquinas de cardado. El estiraje es el proceso de alargamiento de un mechón de fibras, con la intención de orientarlas en dirección de la cinta y reducir su densidad lineal.

El material producido de las cardas va a alimentar al estirador o manuar de primer paso. El estirador regula y estira el peso del material por medio de procesos mecánicos y electrónicos, que por su velocidad controlan el material producido siendo más regular y uniforme; esta operación contribuye a abrir, desenredar y limpiar las fibras.



Figura 12 Manuar o máquina de estiraje

Fuente: (Novara, 2007)

2.2.4. HILADORAS

Existen varias tecnologías para aplicar torsión y dar una estructura al hilo, las principales son: la hilatura de anillos, la hilatura open end (o de rotor) y la hilatura por chorro de aire (vórtice). Aquí en las hilas es la última etapa del proceso de

hilatura. En la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A., se trabaja con la hilatura de anillo.



Figura 13 Hiladoras

Fuente: Propia

La hilatura de anillos aplica la torsión mediante un husillo giratorio. La hilatura de anillos no es solamente el método de hilatura más lento, sino también el más costoso porque necesita una serie de procesos adicionales como es el mechado y bobinado.

A medida que el título del hilo se hace más fino, mejora la resistencia del hilo por encima de los hilos open end del mismo título. La suavidad de las telas tejidas con este tipo de hilos suele ser similar a aquellas tejidas con hilos open end y de anillos.

2.3. PROPIEDADES DE LA FIBRA E IMPORTANCIA EN EL PROCESO TEXTIL

Una fibra textil de buena calidad que cumpla con todos los requisitos necesarios ha sido buscada durante largo tiempo conforme avanza la tecnología textil. Los textiles juegan un papel importante en el día a día de la vida cotidiana. Un conocimiento básico de fibras textiles, facilitará disponer de una evaluación inteligente sobre ciertos tipos de fibras y ayudará a identificar la calidad real dependiendo de la aplicación.

A continuación se detalla la clasificación de las fibras textiles y sus propiedades más importantes para una adecuada aplicación.

- Fibras Naturales
- Fibras Sintéticas

2.3.1. FIBRAS NATURALES

Las fibras naturales se subdividen, como se indica a continuación en la Tabla 1 por su origen, ya sea vegetal, animal o mineral:

Tabla 1

Fibras naturales

Nombre de la fibra	Origen	Composición
Algodón	Cápsula de algodón	Celulosa
Lino	Tallo de Lino	Celulosa
Yute	Tallo de Yute	Celulosa
Lana	Oveja	Proteína
Seda	Oveja	Proteína
Asbesto	Variedades de roca	Silicato de Magnesio
Sisal	Hoja de Agave	Celulosa

Fuente: (Coats, 2014)

2.3.1.1. ALGODÓN

De las fibras naturales presentadas anteriormente, en el proceso de hilatura de la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A., principalmente se trabaja con algodón. Esta fibra natural es la más utilizada en ropa, crece en bolas alrededor de las semillas de la planta de algodón. Una sola fibra es una célula alargada que es una estructura similar a una cinta plana, trenzada, hueca.

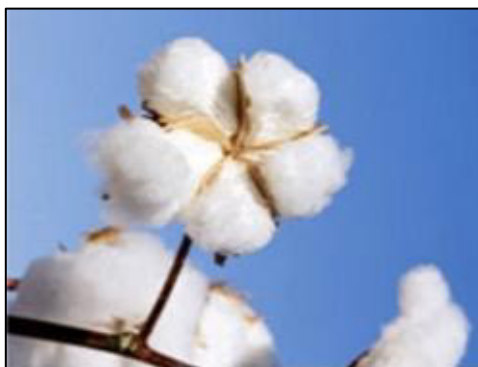


Figura 14 Planta de algodón

Fuente: (Coats, 2014)

El algodón, es una fibra vegetal natural blanca de gran importancia económica como materia prima para la elaboración de tejidos y prendas de vestir. Su uso es bastante comercial ya que con este tipo de fibra hay bastante facilidad con la cual se puede trenzar en hilos. A continuación se presenta ciertas características de esta fibra natural:

- Resistencia de buena a moderada
- Muy poca elasticidad
- Poco flexible y propensa a las arrugas
- Confortable y suave
- Buena absorbencia
- Buen conductor de calor
- Daño por insectos, moho, descomposición y polillas
- Puede debilitarse por prolongada exposición a la luz solar

La resistencia, la absorbencia y la facilidad con que se lava y se tiñe también contribuyen a que el algodón se preste a la elaboración de géneros textiles muy variados. Entre las aplicaciones de esta fibra se pueden mencionar:

- Ampliamente utilizado en un sin número de textiles.
- Comúnmente utilizado en tejidos y ropa de punto.
- Utilizado en textiles del hogar como toallas de baño, batas de baño, ropa de cama, etc.

- Es utilizada en combinación con otras fibras sintéticas como rayón, poliéster, spandex, etc.

2.3.2. FIBRAS SINTÉTICAS

Las fibras sintéticas se subdividen, como se indica a continuación en la Tabla 2 de acuerdo a varias composiciones y origen:

Tabla 2

Fibras sintéticas

Nombre de la fibra	Origen
Nylon	Poliamida alifática
Aramida	Poliamida aromática
Poliéster	Ácido tereftálico y alcohol dihídrico
Acrílico	Acrlonitrilo
Caucho	Caucho natural o sintético
Spandex	Poliuretano
Grafito	Carbón

Fuente: (Coats, 2014)

2.3.2.1. POLIÉSTER

De las fibras sintéticas presentadas anteriormente, la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A., trabaja bastante con poliéster.

En poliéster, la sustancia de formación de fibra es de cualquier polímero sintético de cadena larga compuesto por al menos 85% en peso de un ester de un ácido carboxílico aromático sustituido. En la producción de tales fibras, se polimerizan los elementos básicos de carbono, oxígeno e hidrógeno. Hay varias variaciones posibles en los métodos de producción, en la combinación de los ingredientes y en las últimas estructuras moleculares de la sustancia de formación de fibras. A continuación se presenta ciertas características de esta fibra natural:

- Termoplástico

- Fibra bastante resistente
- Hidrófoba, es decir no absorbente

Las aplicaciones donde se utiliza frecuentemente esta fibra son:

- Usos industriales por ejemplo en cintas transportadoras, cinturones de seguridad, de refuerzo de neumáticos
- En ropa, tejidos y telas de punto, camisas, pantalones, chaquetas, sombreros, etc
- Equipamiento casero como sábanas, mantas, muebles tapizados, etc.



Figura 15 Fibra de poliéster

Fuente:(Coats, 2014)

Una ventaja de este tipo de fibra es que no sólo es bastante económica, sino que también es muy resistente, pesa poco y no se percibe fácilmente la humedad al tocarla. Como si esto fuera poco, las manchas no se le adhieren con facilidad, no se estira ni se encoge, se seca en poco tiempo, no se arruga, es sencillo de lavar y resiste los solventes y las tinturas, entre otros productos químicos.

2.3.2.2. POLIALGODÓN Y POLIPEINADO

Existe otro tipo de fibra con el que se trabaja en el proceso de cardado que se llama polialgodón y polipeinado. Ambos son una mezcla de dos materiales diferentes y son conocidos por su resistencia y durabilidad.

El polialgodón es una mezcla de algodón y poliéster. Este material es conocido por mantener su forma mejor que artículos de algodón puro. Estas mezclas son conocidas por su comodidad cuando estén desgastadas, el algodón permite la tela respirar y mantener su sensación de suavidad, mientras que el poliéster ayuda a mantener la estructura original.

Una de las razones por las que se realiza esta mezcla es para aprovechar el confort del algodón, ya que al mezclar con poliéster, fibra sintética muy resistente y autodesarrugable, permite conseguir un tejido suave y resistente a la vez.

Polialgodón puede ser mezclado en cantidades variables. La fibra que cotiza primero será la fibra dominante. Casi siempre, la composición del polialgodón es: 65 % poliéster y 35 % algodón.

El polipeinado es una mezcla de poliéster con *peinado*. Esta es una fibra corta de algodón y no es de buena calidad sin embargo es bastante utilizado por su durabilidad y resistencia, a diferencia de otras fibras utilizadas. Con el algodón peinado se pueden fabricar hilos más delgados, finos, suaves y lustrosos.

2.3.3. PARÁMETROS DE FIBRAS TEXTILES

Los materiales fibrosos deben poseer ciertas propiedades para convertirse en un textil adecuado. Las propiedades que son aceptables para un textil pueden ser clasificadas en propiedades primarias. Las otras propiedades que agregan especificaciones deseables de carácter o estética para el producto final y su uso se pueden clasificar como propiedades primarias y secundarias.

- **Propiedades Primarias**

Entre las propiedades primarias se puede mencionar las siguientes:

1. Longitud
2. Tenacidad o fuerza
3. Flexibilidad

4. Cohesión
5. Uniformidad de Propiedades

- **Propiedades Secundarias**

Mientras que entre las propiedades secundarias se encuentran:

1. Forma física
2. Gravedad específica (influencia del peso, cobertura, etc.)
3. Recuperación de humedad y absorción (confort, electricidad estática)
4. Termoplasticidad (punto de remblandecimiento y calor)
5. Propiedad de Teñido
6. Resistencia a solventes, micro-organismos y condiciones ambientales
7. Flamabilidad

2.3.3.1. TEMPERATURA

El proceso de hilatura trabaja óptimamente a ciertas condiciones ambientales, tanto de temperatura como de humedad. El rango de temperatura ideal es de 25 a 30 grados centígrados.

Cuando las condiciones ambientales no son las adecuadas, ocurren desperfectos en varios procesos internos del tratado de la materia prima. Por ejemplo en la etapa de cardado, cuando la cinta se enrolla en la apiladora al estar bastante tensa y por efectos de altas o bajas temperaturas, esta tiende a romperse con bastante regularidad.

2.3.3.2. HUMEDAD

Es la cantidad, en porcentaje, de agua presente en la muestra al momento de su análisis. La humedad de la muestra varía con el tiempo de ambientación, la temperatura y la humedad relativa del medio ambiente en el cual ha permanecido.

La humedad incide directamente en la resistencia de las fibras durante su procesamiento: fibras muy secas tienden a reventarse y fibras con alto contenido

de humedad ocasionan embotamiento de la maquinaria. En ambos casos generan paros en la línea de producción lo que significa altos costos para la empresa.

2.3.3.2.1. INFLUENCIA DE LA HUMEDAD EN LOS PROCESOS TEXTILES

La humedad del ambiente influye en el proceso de hilatura de la siguiente manera:

- El aire seco ocasiona que los materiales tengan baja absorción de humedad, afectando la calidad y productividad.
- Ocurre la formación de cargas electroestáticas. Los procesos de fricción son inevitables en cilindros y muchas otras piezas de máquina, provocado con una humedad atmosférica relativamente baja también en fibras convencionales como lana, algodón y seda fenómenos de descarga que perjudican la producción.
- Aquellos materiales que disponen de un correcto nivel de humedad poseen menos probabilidad de quebrarse, calentarse y producir fricción. De igual forma tienen menos imperfecciones, son más uniformes y se sienten mejor al tacto.
- El peso de los materiales es estandarizado a 65% de H.R. la falta de estas condiciones causa que los materiales pierdan peso y con ello se disminuyen las ganancias.
- En condiciones de baja humedad en el aire, aumenta el polvo y la pelusa en el ambiente, generando un ambiente incómodo de trabajo.

2.4. PROCESO DE CARDADO

2.4.1. CARDADO

Es una operación clave en el proceso de hilatura y determina directamente las características finales del hilo. Para tener una idea clara de la importancia de este proceso, se le considera el *corazón de la hilatura*.

El objetivo que tiene este sistema es separar las fibras entre sí, eliminando las más cortas. Así como hacer una última limpieza eliminando los desperdicios por medio de rejillas y chapones, y entregar el material en forma de cinta, con una determinada masa por longitud. El rollo de napa es transformado en velo en la parte delantera de la máquina, comprimiéndolo posteriormente para dar origen a una cinta de masa por longitud estándar y debidamente dispuesta en un bote.



Figura 16 Proceso de cardado

Fuente: (Bracamontes, 2010)

La función principal de este proceso es la individualización de las fibras, o el cardado propiamente dicho. Se considera al algodón como la fibra más sucia del mercado por lo tanto es necesario que pase antes por una etapa de apertura y limpieza para hacer que la fibra sea más limpia en su forma física.

2.4.2. MATERIAL ENTRANTE

La materia prima que ingresa a la carda es fibra de algodón previamente mezclado, el cual debe reunir todos los requisitos de calidad necesarios para su procesamiento, garantizando así un buen suministro de materia prima, en el proceso de cardado

facilitando además la labor para los procesos siguientes, mediante la obtención de una cinta de óptima calidad.

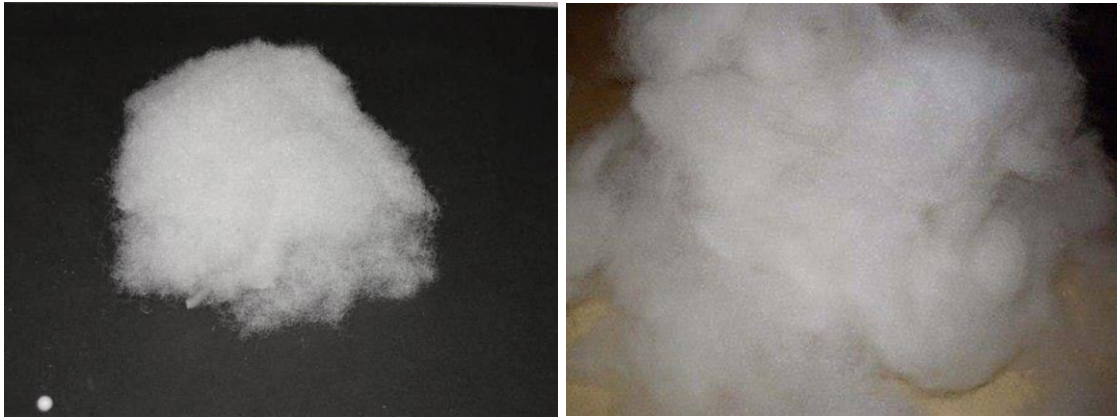


Figura 17 Materia prima o napa

Fuente: Propia

Como ya se detalló anteriormente, las materias primas con las que se trabaja en el proceso de cardado son las siguientes:

Poliéster: Al trabajar con ambos materiales el cilindro Tambor gira a 400 RPM.

Polipeinado: 60 % poliéster, 40 % peinado.

Algodón: Al trabajar con ambos materiales el cilindro Tambor gira a 450 RPM.

Polialgodón: 65% poliéster, 35% algodón.

2.4.3. MATERIAL SALIENTE

El material saliente de la carda es una cinta o también llamado manto, de buena calidad bastante limpia y con fibras individualizadas.



Figura 18 Cinta o manto a la salida de la máquina de cardado

Fuente: Propia

Esta cinta debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Que no contenga tramos muy gruesos y/o tramos muy delgados.
- Que la cinta no está contaminada de ningún tipo de grasas o aceites, además que no haya adherimientos al material.
- Los operadores que trabajan en todos los turnos realizan un chequeo del producto entregado para garantizar que la cinta sea uniforme y salga con el peso requerido.
- Control de calidad también realiza chequeos de uniformidad en Uster y chequeo de neps por pulgada para garantizar el producto final (cinta) salga con buena calidad.
- La cinta sale con un peso irregular metro por metro ya que la carda no tiene un sistema de regulación extremadamente efectivo.



Figura 19 Botes llenos de cinta producida por la máquina de cardado

Fuente: Propia

2.4.4. DEFECTOS EN EL CARDADO Y CAUSAS

Existen varios factores por los cuales se forman ciertos defectos en el proceso de cardado como se presentan a continuación:

- *Cinta irregular en cuanto a número o a peso por unidad de longitud.*
 - a) Esto se debe a ajustes inadecuados de acuerdo al tipo de fibra.
 - b) Debido a que las guarniciones se encuentren en mal estado o desgastadas.
 - c) Por movimiento irregular de los chapones debido a la mala fricción de las cadenas ya sea por falta de lubricación o por resbalamiento de los rodamientos.

- *Irregularidades del velo, con partes o áreas con mayor y menor intensidad en las fibras.*
 - a) Por napas de alimentación defectuosas.
 - b) Por velocidades inadecuadas de los cilindros respecto al tipo de material con el que se trabaja.

- *Desgaste prematuro de las guarniciones*
 - a) Debido a esmerilados constantes intensos o profundos.
 - b) Por falta de limpieza en acumuladores de impurezas durante mucho tiempo.
 - c) Excesiva humedad en la sala.

- *Neps:* Se entiende por nep toda parte gruesa de longitud inferior a 4 milímetros cuya sección, calculada sobre 1 milímetro sobrepasa el límite dado por la escala seleccionada. Son partes gruesas cortas ocasionadas por restos de napa de algodón o por acumulaciones de fibra con aumentos de masa de 200% o más en un hilo.

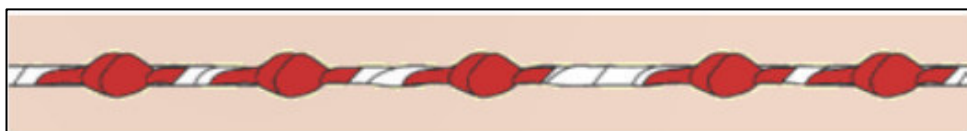


Figura 20 Neps formados en la formación del hilo

Fuente: (Coats, 2014)

2.4.4.1. CAUSAS DIRECTAS

Las principales causas que afectan al cardado son:

- Materia prima
- Condiciones ambientales
- Ajuste y mantenimiento de maquinaria.
- Desajuste de ejes, engranajes, piñones, catarinas, cojinetes, etc.

2.4.4.2. CAUSAS INDIRECTAS

Las causas indirectas que afectan al cardado son:

- Operarios, mecánicos y supervisores con poca experiencia.
- Materia prima no uniforme en cuanto a sus características más importantes como longitud, finura, etc.
- Mezclas de fibras diferentes.

2.4.5. MÁQUINA CARDA

Una máquina carda es la encargada de uniformizar y paralelizar al material que ingresa hasta obtener un velo de fibras casi transparente pero que por estas mismas características debe ser condensado en cinta para su manipulación, entonces la cinta producida se almacena en botes de cierta capacidad arrollándose de manera circular y formando capas sucesivas que faciliten en la siguiente máquina su extracción.

La cinta deberá tener características de regularidad en cuanto a peso por unidad de longitud (g/m). Los elementos externos y la descripción de cada uno de los elementos de la máquina de cardado de la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A. se observa con un gráfico como se observa en la Figura 21.



Figura 21 Vista frontal de la máquina carda C 50

Fuente: Propia

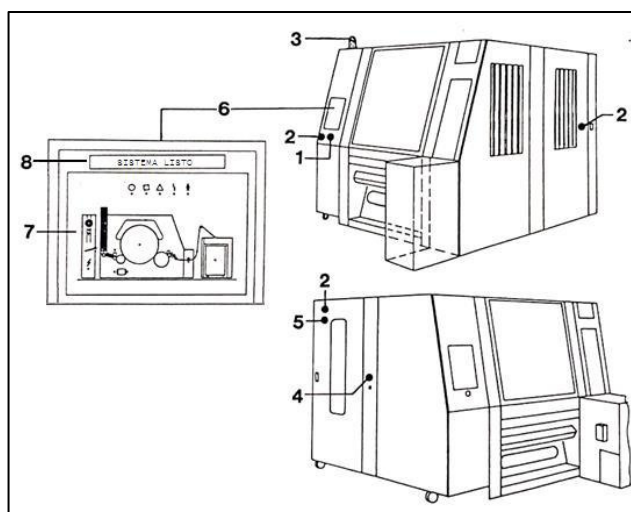


Figura 22 Vista externa de la máquina carda C 50

Fuente: Propia

Tabla 3

Descripción y elementos externos de la máquina carda C 50

No.	Elementos	Descripción
1	Interruptor Principal	Alimenta el armario eléctrico de la máquina
2	Pulsadores de Paro de Emergencia	Para el proceso por completo al existir una emergencia
3	Luz Indicadora	Destella al existir un cambio de bote en la apiladora
4	Pulsador desconectar ventilador	Eliminar a mano los desperdicios del filtro

Continúa...

5	Pulsador girar el Cilindro Alimentador hacia atrás	Utilizado en caso de atascare el material en la alimentación
6	Panel HMI	Panel de operación de la máquina
7	Pantalla seguridades	Gráfico indicador de cualquier problema en la Carda
8	Barra de estados	Indicación del estado de la máquina al operador

Fuente: Propia

2.4.5.1. ZONAS PRINCIPALES DE LA MÁQUINA CARDA

La máquina está constituida por tres zonas principales como se explica a continuación. La materia prima que ingresa a la carda es fibra de algodón previamente mezclada, el cual debe reunir todos los requisitos de calidad necesarios para su procesamiento, garantizando así un buen suministro de materia prima, en el proceso de cardado facilitando además la labor para los procesos siguientes, mediante la obtención de una cinta de óptima calidad.

2.4.5.1.1. ZONA DE ALIMENTACIÓN

El proceso inicia con el ingreso de la materia prima o fibra de algodón, el cual es conducido a la máquina Carda. Este material ingresa por un sistema llamado Aero - Feed o Silo, donde se regula la alimentación continua y eficiente de la carda mediante un sensor de proximidad el cual secciona de forma automática para dejar pasar una cierta cantidad de fibras que se irá procesando en una especie de cámara o depósito mediante un par de cilindros los cuales giran a una cierta velocidad y sirven de base para ajustes mecánicos.

2.4.5.1.2. ZONA DE CARDADO

Está constituida por el cilindro alimentador / tomador, el cual recibe el material proveniente de la tolva de alimentación para entregarlo al siguiente cilindro que es llamado el gran Tambor. Este tiene un mayor diámetro que los cilindros anteriores y gira a una alta velocidad. Es el encargado de realizar la limpieza y paralelización de las fibras, ya que como en la cámara de apertura y mezclado, los mecanismos

neumáticos forman neps o botones que son fibras inmaduras o fibras enrolladas, mismas que para el hilo son un defecto más.

La acción cardante de estos cilindros y de los chapones es llevada a cabo por la guarnición que es un conjunto de puntas o púas metálicas de determinada forma, altura y perfil de inclinación, que recubren en determinado sentido a cada uno de los cilindros.

La guarnición tiene vida útil efectiva y un desgaste o excesiva de acumulación de impurezas que impide el correcto funcionamiento, por lo que es necesario aplicar un mantenimiento preventivo de limpieza a máquina parada para eliminar incrustaciones de fibra, impurezas sólidas, efectuar el esmerilado o afilado correspondiente cuando las puntas estén desgastadas.

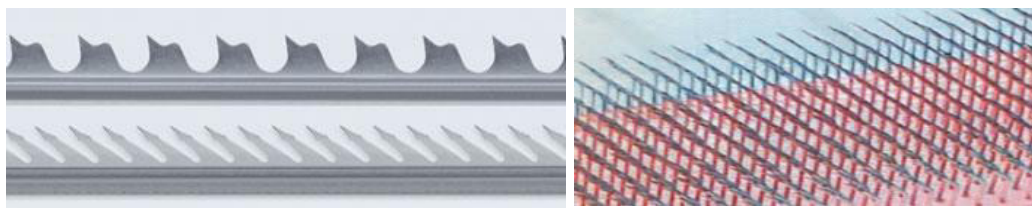


Figura 23 Guarnición de la máquina carda

Fuente: (Mejía, 2011)

2.4.5.1.3. ZONA DE DESPRENDIMIENTO

El velo que lleva el cilindro de Salida / Peinador debe ser desprendido por un peine oscilante o bien mediante un par de cilindros que están cromados y pulidos, que lo retiran y lo conducen hacia un embudo para que se constituya en forma de cinta. La cinta final producida se acumula en un bote cilíndrico donde posteriormente será transportado a la siguiente etapa del proceso de hilatura.

2.4.5.2. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CARDADO

Hay varios componentes que influyen dentro del sistema propio de la máquina como se muestra en la Figura 24. Es importante el respectivo mantenimiento de varios de ellos por parte del operador para actúen de forma adecuada en el proceso como tal. Los componentes de la máquina se describen a continuación.

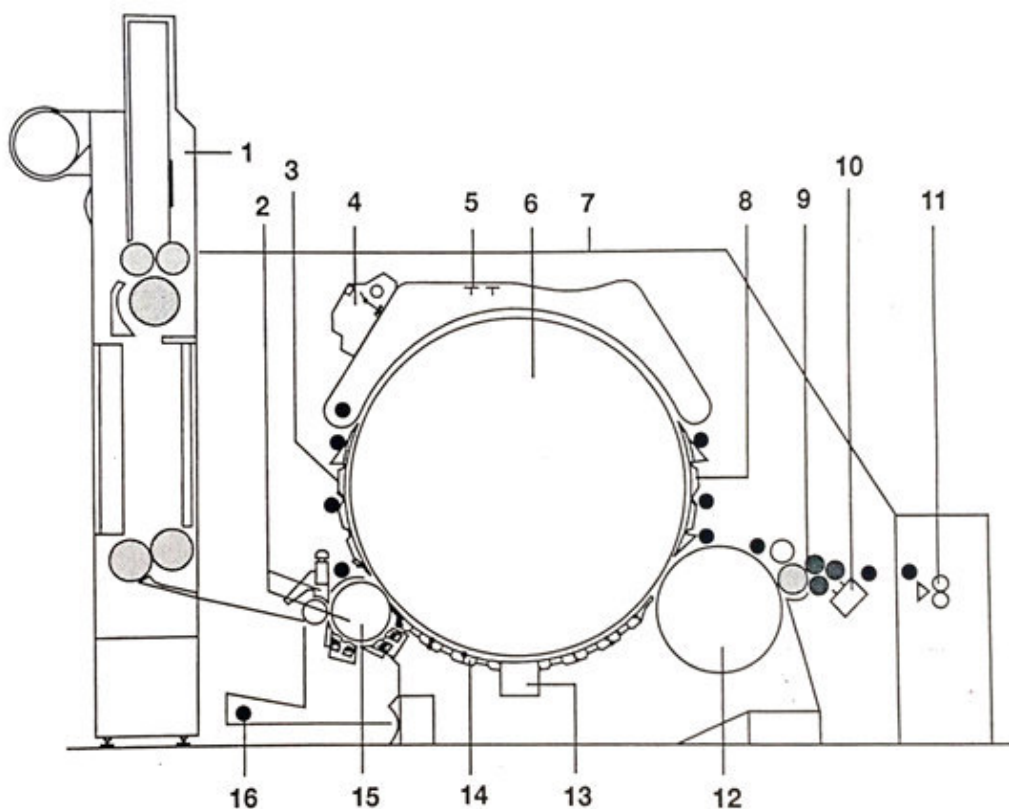


Figura 24 Vista interna lateral de la máquina carda C50 con sus componentes

Fuente: Manual propio de la máquina

Así como existen zonas principales en la máquina carda, a continuación se realiza una breve descripción de los componentes principales del sistema de cardado.

Tabla 4

Componentes de la máquina carda C 50

No.	Elementos
1	Silo de alimentación
2	Disgregación del material y medición de entrada para la regulación
3	Zona de precardado
4	Limpieza de los chapones con aspiración de los desperdicios
5	Chapones

Continúa...

6	Tambor
7	Encarenado completo
8	Zona de postcardado
9	Dispositivo desprendedor
10	Recolección del velo con cinta transversal
11	Rodillos escalonados para el palpado de la cinta para la regulación
12	Salida / Peinador
13	Aparato para rectificar la guarnición del tambor
14	Perfiles cubridores para la parte inferior de la carda
15	Alimentador / Tomador
16	Desperdicios del tomador. Eliminación mediante aspiración.
●	Puntos de aspiración

Fuente: Propia

2.4.5.2.1. AEROFEED O SILO

El proceso inicia con el ingreso de la fibra de algodón, presentado en forma de napa, el cual es conducido a través de ductos a todas y cada una de las máquinas carda en la empresa mediante un flujo de aire continuo. Este material ingresa por un sistema llamado *Aero - Feed* o Silo, el cual es el encargado de regular la alimentación continua y eficiente de la carda mediante un sensor de presencia donde secciona de forma automática para dejar pasar una cierta cantidad de fibras que se irá procesando en una especie de cámara o depósito como se observa en la Figura 25.



Figura 25 Silo lleno de material en la entrada de la máquina carda C50

Fuente: Propia

2.4.5.2.2. ALIMENTADOR / TOMADOR

Una vez que el material se encuentra almacenado en el depósito del silo, ingresa por un sistema de rodillos a la llamada *tolva de alimentación*, donde es importante que el material ingrese de forma compacta y uniforme como se observa en la Figura 26. En esta etapa el cilindro alimentador / tomador es el encargado de regular la alimentación continua del material al siguiente proceso de la carda que será al gran Tambor.



Figura 26 Tolva de alimentación vacía (izq) y llena con el material compacto y uniforme (der).

(Fuente: Propia)

2.4.5.2.3. TAMBOR

Este cilindro es el de mayor diámetro recubierto de una guarnición, generalmente rígida y que con los chapones efectúan el cardado de la fibra. Sobre el gran tambor se encuentra el conjunto de chapones giratorios, que giran respecto a este cilindro a una velocidad muy lenta, siendo en ésta parte que por la diferencia de diámetros y de velocidad se consigue un estiraje que disminuye el grosor del material alimentado para obtener el fino velo de las fibras, y que se entregan posteriormente al cilindro peinador.



Figura 27 Cilindro gran Tambor

Fuente: Propia

2.4.5.2.4. SALIDA / PEINADOR

En esta etapa el cilindro peinador elimina las fibras cortas que llevan consigo las napas de alimentación, se separan pequeñas impurezas que aún permanecen después del cardado y se terminan de paralelizar las fibras. Todo ello mejora la uniformidad de longitud de fibra lo cual es imprescindible para lograr hilados muy finos de buena resistencia.



Figura 28 Cilindro de salida / peñador

Fuente: Propia

2.4.5.2.5. APILADORA

La cinta producida por la carda es depositada en botes plásticos de 40 pulgadas de diámetro por 60 pulgadas de altura. Estos botes tienen una capacidad de 50 kilogramos, y le caben 4500 metros de cinta. En la Figura 29 se encuentran los botes llenos de material provenientes de la apiladora.



Figura 29 Botes llenos de cinta producida por la máquina carda

Fuente: Propia

2.5. CONTROL DE CALIDAD

En la actualidad cada día se exige más en la fabricación de hilos. Esto debido a que en su mayor parte se fabrican con máquinas modernas y están sometidas a un intenso control de calidad mediante equipos electrónicos de regulación con el fin de que el producto final quede entre unos límites aceptables previamente fijados por el usuario.

Sin embargo en todas las fases del proceso de hilatura pueden surgir defectos de diferentes formas y tamaños, que ocurren por varias posibles causas tanto internas como externas. Las propiedades físicas de los materiales están sujetos a variaciones de resistencia, diámetro, etc. Pero la que es de mayor interés en la aplicación realizada es la variación de masa (peso) por unidad de longitud. Se llama irregularidad a la variación de masa de los materiales salientes de las distintas máquinas usadas en la transformación de la materia prima en hilos, producir un hilo uniforme es un desafío.

El control de calidad sirve como una realimentación necesaria para detectar inmediatamente cualquier variación negativa y de esta forma localizar y reparar dicha unidad o línea defectuosa en la producción. Para cumplir dicho propósito es fundamental disponer del equipo necesario capaz de analizar, ya sea diariamente durante cada turno, muestras al azar del producto final de la máquina. En la sección siguiente se detalla una explicación de los diferentes equipos utilizados.



Figura 30 Cinta con gran cantidad de grumos producida en la carda

Fuente: Propia

2.5.1 EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD

Para realizar el control de calidad en la empresa, se trabaja con 2 instrumentos muy importantes:

- Báscula o balanza
- Uster Tester 4 – SE

De esta forma se sabrá que tan uniforme es la cinta producida y si se encuentra dentro de los rangos aceptables de peso. El control de calidad detecta inmediatamente cualquier desviación negativa que nos permitirá corregir la siguiente muestra al azar tomada.

2.5.1.1. USTER TESTER 4 - SE

El Uster Tester es un sistema de laboratorio para la medición de la uniformidad, puntos gruesos, delgados lugares, neps, vellosidad, diámetro, y la finura de los hilos.

El Uster Tester 4 - SE se utiliza para análisis en laboratorios textiles para determinar variaciones de masa en hilos, mechas y cintas. El equipo del Uster provee información sobre la calidad de los diferentes materiales textiles ya sean cintas, mechas e hilos a través de los diagramas de variación de masa y los siguientes valores numéricos, conocidos como valores individuales:

- Irregularidad de masa -Um
- Coeficiente de variación de masa -CVm
- Coeficiente de variación entre bobinas (o Inter) - CVb
- Índice de regularidad -I
- Imperfecciones: Partes gruesas, partes delgadas, neps.

El principal objetivo del perfil de calidad es ofrecer un diagrama que, incluso sin valores numéricos, pueda ofrecer información sencilla pero completa acerca de la calidad de los hilados analizados. Este diagrama se llama espectrograma, el cual se presenta detalladamente en el Capítulo VI de Analisis y Resultados, así como en la

parte de Anexos. En la Figura 31 se muestra el equipo USTER TESTER de la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A.



Figura 31 Equipo USTER TESTER 4 – SE

Fuente: Propia

2.5.1.2. BÁSCULA O BALANZA DE MEDICIÓN

Es un aparato que sirve para determinar el peso o la masa de la cinta producida por la máquina carda. Los operadores la utilizan seguido y de esta forma tienen una idea clara del peso en la producción de cinta de la máquina.

Esta báscula tiene una plataforma horizontal sobre la que se coloca el objeto que se quiere pesar. Con este tipo de balanza, primero los operadores miden 10 metros de cinta y la enrollan en forma de una bola irregular para compactarle de manera que el peso que se muestra en la báscula no se altere.

Es posible disponer de una pequeña variación de peso en la medición realizada con dicha báscula ya que nunca será exactamente al peso real al peso calculado. Es por ello que se permite una variación de ± 2 unidades. Es decir, del set point dispuesto existe un rango de 2 unidades mayores o 2 unidades menores de dicho valor. En caso de existir una variación mayor, el operador tiene la capacidad de ajustar dicho set point de la máquina mediante un pequeño ajuste en la pantalla HMI.

A continuación en la Figura 32 se muestra una medición de una bola de cinta final producida en la báscula que se encuentra en el laboratorio de control de calidad de la empresa:



Figura 32 Báscula o balanza de medición

Fuente: Propia

- *Unidades de medida:*

KTex: Es una medida empleada dentro de la empresa para el operador y el personal de control de calidad encargados de realizar las mediciones de peso y uniformidad de la cinta final producida. Significa el peso [gr] en 1 metro de cinta producida.

Al material saliente de la carda se hacen los siguientes chequeos o pruebas:

- a) ***Chequeo de peso:*** Se toma una muestra de cinta, se realizan mediciones cada 10 metros y posteriormente se pesa para verificar si cumple con un estándar de peso por longitud.
- b) ***CV:*** Coeficiente de variación entregada por el equipo de control de calidad Uster.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

En el presente capítulo se detallará cada uno de los procedimientos considerados para la modernización y puesta en marcha del sistema de cardado de la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A. El sistema de control realizado se centra en aplicar diversas técnicas adquiridas para satisfacer una necesidad real y propone impulsar la productividad de la empresa a través de la puesta en marcha del sistema de cardado para esta línea de producción.

En el mercado actual existe la necesidad de que el producto terminado presente garantías tanto en calidad como en cantidad exacta, y a precios competitivos por lo que se exige modernizar ciertos procesos industriales en producción mediante una automatización adecuada a los diferentes procesos a través de instrumentos de medición y control.

3.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Los requerimientos por parte de la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A., para la modernización del sistema de control de la máquina son los siguientes:

- Sistema de control actual basado en un controlador lógico programable, el mismo que reemplazará el antiguo equipo de la máquina.
- Pantalla táctil HMI para la visualización, monitoreo y control de mando del proceso.
- Control de nivel para el ingreso de material a la máquina y control de velocidad para la producción completa de la máquina.
- Control de 4 motores asíncronos, utilizados para los 4 procesos internos de la máquina: Alimentador/Tomador, Silo, Tambor y Peinador/Salida.

- Reemplazo de dispositivos obsoletos o que presenten fallas como pulsadores e interruptores para la desconexión inmediata en caso de emergencia y para operaciones de mantenimiento.

Es fundamental prever ciertos aspectos que garanticen la seguridad tanto del personal de operación como de mantenimiento para todos los requerimientos mencionados anteriormente, por lo que se deberá aplicar las normas de seguridad correspondientes para procesos industriales y dimensionar de manera correcta los equipos reemplazados en el tablero de control.

3.2. ANÁLISIS PREVIO

En esta sección se detallan los componentes que intervienen en el sistema de control, así como su dimensionamiento y características principales. Al tratarse de la modernización de un sistema anterior, es importante realizar una evaluación previa del estado en el que se encuentran ciertos equipos que intervienen en el funcionamiento general del proceso.

3.2.1. DIMENSIONAMIENTO DE DISPOSITIVOS EN LA MÁQUINA

La modernización de la máquina Carda Rieter C50 está orientada al sistema de control de la misma, sin embargo es fundamental realizar un análisis previo de los dispositivos tanto mecánicos como eléctricos que se encuentran operando en dicha carda. De esta manera se puede determinar el estado de todos los elementos que participan en el sistema de cardado y de ser necesario reemplazar aquellos que se encuentren defectuosos o no operativos.

3.2.1.1. ESPECIFICACIÓN DE ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS PREVIO A LA MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA

De acuerdo al proceso de cardado original en las máquinas Cardas Rieter C50 de la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A., es consecuente realizar un análisis del estado inicial del sistema que posee dicha máquina, como se presenta en la Tabla 5 y Tabla 6.

Es importante recalcar que existen ciertos dispositivos que se encuentran operativos dentro del tablero principal, sin embargo al modernizar todo el sistema de control de la máquina, estos dispositivos serán incompatibles con la tecnología actual implementada por lo que será necesario reemplazarlos. Esto se debe a la antigüedad de dichos equipos, que utilizan protocolos de comunicación diferentes a los actuales por lo que quedarán obsoletos para su uso en esta máquina. Dichos equipos serán guardados en el taller de la empresa para posibles repuestos en las otras líneas de producción existentes.

Hay otros elementos correspondientes a la parte mecánica de la Carda C50 que por desgaste con el paso del tiempo y de tanto uso, se han ido deteriorando a tal punto que ya no realizan su función correctamente, por lo cual se ha tenido la necesidad de realizar correcciones y mejoras a dichos elementos con la finalidad que cumplan su función en el sistema general de la máquina.

Tabla 5

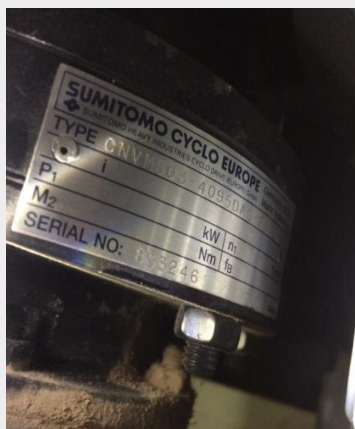
Estado de los componentes eléctricos y electrónicos del sistema de cardado

COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	CARACTERÍSTICAS
<p data-bbox="349 1346 903 1379">Motor Cilindro Alimentador / Tomador</p> 	<p data-bbox="1031 1346 1323 1379">Marca: Dietz Electric</p> <p data-bbox="1031 1400 1323 1433">Modelo: FDRU90LC</p> <p data-bbox="1050 1453 1302 1487">Potencia: 0,58 kW</p> <p data-bbox="1050 1507 1302 1541">Voltaje: 400 VAC</p> <p data-bbox="1062 1561 1289 1594">Corriente: 2,5 A</p> <p data-bbox="1031 1615 1323 1671">Velocidad: 3540 $\left[\frac{rev}{min}\right]$</p> <p data-bbox="1042 1691 1311 1724">Frecuencia: 240 Hz</p> <p data-bbox="1046 1803 1307 1836">Estado del equipo:</p> <p data-bbox="1110 1912 1243 1946">Operativo</p>

Continúa...

Motor Cilindro Tambor**Marca:** Dietz Electric**Modelo:** FDRU132S**Potencia:** 9,4 kW**Voltaje:** 460 VAC**Corriente:** 10 A**Velocidad:** 2960 $[\frac{rev}{min}]$ **Frecuencia:** 100 Hz**Estado del equipo:**

Operativo

Motor Silo**Marca:** Sumitomo Heavy Industries**Modelo:** CNVMS03**Potencia:** 0,25 kW**Voltaje:** 400 VAC**Corriente:** 0,74 A**Velocidad:** 2930 $[\frac{rev}{min}]$ **Frecuencia:** 200 Hz**Estado del equipo:**

Operativo

Motor Salida / Peinador**Marca:** Sumitomo Heavy Industries**Modelo:** CFMS08**Potencia:** 2,1 kW**Voltaje:** 400 VAC

Continúa...



Corriente: 4,2 A
Velocidad: 4420 $[\frac{rev}{min}]$
Frecuencia:
 150 Hz

Estado del equipo:

Operativo

Sensor Entrada Inductivo Izquierdo



Marca: Baumer Electric

Modelo: IWRM

Voltaje: 10 – 30 VDC

Corriente: 15 mA

Estado del equipo:

Operativo

Sensor Entrada Inductivo Derecho

Marca: Baumer Electric

Modelo: IWRM

Voltaje: 10 – 30 VDC

Corriente: 15 mA

Estado del equipo:

Operativo

Continúa...



Sensor Infrarrojo



Marca: Baumer Electric
Modelo: FHDS 15P5098 PNP
Voltaje: 12 – 28 VDC
Corriente: 120 mA

Estado del equipo:

Operativo

Sensor Salida Galga Extensiométrica

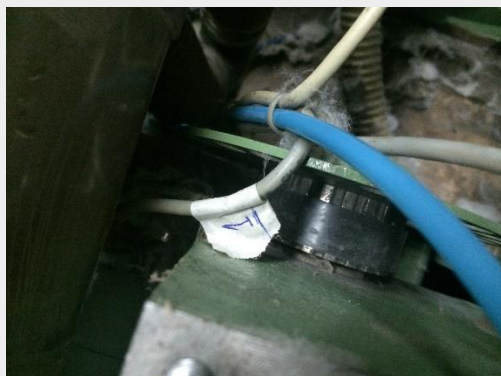


Marca: Rieter
Modelo: Sin modelo / Propio de la máquina
Voltaje: 12 – 24 VDC
Corriente: 300 mA

Estado del equipo:

Operativo

Continúa...

Sensor Encoder**Marca:** Rieter**Modelo:** Sin modelo / Propio de la máquina**Voltaje:** 12– 24 VDC**Corriente:** 100 mA**Estado del equipo:**

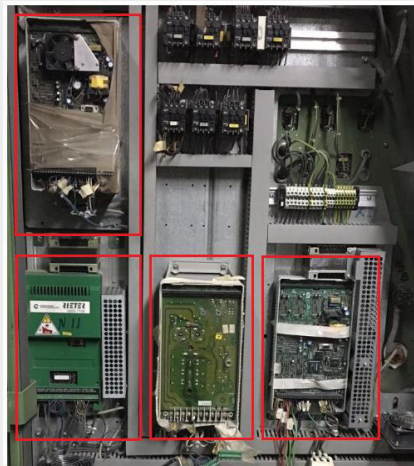
Operativo

Sensor Reflectivo**Marca:** Sassi [Continúa...](#)**Modelo:** G18-3A10NAT**Voltaje:** 10– 30 VDC**Corriente:** 200 mA**Estado del equipo:**Presenta señales erróneas -
Reemplazar**Unidad de Control****Marca:** Rieter**Modelo:** Sin modelo / Propio de la máquina**Voltaje:** 110 VAC**Corriente:** 100 mA**Estado del equipo:**[Continúa...](#)



No Operativo – Reemplazar

Variadores de Frecuencia



Marca: Rieter
Modelo: S
Voltaje: 400 VAC

Estado del equipo:
 No Operativo - Reemplazar

Tabla 6

Estado de los componentes mecánicos del sistema de cardado

COMPONENTES MECÁNICOS	CARACTERÍSTICAS
<p>Poleas y bandas de transmisión motor trifásico</p>	<p>Reducción mecánica mediante banda</p>
	<p>Marca: Rieter Modelo: 13 x 1016A - 40</p>

Continúa...



Estado del componente:

Operativo

Pieza para activación Fin de Carrera Caja de Filtro



La pieza mecánica encargada de activar el sensor fin de carrera caja de filtro que detecta cuando la puerta en el sistema de Ventilación se encuentra abierta o cerrada. Necesario para seguridad de la máquina.

Estado del componente:

Desgastado - Reemplazar

Puerta del Silo



Continúa...

La puerta del silo actual propia de la máquina Carda C50 impide la visualización del ingreso del material a la tolva de alimentación, la cual es necesario reemplazarla para corrección de aparición de surcos en la napa.

Continúa...

	Estado del componente: Desgastado - Reemplazar
--	--

Una vez realizado un análisis de los componentes eléctricos y mecánicos que posee el sistema de la máquina, se conoce el estado actual en el que se encuentran dichos elementos. Aquellos que se encuentran desgastados o no operativos será necesario reemplazarlos.

3.3. ALIMENTACIÓN PRINCIPAL

Para la alimentación principal, la empresa ya contaba con el cableado correspondiente al tablero eléctrico de cada una de las cuatro líneas de producción existentes en el cardado, por lo cual, las protecciones ya disponían de la capacidad necesaria para alimentar el proceso a modernizar.

El tablero principal cuenta con una alimentación trifásica a 440VAC que alimenta al sistema de la máquina. Fue importante adquirir los manuales técnicos y de funcionamiento de la máquina Carda C50 para desarrollar el respectivo diagrama de fuerza y diagrama unifilar con todos los dispositivos de protección y de mando correspondientes.

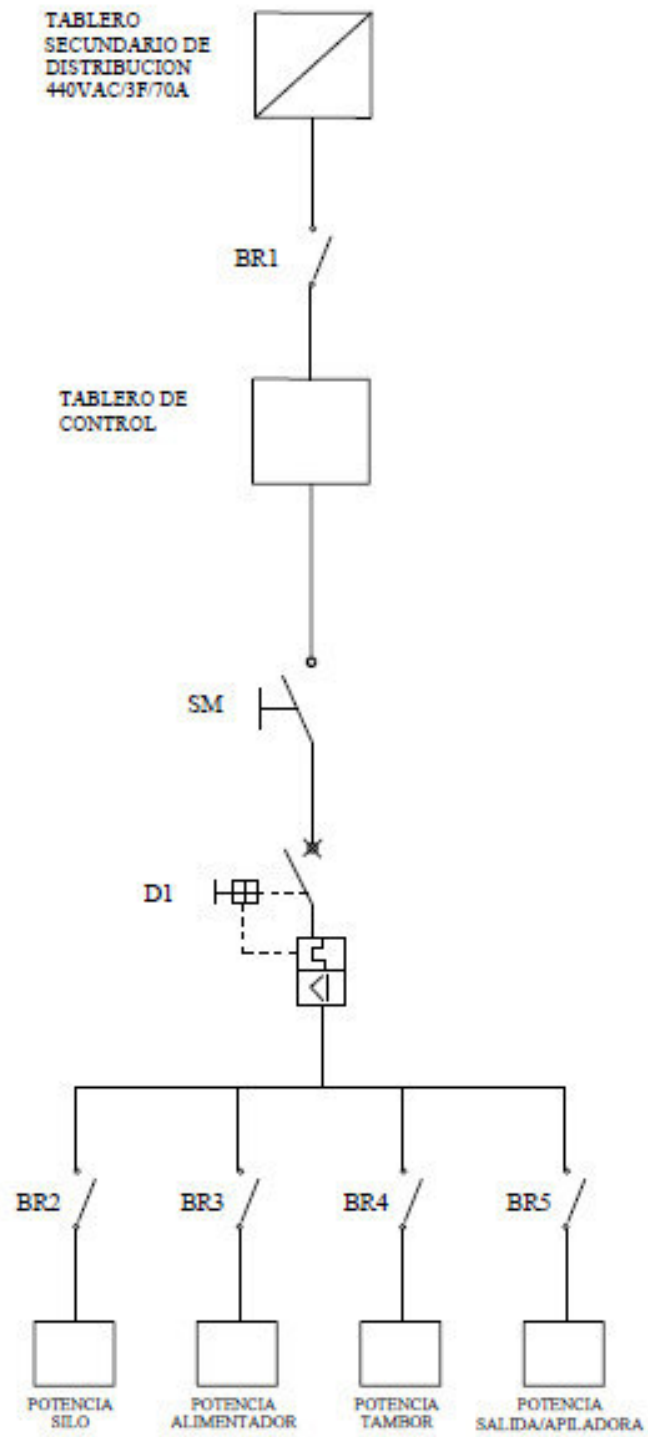


Figura 33 Diagrama unifilar

Fuente: Propia

3.3.1. DIAGRAMA UNIFILAR DE ACOMETIDA PRINCIPAL

Se desarrolló el diagrama unifilar correspondiente al sistema de cardado con el objetivo de conocer todos los dispositivos de protección correspondientes al circuito de control y potencia. Con ello se dispondrá de la base necesaria para la identificación en la selección de los dispositivos y componentes que se utilizará para cada circuito. El diagrama unifilar de acometida principal se observa en la Figura 33.

3.5. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

Respecto al circuito de control del sistema, este fue diseñado a partir de lo especificado en el manual técnico de la máquina y a los diferentes requerimientos de la empresa, en lo referente para los elementos de mando y control. A continuación se describen las funciones, elementos y seguridades con las que debe contar el circuito de control:

- El sistema debe tener un botón de emergencia (**PE**) para desactivar el sistema por completo en caso de algún problema o peligro.
- Las bobinas de apertura y cierre de los seguros de las puertas **S18** y **S19** de la máquina deben funcionar correctamente.
- Para verificar si efectivamente el guardamotor de protección se encuentra en estado abierto (trip) o cerrado, se debe utilizar una entrada digital que indique su estado donde:

(1=Conectado, 0=Desconectado)

- Existen 6 guardamotors en el tablero eléctrico y son los siguientes:

GUARDAMOTOR_ALIMENTADOR_SALIDA_APILAD_Q10

GUARDAMOTOR_TAMBOR_OK_Q1

GUARDAMOTOR_APERTURA_SILO_OK_Q42

GUARDAMOTOR_ALIMENTADOR_SILO_OK_Q43

GUARDAMOTOR_VENTILACION_OK_Q201

GUARDAMOTOR_CEPILLO_PEINADOR_OK_Q12

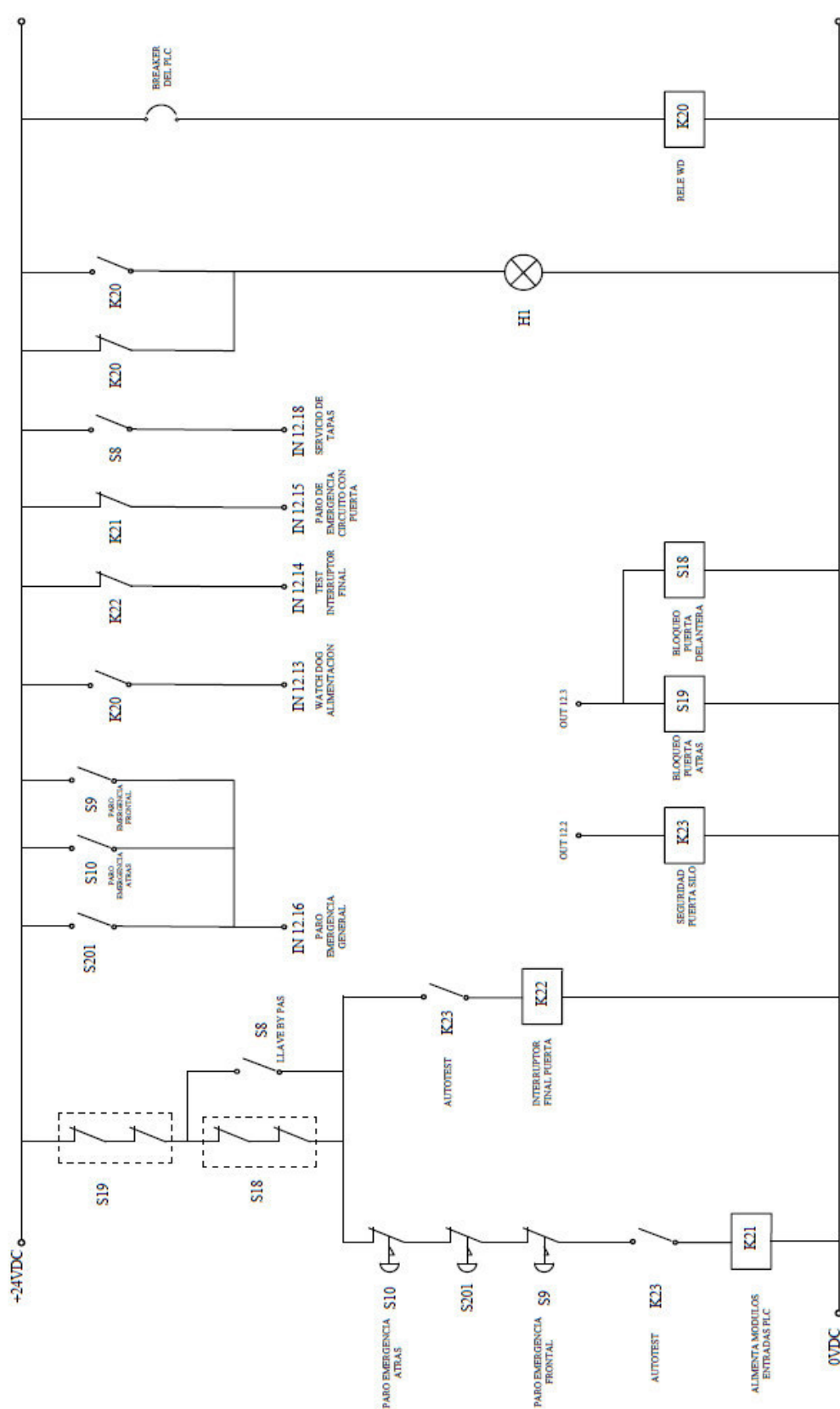


Figura 34 Circuito de control para las seguridades

Fuente: Propia

- El relé **K20** cierra un contacto para encender la luz **H1**, previo a una salida del PLC, que se activa cuando hay una avería, alarma o alguna condición anormal de operación. La salida parpadea cuando no hay un bote de reserva en la apiladora.
- El relé **K20** energiza los módulos del PLC y un contacto de este relé avisa al PLC que está OK (ALIMENTACION_OK).
- Una vez que el PLC detecta ALIMENTACION_OK, activa por una salida el AutoTest que energiza el rele **K23**.
- El contacto 1 del relé **K23** a su vez activa **K21**, que es un relé cuya activación previa depende de la conexión en serie de los paros de emergencia (**S10,S9** y **S201**) con los contactos cerrados de las puertas laterales (**S18** y **S19**).

SISTEMA DE VENTILACIÓN

- El guardamotor de la fuerza del ventilador es **Q201**, el cual alimenta dos contactores para el cambio de giro del ventilador **K201** (giro horario) y **K202** (giro anti horario) cuyas activaciones son mediante una salida del autómata.
- El sistema de ventilación se detiene cuando cualquiera de estos sensores se activa:

SENSOR_ENROLLAMIENTOS_VENTILACION_S205

SENSOR_PRESION_MINIMA_S206

COMBI_ENGATILLADO_S203

FINAL_CARRERA_CAJA_FILTRO_S204

- Para detención momentánea del ventilador se presiona el pulsador **S202**, que está asociado a un temporizador el cual permite abrir la puerta del ventilador para recoger los desperdicios acumulados en la Carda por cierto tiempo. Si no

se cierra la puerta del ventilador una vez transcurrido dicho tiempo, se para la máquina.

SISTEMA ALIMENTADOR, SALIDA Y APILADORA

- El guardamotor de la fuerza del alimentador, salida y apiladora es **Q10**, que alimenta el contactor **K10** para los tres procesos (Alimentador, Salida y Apiladora).
- Para el arranque y paro el driver del alimentador utiliza un relé **K25** manejado por una salida del autómata.
- El pulsador **S200** ubicado en la zona de ventilación realiza el cambio de giro para el motor alimentador, manejado por una entrada del autómata.
- Para efectuar el cambio de giro en el drive alimentador es necesario el uso de un relé auxiliar **K75**, cuya bobina se activará por una salida del autómata.
- El primer contacto de **K75** cumplirá la función de cambio de sentido de giro en el drive, el segundo contacto fijará una velocidad predeterminada para el alimentador.
- El drive de la salida para su arranque y paro utiliza un relé **K26** manejado por una salida del autómata.
- Para la referencia de velocidad del drive alimentador, se utiliza la salida analógica de **0-10 VDC: AO_REF_DRIVE_ALIMENTADOR**
- Para la referencia de velocidad del drive salida, se utiliza la salida analógica de **0-10 VDC: AO_REF_DRIVE_SALIDA_APILADORA**
- La frecuencia de velocidad de la apiladora viene dada por el mismo Drive de Salida/Peinador.

TAMBOR

- El guardamotor del tambor es **Q1**, alimenta el contactor **K1** cuya bobina es activada por una salida del autómeta.
- Para el arranque y paro del drive del tambor se utiliza el Relé **K24**, cuya activación se da por una salida del autómeta.
- Para la referencia de velocidad del drive Tambor, se utiliza una salida analógica de **0-10VDC: AO_REF_DRIVE_TAMBOR**.

SILO

- El silo cuenta con dos guardamotors, el Q42 para el motor de apertura del material en el silo y el Q43 para la alimentación del silo.
- El Q42 alimenta el contactor K42 cuya bobina se activa de una salida del autómeta.
- El Q43 alimenta el contactor K43 cuya bobina se activa de una salida del autómeta. La alimentación de material al Silo funciona con un variador de frecuencia.
- Para la referencia de velocidad del drive Silo, se utiliza una salida analógica de **0-10VDC: AO_REF_DRIVE_SILO**.
- Para el arranque y paro del drive del silo se utiliza el relé K44.
- El pulsador **S41** determina la orden para que vaya en reversa el alimentador del silo.

- Para el funcionamiento en reversa del alimentador del silo, se utiliza un nuevo relé auxiliar **K74**.
- El primer contacto del **K74** activa la entrada de cambio de giro en el drive del silo.
- El segundo contacto del **K74** activa una velocidad predeterminada en el drive del silo.
- Estos dos contactos permiten realizar la acción de reversa pero con velocidad constante predeterminada.
- Para saber si el silo está lleno o vacío se utiliza un sensor de nivel reflectivo, que indica un estado de Silo vacío o Silo lleno.
- **K45** es un relé que se activa con la salida del autómeta, el cual pide material para alimentar el silo.
- Para la referencia de velocidad del drive Silo, se utiliza una salida analógica de **0-10 VDC: AO_REF_DRIVE_SILO**

CEPILLO LIMPIADOR

- El guardamotor del cepillo limpiador es Q12, alimenta a **K12** cuya activación viene de una salida del autómeta.
- A esta salida está conectado en paralelo también el horómetro, para determinar las horas de producción de la máquina.

VIGILANCIA DE LA CINTA

- A la salida de la cinta, se cuenta con un sensor infrarrojo para verificar si existe corte de la cinta llamado **B7 PNP**.

3.5.1. CONSIDERACIONES PARA EL SISTEMA DE CONTROL

El proceso requiere un funcionamiento de forma automática que permita manipular la velocidad de accionamiento de 4 cilindros actuadores los cuales permitirán el ingreso de la fibra de algodón, presentado en forma de napa, a la máquina carda y su salida como cinta con fibras individualizadas y libres de impurezas.

En la entrada a la máquina, los órganos de medición montados en ambos lados de la tolva de alimentación, registran variaciones del corte transversal de la napa alimentada. De las señales recibidas, el controlador forma un valor promedio el cual es registrado.

Para la salida un par de rodillos escalonados palpa el corte transversal de la cinta que sale, y es necesario comparar: el valor medido con el valor teórico preseleccionado. Si existe diferencia en la comparación de estos valores, el controlador corrige las desviaciones del valor teórico mediante el cambio del número de revoluciones del cilindro alimentador.

El controlador lógico programable (PLC) es el encargado de controlar y manejar cada una de las referencias de velocidades que necesita cada uno de los 4 variadores de frecuencia con los que trabaja la máquina de cardado que son: alimentación de materia prima en el silo, alimentación cilindro tomador, cilindro gran tambor y salida cilindro peinador – apiladora de botes. Esta referencia dependerá del resultado del lazo de control obtenido.

Para el lazo de control de nivel en el silo, la máquina cuenta con un sensor de nivel reflectivo para determinar el nivel de fibra de algodón que ingresa a la carda. El controlador está en condiciones de influir sobre la velocidad de entrega del motor del

silos según el valor de la señal que presente. De esta manera la cantidad de material que entra en la carda queda constante.

En la parte operativa del sistema, el operador podrá ingresar parámetros variables de rangos de velocidad, parámetros de trabajo necesarios para la producción, tipo de producto, calibraciones y compensaciones; a través de un interfaz humano máquina implementada en una pantalla HMI. Dicha interfaz se comunicará con el PLC mediante Ethernet.

La carda C 50 cuenta con sensores de seguridad para la máquina, sensores de medición de la calidad del hilo (anchura del hilo), sensores para conocer si existió un corte de la mecha de hilo en el proceso de cardado y sensores para el proceso final de apilado de botes. Es necesario tomar en cuenta la función específica que cumple cada uno de estos sensores para el diseño completo de la máquina y por ende para su correcto funcionamiento.

De acuerdo a los requerimientos del sistema se entregará a la salida del equipo un contenedor compacto llamado bote de carda donde se deposita en forma circular la fibra de hilo, el cual es enrollado a velocidad configurable por el operador controlado por un variador de frecuencia.

3.6. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Es requerimiento de la empresa Textiles del Valle S.A. que el sistema de control modernizado sea mediante un controlador lógico programable, debido a que el antiguo controlador de la máquina Carda C50 utilizaba una tecnología obsoleta y por ende conseguir repuestos para estos equipos era algo imposible de lograr. En la empresa existen otras líneas de producción para el proceso de cardado, los cuales a futuro pueden llegar a ser modernizados, por lo tanto se puede implementar este algoritmo de control dentro de la programación del autómatas.

Para la selección de autómatas programables primeramente se deberá describir el funcionamiento del sistema y posteriormente se deberá elegir el autómatas de acuerdo a las necesidades del sistema.

- **Descripción del funcionamiento del sistema**

El arranque y paro del sistema se lo realiza de forma manual mediante la pantalla HMI, existe una pantalla de configuración de los parámetros a los que trabajará la máquina y se utiliza un pulsador de emergencia para desactivar el sistema por completo.

Los dispositivos de entrada y salida que intervienen en el sistema son los siguientes:

- Motores asíncronos.
- Variadores de frecuencia.
- Elementos de mando y control.
- Guardamotores, contactores y relés.
- Pantalla HMI.
- Sensores inductivos.
- Sensores encoder.
- Sensor de vigilancia de cinta.
- Sensor reflectivo de nivel.
- Interruptor de alimentación.

La línea de producción en la cual trabaja la máquina Carda C50 cuenta con varias señales y variables las cuales se deben tomar en cuenta al momento de definir los dispositivos con los cuales se trabajará en la modernización del sistema.

A continuación se detallan dichas variables necesarias para el proceso completo de cardado desde la Tabla 7 a la Tabla 11.

Tabla 7

Designación de señales eléctricas de entrada del autómata.

SEÑALES DE ENTRADA AL AUTÓMATA			
Número	Variable del proceso	Tipo de variable	Descripción

Continúa...

1	Bote vacío disponible	Discreta (Relé)	Señal que detecta la presencia de bote en la apiladora
2	Final carrera de cuchilla	Discreta (Relé)	Señal final de carrera de cuchilla en la apiladora.
3	Tapa Cerrada	Discreta (Relé)	Señal que indica si está abierta la tapa de la apiladora.
4	Cambio de botes vagón medio	Discreta (Relé)	Señal de cambio de botes medio.
5	Cambio de botes vagón atrás	Discreta (Relé)	Señal de cambio de botes atrás.
6	Cambio de botes vagón adelante	Discreta (Relé)	Señal de cambio de botes adelante.
7	Bote en posición	Discreta (Relé)	Señal bote en posición en la apiladora.
8	Guardamotor de Alimentación/Salida/Apiladora Q10 OK	Discreta (Relé)	Señal que indica que la alimentación al guardamotor Q10 está OK
9	Guardamotor del Tambor Q1 OK	Discreta (Relé)	Señal que indica que la alimentación al guardamotor Q1 está OK
10	Guardamotor de Apertura en el Silo Q42 OK	Discreta (Relé)	Señal que indica que la alimentación al guardamotor Q42 está OK
11	Guardamotor Alimentador del Silo Q43 OK	Discreta (Relé)	Señal que indica que la alimentación al

Continúa...

			guardamotor Q43 está OK
12	Guardamotor Sistema de Ventilación Q201 OK	Discreta (Relé)	Señal que indica que la alimentación al guardamotor Q201 está OK
13	Guardamotor Cepillo Peinador Q12 OK	Discreta (Relé)	Señal que indica que la alimentación al guardamotor Q12 está OK
14	Watchdog Alimentación OK	Discreta (Relé)	Señal alimentación OK Watchdog
15	Test de puertas no OK	Discreta (Relé)	Señal de chequeo puertas no OK
16	Test de paros de emergencia y puertas no OK	Discreta (Relé)	Señal paros de emergencia no OK
17	Paro de emergencia presionado	Discreta (Relé)	Señal paros de emergencia presionados.
18	Puertas laterales cerradas S19 y S18	Discreta (Relé)	Señal de puertas laterales cerradas.
19	Servicio de tapa S8	Discreta (Relé)	Señal de sensor S8
20	Sensor enrollamientos ventilación S205	Discreta (Relé)	Señal del sensor en el sistema de ventilación.
21	Sensor presión mínima S206	Discreta (Relé)	Señal de presión mínima del sensor S206.
22	Pulsador paro ventilación S202	Discreta (Relé)	Señal pulsador paro en la ventilación S202.
23	Combi engatillado S203	Discreta (Relé)	Señal sensor combi engatillado S203.

Continúa...

24	Final de carrera caja de filtro S204	Discreta (Relé)	Señal final de carrera caja de filtro S204.
25	Alimentador hacia atrás S200	Discreta (Relé)	Señal cambio de giro alimentador S200.
26	Autotest OK Puertas del silo cerradas	Discreta (Relé)	Señal puertas del silo cerradas.
27	Seguro de puertas en el Silo S40	Discreta (Relé)	Señal seguro de puertas S40 del Silo.
28	Sensor reflectivo silo vacío B40	Discreta (Relé)	Señal sensor reflectivo silo vacío B40
29	Alimentador Silo hacia atrás S41	Discreta (Relé)	Señal cambio de giro silo S41.
30	Vigilancia en la cinta B7	Discreta (Relé)	Señal del sensor que detecta rotura en la cinta.
31	Vigilancia de cobertura B2	Discreta (Relé)	Señal del se Continúa... detecta cobertura en la cinta.
32	Estado del Driver Tambor OK	Discreta (Relé)	Señal de estado del Driver Tambor OK
33	Estado del Driver Salida OK	Discreta (Relé)	Señal de estado del Driver Salida OK
34	Estado del Driver Alimentador OK	Discreta (Relé)	Señal de estado del Driver Alimentador OK
35	Estado del Driver Silo OK	Discreta (Relé)	Señal de estado del Driver Silo OK

Fuente: Propia

Tabla 8

Designación de señales eléctricas de salida del autómata.

SEÑALES DE SALIDA AL AUTÓMATA

Número	Variable del proceso	Tipo de variable	Descripción
1	Activación del Auto test	Discreta (Relé)	Señal de activación para el Auto Test.
2	Activación de Seguro de puertas S18 y S19	Discreta (Relé)	Señal de activación de seguro de puertas S18 y S19.
3	Luz H1	Discreta (Relé)	Señal de activación de la luz indicadora H1.
4	Arranque del ventilador horario	Discreta (Relé)	Señal de arranque horario del ventilador.
5	Arranque del ventilador anti horario	Discreta (Relé)	Señal de arranque anti horario del ventilador.
6	Alimentación Driver Alimentador/Salida	Discreta (Relé)	Señal de alimentación driver Alimentación/Salida.
7	Alimentación Driver Tambor	Discreta (Relé)	Señal de alimentación driver Tambor.
8	Alimentación Driver Alimentador Silo	Discreta (Relé)	Señal de alimentación driver Silo. Continúa...
9	Run/Stop Driver Alimentador	Discreta (Relé)	Señal de arranque y paro Driver Alimentador.
10	Run/Stop Driver Salida	Discreta (Relé)	Señal de arranque y paro Driver Salida.
11	Run/Stop Driver Tambor	Discreta (Relé)	Señal de arranque y paro Driver Tambor.
12	Run/Stop Driver Silo	Discreta (Relé)	Señal de arranque y paro Driver Silo.
13	Reversa Driver Alimentador con Velocidad constante	Discreta (Relé)	Señal de reversa driver alimentador.

Continúa...

14	Reversa Driver Silo con Velocidad constante	Discreta (Relé)	Señal de reversa driver silo.
15	Apertura del material en el Silo	Discreta (Relé)	Señal de apertura del material en el Silo.
16	Activar Cepillo Limpiador	Discreta (Relé)	Señal de activación cepillo limpiador.
17	Base de la apiladora en cambio de botes hacia adelante Y5	Discreta (Relé)	Señal cambio de botes base hacia adelante Y5.
18	Base de la apiladora en cambio de botes hacia atrás Y4	Discreta (Relé)	Señal cambio de botes base hacia atrás Y4.
19	Subir cuchilla para el cambio de bote Y3	Discreta (Relé)	Subir cuchilla en el cambio de botes para el corte de la cinta Y3.
20	Bajar cuchilla para el cambio de bote Y2	Discreta (Relé)	Bajar cuchilla en el cambio de botes para el corte de la cinta Y2.
21	Seguridad para los topes en los botes de la apiladora Y1	Discreta (Relé)	Seguridad para mantener el bote en la apiladora.

Fuente: Propia

Tabla 9

Designación de entradas analógicas del autómata.

SEÑALES DE ENTRADAS ANALÓGICAS AL AUTÓMATA

Número	Variable del proceso	Tipo de variable	Descripción
1	Sensor proximidad izquierda de entrada al Alimentador	Analógica	Señal de proximidad del sensor izquierdo en la entrada al Alimentador

Continúa...

2	Sensor proximidad derecha de entrada al Alimentador	Analógica	Señal de proximidad del sensor derecho en la entrada al Alimentador
3	Sensor de Medición Final en la salida	Analógica	Señal de proximidad del órgano de medición en la salida.

Fuente: Propia

Tabla 10

Designación de salidas analógicas del autómeta.

SEÑALES DE SALIDAS ANALÓGICAS AL AUTÓMETA

Número	Variable del proceso	Tipo de variable	Descripción
1	Referencia Driver Alimentador	Analógica	Señal de referencia de 0-10VDC para el driver del Alimentador.
2	Referencia Driver Salida/Apiladora	Analógica	Señal de referencia de 0-10VDC para el driver de la Salida/Apiladora.
3	Referencia Driver Tambor	Analógica	Señal de referencia de 0-10VDC para el driver del Tambor.
4	Referencia Driver Silo	Analógica	Señal de referencia de 0-10VDC para el driver del Silo.

Continúa...

Fuente: Propia

Tabla 11**Designación de variables del autómata.****SEÑALES PARA EL MÓDULO ENCODER DEL AUTÓMATA**

Número	Variable del proceso	Tipo de variable	Descripción
1	ADR_IN_Tambor	Encoder	Señal de encoder para la medición de velocidad del tambor
2	ADR_IN_Salida	Encoder	Señal de encoder para la medición de velocidad de la salida.

Fuente: Propia

Según lo presentado en la Tabla 7, 8, 9, 10 y 11 para el nuevo sistema de control se requerirá de un controlador lógico programable con 35 entradas digitales, 20 salidas digitales, 3 entradas analógicas, 4 salidas analógicas y 2 entradas al módulo encoder.

3.6.1. SELECCIÓN DEL AUTÓMATA PROGRAMABLE

Para la selección del autómata se consideró especificaciones mencionadas desde la Tabla 7 a la Tabla 11. De acuerdo a las características del sistema, y por su accesible valor económico, se escogió el controlador lógico programable de la marca ABB de la gama AC500 modelo PM573 como se muestra en la Figura 35, el cual posee un CPU de procesamiento rápido proporcionando una plataforma fiable y potente para la aplicación correspondiente. Es considerado de alto rendimiento, y se compone de diferentes dispositivos que pueden ser combinados y expandidos de forma flexible para varias aplicaciones. Posee un módulo especializado en lectura de señales de encoder por lo que es adecuado para esta aplicación.

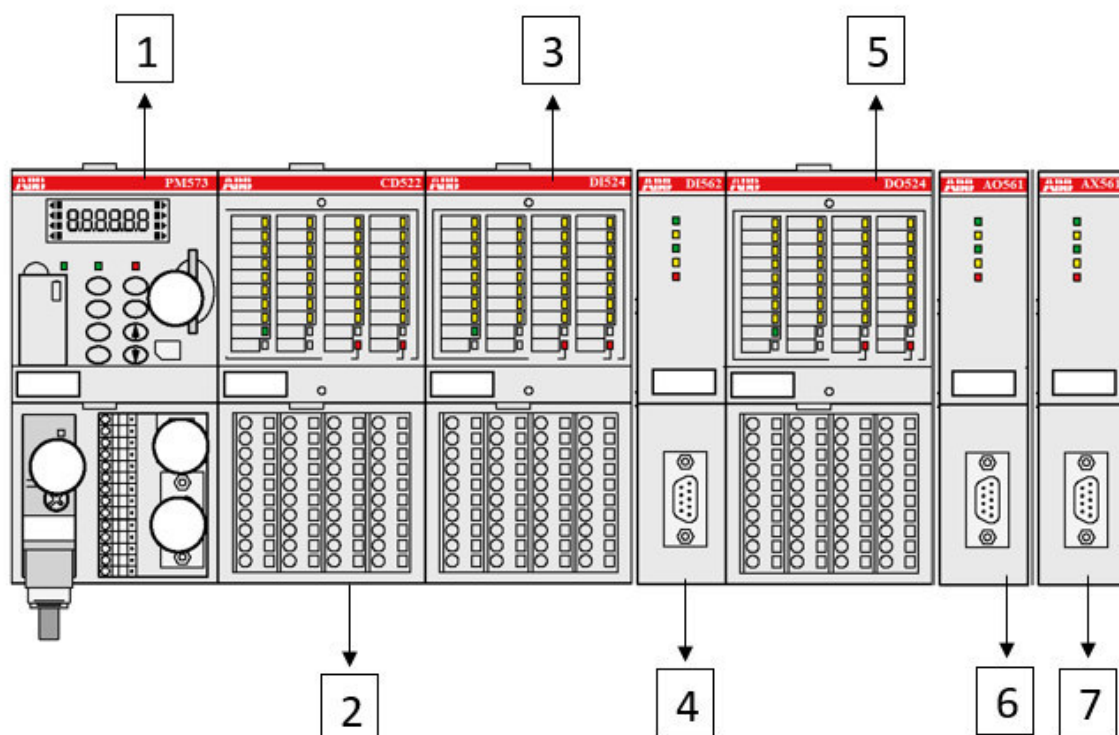


Figura 35 PLC ABB gama AC500 modelo PM573

Fuente: (ABB, CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE, 2009)

Tabla 12

Módulos del PLC ABB AC500

Número	Descripción
1	CPU PM573
2	Módulo Lectura Encoder CD522
3	Módulo Entradas Digitales DI524
4	Módulo Entradas Digitales DI562
5	Módulo Salidas Digitales DO524
6	Módulo Salidas Analógicas AO561
7	Módulo Entradas / Salidas Analógicas AO561

Fuente: Propia

El PLC seleccionado cuenta con las siguientes características técnicas:

- **Voltaje de Alimentación:** 24 VDC
- **Corriente de salida:** 1 A.
- **Máximo número de I/O digitales:** 320 entradas digitales, 240 salidas digitales con un máximo de 10 módulos de expansión.

- **Máximo número de I/O analógicas:** 160 entradas analógicas, 160 salidas analógicas con un máximo de 10 módulos de expansión.
- **Protección:** IP20
- **Lenguaje programación:** Ladder
- **Software de programación:** Control Builder Plus
- **Comunicación:** Programación con interfaz Serial/Ethernet
- **Protocolos de comunicación:** Modbus RTU, Modbus TCP



Figura 36 PLC ABB gama AC500 modelo PM573

Fuente: Propia

3.6.2. MÓDULO DE LECTURA ENCODER CD522

Para esta aplicación es necesario utilizar un módulo de lectura CD522, para las señales de los dos sensores encoder que posee la máquina. Este módulo dispone de 2 lecturas de encoders que trabajan de forma independiente uno del otro y son configurables por software para frecuencias de hasta 300 kHz. En la Figura 37 se muestra el módulo de expansión de señal encoder.



Figura 37 Módulo de lectura encoder modelo CD522

Fuente: (ABB, MÓDULO DE LECTURA ENCODER CD522, 2009)

El módulo presenta las características técnicas mostradas en la Tabla 13 (ABB, MÓDULO DE LECTURA ENCODER CD522, 2009)

Tabla 13

Datos técnicos del módulo CD522

Datos técnicos	Descripción
Modelo	CD522 S500 2xEncoder
Alimentación	24 VDC
Corriente de salida	2 A
Número de entradas	2
Máxima frecuencia Entrada	300 kHz
Temperatura máxima	60°C

Fuente: Propia

3.6.3. MÓDULO DE ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS AX561

En el sistema de cardado a modernizar, se utilizan 3 entradas analógicas que corresponden a los 2 sensores inductivos en la tolva de alimentación y 1 para el sensor de rodillos escalonados en la salida, todas estas son señales de 4 – 20 mA. Para las salidas se trabaja con 4 salidas analógicas que serán las referencias para los 4 variadores de frecuencia, señales de 0 – 10 VDC.

En la Figura 38 se muestra el módulo de expansión para entradas/salidas analógicas AX561.



Figura 38 Módulo de entradas/salidas analógicas modelo AX561

Fuente: (ABB, MODULO DE ENTRADAS/SALIDAS ANALOGICAS, 2009)

El módulo presenta las características técnicas mostradas en la Tabla 14 (ABB, MODULO DE ENTRADAS/SALIDAS ANALOGICAS, 2009)

Tabla 14**Datos técnicos del módulo AX561**

Datos técnicos	Descripción
Modelo	AX561:S500.Mod.4AI/2AO
Alimentación	24 VDC
Protección	IP20
Entradas Analógicas	4
Salidas Analógicas	2
Temperatura máxima	60°C

Fuente: Propia

3.6.4. MÓDULO DE ENTRADAS DIGITALES DI524

En lo correspondiente a las entradas para esta aplicación, como se explicó anteriormente en la Tabla 7, se utilizarán 35 entradas digitales. Es por ello que fue necesario acoplar un módulo externo, como el que se muestra en la Figura 39, que posee 32 entradas digitales a 24 VDC. En la sección siguiente 3.5. *Análisis de entradas y salidas al sistema* se detallan todas las entradas a utilizar en el sistema.

En la Figura 39 se muestra el módulo de expansión para entradas digitales DI524.

**Figura 39 Módulo de entradas digitales modelo DI524**

Fuente: (ABB, MODULO DE ENTRADAS DIGITALES MODELO DI524, 2009)

El módulo presenta las características técnicas mostradas en la Tabla 15 (ABB, MODULO DE ENTRADAS DIGITALES MODELO DI524, 2009)

Tabla 15**Datos técnicos del módulo DI524**

Datos técnicos	Descripción
Modelo	DI524:S500.Mod.32DI
Alimentación	24 VDC
Protección	IP20
Salidas Digitales 24VDC	32
Corriente de Salida	0.5 A
Temperatura máxima	60°C

Fuente: Propia

3.6.5. MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES DO524

En lo correspondiente a las salidas para esta aplicación, como se explicó anteriormente en la Tabla 8, se utilizarán 20 salidas digitales. Es por ello que fue necesario acoplar un módulo externo, como el que se muestra en la Figura 40, que posee 32 salidas digitales a 24 VDC. En la sección siguiente se detallan todas las salidas a utilizar en el sistema.

En la Figura 40 se muestra el módulo de expansión para salidas digitales DO524.

**Figura 40 Módulo de salidas digitales modelo DO524**

Fuente: (ABB, MODULO DE SALIDAS DIGITALES DO524, 2009)

El módulo presenta las características técnicas mostradas en la Tabla 16 (ABB, MODULO DE SALIDAS DIGITALES DO524, 2009)

Tabla 16**Datos técnicos de módulo DO524**

Datos técnicos	Descripción
Modelo	DO524:S500.Mod.32DO
Alimentación	24 VDC
Protección	IP20
Salidas Digitales 24VDC	32
Corriente de Salida	0.5 A
Temperatura máxima	60°C

Fuente: Propia

3.7. PANTALLA DEL OPERADOR

El sistema de cardado requiere el ingreso de los parámetros de trabajo con los que operará la máquina, como son: la selección del material a trabajar, velocidad de producción y peso de la cinta a producir. De igual manera es necesario visualizar, monitorear y controlar el sistema desde un panel considerando las siguientes características:

- Puerto de comunicación vía Ethernet.
- Manejo del panel a través de la pantalla táctil.
- Proveer máxima flexibilidad y fácil actualización del software.

Para la adquisición de la pantalla HMI se buscó un modelo que implique un ahorro económico para la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A., dicha pantalla debe ser compatible y realizar la comunicación de datos con el controlador lógico programable marca ABB, por lo que la pantalla escogida fue una WEG modelo MT8070iP como se muestra en la Figura 41. Este modelo dispone de las características necesarias para formar parte del sistema de control de la máquina modernizada. La programación se la realiza mediante el software llamado EasyBuilder, que posee un entorno amigable y cómodo de operar.

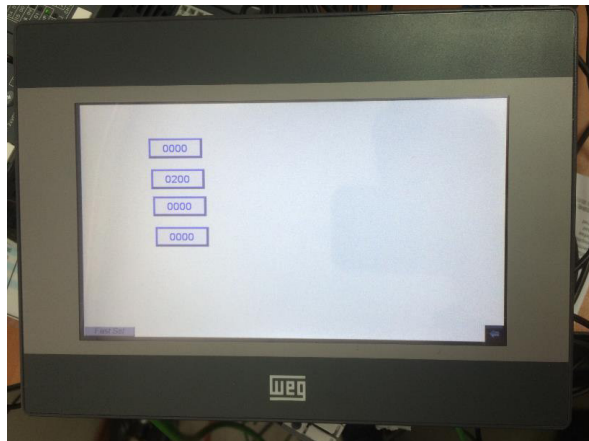


Figura 41 Pantalla WEG modelo MT8070Ip

Fuente: (WEG, 2015)

- **Voltaje de Alimentación:** 24 VDC
- **Tamaño:** 7 pulgadas (diagonal)
- **Dimensiones externas:** 200 x 146 x 42,5 mm
- **Resolución:** 800x480 pixels
- **Número de colores del display:** 65 K colores
- **Memoria flash:** 128 MB
- **Puertos:** Ethernet
- **Software de programación:** EasyBuilder 8000 V2.0.0

De acuerdo a la selección del PLC, módulos necesarios y la pantalla del operador se desarrolla el análisis de entradas y salidas del sistema así como el diagrama de conexiones tanto de entrada como salida de dichos dispositivos.

3.8. CONEXIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS AL SISTEMA

Las entradas y salidas del sistema están en función de los actuadores a controlar, para esta aplicación se utilizarán sensores inductivos, encoder, reflectivos y de vigilancia para conocer el estado del sistema.

3.8.1. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE MÓDULOS Y ENTRADAS

Es fundamental realizar las correctas conexiones para las diferentes entradas y salidas del controlador lógico programable, así como de los módulos de expansión, módulo para lectura del encoder, módulo de entradas y salidas analógicas y a la pantalla HMI. Por lo cual es necesario utilizar los datasheet de cada dispositivo, los cuales se encuentran anexados el capítulo final del documento. En la Figura 42 se muestra el diagrama de conexión de los módulos de entradas.

Tabla 17

Entradas Digitales Módulo DI562

Entrada	Nombre
I0	12_4_BOTE_VACIO_DISPONIBLE
I1	FINAL_CARRERA_DE_CUCHILLA
I2	TAPA_CERRADA
I3	12_2_CAMBIO_BOTES_VAGON_MEDIO
I4	12_1_CAMBIO_BOTES_VAGON_ATRAS
I5	12_3_CAMBIO_BOTES_VAGON_ADELANTE
I6	12_5_BOTE_EN_POSICION

Fuente: Propia

Tabla 18

Entradas Digitales Módulo DI524

Entrada	Nombre
I0	12_10_GUARDAMOTOR_ALIMENT_SALIDA_APILADORA_Q10
I1	12_21_GUARDAMOTOR_TAMBOR_OK_Q1
I2	13_04_GUARDAMOTOR_APERTURA_SILO_OK_Q42
I3	13_18_GUARDAMOTOR_ALIMENTADOR_SILO_OK_Q43
I4	13_13_GUARDAMOTOR_VENTILACION_OK_Q201
I5	12_11_GUARDAMOTOR_CEPILLO_PEINADOR_OK_Q12
I6	12_13_WATCHDOG_OK_ALIMENTACION_OK
I7	12_14_TEST_PUERTAS_NO_OK
I8	12_15_TEST_PAROS_EMERGENCIAS_PUERTAS_NO_OK
I9	12_16_PAROS_EMERGENCIA_PRESIONADO
I10	12_17_PUERTAS_LATERALES_CERRADAS_S19_Y_S18
I11	12_18_SERVICIO_DE_TAPA_S8
I12	13_14_SENSOR_ENROLLAMIENTOS_VENTILACION_S205

Continúa...

I13	13_11_SENSOR_PRESION_MINIMA_S206
I14	13_15_PULSADOR_PARO_VENTILACION_S202
I15	13_12_COMBI_ENGATILLADO_S203
I16	13_10_FINAL_CARRERA_CAJA_FILTRO_S204
I17	13_05_ALIMENTADOR_HACIA_ATRAS_S200
I18	13_20_AUTOTEST_OK_PUERTAS_SILO_CERRADAS
I19	13_2_SEGURO_PUERTAS_SILO_S40
I20	13_3_SENSOR_REFLECTIVO_SILO_VACIO_B40
I21	13_21_ALIMENTADOR_SILO_HACIA_ATRAS_S41
I22	12_19_VIGILANCIA_CINTA_B7
I23	12_9_VIGILANCIA_COBERTURA_B2
I24	STATUS_DRIVE_TAMBOR_OK
I25	STATUS_DRIVE_SALIDA_OK
I26	I26 STATUS_DRIVE_ALIMENTADOR_OK
I27	STATUS_DRIVE_SILO_OK

Fuente: Propia

Tabla 19

Entradas Analógicas Módulo AX561

Entrada	Nombre
AI0	AI0_SENSOR_PROX_IZQUIERDA_ENTRADA_ALIMENTADOR
AI1	AI1_SENSOR_PROX_DERECHA_ENTRADA_ALIMENTADOR
AI2	AI2_ORGANO_MEDICION_FINAL

Fuente: Propia

Tabla 20

Entradas al módulo Encoder Módulo CD522

Entrada	Nombre
ADR_IN	CD522_ADR_IN
ADR_OUT	CD522_ADR_OUT

Fuente: Propia

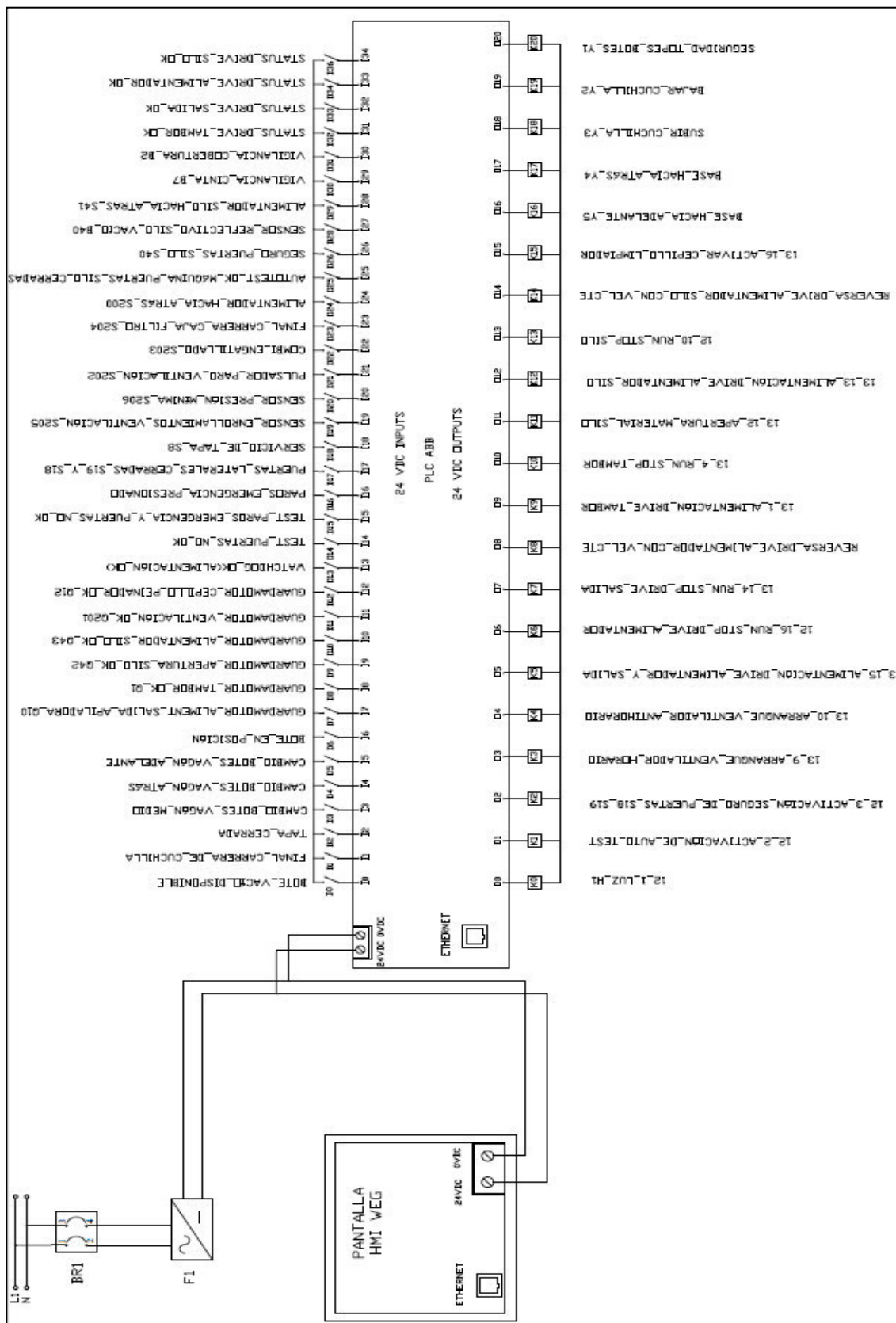


Figura 42 Conexión módulos de entradas y salidas digitales

Fuente: Propia

3.8.2. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE SALIDAS

Las diferentes salidas del controlador lógico programable se muestran listadas a continuación, tanto las digitales como las analógicas y en la Figura 42 se muestra el diagrama de conexión de los módulos tanto de entradas como de salidas.

Tabla 21

Salidas Digitales Módulo DO524

Entrada	Nombre
O1	12_1_LUZ_H1
O1	12_2_ACTIVACION_DE_AUTO_TEST
O2	12_3_ACTIVACION_SEGURO_DE_PUERTAS_S18_S19
O3	13_9_ARRANQUE_VENTILADOR_HORARIO
O4	13_10_ARRANQUE_VENTILADOR_ANTIHORARIO
O5	13_15_ALIMENTACIÓN_DRIVE_ALIMENTADOR_Y_SALIDA
O6	12_16_RUN_STOP_DRIVE_ALIMENTADOR
O7	13_14_RUN_STOP_DRIVE_SALIDA
O8	REVERSA_DRIVE_ALIMENTADOR_CON_VEL_CTE
O9	13_1_ALIMENTACION_DRIVE_TAMBOR
O10	13_4_RUN_STOP_TAMBOR
O11	13_12_APERTURA_MATERIAL_SILO
O12	13_13_ALIMENTACIÓN_DRIVE_ALIMENTADOR_SILO
O13	12_10_RUN_STOP_SILO
O14	REVERSA_DRIVE_ALIMENTADOR_SILO_CON_VEL_CTE
O15	13_16_ACTIVAR_CEPILLO_LIMPIADOR
O16	BASE_HACIA_ADELANTE_Y5
O17	BASE_HACIA_ATRAS_Y4
O18	SUBIR_CUCHILLA_Y3
O19	BAJAR_CUCHILLA_Y2
O20	SEGURIDAD_TOPES_BOTES_Y1

Fuente: Propia

Tabla 22

Salidas Analógicas Módulo AX561

Entrada	Nombre
AO0	AO_REF_DRIVE_ALIMENTADOR
AO1	AO_REF_DRIVE_SALIDA_APILADORA

Fuente: Propia

Tabla 23**Salidas Analógicas Módulo AO561**

Entrada	Nombre
AO0	AO_REF_DRIVE_TAMBOR
AO1	AO_REF_DRIVE_SILO

Fuente: Propia

3.9. DISEÑOS DE CIRCUITOS DE POTENCIA

Para realizar el circuito de potencia modernizado de la carda, se revisaron los diferentes planos eléctricos de la máquina así como los diagramas de potencia anteriores y se tomó en consideración las funciones de los guardamotores y contactores. El sistema eléctrico de potencia permite el suministro de energía a todos los dispositivos del sistema de cardado, para lo cual es necesario especificar la potencia de consumo de cada uno de los dispositivos. Por consiguiente se determinará el calibre del conductor y protecciones a través de la potencia de cada uno de los equipos.

Respecto a las protecciones del sistema, a continuación se detallan las funciones de cada uno de los elementos que se presentan en el plano eléctrico de la Figura 43.

PROTECCIÓN CONTRA LAS SOBRECARGAS

En el tablero eléctrico se cuenta con un interruptor termo magnético trifásico, el cual es el encargado de cortar el paso de corriente antes de que se recalienten los conductores.

- **Q1, Q10, Q42 y Q43:** Estos guardamotores o disyuntores magneto-térmico, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos, sirven para detectar los aumentos de corriente hasta 10 veces la corriente nominal (I_n) y cortar el arranque antes de que el recalentamiento del motor y de los conductores dañe los aislantes.

CONMUTACIÓN

Para la conmutación consiste en establecer, cortar y ajustar el valor de la corriente absorbida por un motor. Los dispositivos electromecánicos encargados de realizar la conmutación en el circuito de potencia son los contactores.

- **K12, K42 y K43:** Estos dispositivos son los guardamotors y permiten la conmutación para el sistema de alimentación, silo, sistema de salida y apiladora.
- **N1, N10, N11 y N43:** Estos dispositivos eléctricos son los variadores de frecuencia y se dimensionan en base a los datos de placa de cada motor con los que cuenta la máquina Carda.

3.10. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL

La línea de producción en la cual opera la máquina Carda C50 cuenta con varias señales y variables de los diferentes dispositivos que intervienen en el sistema de control, con los cuales se trabajará en la modernización del sistema.

Para realizar la modernización del sistema de cardado con sus adecuaciones correspondientes para la puesta en marcha del proceso completo como tal, es necesario dimensionar correctamente los dispositivos acorde a la aplicación. Estos dispositivos se clasifican en:

DISPOSITIVOS DE CONTROL Y POTENCIA

- Controlador Lógico Programable.
- Módulos de expansión de I/O analógicas, módulos de I/O digitales y módulo encoder.
- Pantalla HMI.
- Variadores de Frecuencia.
- Contactores electromecánicos.
- Pulsadores
- Sensores
- Luz indicadora luminosa

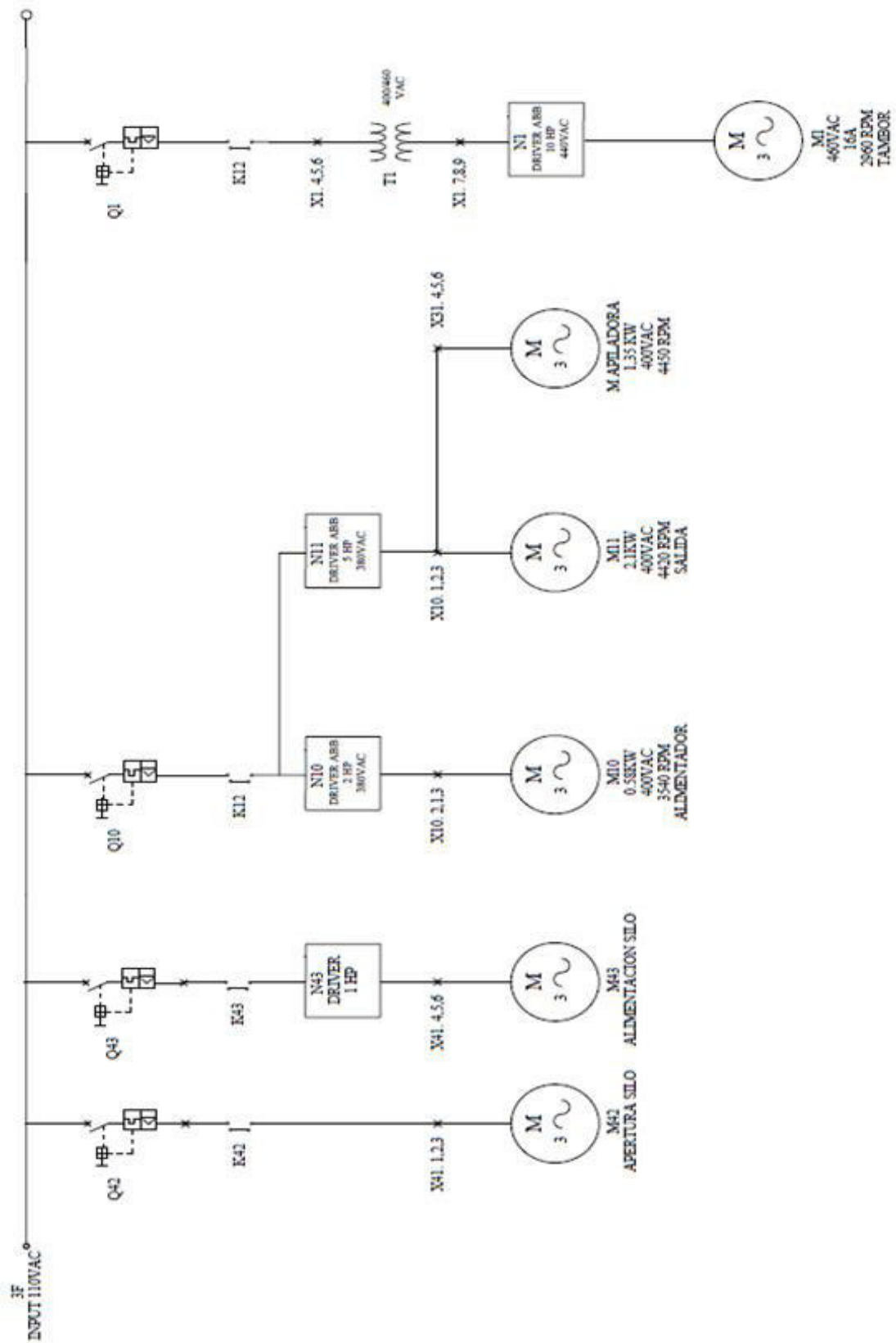


Figura 43 Circuito de Potencia Silo, Alimentador, Tabor y Peinador

Fuente: Propia

DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

- Interruptores termo magnéticos
- Guarda motores

ACTUADORES

- Motores asíncronos

En el diagrama de la Figura 44 se muestra la arquitectura del sistema de control automático para el sistema de cardado.

3.10.1. CIRCUITO DE POTENCIA

Para el dimensionamiento del circuito de potencia se tomará en cuenta el consumo máximo de corriente en base a las características de los 4 motores asíncronos para los procesos del Alimentador/Tomador, Silo, Tambor y Salida/Peinador. Para el dimensionamiento de los variadores de frecuencia es según los valores de placa de los motores como se muestra en las Tablas 24, 25, 26 y 27 para lo cual se realiza el cálculo de consumo de corriente total.

3.10.1.1. VARIADORES DE FRECUENCIA

Para la selección de estos equipos es necesario conocer los datos de placa de cada motor con los que cuenta la máquina Carda para poder dimensionar los variadores de frecuencia que serán necesarios adquirir para la modernización del sistema de control. En la Tabla 24, 25, 26 y 27 se muestran los valores de placa de los diferentes motores que actúan en el proceso de la máquina.

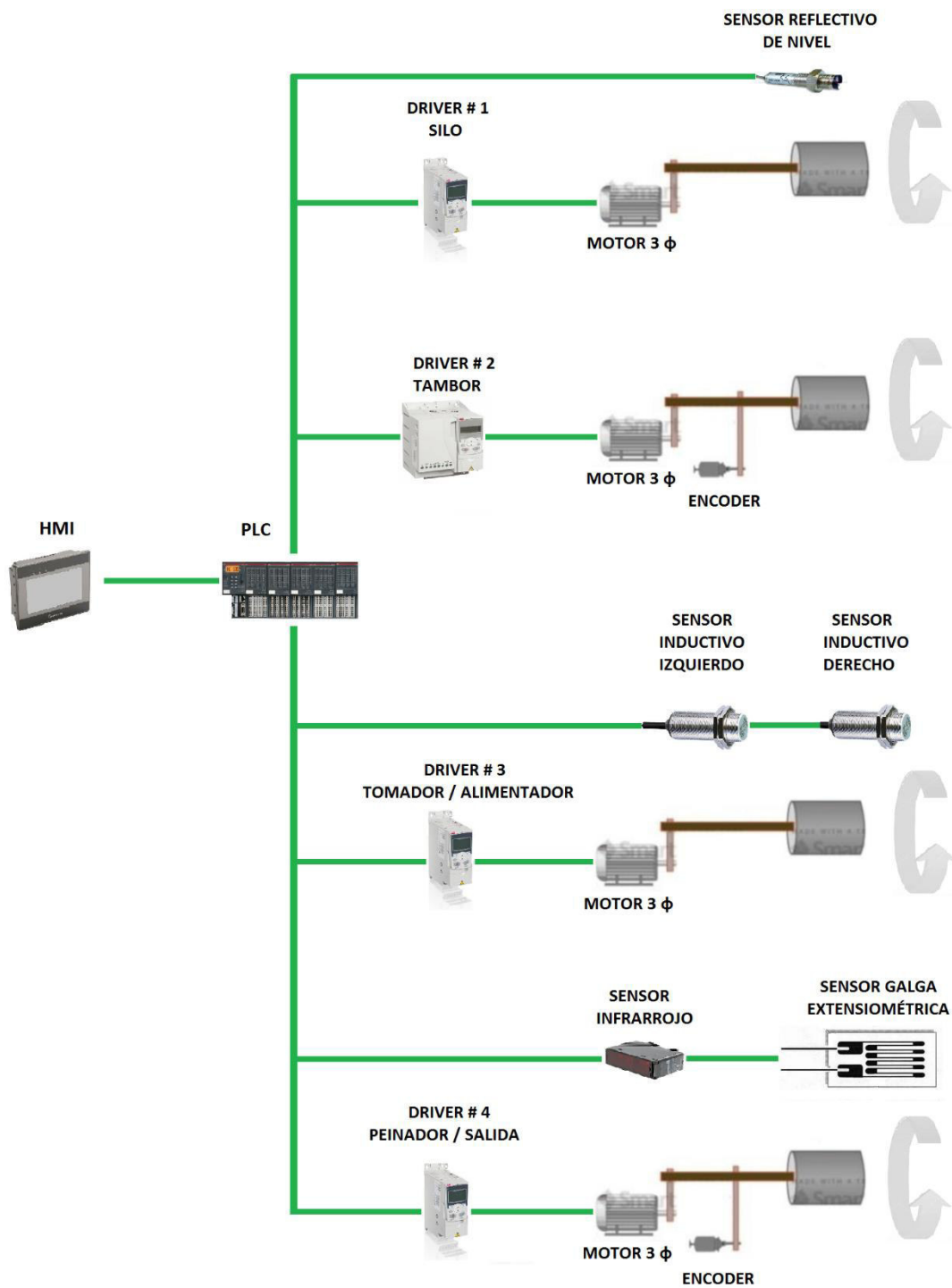


Figura 44 Arquitectura del sistema de control para el proceso de cardado

Fuente: Propia

Tabla 24

Datos de placa del motor del Tambor.

Datos de Placa		
Motor	Tambor	
Voltaje de operación Trifásico	230VAC	460VAC
Potencia [kW]	4,7 kW	9,4 kW
Amperaje [A]	10 A	10 A
Velocidad $\left[\frac{rev}{min}\right]$	1460 $\left[\frac{rev}{min}\right]$	2960 $\left[\frac{rev}{min}\right]$]
Frecuencia de trabajo [Hz]	50 Hz	100 Hz
$\cos(\varphi)$	0,83	0,83

Fuente: Propia

Tabla 25

Datos de placa de la salida/peinador.

Datos de Placa		
Motor	Salida / Peinador	
Voltaje de operación Trifásico	133VAC	400 VAC
Potencia [kW]	0,7 kW	2,1 kW
Amperaje [A]	4,2	4,2
Velocidad $\left[\frac{rev}{min}\right]$	1420 $\left[\frac{rev}{min}\right]$]	4420 $\left[\frac{rev}{min}\right]$

Continúa...

Frecuencia de trabajo [Hz]	50 Hz	150 Hz
$\text{Cos}(\varphi)$	0,88	0,88

Fuente: Propia

Tabla 26

Datos de placa del alimentador/tomador.

Datos de Placa		
Motor	Alimentador / Tomador	
Voltaje de operación Trifásico	80 VAC	400 VAC
Potencia [kW]	0,12 kW	0,58 kW
Amperaje [A]	2,5 A	2,5 A
Velocidad $\left[\frac{rev}{min}\right]$	690 $\left[\frac{rev}{min}\right]$	3540 $\left[\frac{rev}{min}\right]$
Frecuencia de trabajo [Hz]	50 Hz	240 Hz
$\text{Cos}(\varphi)$	0,60	0,60

Fuente: Propia

Tabla 27

Datos de placa del silo.

Datos de Placa		
Motor	Silo	
Voltaje de operación Trifásico	100 VAC	400 VAC
Potencia [kW]	0,06 kW	0,25 KW

Continúa...

Amperaje [A]	0.76 A	0.74 A
Velocidad [$\frac{rev}{min}$]	655 [$\frac{rev}{min}$]	2930 [$\frac{rev}{min}$]
Frecuencia de trabajo [Hz]	50 Hz	200 Hz
Cos(φ)	0.75	0.59

Fuente: Propia

Por ende de acuerdo a los requerimientos previamente explicados, por su valor económico bastante accesible y por los cálculos que se muestran desde la Ecuación 1 a la Ecuación 4 se han seleccionado Variadores de frecuencia de marca ABB modelo ACS355 de los siguientes valores:

Silo:	1 HP
Alimentador / Tomador:	1 HP
Salida / Peinador:	5 HP
Tambor:	10 HP

Tambor

$$V_{Alimentación} = 440 \text{ VAC}$$

$$f_{máx} = 95,65 \text{ Hz}$$

$$Potencia = 9 \text{ kW}$$

$$7 \text{ kW} * \frac{1 \text{ HP}}{0,75 \text{ kW}} = \mathbf{9,33 \text{ HP}}$$

El calibre del conductor es AWG #14 determinado mediante la corriente a plena carga indicada en la ecuación 1

$$I_{sc} = 1,75 * I_{pc}$$

$$I_{pc} = \text{Corriente Plena de Carga}$$

$$I_{sc} = 1,75 * 10A = \mathbf{17,5 A}$$

$$I_{sc} = \text{Corriente de Sobrecarga}$$

Ecuación 1

Silo

$$V_{Alimentación} = 400 \text{ VAC}$$

$$f_{máx} = 200 \text{ Hz}$$

$$Potencia = 0,25 \text{ kW}$$

$$0,25 \text{ kW} * \frac{1 \text{ HP}}{0,75 \text{ kW}} = \mathbf{0,33 \text{ HP}}$$

El calibre del conductor es AWG #16 determinado mediante la corriente a plena carga indicada en la ecuación 2

$$I_{sc} = 1,75 * I_{pc}$$

$$I_{sc} = 1,75 * 0,74 \text{ A} = \mathbf{1,29 \text{ A}}$$

Ecuación 2

Alimentador / Tomador

$$V_{Alimentación} = 400 \text{ VAC}$$

$$f_{máx} = 240 \text{ Hz}$$

$$Potencia = 0,58 \text{ kW}$$

$$0,58 \text{ kW} * \frac{1 \text{ HP}}{0,75 \text{ kW}} = \mathbf{0,77 \text{ HP}}$$

El calibre del conductor es AWG #16 determinado mediante la corriente a plena carga indicada en la ecuación 3

$$I_{sc} = 1,75 * I_{pc}$$

$$I_{sc} = 1,75 * 2,5 A = \mathbf{4,38 A}$$

Ecuación 3

Salida / Peinador

$$V_{Alimentación} = 400 VAC$$

$$f_{máx} = 150 Hz$$

$$Potencia = 2,1 kW$$

El calibre del conductor es AWG #16 determinado mediante la corriente a plena carga indicada en la ecuación 4

$$I_{sc} = 1,75 * I_{pc}$$

$$I_{sc} = 1,75 * 4,2 A = \mathbf{7,35 A}$$

Ecuación 4

$$2,1 kW * \frac{1 HP}{0,75 kW} = \mathbf{2,8 HP}$$

3.11. TABLERO DE CONTROL

Respecto a la estructura metálica donde se alojarán los dispositivos de control y potencia ya se dispone de un tablero de control propio de la máquina que brinda seguridad, protección y de fácil acceso para los técnicos de la empresa. Al momento de diseñar el gabinete, lo han sobredimensionado como dicen las normas por lo que no hubo problema al momento de implementar los cambios de montaje de modernización en los equipos de control y de potencia.

3.11.1. DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS

Dentro del tablero principal se realizó la distribución de varios dispositivos de control necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina. Esto se puede observar en la Figura 45. Los dispositivos a colocarse en el tablero son:

- Variadores de frecuencia
- Controlador Lógico Programable
- Pantalla HMI
- Switch Industrial

El tablero de control presenta las siguientes características:

- Cuerpo mono bloque.
- Conexión equipotencial.
- Cerradura de montaje rápido tipo universal con tapa cubre polvo.
- Puerta reversible.
- Bisagras reforzadas en acero galvanizado electrolítico.
- Protección IP-64: Protección completa contra contacto, protección contra penetración de polvo y protegido contra agua pulverizada (hasta 60° respecto de la vertical).

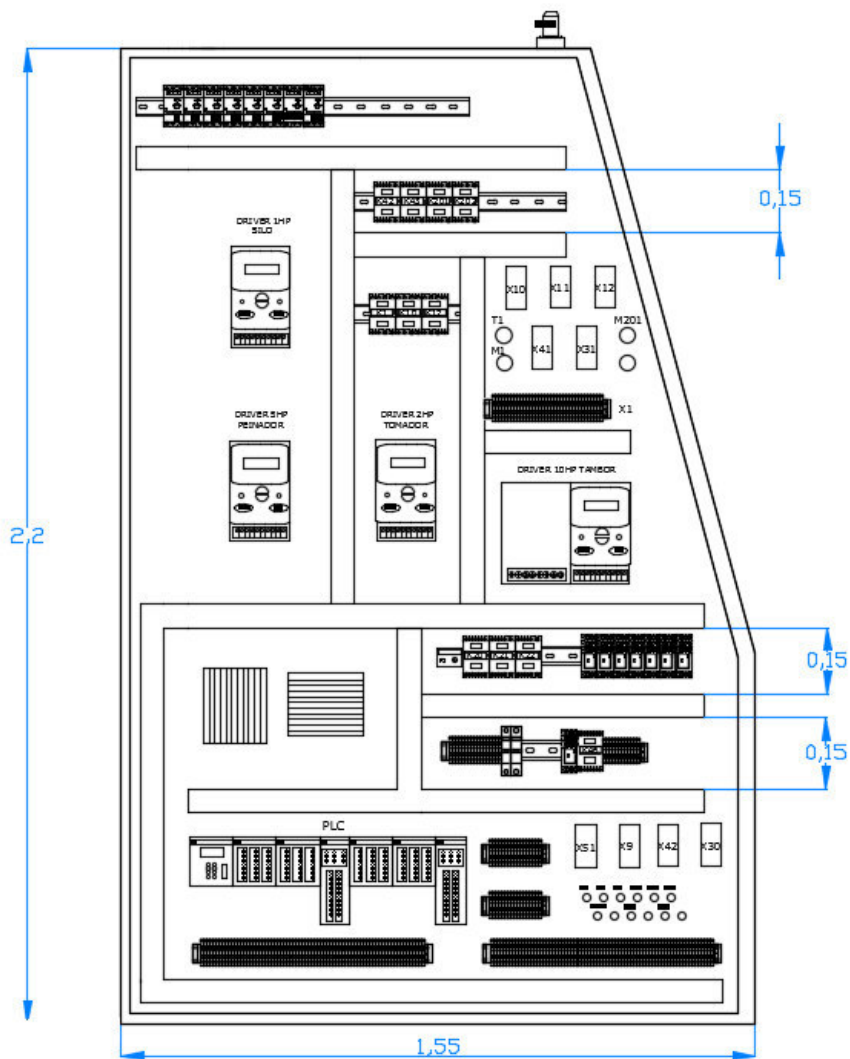


Figura 45 Distribución de dispositivos electrónicos en el Tablero Principal

Fuente: Propia

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL

En esta sección de acuerdo a los requerimientos de la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A., se desarrollará un sistema que controle y comunique cada uno de los equipos mencionados, mediante algoritmos que procesan los datos provenientes de sensores y dispositivos que intervienen en el proceso de cardado. El programa de control para el sistema automático de carda en la máquina Carda C50 tiene como elemento principal al controlador lógico programable ABB AC500 y como pantalla HMI WEG, los cuales se encuentran localizados dentro del tablero de control y en la parte externa respectivamente.

4.1. MODO DE OPERACIÓN

El sistema de control de la máquina de cardado trabaja únicamente en modo automático, en el cual mediante el ingreso de los diferentes parámetros de trabajo permitirá producir una cinta continua dependiendo el tipo de material, peso de la cinta y velocidad de trabajo donde:

- *Tipo de material:* Para el proceso de cardado se puede trabajar con 4 tipos de materia prima que son: algodón, polialgodón, poliéster y polipeinado. Dependiendo del material escogido, la máquina produce cinta a partir de diferentes condiciones de trabajo programadas por software. El algodón casi nunca es utilizado, solo en casos muy especiales de producción.
- *Peso de la cinta:* El operador puede escoger el peso de la cinta que se va a producir en la máquina carda, donde 3gr es el más bajo y sube en escalones de 0,5 gr hasta llegar al más pesado 6.5gr. Los pesos más utilizados en la máquina son 5gr y 6gr.

- *Velocidad de producción:* El último parámetro a configurar es la velocidad a la que la máquina trabajará para producir la cinta con cierto material a cierto peso escogido previamente. Los rangos de velocidad se encuentran entre la más lenta 30 Kg/h y la más rápida 70 Kg/h. La velocidad típica de producción es 60 Kg/h.

4.2. FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO

Para realizar un control óptimo y eficiente de la máquina, primero se debe comprender su forma correcta de trabajo y tener el conocimiento total del proceso que se va a automatizar.

Al inicio del proceso, ingresa la fibra de algodón presentado en forma de napa a la máquina carda. En la entrada, los órganos de medición montados en ambos lados de la tolva de alimentación, registran variaciones del corte transversal de la napa alimentada. De las señales recibidas, el controlador forma un valor promedio el cual es registrado.

Una vez completada esta primera etapa, la napa ingresa por el cilindro alimentador / tomador (2) el cual gira en el sentido anti horario como se muestra en la Figura 46. De esta manera ingresa la napa más comprimida al gran tambor (3), el cual gira en sentido horario para transportar este material hacia el último cilindro giratorio, el peinador (4), por el cual sale una cinta con sus fibras individualizadas donde el órgano de medición de salida realiza la medición de que tan gruesa o delgada se encuentra dicha cinta producida (5).

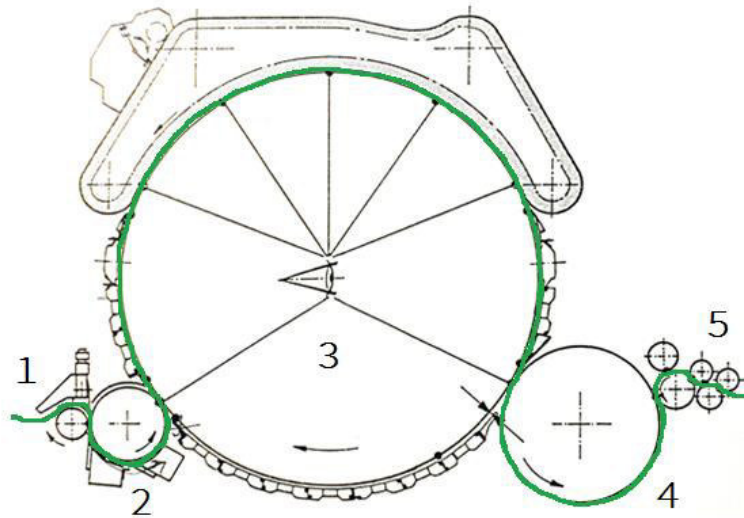


Figura 46 Modo de operación de la máquina carda

Fuente: (RIETER, 1998)

Tabla 28

Leyenda del modo de operación de la máquina carda

Número	Elemento
1	Tolva de Alimentación
2	Cilindro Alimentador / Tomador
3	Cilindro Tambor
4	Cilindro Salida / Peinador
5	Rodillos escalonados (Órgano de medición final)

Fuente: Propia

En la salida de la máquina, un par de rodillos escalonados palpa el corte transversal de la cinta que sale, y es necesario comparar: el valor medido con el valor teórico preseleccionado. Si existe diferencia en la comparación de estos valores, el controlador corrige las desviaciones del valor teórico mediante el cambio del número de revoluciones del cilindro alimentador.

Para el control de velocidad en la máquina, el autómatá controlará y manejará cada una de las referencias de velocidades que necesita cada uno de los cuatro variadores

de frecuencia con los que trabaja la máquina de cardado que son: alimentación de materia prima en el silo, alimentación cilindro tomador, cilindro gran tambor y salida cilindro peinador – apilador de botes. Esta referencia dependerá del resultado del lazo de control obtenido.

Para el lazo de control de nivel del silo, la máquina cuenta con un sensor de nivel reflectivo para determinar el nivel de fibra de algodón que ingresa a la carda. El controlador está en condiciones de influir sobre la velocidad de entrega del motor del silo según el valor de la señal que presente. De esta manera la cantidad de material que entra en la carda queda constante.

En la Figura 47 se observa el esquema de control para la máquina Carda.

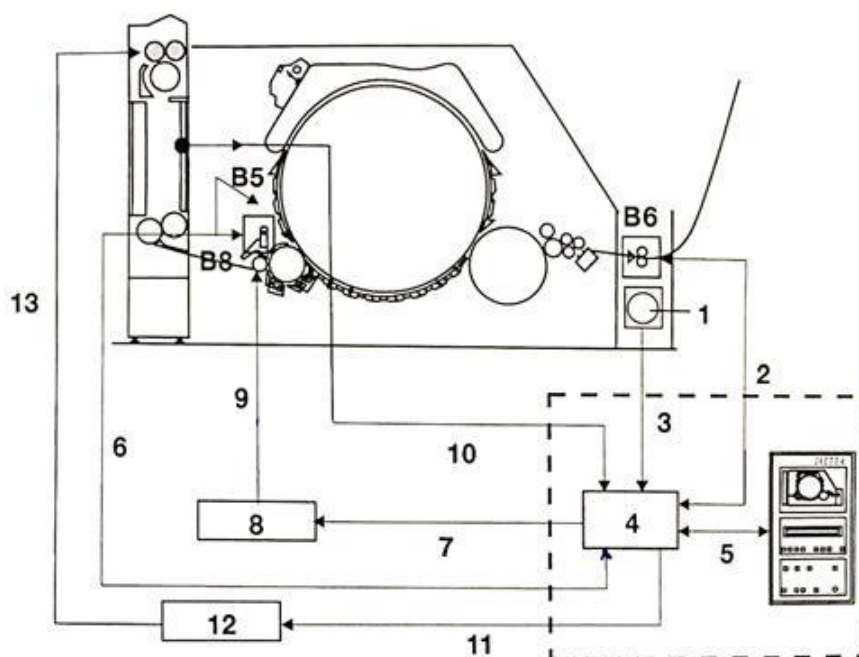


Figura 47 Esquema de control de la máquina Carda C 50

Fuente: (RIETER, 1998)

Tabla 29

Leyenda del esquema de control de la máquina carda C50

Número	Elemento
1	Disco perforado para el cálculo de la Velocidad de Salida.
2	Señal del valor efectivo de la cinta de carda que sale.

Continúa...

3	Señal para el cálculo de la Velocidad de Salida.	
4	Controlador Lógico Programable.	
5	Interfaz Humano Máquina.	
6	Señales de medición en la tolva de alimentación.	Continúa...
7	Valor teórico predeterminado para el Variador de frecuencia Cilindro Alimentador	
8	Variador de frecuencia del Cilindro Alimentador	
9	Señal de control del Drive al Motor del Cilindro Alimentador	
10	Sensor Reflectivo de nivel en el Silo	
11	Referencia Velocidad para el Motor del Cilindro alimentador en el Silo	
12	Variador de frecuencia del Silo	
13	Señal de control del Drive al motor de los cilindros alimentador en el Silo	
B5/B8	Órgano de Medición Inicial (Izquierdo y Derecho) del Alimentador	
B6	Órgano de Medición Final de la Salida	

Fuente: Propia

En la parte operativa del sistema, el operador podrá ingresar parámetros variables de rangos de velocidad, parámetros de trabajo necesarios para la producción, tipo de producto, calibraciones y compensaciones, a través de una pantalla HMI cuya interfaz se comunicará con el PLC mediante el protocolo ETHERNET.

La máquina cuenta con sensores de seguridad, sensores de medición de anchura del hilo, sensores de detección de corte en la mecha de hilo en el proceso de cardado y sensores para el proceso final de apilado de botes. Es necesario tomar en cuenta la función específica que cumple cada uno de estos sensores para el diseño completo de la máquina y por ende para su correcto funcionamiento.

Cada uno de los algoritmos de control de nivel y velocidad recibe señales recogidas por los sensores y dispositivos de campo que se conocen como variables de proceso.

De acuerdo a los requerimientos del sistema se entregará a la salida del equipo un contenedor compacto llamado bote de carda donde se deposita en forma circular la cinta producida por la máquina.

4.3. SOFTWARE DE CONTROL

Para la programación del autómatas ABB, la herramienta de automatización industrial utilizada es el software es el Automation Builder Basic V1 versión 1.2.0, con el formato del entorno de desarrollo de CoDeSys.



Figura 48 Entorno CoDeSys

Fuente: (Systems, 2013)

Para el desarrollo de la interfaz se utilizó el software EasyBuilder8000 con la versión V5.65 en la cual se encuentra el modelo para la pantalla WEG deseada. Un reto en el desarrollo de la lógica de programación fue realizar la comunicación y aprender a trabajar con dos entornos diferentes de programación en ambas marcas, tanto para el PLC como para la pantalla HMI.

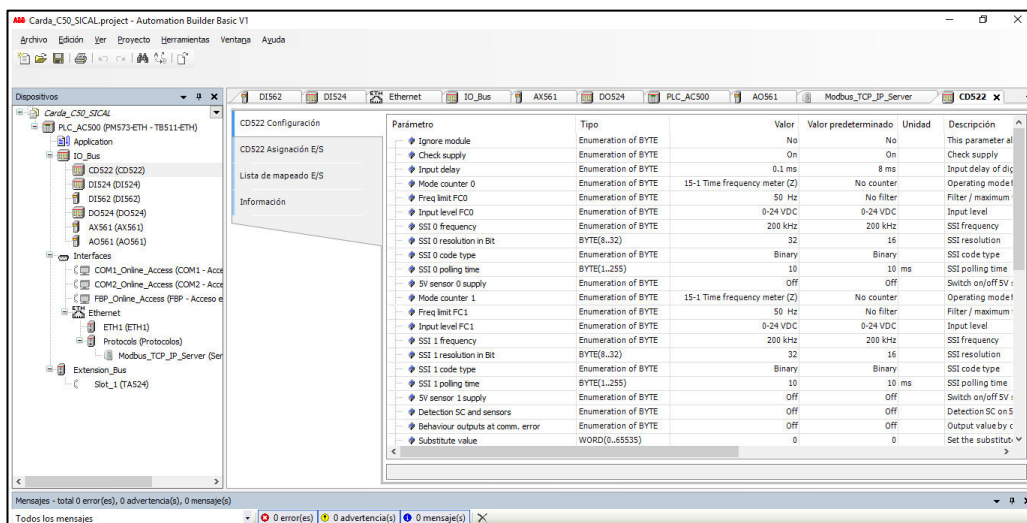


Figura 49 Entorno AUTOMATION BUILDER PLUS

Fuente: Propia

4.4. PROGRAMACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DEL PLC

Para realizar la comunicación entre el PLC ABB AC500 y la pantalla HMI WEG se montó una red con topología en estrella mediante un switch industrial Siemens CSM 1277 como se muestra en la Figura 50.

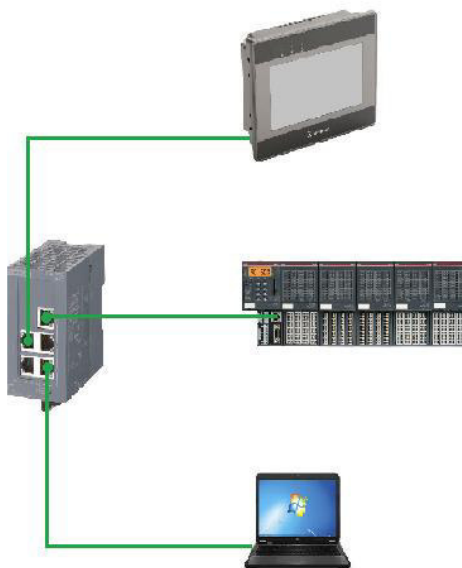


Figura 50 Red montada con topología en estrella

Fuente: Propia

Para comunicar los equipos de forma efectiva es necesario configurar las direcciones IP a la que va a trabajar la interfaz HMI, el controlador lógico programable y de la computadora mediante la siguiente Tabla 30:

Tabla 30

Tabla de direcciones IP de configuración en los equipos.

Equipo	Dirección IP	Máscara
PLC	192.168.0.10	255.255.255.0
PANTALLA HMI	192.168.0.110	255.255.255.0
CPU	192.168.0.77	255.255.255.0

Fuente: Propia

4.4.1. DIAGRAMA DE FLUJO

Para realizar una programación eficiente en la modernización de la máquina se debe tener el conocimiento total del proceso que se va a automatizar, por lo tanto el sistema de cardado funcionará de acuerdo al diagrama de flujo de la Figura 51 y Figura 52, el cual permitirá trabajar de forma total para el arranque y producción de cinta en la máquina carda.

- Para el arranque de la máquina primero se energiza el sistema y se realiza una comprobación que la máquina no presenta errores.
- Una vez realizada esta comprobación se inicia el proceso al presionar el botón de *Arranque de Carda* en la pantalla HMI, el cual activará la aspiración local de la máquina y a su vez arranca el motor del Tambor a una referencia de 100 RPM. Tiempo aproximado para alcanzar este número de revoluciones es 1 minuto.
- Automáticamente el variador de frecuencia sube la velocidad del Tambor a revoluciones plenas (400 o 450 RPM dependiendo el material a trabajar). Tiempo aproximado para alcanzar el número de revoluciones plenas es 2 minutos.

- Se realiza una comparación: si el tambor no se encuentra a revoluciones plenas entonces es necesario ajustar la banda, por lo que se presiona el botón *Parar Carda*. Si el tambor se encuentra a revoluciones plenas entonces se presiona el botón de *Llenar Silo* para el ingreso de materia prima a la máquina.
- Se realiza una comparación: si el silo no se encuentra lleno entonces los operadores no están mandando materia prima por el ducto de ingreso, por lo cual es necesario esperar hasta llenar el silo. Si el silo se encuentra lleno entonces es necesario seleccionar los parámetros de trabajo: tipo de material, peso de la cinta y velocidad de producción.
- Se presiona el botón *Velocidad Lenta de Producción* y con ello arranca el cilindro alimentador, el cilindro Peinador, cilindro apertura Silo y la apiladora a velocidad lenta.
- Si el operador verifica que la máquina está trabajando de forma correcta y desea subir la velocidad de producción entonces debe pasar la cinta por los rodillos escalonados a la salida y con ello se activa el sensor de cobertura tapado.
- Una vez realizado este procedimiento el operador presiona el botón *Velocidad Rápida de Producción* y el cilindro alimentador, cilindro Peinador, cilindro apertura Silo y la apiladora trabajan a velocidad rápida. Con este último paso la máquina se encuentra produciendo cinta a condiciones normales de funcionamiento.

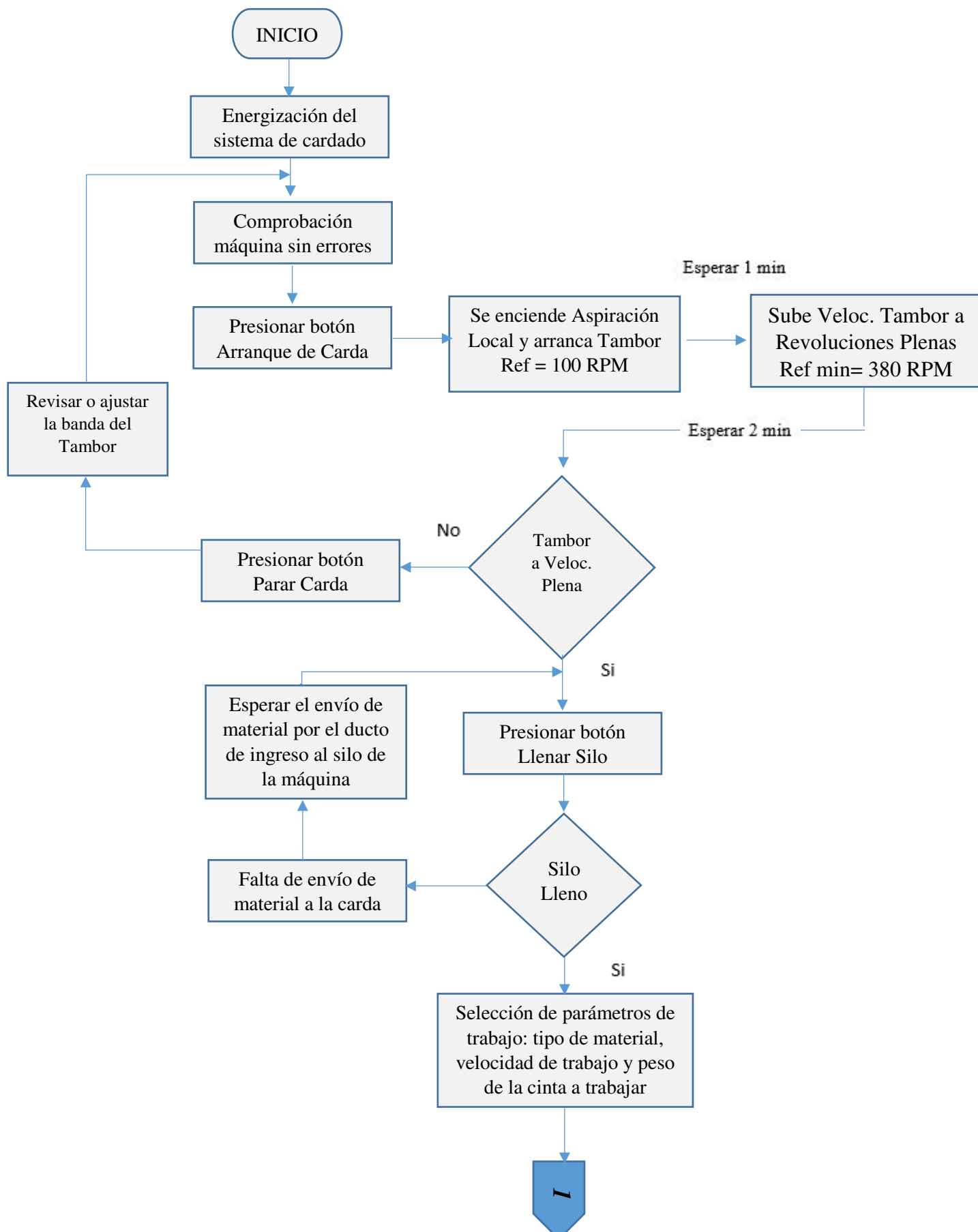


Figura 51 Procedimiento para producción de cinta en máquina Carda C50 parte A

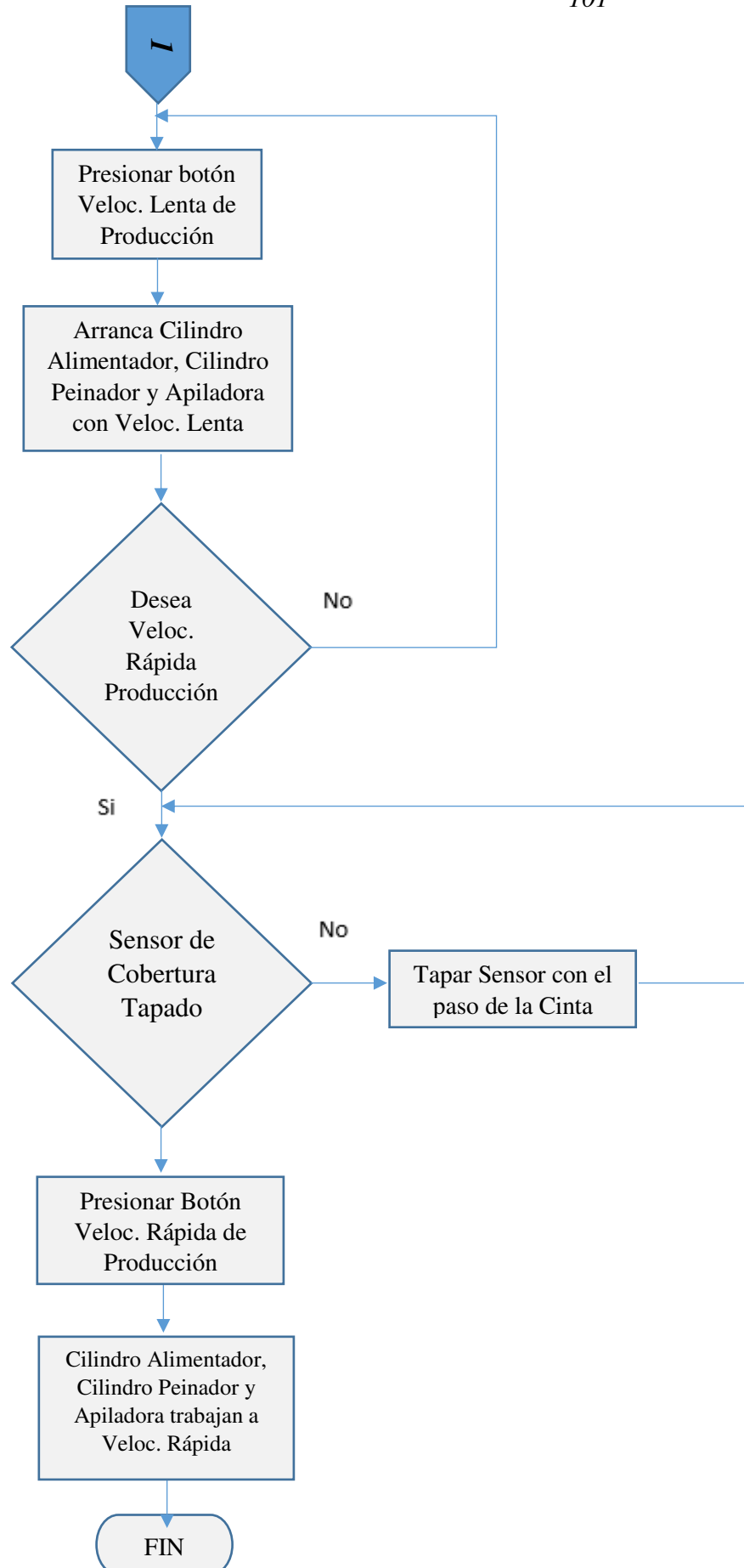


Figura 52 Procedimiento para producción de cinta en máquina Carda C50 parte B

4.4.2. PROGRAMACIÓN DEL PLC

De acuerdo al controlador escogido se puede determinar que el lenguaje de programación más adecuado para la aplicación es LADDER (LD) por ser el determinado en el software de programación, su similitud con circuitos eléctricos y por conocer dicho lenguaje a profundidad. Sin embargo el controlador también trabaja con otros lenguajes como diagramas de bloques funcionales (FBD) y texto estructurado (ST).

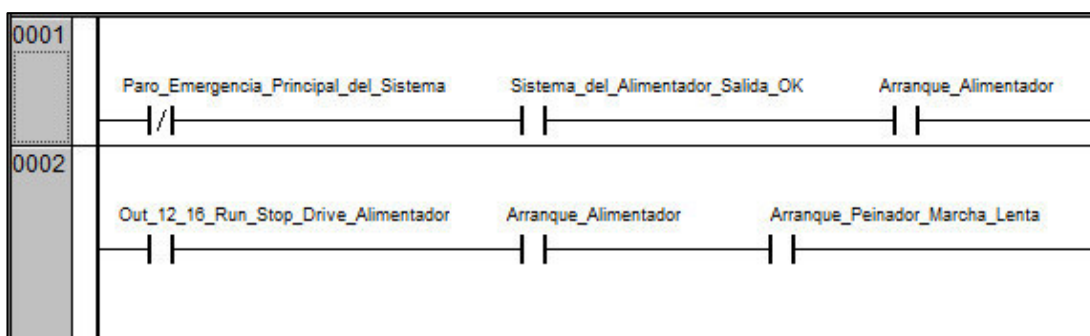


Figura 53 Diagrama Ladder

Fuente: Propia

Los bloques de funciones (FB) son bloques lógicos sin memoria que se utilizan para activar o desactivar ciertas bobinas auxiliares que no necesitan de un almacenamiento continuo como las marcas. Los bloques de programación (PRG) son los programas principales de donde se llaman a los bloques de funciones. Aquí se asignan el tipo de tareas a la que queremos configurar: cíclico, espontáneo, controlada por eventos, etc.

A continuación se muestra los bloques utilizados en el programa:

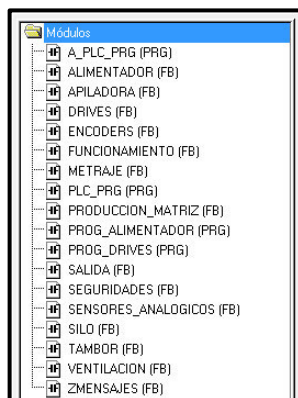


Figura 54 Bloques del programa

Fuente: Propia

- **A_PLC_PRG [PRG]**

Este bloque de programación principal permite llamar a los bloques de funciones [FB] que corresponden a los demás procesos.

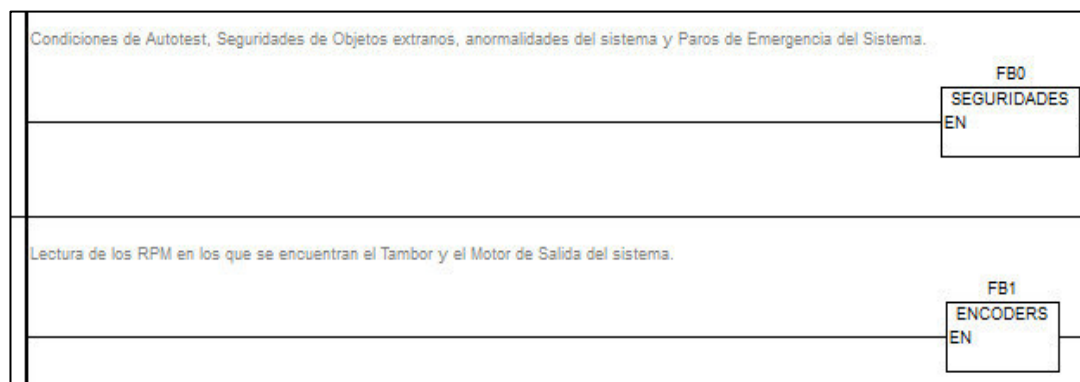


Figura 55 Llamado a los bloques de función.

Fuente: Propia

- **APILADORA [FB]**

Este bloque de función realiza el ciclo completo de cambio de bote en la apiladora al momento que el metraje configurado por el operador se cumple. Cuenta con una condición de tiempo para realizar un paro en la producción al momento que no exista un bote disponible, lo cual alertará al operador mediante una luz indicadora.

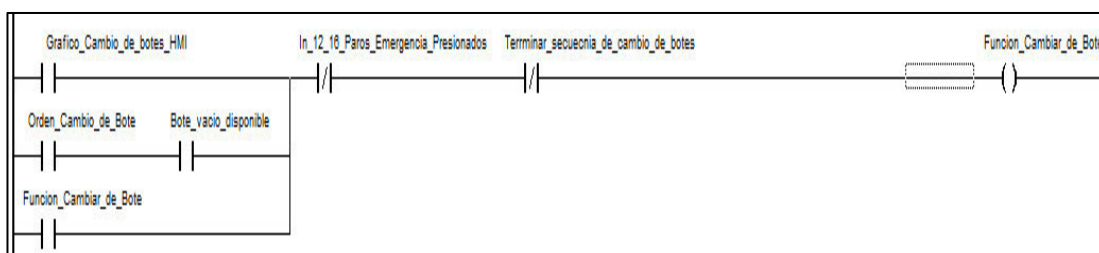


Figura 56 Función cambio de botes

Fuente: Propia

- **ENCODERS [FB]**

Este bloque de función realiza la lectura de las señales de los dos encoders de la máquina. Utiliza un bloque de lectura CD522 de 2 canales (Z0 y Z1) que pueden utilizarse para medir tiempos, frecuencias y velocidades de giro con una resolución de

1 μ s. Ambos poseen las mismas especificaciones y pueden funcionar completamente por separado.

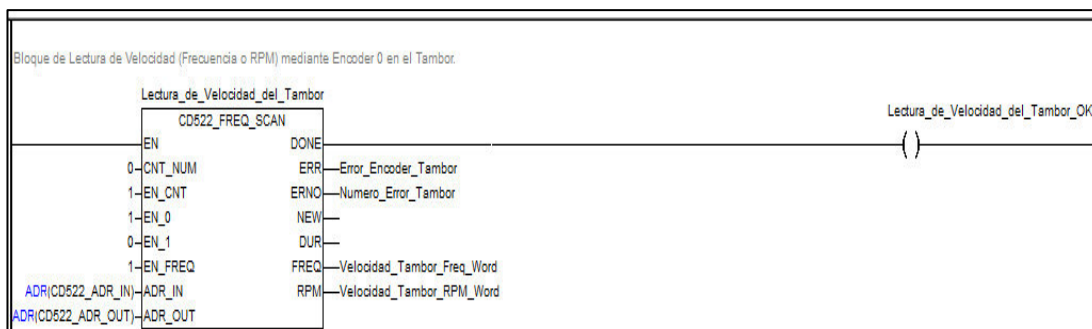


Figura 57 Lectura encoder Tambor bloque CD522

Fuente: Propia

- **FUNCIONAMIENTO [FB]**

En este bloque de función se configuran las condiciones necesarias para el arranque y paro de la máquina. Cuando la máquina se encuentra lista para arrancar, el pulso inicial se lo da mediante el botón en la pantalla HMI. Existe una condición para detectar si existe patinaje en la banda lo cual ocasionará un paro de la máquina. Por último se configuraron las condiciones para que la máquina funcione en marcha lenta y marcha rápida de producción.

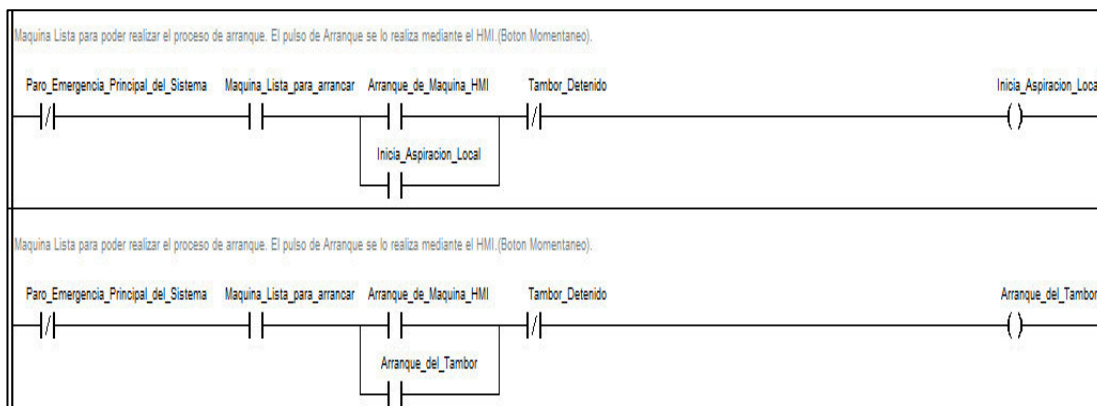


Figura 58 Arranque tambor e inicio de aspiración local

Fuente: Propia

- **METRAJE [FB]**

Este bloque de función permite calcular la cantidad de material que produce la máquina. El metraje de la cinta producida sirve para saber hasta qué punto debe llenarse el bote de carda, y realizar el cambio de bote automático en la apiladora. En

ese momento se encera la cuenta para el llenado del siguiente bote. Existe una luz indicadora que avisa al operador cuando al bote le faltan 150 metros de cinta para llenarse.

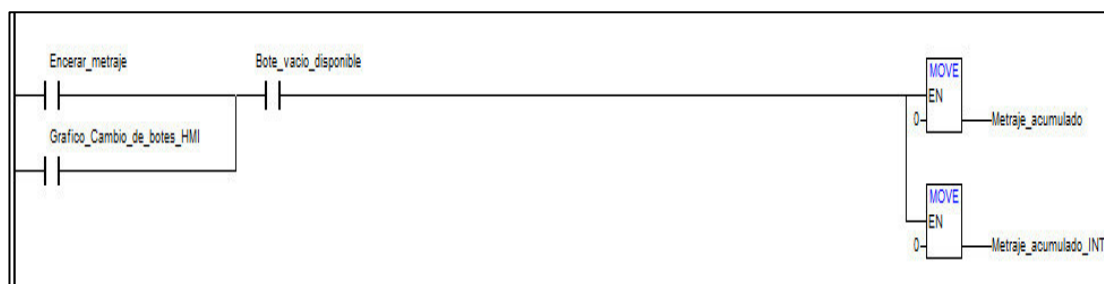


Figura 59 Encerar metraje acumulado

Fuente: Propia

- **PLC_PRG [PRG]**

Este bloque de programación principal permite realizar cambios importantes en la lógica de control del programa. Si la diferencia del setpoint menos la medición del sensor de salida es mayor a cierto valor programado, entonces se aumenta la tasa de cambio en el control. Mientras que si la diferencia es mayor al valor programado, se disminuye la tasa de cambio. Esto ayuda al autómeta al momento de controlar que la cinta no salga de ciertos límites deseados.

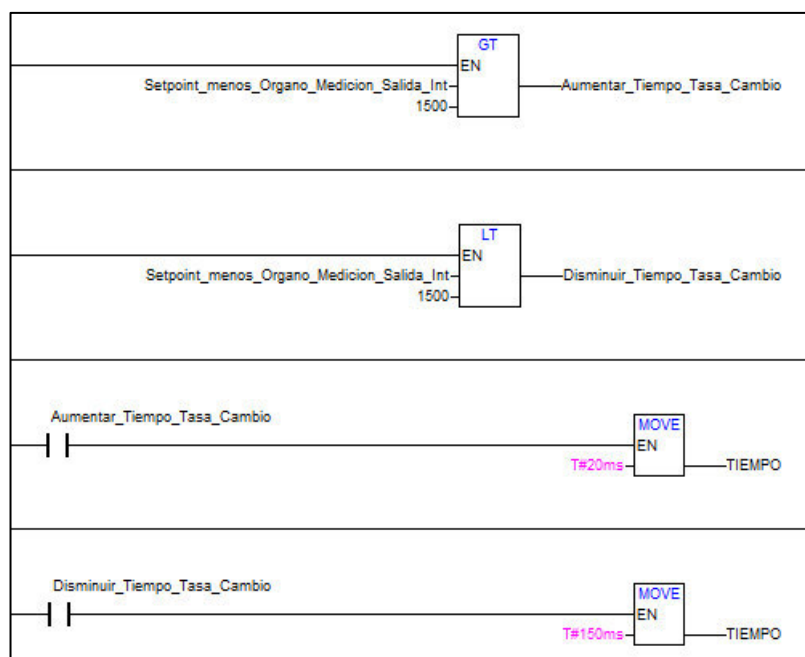


Figura 60 Disminución y aumento de la tasa de cambio

Fuente: Propia

- **PRODUCCION_MATRIZ [FB]**

En este bloque de función se configuran las condiciones al momento de elegir cierto material de producción a trabajar, su velocidad de producción y el peso de la cinta. Si el tipo de material escogido es algodón o polialgodón, se mueve el valor de 450 al setpoint de revoluciones plenas. Mientras que si el tipo de material es poliéster o polipeinado, se mueve el valor de 400 al setpoint de revoluciones plenas.

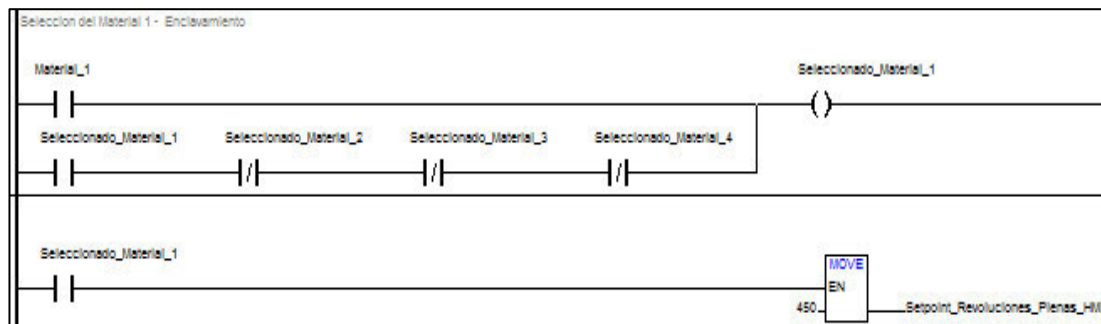


Figura 61 Revoluciones plenas 450 RPM para el material 1

Fuente: Propia

- **PROG_ALIMENTADOR [PRG]**

En este bloque de programación principal se configuran los valores de ganancia para el setpoint del peso deseado en todas las condiciones posibles al momento de escoger el material a trabajar, su velocidad de producción y el peso de la cinta. Existe una condición de ayuda para la velocidad mínima de control del variador de frecuencia del alimentador según las condiciones de trabajo.

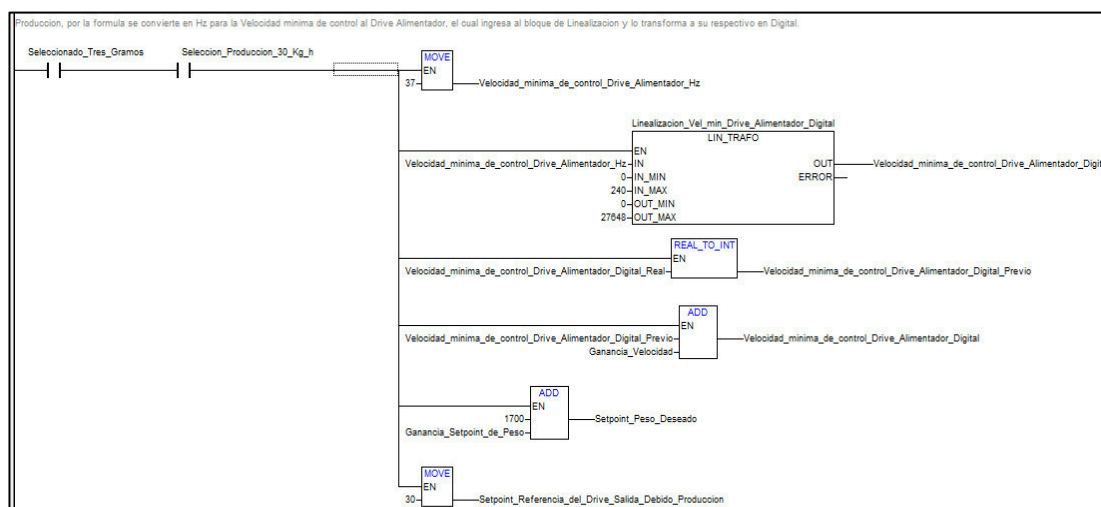


Figura 62 Programación bloque de linealización LIN_TRAFO

Fuente: Propia

- **PROG_DRIVES [PRG]**

En este bloque de programación principal permite configurar la referencia para los variadores de frecuencia mediante el bloque de control RAMP_INT. Se realizan comparaciones mediante la lectura de velocidad de los cilindros de salida y tambor, y dependiendo de su estado se sube o baja la velocidad. Aquí se mueve el valor a la referencia del drive del alimentador al momento de configurar los parámetros de trabajo.

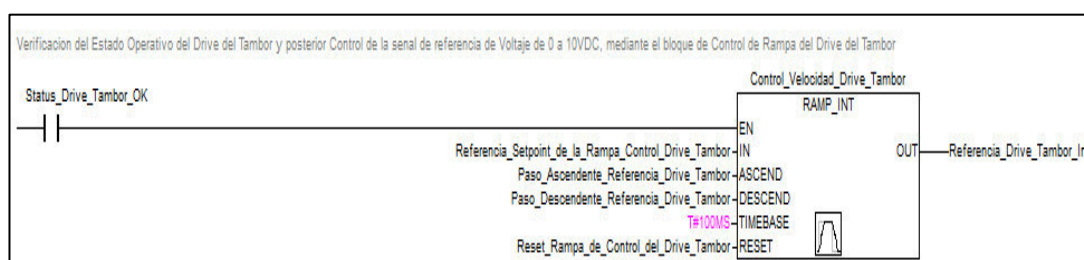


Figura 63 Bloque de configuración RAMP_INT

Fuente: Propia

- **SALIDA [FB]**

En este bloque de función se verifica que esté energizado y sin errores el guardamotor para el alimentador, salida y apiladora, así como la verificación del estado del drive de cada uno de ellos. Aquí también se hace el cálculo para la velocidad del drive de salida.

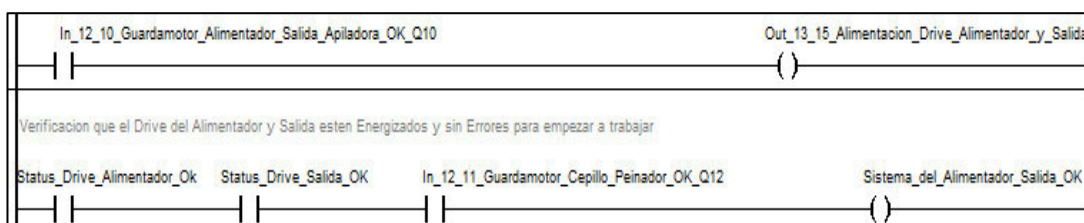


Figura 64 Verificación del estado del sistema Alimentador y Salida OK

Fuente: Propia

- **SEGURIDADES [FB]**

En esta función se configuraron las protecciones y seguridades de la máquina. Existe una protección contra objetos ajenos al material de trabajo en la tolva de alimentación si esta supera cierto valor programado. También está configurado una condición de paro si la alimentación de la napa es muy delgada así como todas las condiciones de paro de emergencia del sistema.

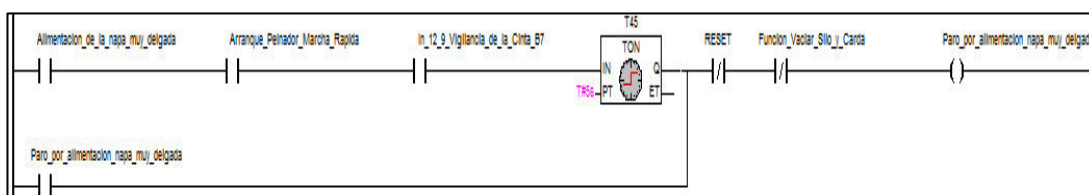


Figura 65 Paro en la alimentación por napa muy delgada

Fuente: Propia

- **SENSORES_ANALÓGICOS [FB]**

En esta función se realiza la conversión del tipo de datos de INT a REAL de los sensores analógicos, así como el promedio de los dos sensores de proximidad ubicados en la entrada a la tolva de alimentación. Es importante realizar la linealización de los sensores analógicos mediante el bloque de control LIN_TRAFO.

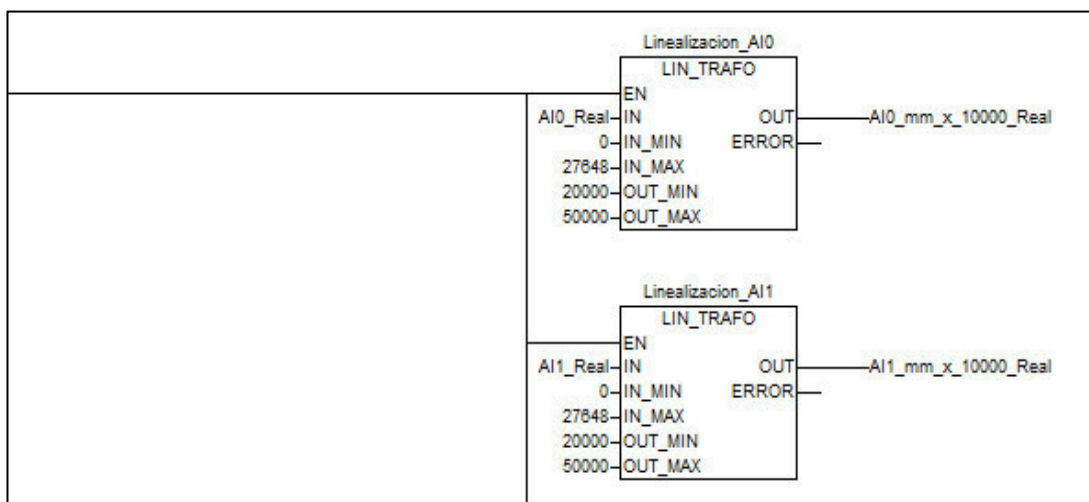


Figura 66 Linealización de sensores analógicos con el bloque LIN_TRAFO

Fuente: Propia

- **SILO [FB]**

En esta función se verifica las condiciones del sistema del silo que no presente fallas. Existe una condición para la lectura del sensor de presencia reflectivo de mínimo 3 segundos para confirmar que efectivamente la señal del sensor es la correcta. Si el drive de ingreso de material se encuentra al máximo por 12 segundos y el sensor reflectivo no detecta material existe un paro de producción por no existir materia prima.

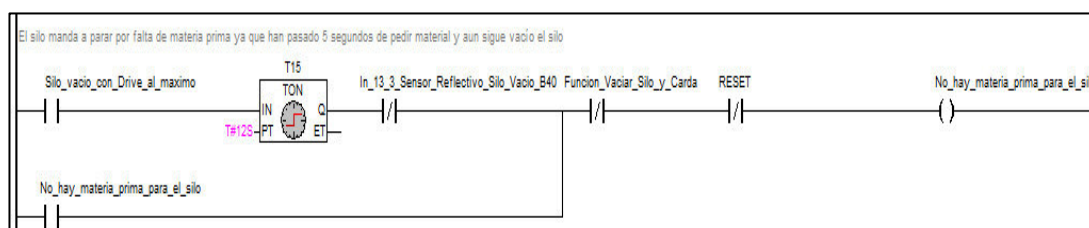


Figura 67 No hay materia prima en el silo

Fuente: Propia

- **TAMBOR [FB]**

En esta función se verifica las condiciones del tambor que no presente fallas. Existe una condición al momento de cumplir las revoluciones bajas de 100 RPM y revoluciones plenas 400 RPM o 450 RPM dependiendo el material de trabajo en la máquina.

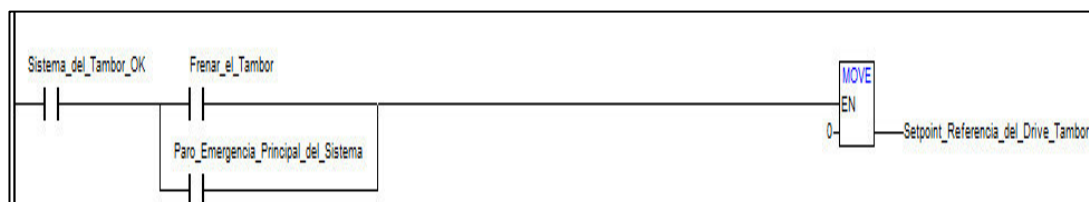


Figura 68 Mover a cero el setpoint de referencia Drive Tambor

Fuente: Propia

- **VENTILACION [FB]**

En esta función se verifica las condiciones para el correcto funcionamiento del ventilador de la máquina. Se realiza la lectura en las entradas digitales de todos los sensores que forman parte de este sistema y se verifican las condiciones de funcionamiento. Si la puerta del sistema de ventilación se encuentra abierta por más de 30 segundos, existe un paro de producción.

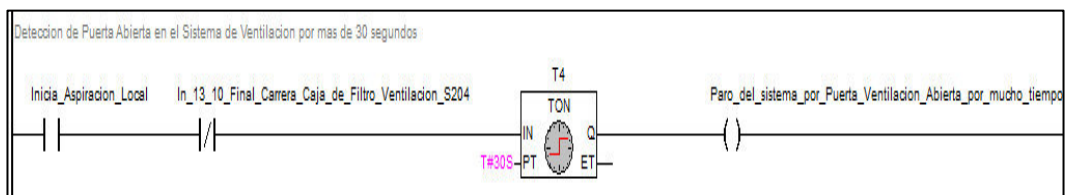


Figura 69 Condición de paro en la producción por puerta abierta

Fuente: Propia

- **ZMENSAJES [FB]**

En esta función se configuran condiciones para los diferentes mensajes que se despliegan en la pantalla HMI para el funcionamiento de la máquina. Entre ellos están paros de emergencia, arranque de carda, carda parada, frenando carda, no existe materia prima en el silo, etc.

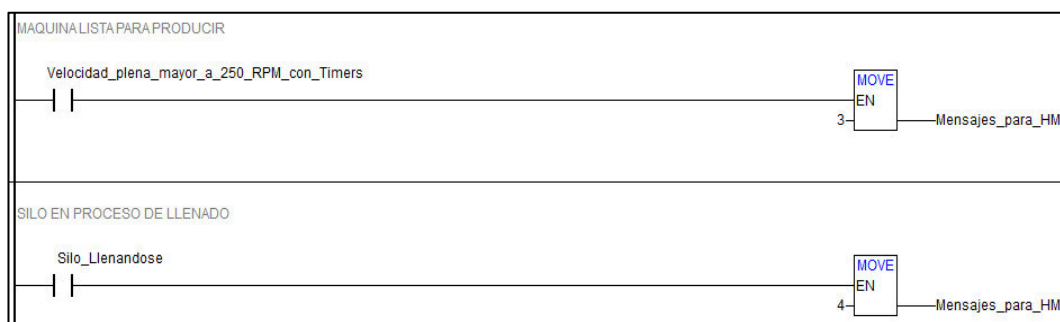


Figura 70 Condiciones para el despliegue de mensajes en pantalla HMI

Fuente: Propia

4.4.3. BLOQUES DE CONTROL

Dentro de la programación realizada en el software CoDeSys se utilizaron ciertos bloques de funciones importantes para el desarrollo del algoritmo de control, a continuación se describen brevemente cada uno de ellos y su función en la programación del sistema.

4.4.3.1. BLOQUE DE LINEALIZACIÓN

El bloque de funciones LIN_TRAFO fue utilizado para la linealización en la lectura de las entradas analógicas. Transforma un valor real que se halla en un rango

definido por sendos límites inferior y superior, en un valor real que se halla en relación correspondiente en otro rango también definido por límites superior e inferior.

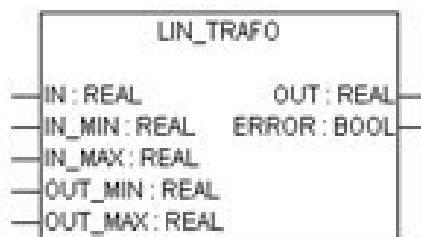


Figura 71 Bloque LIN_TRAFO

Fuente: Software de programación Automation Builder Plus

Tabla 31

Descripción de entradas y salidas bloque LIN_TRAFO.

Variable	Tipo de dato	Descripción
IN	Real	Valor de entrada
IN_MIN	Real	Valor de entrada más pequeño
IN_MAX	Real	Valor de entrada más grande
OUT_MIN	Real	Valor de salida más pequeño
OUT_MAX	Real	Valor de salida más grande

Fuente: Propia

4.4.3.2. BLOQUE DE LECTURA ENCODER

El bloque de control CD522_FREQ_SCAN posee dos canales (Z0 y Z1) que son utilizados para medir frecuencias y velocidades de giro con una resolución de $1\mu s$. Ambos poseen las mismas especificaciones y pueden funcionar completamente por separado. Este bloque se utilizó para la lectura del encoder del Tambor y del Peinador/Salida.

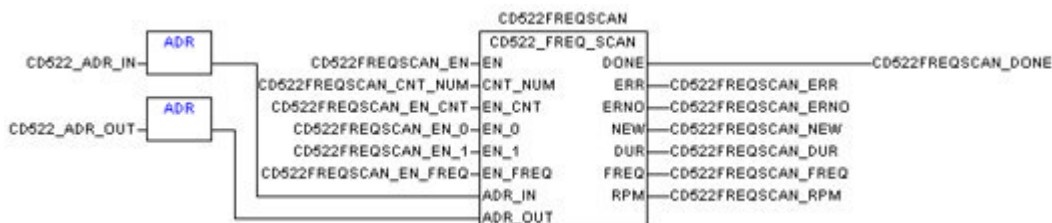


Figura 72 Bloque CD522_FREQ_SCAN

Fuente: Software de programación Automation Builder Plus

4.4.3.3. BLOQUE RAMPA

El bloque RAMP_INT sirve para limitar el ascenso o descenso de la función introducida. Con este bloque se controla la velocidad de incremento o decremento, es decir, más rápido o más lento para llegar al setpoint utilizado para el control de la señal de referencia de voltaje de 0 a 10 VDC a los drivers. La entrada consta por una parte de tres valores INT o enteros:

- IN: Es la entrada de la función.
- ASCEND/DESCEND: El incremento o la disminución máximos por intervalo de tiempo, establecidos mediante el tiempo programado en TIMEBASE.
- OUT: La salida de tipo INT o entero la cual contiene el valor de función con ascenso y descenso limitados.

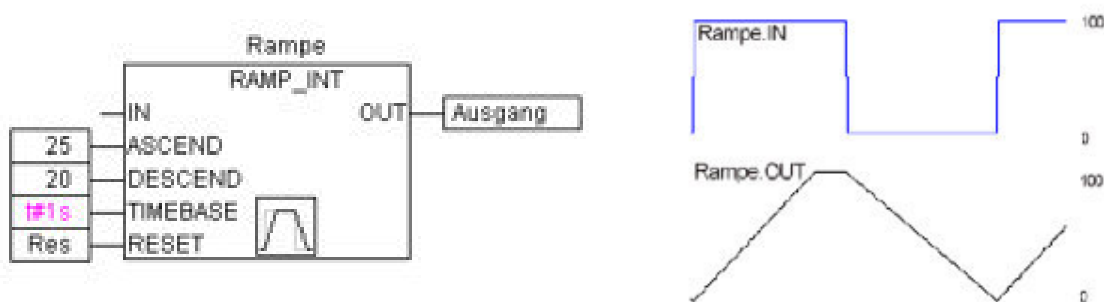


Figura 73 Bloque RAMP_INT

Fuente: Software de programación Automation Builder Plus

4.4.4. CONTROL DE NIVEL

De acuerdo a la aplicación, la cantidad de material que ingresa desde el Silo hacia la tolva de alimentación y posteriormente al cilindro de Alimentación es fundamental para el correcto funcionamiento en el sistema de control de la Carda. El objetivo primordial es lograr que el material ingrese de forma uniforme a la máquina, para lo cual es necesario acumular el material suficiente en el silo, caso contrario si ingresa poco material no se compactará lo suficiente y existirán imperfecciones en la cinta final producida.

Para ello fue necesario implementar un sistema de control de nivel ON-OFF en el Silo. Para el desarrollo del algoritmo se tendrá en cuenta que el cilindro alimentador estará girando a una cierta velocidad, lenta o rápida, dependiendo del funcionamiento configurado en la pantalla HMI por el operador. Esto quiere decir que siempre estará ingresando material desde la tolva de alimentación al cilindro Alimentador una vez que la máquina se encuentre en operación.

Un sensor reflectivo colocado en la puerta del Silo proveerá una señal que posteriormente será procesada e indicará el nivel de napa que se está acumulando, según la Figura 74.



Figura 74 Parámetros de entrada y salida al control de nivel

Fuente: Propia

El cilindro disgregador deberá actuar una vez que el sensor reflectivo de nivel implementado detecte que no existe material en el Silo. Debido a que la napa está cayendo desde la parte superior, puede haber ocasiones que estas bloqueen la medición del sensor por un mínimo tiempo ocasionando que el controlador crea que el Silo se encuentra lleno y por ende mande a parar al cilindro disgregador. Para ello existe una condición si el sensor reflectivo se encuentra tapado por un tiempo mínimo, entonces el silo se encuentra totalmente lleno y se detendrá el ingreso de material a la máquina.

Cuando los operadores van a trabajar con un material distinto al que se encontraba trabajando la máquina, primero deben vaciarla por completo. Para ello existe un botón en la interfaz HMI que simboliza un bote de carda y tiene dicha funcionalidad como se detalla en la Tabla 36.

Para esta función existe una condición en el lazo de control de nivel que si el sensor reflectivo no detecta material en un lapso determinado de tiempo, manda a parar todo el sistema de funcionamiento.

A través del diagrama de flujo de la Figura 75 se indica el proceso que se lleva a cabo en el controlador para el control de nivel y todos sus componentes del sistema.

- Para el inicio del sistema de control se realiza la lectura de la señal del sensor reflectivo y compara: si el sensor se encuentra tapado no realiza ninguna acción, pero si está destapado activa el motor cilindro disgregador.
- Una vez realizada esta comparación y el motor cilindro disgregador se encuentra activo entonces vuelve a comparar si el sensor reflectivo se encuentra tapado: en caso afirmativo espera 3 segundos de confirmación de que realmente se encuentra tapado y detiene el motor cilindro disgregador.
- En caso de no estar tapado el sensor reflectivo, el motor cilindro disgregador sigue funcionando por 20 segundos y si no hubo activación del sensor en ese tiempo quiere decir que no existe materia prima en la carda por lo que se manda a parar la producción.

4.4.4.1. FORMA DE TRABAJO

El controlador está en condiciones de influir sobre la velocidad de entrega del motor del Silo según la señal que presente el sensor reflectivo. De esta manera la cantidad de material que entra en la carda queda constante.

El éxito para obtener una cinta ordenada y uniforme a la salida del proceso de cardado es evitando los surcos u olas que se forman en la tolva de alimentación a la entrada. Esto se logró realizando dos tipos de ajustes:

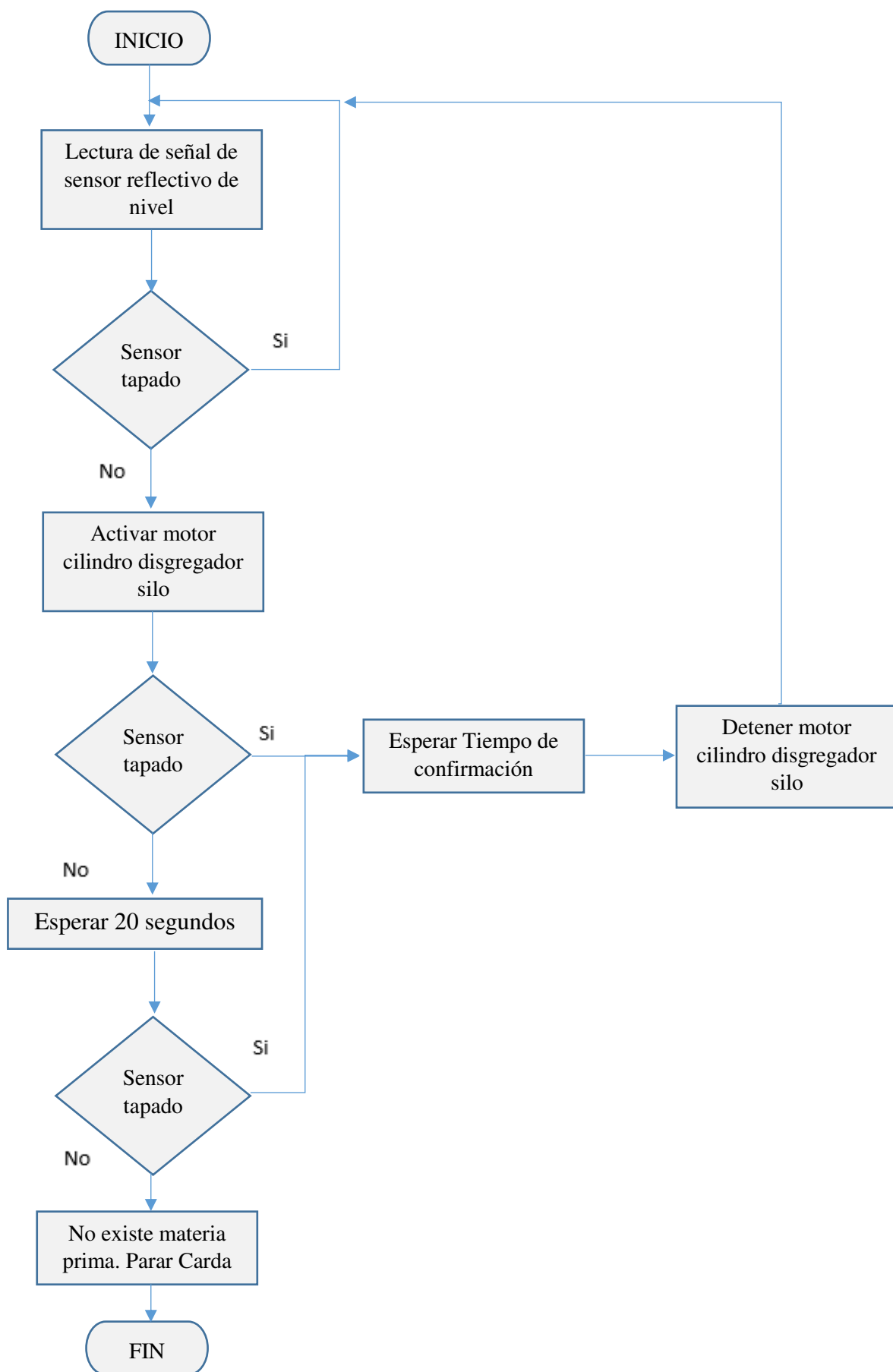


Figura 75 Procedimiento para el control de nivel en el Silo

- *Ajustes mecánicos:* El mal funcionamiento de la catarina o piñón para la transmisión de potencia por cadena en el motor del Alimentador / Tomador provoca un ingreso turbulento e irregular de materia prima o napa a la tolva de alimentación. Esto se debe a que esta pieza se encuentra mal dimensionada en la máquina por lo que es necesario reducir su tamaño, de una catarina # 21 por una de menor numeración, #20, y verificar los cambios o mejoras del ingreso del material a la tolva de alimentación.
- *Ajustes en el sistema de control:* Variando los pasos ascendente y descendente del bloque rampa de control del Silo hasta hallar el punto exacto de funcionamiento. Entonces cuando el silo está lleno de materia prima, y el sensor manda 0 a la referencia del SetPoint del bloque de control, este bajará en escalones lentos y no para de golpe.

Se realizaron ajustes finos en los pasos de control del sistema lo cual ocasiona la compactación activa de los copos, una condición para una napa homogénea y uniforme. Esta mejora es importante para que la calidad de la cinta producida sea constantemente alta, menos imperfecciones (neps) gracias a la disgregación suave de las fibras en el silo de alimentación, valores de coeficiente de variación (CV) bajos y un alto grado de eficiencia en la producción.

En la Figura 76 se muestran los diferentes valores de referencia del setpoint que posteriormente entrarán al bloque de control de la rampa. Estas dependerán de la velocidad de trabajo a la que se encuentre la máquina, ya sea en marcha lenta, marcha rápida o llenado del silo antes de iniciar el proceso.

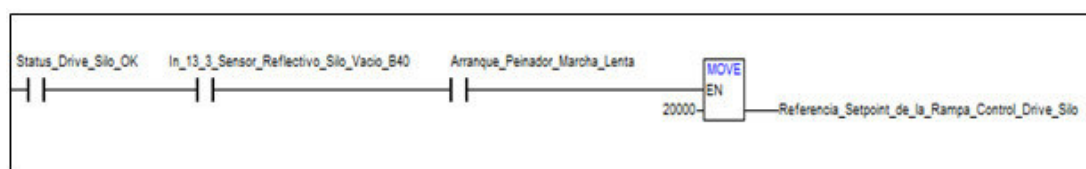


Figura 76 Referencia setpoint rampa de control del silo a las diferentes condiciones de trabajo de la máquina

Fuente: Propia

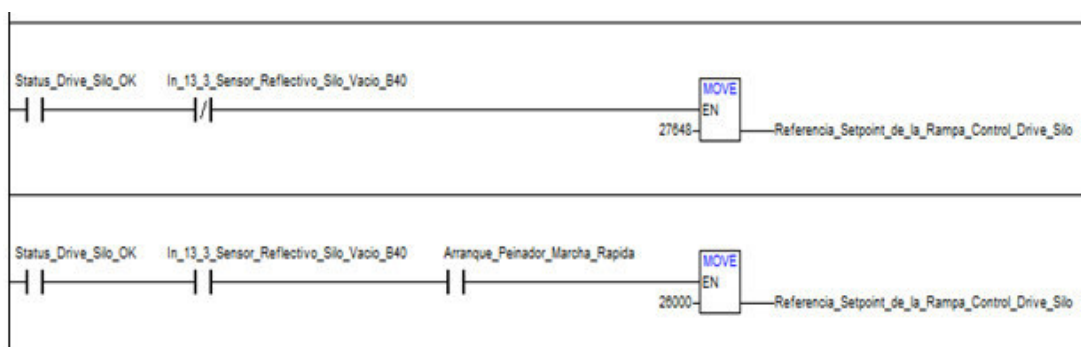


Figura 77 Referencia setpoint a diferentes condiciones de trabajo del silo.

Fuente: Propia

Las referencias al bloque de control fueron configurados de manera que el sistema funcione correctamente, evitando los surcos u olas que se formaban inicialmente en la tolva de alimentación. En la Figura 78 se muestra el bloque rampa de control cuya entrada es la referencia del setpoint explicada anteriormente y los pasos ascendente y descendente son calibrados mediante la pantalla HMI.

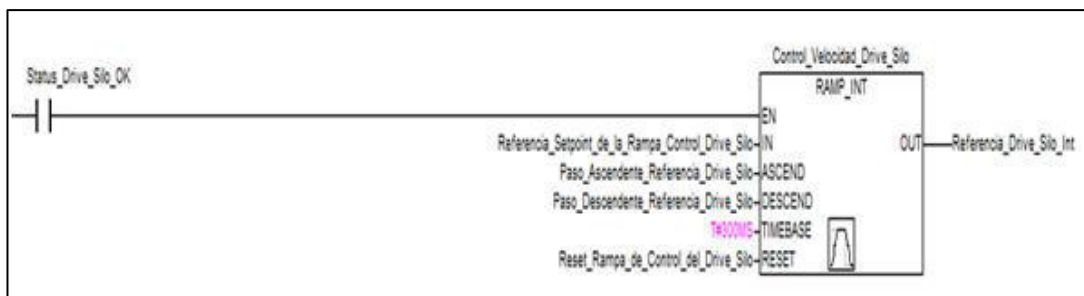


Figura 78 Referencia del setpoint de entrada al bloque rampa del silo.

Fuente: Propia

Mediante el funcionamiento explicado y de acuerdo al diagrama de flujo de la Figura 75 se procede a realizar la programación completa en el controlador. Los resultados del control de nivel se presentan a detalle en el Capítulo VI de Pruebas y Resultados.

4.4.5 CONTROL DE VELOCIDAD

El objetivo de este sistema es generar una relación adecuada de velocidades entre los cilindros encargados de desplazar la napa de forma uniforme por todos los procesos internos de la máquina dependiendo del material que ingresa a la máquina y del peso

final de la cinta con el cual se vaya a trabajar. Cada cilindro tiene acoplado un motor asíncrono que requieren ser controlados para realizar un trabajo adecuado.

La regulación de la máquina trabaja como regulación de período corto - mediano y es ejecutado por el Controlador Lógico Programable.

Existen 2 lazos para el control de velocidad: el primero para el cilindro del gran Tambor y el segundo para los sistemas Alimentador / Tomador y Salida / Peinador. A continuación se detalla ambos lazos de control del sistema.

4.4.5.1 TAMBOR

Un sensor encoder incremental colocado en el eje de accionamiento del motor trifásico del Tambor proveerá una señal que posteriormente será procesada e indicará la velocidad a la cual está girando este cilindro para el proceso de cardado, según la Figura 79.

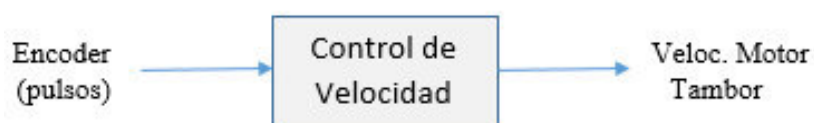


Figura 79 Parámetros de entrada y salida al control de velocidad cilindro Tambor

Fuente: Propia

Para la lectura de la señal encoder se utiliza un bloque de lectura CD522 de 2 canales (Z0 y Z1) con la cual se mide tiempos, frecuencias y velocidades de giro con una resolución de $1\mu s$.

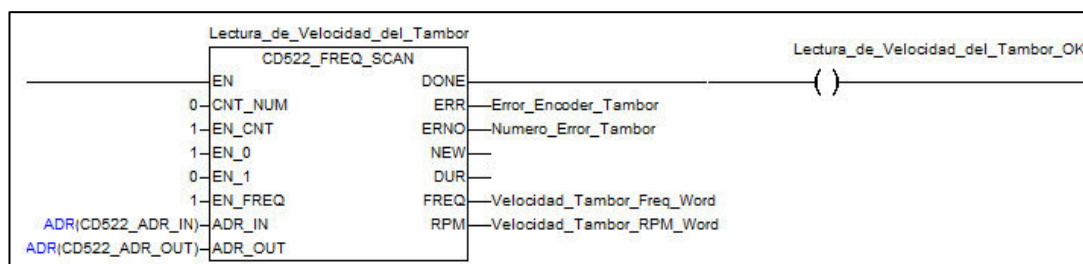


Figura 80 Bloque de lectura encoder para el cilindro Tambor

Fuente: Propia

Como el bloque anterior trabaja con la señal Z0 que es un pulso por cada revolución, hay que dividir la lectura obtenida para el número de pulsos por revolución, en este caso el encoder del cilindro Tambor presenta una rueda dentada de 14 dientes por lo que será 14 pulsos.

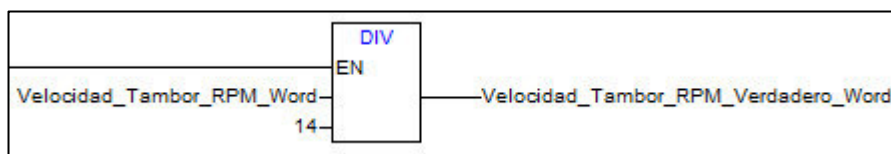


Figura 81 Bloque de división 14 pulsos encoder Tambor

Fuente: Propia

Al momento de arrancar la producción en la máquina, el cilindro Tambor empieza a girar hasta llegar a las 100 RPM con lo cual se alcanza las revoluciones bajas cumplidas. Después espera un tiempo y el Tambor sube su velocidad hasta llegar a las revoluciones plenas de trabajo, que serán 400 RPM para poliéster-polipeinado y 450 RPM para algodón-polialgodón

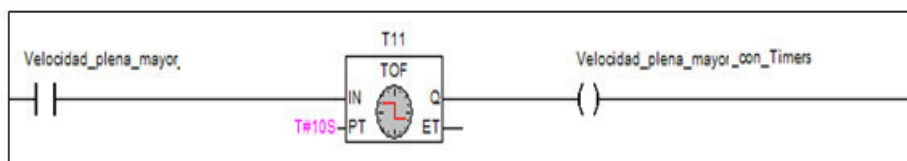


Figura 82 Condición revoluciones plenas de trabajo

Fuente: Propia

Se realiza una comparación del setpoint ingresado versus el valor verdadero actual sensado del cilindro Tambor a través del bloque encoder CD522. Del resultado en caso de ser un valor positivo quiere decir que todavía no se llega al valor esperado por lo que será necesario subir la velocidad. En caso de ser un valor negativo quiere decir que se pasó del valor esperado por lo que será necesario bajar la velocidad.

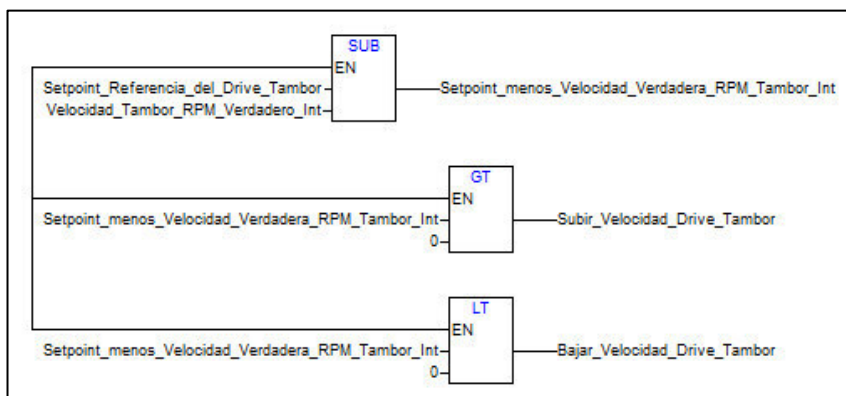


Figura 83 Comparación setpoint ingresado y valor actual sensor encoder Tambor

Fuente: Propia

Del resultado de la comparación, y con la decisión de subir la velocidad, se mueve el valor de 20685 a la variable Setpoint de control de rampa del Tambor.

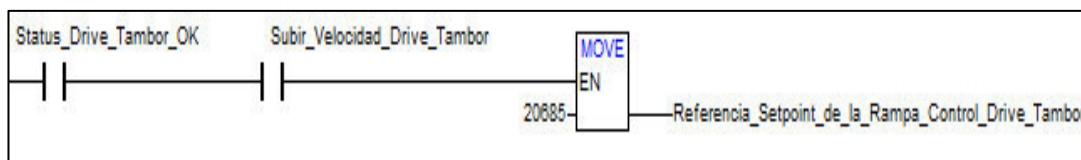


Figura 84 Subir la velocidad cilindro Tambor

Fuente: Propia

Del resultado de la comparación, y con la decisión de bajar la velocidad, se mueve el valor de 0 a la variable Setpoint de control de rampa del Tambor.

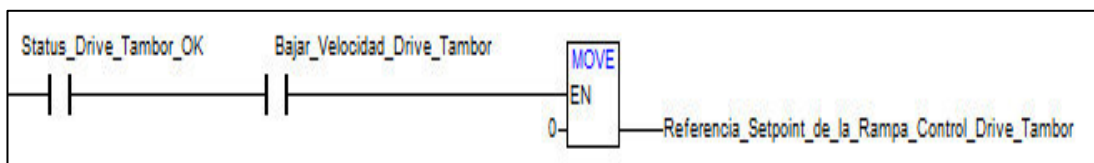


Figura 85 Bajar la velocidad cilindro Tambor

Fuente: Propia

Condición en la cual se estabiliza el Setpoint deseado con la señal de salida de referencia en RPM para el driver del Tambor.

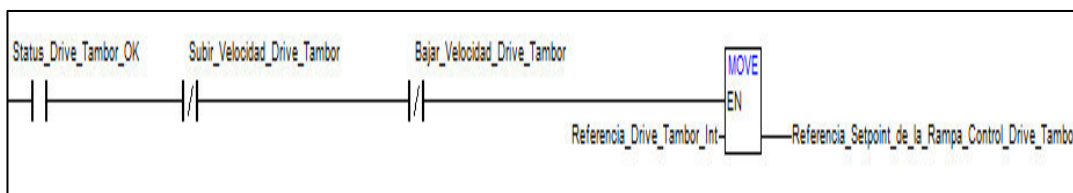


Figura 86 Condición de estabilidad Setpoint deseado cilindro Tambor

Fuente: Propia

Para el Tambor los pasos ascendente y descendente de control configurados en el bloque RAMPA deben ser valores pequeños (10 o 20) y no debe ser valores altos (100 o 200) porque de esta manera el cilindro Tambor, al ser una masa muy grande y difícil de maniobrar, se estabiliza más rápido ya que el Driver varía la frecuencia sin incrementos y decrementos de disparos enormes.

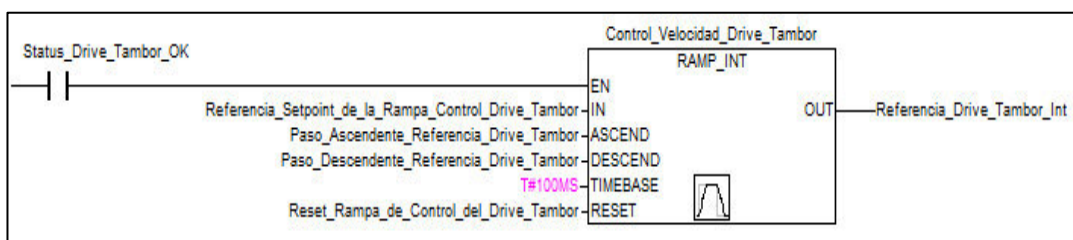


Figura 87 Configuración pasos de control bloque rampa cilindro Tambor

Fuente: Propia

Existe una condición de paro en la máquina por patinaje en la banda cuando la velocidad del Tambor en revoluciones plenas de trabajo es menor al 5% del SetPoint seteado. Por ejemplo, si el material de trabajo es Polialgodón el cilindro Tambor debería trabajar a 450 RPM, pero si baja de 430 RPM por al menos 1 minuto entonces la máquina para porque está patinando la banda. En ese caso el operador realizará el mantenimiento correctivo.

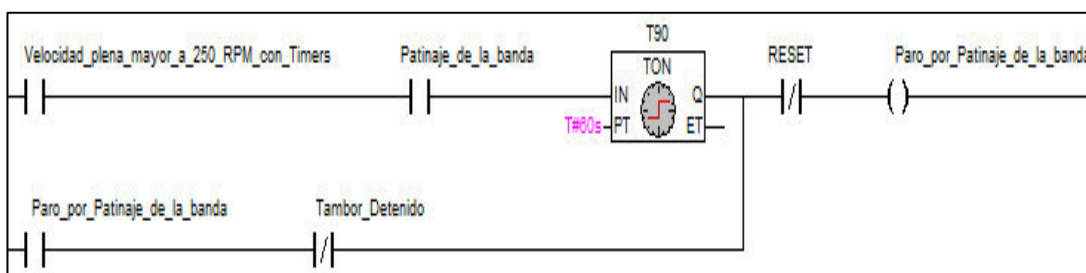


Figura 88 Condición de paro por patinaje en la banda cilindro Tambor

Fuente: Propia

4.4.5.2. SALIDA/PEINADOR

Un sensor encoder incremental colocado en el eje de accionamiento del motor trifásico de la Salida / Peinador proveerá una señal que posteriormente será procesada e indicará la velocidad a la cual está girando este cilindro. En la Figura 89 se observa el lazo cerrado de control de velocidad utilizado para el cilindro Alimentador/Tomador y cilindro Salida/Peinador.

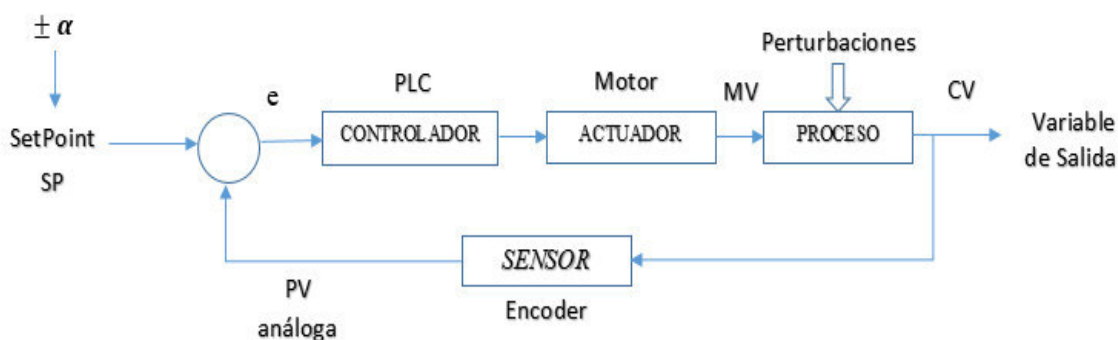


Figura 89 Lazo cerrado de control de velocidad para el cilindro Alimentador/Tomador y cilindro de Salida/Peinador
Fuente: Propia

Donde:

- Variable de Proceso (**PV**): La variable medida que se desea estabilizar o controlar.
- Variable Manipulada (**MV**): La variable física que cambiamos para que la CV alcance el SetPoint.
- Variable Controlada (**CV**): Variable física a controlar en el proceso (Velocidad)
- SetPoint (**SP**): Es el valor deseado de la variable de proceso
- Error (**e**): Es la diferencia entre el SP y la PV
- α : Ajuste manual

Para este lazo de control fue necesario implementar un sistema de control proporcional incremental, el cual actúa de forma directa. A medida que el sensor de salida (galga) detecta una menor altura o anchura en la cinta que sale, aumenta la velocidad del cilindro alimentador para que ingrese mayor material.

De igual forma, a medida que el sensor de salida detecta una mayor altura o anchura en la cinta que sale, disminuye la velocidad del cilindro alimentador para que ingrese menos material.

La ecuación del control propuesto en el sistema es el siguiente:

$$m = e * (K_p \pm \alpha)$$

Donde:

- m = Salida del controlador
- e = Error (diferencia entre el SP y la PV)
- K_p = Ganancia Proporcional
- α = Ajuste manual

Para la lectura de la señal encoder se utiliza un bloque de lectura CD522 de 2 canales (Z0 y Z1) con la cual se mide tiempos, frecuencias y velocidades de giro con una resolución de $1\mu s$.

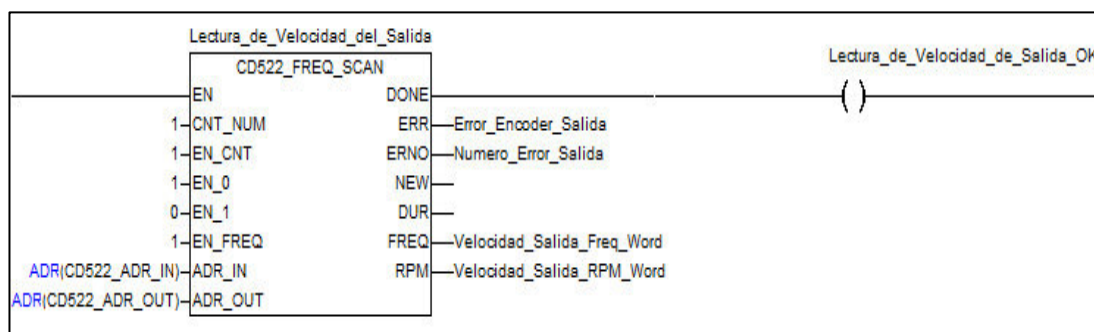


Figura 90 Bloque de lectura encoder para el cilindro Salida/Peinador

Fuente: Propia

Como el bloque anterior trabaja con la señal Z1 que es un pulso por cada revolución, hay que dividir la lectura obtenida para el número de pulsos por revolución, en este caso para el motor de Salida/Peinador presenta una rueda de 12 huecos por lo que serán 12 pulsos.

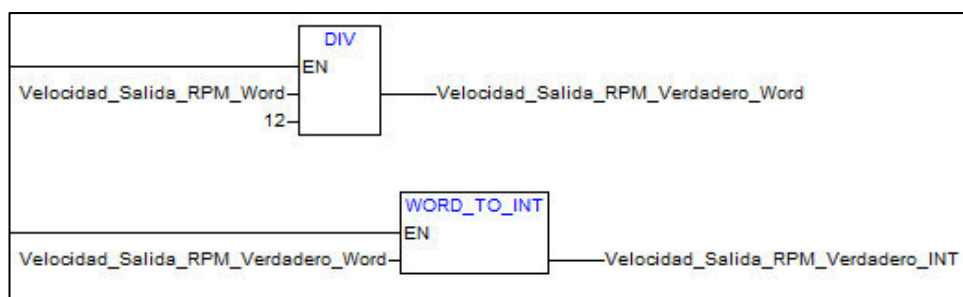


Figura 91 Bloque de división 12 pulsos encoder Salida/Peinador

Fuente: Propia

Al arrancar la producción en la máquina, y el cilindro Tambor se encuentra girando a revoluciones plenas de trabajo entonces los cilindros Salida/Peinador y

Alimentador/Tomador empiezan a girar a una velocidad lenta de trabajo configurada en el controlador. Este funcionamiento sirve para pasar el material desde la tolva de alimentación al inicio del proceso hasta la salida de la máquina donde se tiene la cinta final producida.

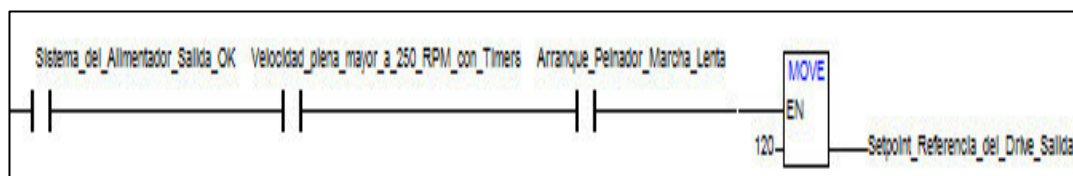


Figura 92 Condición velocidad lenta de trabajo cilindro Salida/Peinador

Fuente: Propia

Una vez que se tiene una cinta a la salida de la máquina, esta se pasa por el sensor de vigilancia y posteriormente al sistema de apiladora de botes para enrollar dicha cinta. Existe un tiempo mínimo de vigilancia de 3 segundos del paso de la cinta para poder pasar a velocidad rápida de producción.



Figura 93 Condición sensor de vigilancia cilindro Salida/Peinador

Fuente: Propia

Se realiza una comparación del setpoint ingresado versus el valor verdadero actual sensado del cilindro Salida/Peinador a través del bloque encoder CD522. Del resultado en caso de ser un valor positivo quiere decir que todavía no se llega al valor esperado por lo que será necesario subir la velocidad. En caso de ser un valor negativo quiere decir que se pasó del valor esperado por lo que será necesario bajar la velocidad.

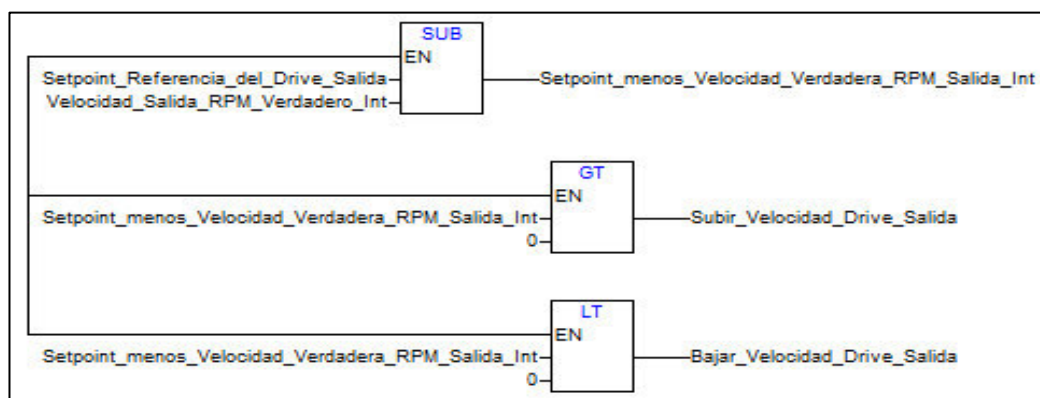


Figura 94 Comparación setpoint ingresado y valor actual sensor encoder Salida/Peinador

Fuente: Propia

Del resultado de la comparación, y con la decisión de subir la velocidad, se mueve el valor de 27648 a la variable Setpoint de control de rampa del cilindro Salida/Peinador.

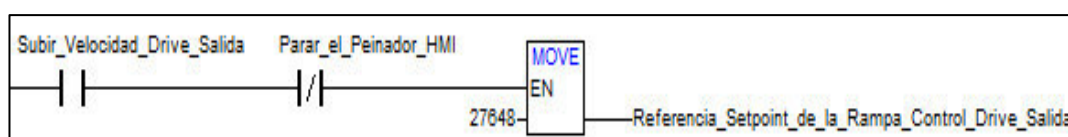


Figura 95 Subir la velocidad cilindro Salida/Peinador

Fuente: Propia

Del resultado de la comparación, y con la decisión de bajar la velocidad, se mueve el valor de 0 a la variable Setpoint de control de rampa del cilindro Salida/Peinador.

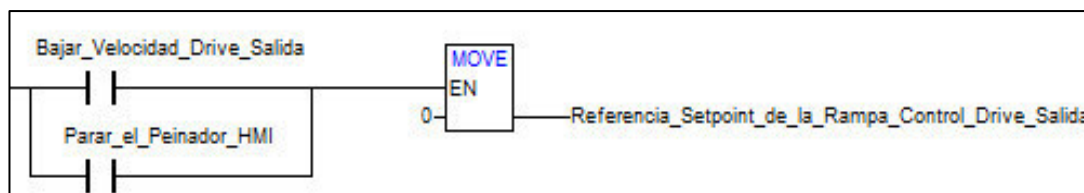


Figura 96 Bajar la velocidad cilindro Salida/Peinador

Fuente: Propia

Condición en la cual se estabiliza el Setpoint deseado con la señal de salida de referencia en RPM para el driver de Salida/Peinador.

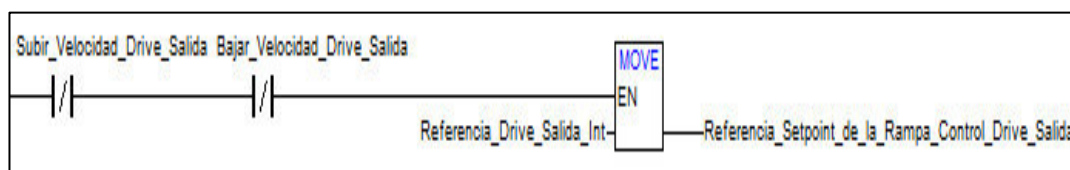


Figura 97 Condición de estabilidad Setpoint deseado cilindro Salida/Peinador

Fuente: Propia

Para la Salida/Peinador los pasos ascendente y descendente de control configurados en el bloque RAMPA deben ser valores altos (100 o 200) porque a diferencia del cilindro Tambor, este no es una masa enorme difícil de maniobrar por lo que se estabiliza más rápido.

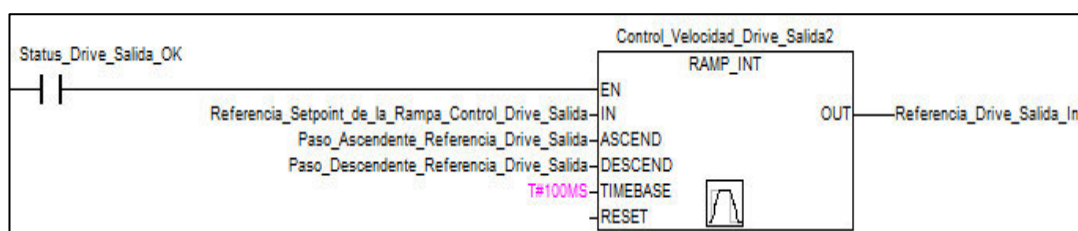


Figura 98 Configuración pasos de control bloque rampa cilindro Salida/Peinador

Fuente: Propia

4.4.5.3. ALIMENTADOR/TOMADOR

Cuando los operadores van a trabajar con un material distinto al que se encontraba trabajando la máquina, primero deben vaciarla por completo. Para ello existe un botón en la interfaz HMI que simboliza un bote de carda y tiene dicha funcionalidad como se detalla en la Tabla .

Para esta función existe una condición en el lazo de control de velocidad que si la señal que entregan los sensores analógicos de medición de entrada en la tolva de alimentación baja de cierto valor programado, manda a parar todo el sistema de funcionamiento.

Según el manual de operación de la máquina proporcionada por la empresa TEXTILES DEL VALLE S.A., este valor mínimo es cuando el sensor analógico de

entrada se encuentra a 3 mm de la estructura metálica. Para ello es necesario encontrar la ecuación del sensor analógico de entrada que relacione Corriente/Distancia tomando en cuenta que el sensor trabaja en un rango de corriente de 4 – 20 mA y una distancia de 2 – 5 mm, como se detalla en las pruebas realizadas en el *Capítulo VI Pruebas y Resultados*.

El cálculo de la ecuación de la recta para sacar la fórmula que cumpla con los dos puntos mencionados anteriormente se presenta a continuación:

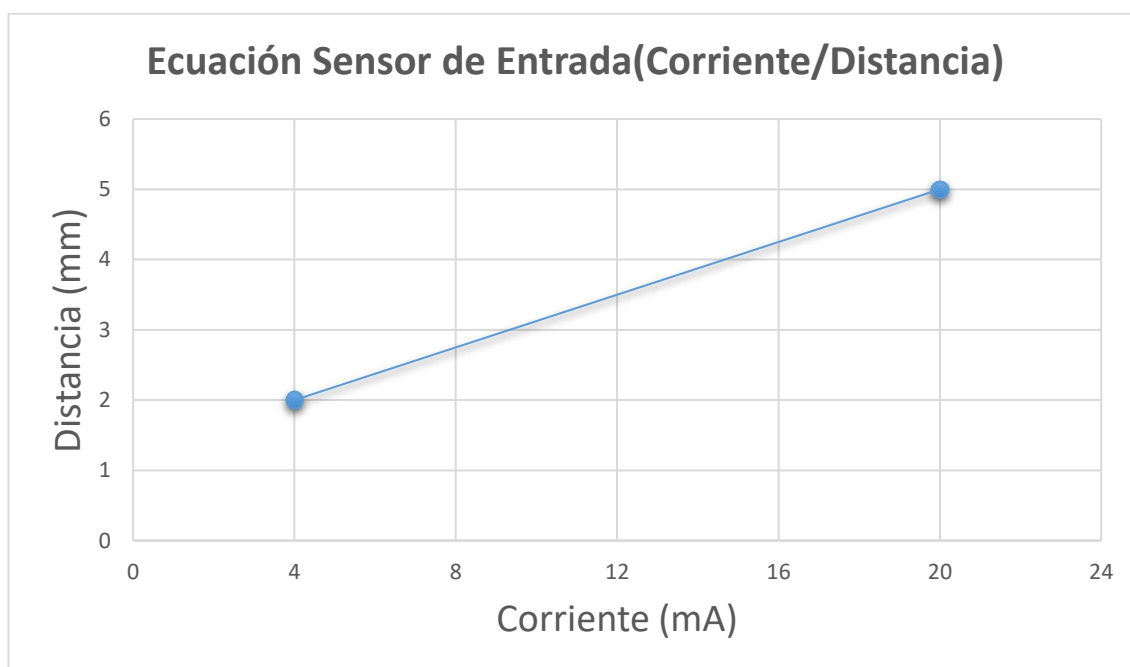


Figura 99 Sensor de Entrada relación (Corriente/Distancia)

Fuente: Propia

$$y - y_0 = m(x - x_0)$$

$$m = \frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{5 - 2}{20 - 4} = \frac{3}{16}$$

$$\gg y - 2 = \frac{3}{16}(x - 4)$$

$$y = \frac{3}{16}x + \frac{5}{4}$$

Una vez realizado este cálculo, es posible encontrar el valor de la señal que entrega el sensor analógico a los 3 mm de distancia al reemplazar este valor en la ecuación calculada.

$$x = 9,33 \text{ mA}$$

Se procedió a comprobar si efectivamente la corriente que entregan los sensores analógicos de entrada es la calculada. Para ello se fijaron los sensores en la tolva de alimentación a la altura de 3 mm y con el multímetro conectado en serie se midió corriente. El resultado fue satisfactorio, al ser el mismo valor calculado de forma teórica y práctica. Este análisis fue necesario realizarlo para comprobar el correcto funcionamiento del sensor como se detalla en el *Capítulo VI Pruebas y Resultados*.

Una vez que el sensor detecta la posición más baja en la tolva de alimentación, es necesario conocer su valor digital en ese momento para poder realizar la configuración en el programa de control. Para ello hay que encontrar la ecuación del sensor analógico de entrada que relacione la Corriente/Valor digital tomando en cuenta que el sensor trabaja en un rango de 0 – 27648 y 4 – 20 mA.

El cálculo de la ecuación de la recta para sacar la fórmula que cumpla con los dos puntos mencionados anteriormente se presenta a continuación:

$$y - y_0 = m(x - x_0)$$

$$m = \frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{27648 - 0}{20 - 4} = \frac{27648}{16} = 1728$$

$$\gg y - 27648 = 1728(x - 20)$$

$$y = 1728x - 6912$$

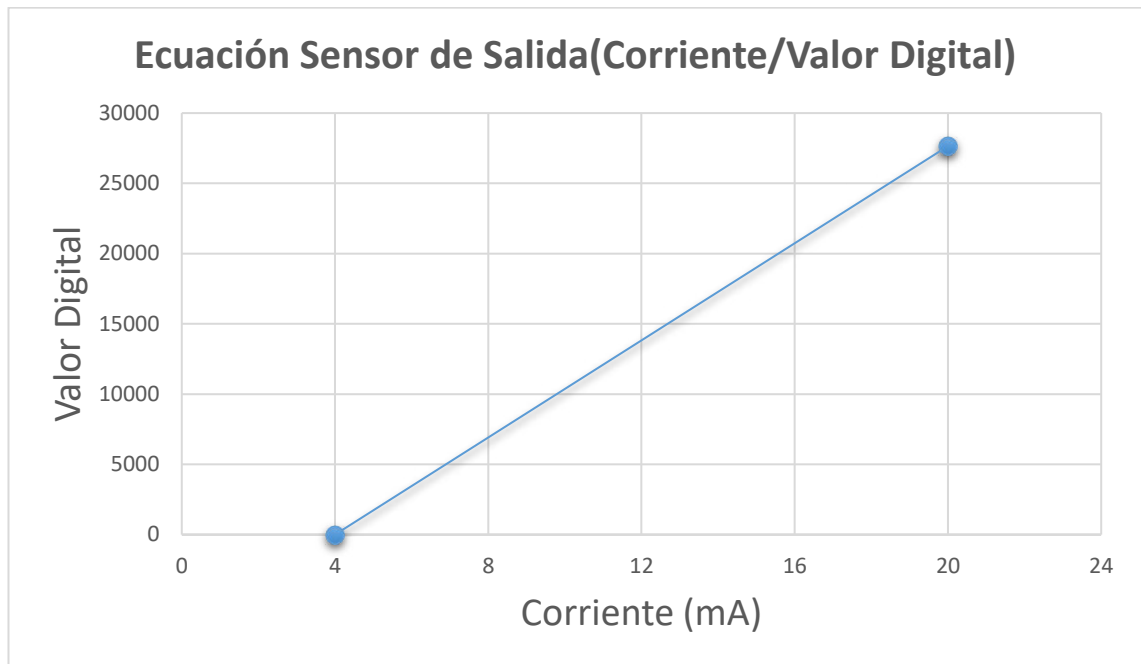


Figura 100 Sensor de Entrada relación (Corriente/Valor digital)

Fuente: Propia

Una vez realizado este cálculo, es posible encontrar el valor digital de la señal que entrega el sensor analógico a los 9,33 mA al reemplazar este valor en la ecuación calculada.

$$y = 9210$$

De esta manera es posible limitar el valor mínimo de material que debe ingresar en la tolva de alimentación para que la máquina continúe con su producción sin problemas.

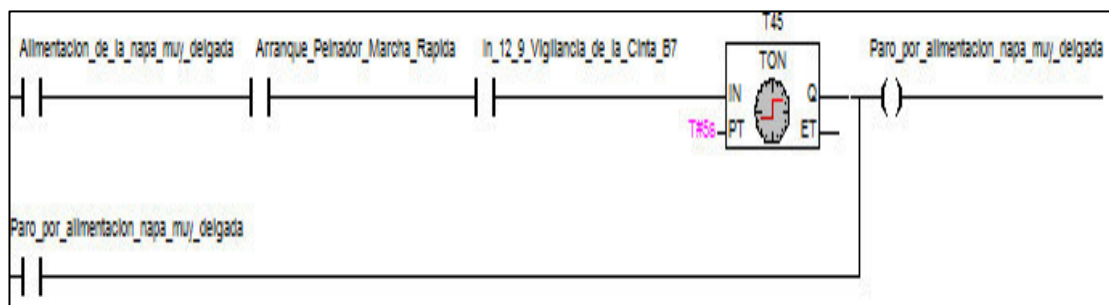


Figura 101 Condición paro por alimentación de napa muy delgada en la máquina

Fuente: Propia

Respecto al control de velocidad del cilindro Alimentador/Tomador es necesario comparar el valor efectivo registrado por el sensor analógico de salida, con el valor teórico del peso de la cinta. En caso de una corrección, el autómata varía el número de revoluciones del cilindro alimentador para que ingrese una mayor o menor cantidad de material a la máquina. En la Figura 102 se observa lo explicado anteriormente.

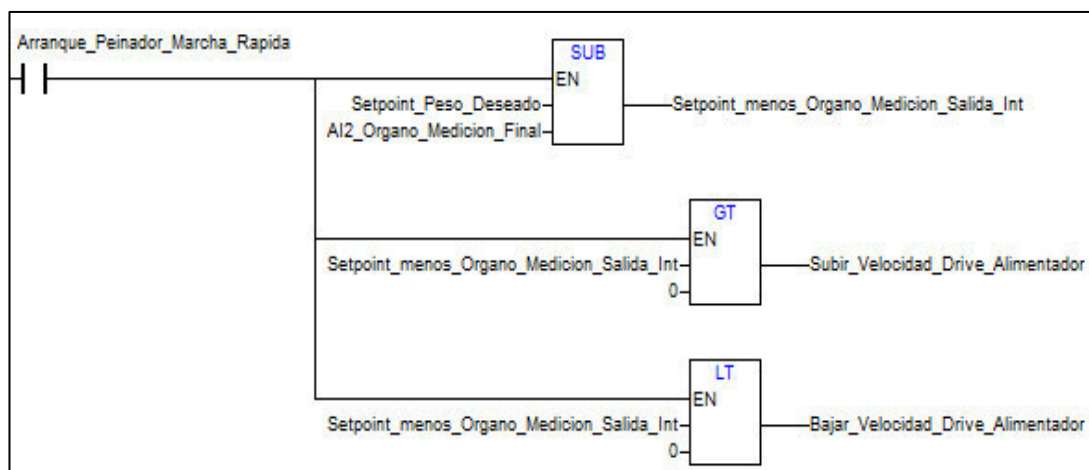


Figura 102 Comparación setpoint con la lectura del sensor analógico de salida.

Fuente: Propia

Del resultado de la comparación, y con la decisión de aumentar el tiempo para la tasa de cambio, se mueve el valor de 20 milisegundos a la variable Tiempo para aumentar las veces que el bloque BLINK genera una señal pulsatoria.

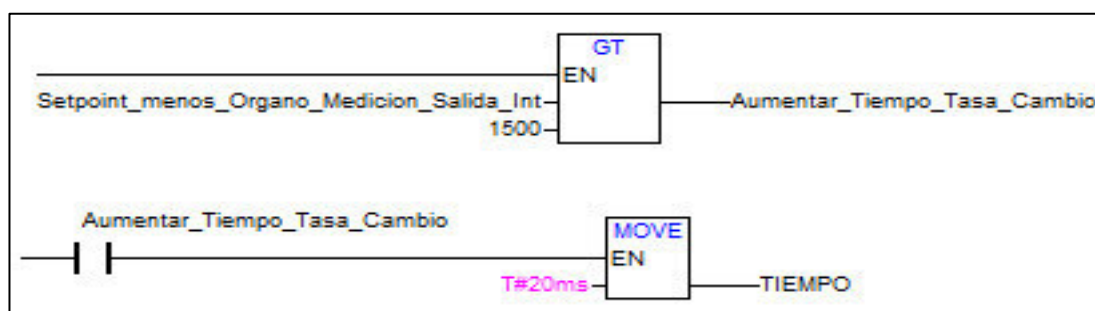


Figura 103 Condición de aumentar tasa de cambio cilindro Alimentador/Tomador

Fuente: Propia

Del resultado de la comparación, y con la decisión de disminuir el tiempo para la tasa de cambio, se mueve el valor de 150 milisegundos a la variable Tiempo para disminuir las veces que el bloque BLINK genera la misma señal pulsatoria.

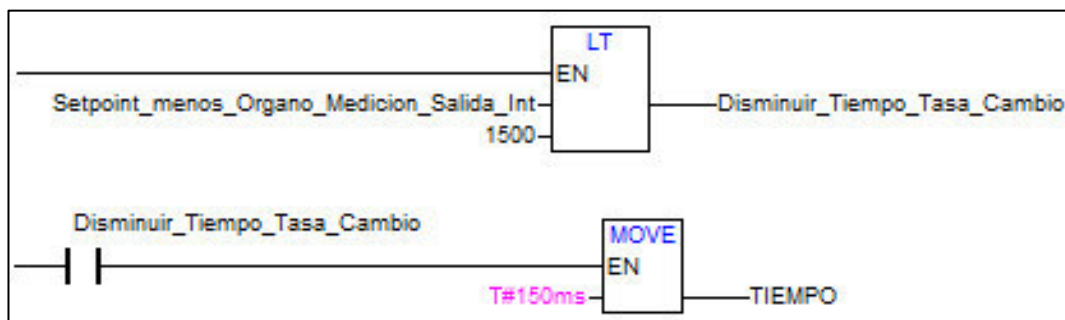


Figura 104 Condición de disminuir tasa de cambio cilindro Alimentador/Tomador

Fuente: Propia

De esta manera el bloque de funciones BLINK genera una señal pulsatoria de tiempo configurable: cuando sea de disminuir la tasa de cambio, la variable TIEMPO tomará el valor de 150 ms tanto para TIMELOW como para TIMEHIGH. Mientras que si hay que aumentar la tasa de cambio, esta variable TIEMPO toma el valor de 20 ms aumentando significativamente la cantidad de veces que la variable Tiempo_miliseq se activa del bloque generador de pulsos.

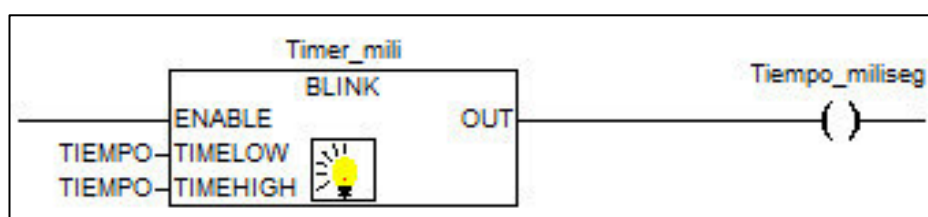


Figura 105 Bloque Timer para la tasa de cambio

Fuente: Propia

Para subir la velocidad del cilindro Alimentador/Tomador, el bloque TRIGGER se activa solo con un flanco ascendente y manda a activar la salida en un tiempo mínimo en el cual se realiza la suma de 1 al paso ascendente de control como se observa en la Figura 106.

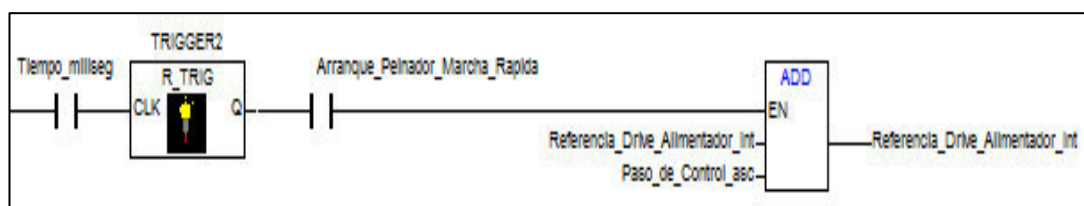


Figura 106 Condición de aumentar la velocidad cilindro Alimentador/Tomador

Fuente: Propia

Para el control de bajar la velocidad del cilindro Alimentador/Tomador, el bloque TRIGGER se activa de igual forma con un flanco ascendente y manda a activar la salida en un tiempo mínimo en el cual se realiza la resta del paso descendente de control como se observa en la Figura 107.

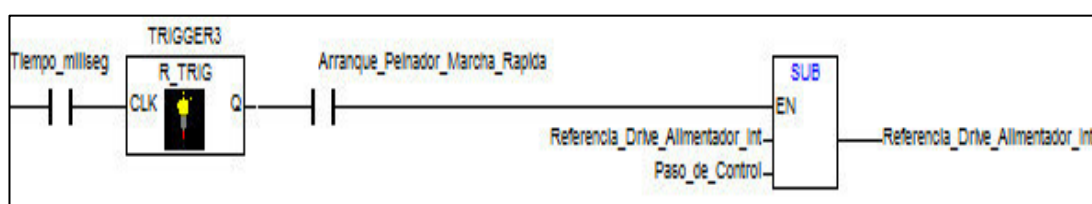


Figura 107 Condición de disminuir la velocidad cilindro Alimentador/Tomador

Fuente: Propia

4.4.6. COMUNICACIÓN DE DATOS PLC CON PANTALLA HMI

Anteriormente se explicó la red con topología en estrella montada para la comunicación entre el PLC ABB y la pantalla HMI WEG como se mostró en la Figura 50. Para realizar la comunicación y visualización de datos entre ambos dispositivos de diferentes marcas es necesario configurar ciertos parámetros como se presenta a continuación:

En PLC ABB:

- Habilitar en el software Automation Builder la comunicación modbus TCP/IP basado en Ethernet.

- Dentro del software Codesys asignar las direcciones modbus correspondientes a las variables a utilizar.
- Para variables booleanas se utiliza la nomenclatura:

`BIT_BOBINA AT %MX0.0.5: BOOL;`

- Para variables numéricas se utiliza la nomenclatura:

`PRUEBA_REAL AT %MW0.100: INT;`

Para poder leer estas variables en la pantalla HMI se debe cargar la configuración de la siguiente manera.

- Para datos tipo `BOOL` se debe escribir en el mismo formato que se realiza en el PLC, es decir, si en el PLC la variable es `%MX0.1.0` entonces en la pantalla HMI en el apartado de dirección se selecciona la comunicación ABB previamente configurada y en el espacio disponible se ingresa 1.0 que correspondería a la parte final del formato ya que el 0 inicial está por defecto en la casilla.
- Para leer una variable numérica hay que fijarse en el formato o tipo de dato que se declaró en el PLC. Por ejemplo si la variable en el PLC es:

`%MW0.100: INT`
- En el casillero de Formato numérico se ingresa 16bit unsigned y en la pestaña general se escribe la dirección de la misma manera que se escribió en el PLC ABB solo que únicamente se escribe la terminación de la dirección, es decir 100 ya que MW0 ya se encuentra como prefijo predeterminado.

La asignación de direcciones para leer variables tipo `BIT` o tipo `WORD` se realiza según la Figura 108:

Dirección Modbus		Byte BYTE	Bit (por bytes) BOOL	Palabra WORD	Doble palabra DWORD
HEX	DEC				
Línea 0					
0000	0	%MB0.0	%MX0.0.0...%MX0.0.7	%MW0.0	%MD0.0
		%MB0.1	%MX0.1.0...%MX0.1.7		
0001	1	%MB0.2	%MX0.2.0...%MX0.2.7	%MW0.1	
		%MB0.3	%MX0.3.0...%MX0.3.7		
0002	2	%MB0.4	%MX0.4.0...%MX0.4.7	%MW0.2	%MD0.1
		%MB0.5	%MX0.5.0...%MX0.5.7		
0003	3	%MB0.6	%MX0.6.0...%MX0.6.7	%MW0.3	
		%MB0.7	%MX0.7.0...%MX0.7.7		
...					

Figura 108 Tabla de direcciones Modbus

Fuente: Software de programación Automation Builder Plus

4.5. PROGRAMACIÓN VARIADORES DE FRECUENCIA

Al trabajar con variadores de frecuencia o Drivers ABB ACS355, estos utilizan macros de aplicación que son conjuntos de parámetros pre programados dependiendo de la aplicación que se vaya a realizar. Es recomendable buscar la macro más indicada para el objetivo previsto.

Al poner en marcha el convertidor, se selecciona una macro con el parámetro 9902 MACRO DE APLIC, la cual permite realizar los cambios básicos y guardar el resultado como una macro de usuario como se explica posteriormente en la Tabla # más detalladamente.

Para esta aplicación en particular se utilizó la macro por defecto Estándar ABB por ser una aplicación de control de velocidad ordinaria en la que se puede utilizar hasta tres velocidades constantes. El proceso de marcha/paro se controla con una entrada digital y es posible cambiar entre dos tiempos de aceleración y desaceleración. A continuación se muestra el diagrama de conexión del driver ACS500 para su alimentación, las entradas digitales y analógicas.

Existe un conmutador S1 en las entradas analógicas del driver EA1 y EA2, para la selección de tensión (-10 a 10 VDC / 0 - 10 VDC) o de corriente (0 – 20 mA / 4 – 20 mA) dependiendo de lo que se requiera trabajar. En esta aplicación se trabajó con la selección de tensión para las entradas analógicas con una referencia de 0 – 10 VDC.

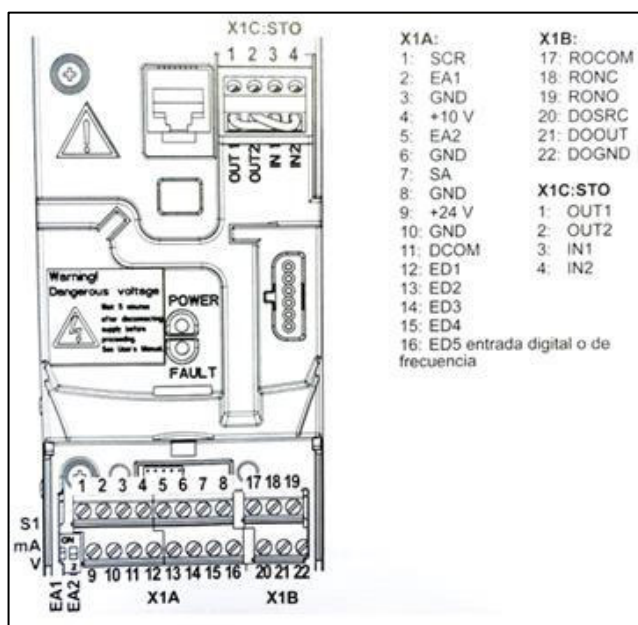


Figura 109 Diagrama de conexiones driver ABB ACS355

Fuente: Software de programación Automation Builder Plus

4.5.1. PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN

Para el funcionamiento de cada motor con sus respectivo variador de frecuencia y bajo el mando del PLC es necesario configurar varios parámetros. Puede que parezca que estas consideraciones son mínimas pues únicamente se requieren establecer rangos de frecuencia para el control de rampas de aceleración y frenado, sin embargo al momento de la implementación y funcionamiento se pudo apreciar su verdadera importancia pues de ello dependerá lo siguiente:

- Roturas de cinta no deseadas
- Regulación adecuada de velocidad

En la Tabla 32, 33, 34 y 35 se detallarán los parámetros que deben configurarse en base a los datos de placa de los motores y los valores respectivos para comandar al motor de cada proceso de la máquina, además se agrega una breve descripción de la función a cumplir de cada uno.

Tabla 32

Parámetros de configuración variador de frecuencia Silo

Variador de Frecuencia ABB Silo				
Código	Parámetro	Rango	Valor SET	Descripción
9902	Macro de aplicación	-	Estándar ABB	Selecciona la macro de aplicación
9903	Tipo de motor	-	Motor asíncrono	Selecciona el tipo de motor
9904	Modo CTRL Motor	-	Escalar: FREC	Modo de control escalar
9905	Tensión nominal del Motor	200 - 460 VAC	400 VAC	Define la tensión nominal del motor
9906	Intensidad nominal del Motor	0.1– 10 A	0,76 A	Define la intensidad nominal del motor
9907	Frecuencia nominal del Motor	50 – 60 Hz	200 Hz	Define la frecuencia nominal del motor
9908	Velocidad nominal del Motor	50 – 30000 RPM	2930	Define la velocidad nominal del motor
9909	Potencia nominal del Motor	0.1 – 10 kW	0.25 kW	Define la potencia nominal del motor
1202	Velocidad CONST 1	0 – 599 Hz	60 Hz	Define la velocidad constante 1 (o la frecuencia de salida del convertidor)
1301	Mínimo EA1	0...100 %	0 %	Define el % mínimo que corresponde al mínimo de la señal mA/(V) para la entrada analógica EA1
1302	Máximo EA1	0...100 %	100 %	Define el % máximo que corresponde al máximo de la señal mA/(V) para la entrada analógica EA1
1401	Salida RELE SR1		Listo	Selecciona un estado del convertidor En

Continúa...

				En esta aplicación se trabajó con la selección de tensión para las entradas analógicas con una referencia de 0 – 10 VDC. Indicado a través de la salida del relé SR1
2001	Velocidad Mínima	-3000...3000 RPM	0 RPM	Define la velocidad mínima permitida
2002	Velocidad Máxima	0...3000 RPM	2930 RPM	Define la velocidad máxima permitida
2007	Frecuencia Mínima	-599...599 Hz	0 Hz	Define el límite mínimo para la frecuencia de salida del convertidor
2008	Frecuencia Máxima	0...599 Hz	200 Hz	Define el límite máximo para la frecuencia de salida del convertidor
2202	Tiempo ACELER 1	0...1800 seg	5 seg	Tiempo necesario para que la velocidad pase de 0 a la establecida por el parámetro 2008
2203	Tiempo DESAC 1	0...1800 seg	5 seg	Tiempo necesario para que la velocidad pase de 0 a la establecida por el parámetro 2008

Fuente: Propia

Tabla 33

Parámetros de configuración variador de frecuencia Alimentador / Tomador

Variador de Frecuencia ABB Alimentador / Tomador				
Código	Parámetro	Rango	Valor SET	Descripción
9902	Macro de aplicación	-	Estándar ABB	Selecciona la macro de aplicación

Continúa...

9903	Tipo de motor	-	Motor asíncrono	Selecciona el tipo de motor
9904	Modo CTRL Motor	-	Escalar: FREC	Modo de control escalar
9905	Tensión nominal del Motor	200 - 460 VAC	400 VAC	Define la tensión nominal del motor
9906	Intensidad nominal del Motor	0.1– 10 A	2,5 A	Define la intensidad nominal del motor
9907	Frecuencia nominal del Motor	50 – 60 Hz	240 Hz	Define la Continúa... frecuencia nominal del motor
9908	Velocidad nominal del Motor	50 – 30000 RPM	3540	Define la velocidad nominal del motor
9909	Potencia nominal del Motor	0.1 – 10 kW	0.6 kW	Define la potencia nominal del motor
1202	Velocidad CONST 1	0 – 599 Hz	60 Hz	Define la velocidad constante 1 (o la frecuencia de salida del convertidor)
1301	Mínimo EA1	0...100 %	0 %	Define el % mínimo que corresponde al mínimo de la señal mA/(V) para la entrada analógica EA1
1302	Máximo EA1	0...100 %	100 %	Define el % máximo que corresponde al máximo de la señal mA/(V) para la entrada analógica EA1
1401	Salida RELE SR1	-	Listo	Selecciona un estado del convertidor indicado a través de la salida del relé SR1
2001	Velocidad Mínima	-3000...3000 RPM	0 RPM	Define la velocidad mínima permitida
2002	Velocidad Máxima	0...3000 RPM	3540 RPM	Define la velocidad máxima permitida
2007	Frecuencia Mínima	-599...599 Hz	0 Hz	Define el límite mínimo para la

Continúa...

2008	Frecuencia Máxima	0...599 Hz	240 Hz	frecuencia de salida del convertidor Define el límite máximo para la frecuencia de salida del convertidor
2202	Tiempo ACELER 1	0...1800 seg	5 seg	Define el tiempo necesario para que la velocidad pase de 0 a la establecida por el parámetro 2008
2203	Tiempo DESAC 1	0...1800 seg	5 seg	Define el t Continúa... necesario para que la velocidad pase de 0 a la establecida por el parámetro 2008

Fuente: Propia

Tabla 34

Parámetros de configuración variador de frecuencia Salida / Peinador

Variador de Frecuencia ABB Salida / Peinador				
Código	Parámetro	Rango	Valor SET	Descripción
9902	Macro de aplicación	-	Estándar ABB	Selecciona la macro de aplicación
9903	Tipo de motor	-	Motor asíncrono	Selecciona el tipo de motor
9904	Modo CTRL Motor	-	Escalar: FREC	Modo de control escalar
9905	Tensión nominal del Motor	200 - 460 VAC	400 VAC	Define la tensión nominal del motor
9906	Intensidad nominal del Motor	0.1– 10 A	4,2 A	Define la intensidad nominal del motor
9907	Frecuencia nominal del Motor	50 – 60 Hz	150 Hz	Define la frecuencia nominal del motor
9908	Velocidad nominal del Motor	50 – 30000 RPM	4420	Define la velocidad nominal del motor
9909	Potencia nominal del Motor	0.1 – 10 kW	2,1 kW	Define la potencia nominal del motor

Continúa...

1202	Velocidad CONST 1	0 – 599 Hz	60 Hz	Define la velocidad constante 1 (o la frecuencia de salida del convertidor)
1301	Mínimo EA1	0...100 %	0 %	Define el % mínimo que corresponde al mínimo de la señal mA/(V) para la entrada analógica EA1
1302	Máximo EA1	0...100 %	100 %	Define el % máximo que corresponde al máximo de la señal mA/(V) para la entrada analógica EA1
1401	Salida RELE SR1		Listo	Selecciona un estado del convertidor indicado a través de la salida del relé SR1
2001	Velocidad Mínima	-3000...3000 RPM	0 RPM	Define la velocidad mínima permitida
2002	Velocidad Máxima	0...3000 RPM	4420 RPM	Define la velocidad máxima permitida
2007	Frecuencia Mínima	-599...599 Hz	0 Hz	Define el límite mínimo para la frecuencia de salida del convertidor
2008	Frecuencia Máxima	0...599 Hz	150 Hz	Define el límite máximo para la frecuencia de salida del convertidor
2202	Tiempo ACELER 1	0...1800 seg	5 seg	Define el tiempo necesario para que la velocidad pase de 0 a la establecida por el parámetro 2008
2203	Tiempo DESAC 1	0...1800 seg	5 seg	Define el tiempo necesario para que la velocidad pase de 0 a la establecida por el parámetro 2008

Continúa...

Tabla 35

Parámetros de configuración variador de frecuencia Tambor

Variador de Frecuencia ABB Tambor				
Código	Parámetro	Rango	Valor SET	Descripción
9902	Macro de aplicación	-	Estándar ABB	Selecciona la macro de aplicación
9903	Tipo de motor	-	Motor asíncrono	Selecciona el tipo de motor
9904	Modo CTRL Motor	-	Escalar: FREC	Modo de control escalar
9905	Tensión nominal del Motor	200 - 460 VAC	460 VAC	Define la tensión nominal del motor
9906	Intensidad nominal del Motor	0.1– 20 A	16 A	Define la intensidad nominal del motor
9907	Frecuencia nominal del Motor	50 – 60 Hz	100 Hz	Define la frecuencia nominal del motor
9908	Velocidad nominal del Motor	50 – 30000 RPM	2960	Define la velocidad nominal del motor
9909	Potencia nominal del Motor	0.1 – 10 kW	9,4 kW	Define la potencia nominal del motor
1202	Velocidad CONST 1	0 – 599 Hz	60 Hz	Define la velocidad constante 1 (o la frecuencia de salida del convertidor)
1301	Mínimo EA1	0...100 %	0 %	Define el % mínimo que corresponde al mínimo de la señal mA/(V) para la entrada analógica EA1
1302	Máximo EA1	0...100 %	100 %	Define el % máximo que corresponde al máximo de la señal mA/(V) para la entrada analógica EA1
1401	Salida RELE SR1	-	Listo	Selecciona un estado del convertidor

Continúa...

				indicado a través de la salida del relé SR1
2001	Velocidad Mínima	-3000...3000 RPM	0 RPM	Define la velocidad mínima permitida
2002	Velocidad Máxima	0...3000 RPM	2960 RPM	Define la velocidad máxima permitida
2007	Frecuencia Mínima	-599...599 Hz	0 Hz	Define el límite mínimo para la frecuencia de salida del convertidor
2008	Frecuencia Máxima	0...599 Hz	100 Hz	Define el límite máximo para la frecuencia de salida del convertidor
2202	Tiempo ACELER 1	0...1800 seg	5 seg	Define el tiempo necesario para que la velocidad pase de 0 a la establec Continúa... parámetro 2008
2203	Tiempo DESAC 1	0...1800 seg	5 seg	Define el tiempo necesario para que la velocidad pase de 0 a la establecida por el parámetro 2008

Fuente: Propia

4.6. DESARROLLO Y CONFIGURACIÓN DEL HMI

Para desarrollar la programación y configuración del HMI se consideró la metodología propuesta para la guía ergonómica de diseño de interfaces de supervisión (GEDIS), la cual ha sido enfocada para ambientes industriales. Al ser una pantalla de operador básico se tomó en cuenta la primera fase que consiste en la especificación de los principales elementos de la interfaz tales como la arquitectura, la navegación los estándares de colores, fuentes, simbología, etc. (PONSA & GRANOLLERS)

4.6.1. FUNCIONES DEL HMI

Las funciones elementales del HMI en el sistema de cardado son:

- Monitoreo de las variables del proceso en tiempo real.
- Supervisión y ajuste de condiciones de trabajo.
- Capacidad de reconocer eventos y alarmas dentro del proceso.
- Control del proceso de cardado dentro de los límites de operación asignados.

4.6.2. ARQUITECTURA DEL HMI

Para el desarrollo en el diseño de la interfaz se debe establecer un mapa donde se definirán de manera general las diferentes pantallas con las que contará el operador para interactuar con el sistema de control de la máquina. Este mapa deberá establecer las relaciones lógicas entre las pantallas de manera que pueda también servir posteriormente al diseño de la navegación del sistema.

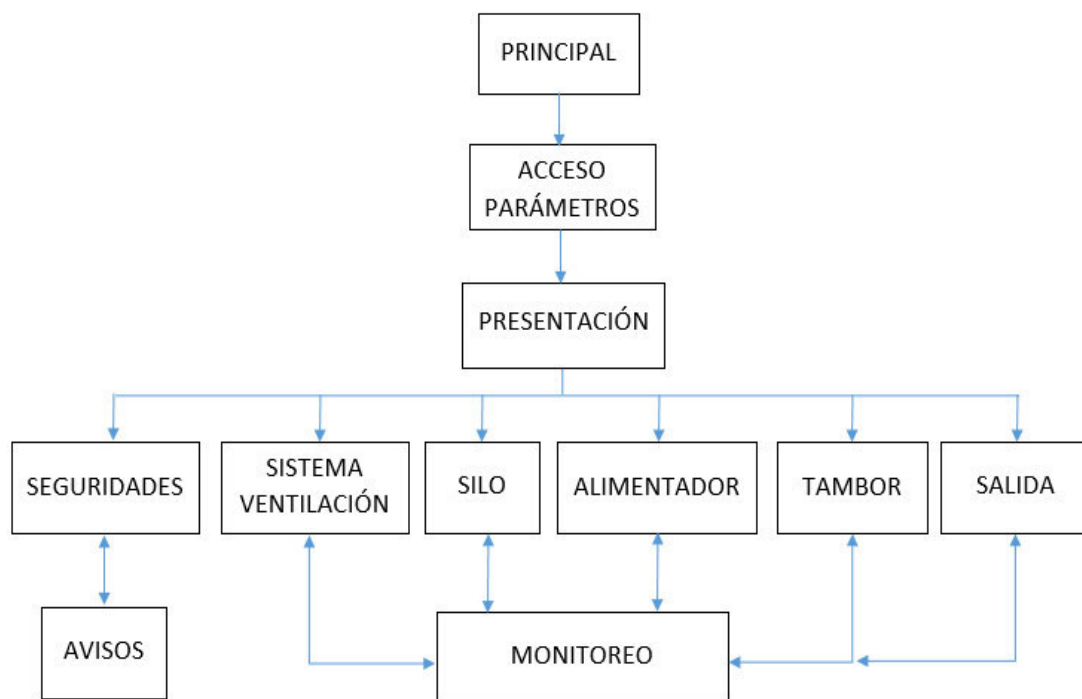


Figura 110 Arquitectura y navegación entre pantallas de distintos niveles

Fuente: Propia

4.6.3. CONFIGURACIÓN DEL HMI EN EASYBUILDER 8000

Para el desarrollo de la interfaz se utilizó el software EasyBuilder8000 con la versión V5.65 en la cual se encuentra el modelo para la pantalla WEG utilizada. La configuración se basa en los siguientes pasos:

- Crear una nueva pantalla.
- Seleccionar los objetos de imagen que se van a visualizar.
- Configurar avisos.
- Insertar botones del sistema disponible.
- Seleccionar imágenes del sistema.
- Configurar los TAGS o direcciones asignadas para cada variable.
- Agregar pantallas nuevas.
- La pantalla de trabajo en el software de la interfaz presenta la siguiente ventana:

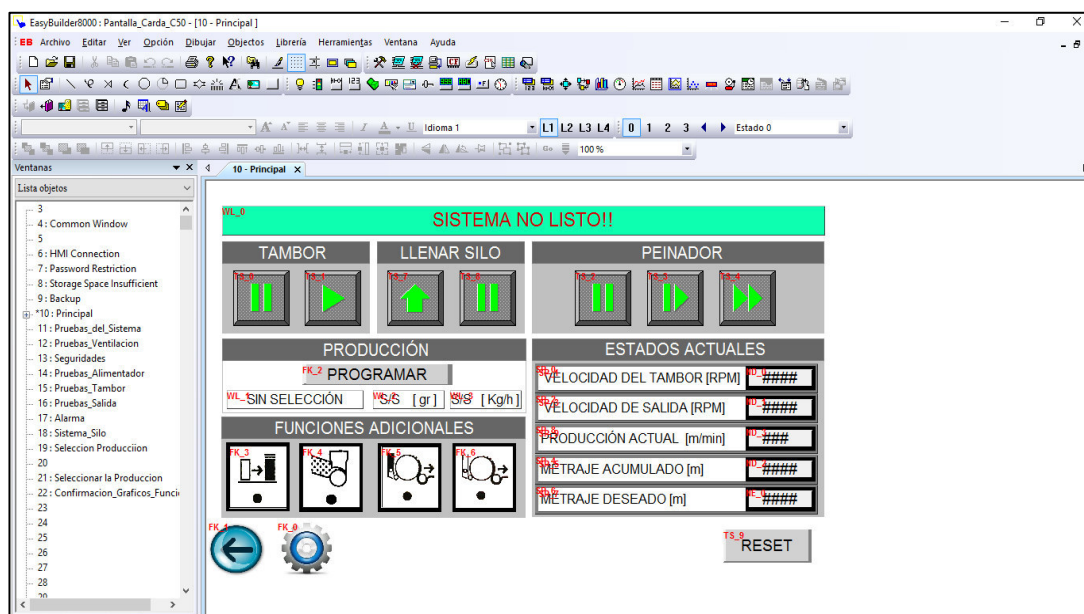


Figura 111 Pantalla para diseño HMI

Fuente: Propia

4.6.4. DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DE LAS HMI

A continuación se presentan las diferentes pantallas de la interfaz en las cuales trabajará el operador sobre la máquina.

4.6.4.1. VENTANA PRINCIPAL

Esta ventana permite la visualización de los estados actuales y de producción en el sistema. En la parte superior de esta pantalla se despliega una barra de estados que indica el proceso que se esté realizando en la máquina y también cualquier mensaje de error al existir problemas con el sistema de cardado. Mediante el botón PROGRAMAR, el operador ingresará a configurar los parámetros de trabajo en la máquina.



Figura 112 Ventana principal

Fuente: Propia

4.6.4.2. VENTANA DE CONFIGURACIONES

En esta pantalla de configuraciones generales el operador se puede dirigir a cualquier ventana de la interfaz.



Figura 113 Ventana configuraciones

Fuente: Propia

4.6.4.3. VENTANA DE SELECCIÓN PARÁMETROS DE TRABAJO

La ventana de la Figura 114 sirve para que el operador pueda programar los pedidos dependiendo en las condiciones que vaya a trabajar la máquina. En la selección del material puede escoger: algodón 100%, polialgodón, polyester y polipeinado. Para el peso de la cinta existe la opción de escoger desde 3gr hasta 6,5 gr en pasos de 0,5. Y respecto a la velocidad de producción desde 30 Kg/h hasta 70 Kg/h.



Figura 114 Ventana selección parámetros de trabajo

Fuente: Propia

4.6.4.4. VENTANA DE SEGURIDADES

La ventana de seguridades permite al operador observar cualquier problema que exista en la producción. Esta pantalla presenta un gráfico con un esquema del proceso interno de la máquina en la cual indica que parte del proceso está fallando. De igual forma que la pantalla principal, en la parte inferior de esta pantalla se despliega una barra de estados que indica el proceso que se esté realizando en la máquina y también cualquier mensaje de error al existir problemas con el sistema de cardado.



Figura 115 Ventana de seguridades

Fuente: Propia

4.6.4.5. VENTANA DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

La ventana del sistema de ventilación permite al operador observar el estado de los componentes que lo conforman, así como iniciar una prueba de ventilación para comprobar que el sistema funciona correctamente.

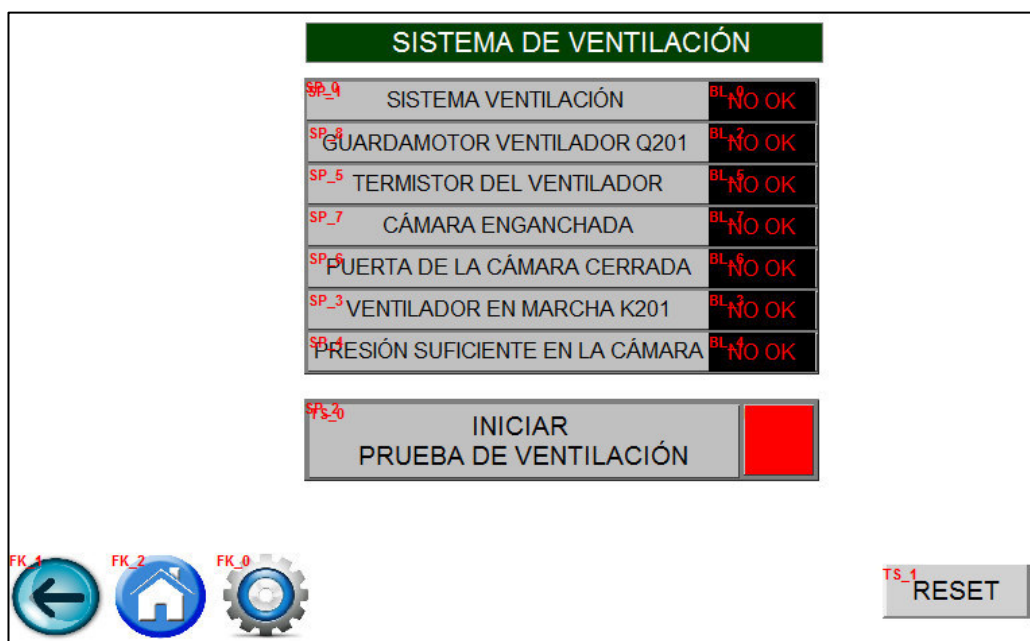


Figura 116 Ventana del sistema de ventilación

Fuente: Propia

4.6.4.6. VENTANA DEL SISTEMA DEL ALIMENTADOR

La ventana del sistema del alimentador permite observar la velocidad a la que se encuentra girando el cilindro a velocidad lenta y rápida, así como la visualización de los estados del sistema que lo conforman. Existe aquí la posibilidad de ingresar un ajuste de ganancia respecto al peso medido por el operador para lograr un funcionamiento óptimo de la máquina.



Figura 117 Ventana del sistema Alimentador/Tomador

Fuente: Propia

4.6.4.7. VENTANA DEL SISTEMA DEL TAMBOR

En esta ventana del sistema del tambor permite observar la velocidad real a la que se encuentra girando el cilindro Tambor en RPM mediante la señal del sensor encoder respecto al setpoint fijado para la referencia actual. Esta pantalla presenta la visualización de los estados del sistema que lo conforman.



Figura 118 Ventana del sistema Tambor

Fuente: Propia

4.6.4.8. VENTANA DEL SISTEMA DE SALIDA

En esta ventana del sistema de salida permite observar la velocidad real a la que se encuentra girando el cilindro Salida/Peinador en RPM mediante la señal del sensor encoder respecto al setpoint fijado para la referencia actual. Esta pantalla presenta la visualización de los estados del sistema que lo conforman y la lectura del sensor analógico de salida para ver qué tan gruesa o delgada se encuentra la cinta producida.



Figura 119 Ventana del sistema de Salida/Peinador

Fuente: Propia

4.6.4.9. VENTANA DEL SISTEMA DEL SILO

La ventana del sistema del silo permite al operador observar el estado de los componentes que lo conforman, así como iniciar una prueba de alimentación de materia prima a la máquina para comprobar que el sistema funciona correctamente.








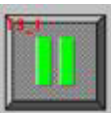

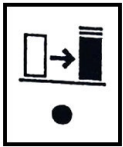

Figura 120 Ventana del sistema de Silo

Fuente: Propia



En todas las pantallas de monitoreo presentadas anteriormente, se utilizan ciertos gráficos y símbolos que permiten realizar diferentes funciones en el proceso de cardado como se explican a continuación:

Tabla 36

Descripción de botones en las pantallas del HMI

SÍMBOLOS	DESCRIPCIÓN
	Permite ir a la pantalla principal en cualquier pantalla.
	Permite navegar a la ventana anterior.
	Permite acceder a la ventana de configuraciones generales.
	Permite acceder a la ventana de programación del pedido.
	Arranque del proceso.
	Paro del proceso.
	Enter a los parámetros seteados.
	<p>Función cambio de botes</p> <p>Esta función permite cambiar un bote en cualquier momento del proceso y el contador de metros es retrocedido a la longitud programada</p>
	<p>Función desconectar cilindro alimentador</p> <p>Esta función permite que no se alimente material nuevo a la carda y la máquina funciona hasta que se rompa la cinta en la salida.</p>

Continúa...

	<p style="text-align: center;">Función vaciar silo y carda</p> <p>Esta función permite parar la alimentación de material al silo del Aerofeed y la Carda produce hasta que se rompa la cinta en la salida. Esta función es usada por lo general cuando el operador va a trabajar con un material distinto al anterior, por lo cual se debe vaciar por completo todo el material dentro de la máquina.</p>
	<p style="text-align: center;">Resetea los mensajes de fallas en la interfaz.</p>

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN

Para la modernización del sistema de control de la máquina, fue necesario sustituir ciertos elementos que presentaban fallas o algunos que se encontraban obsoletos tanto dentro del tablero principal como en la parte mecánica de la Carda. En este capítulo se detalla todo el trabajo realizado para la implementación del proyecto que permite el funcionamiento total de la máquina como se describe a continuación.

5.1. MONTAJE DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

5.1.1 Montaje de elementos en el Tablero Principal

Dentro del tablero principal se realizó el montaje de varios dispositivos de control necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina. Esto se puede observar en la Figura 121. Los dispositivos colocados en el tablero son:

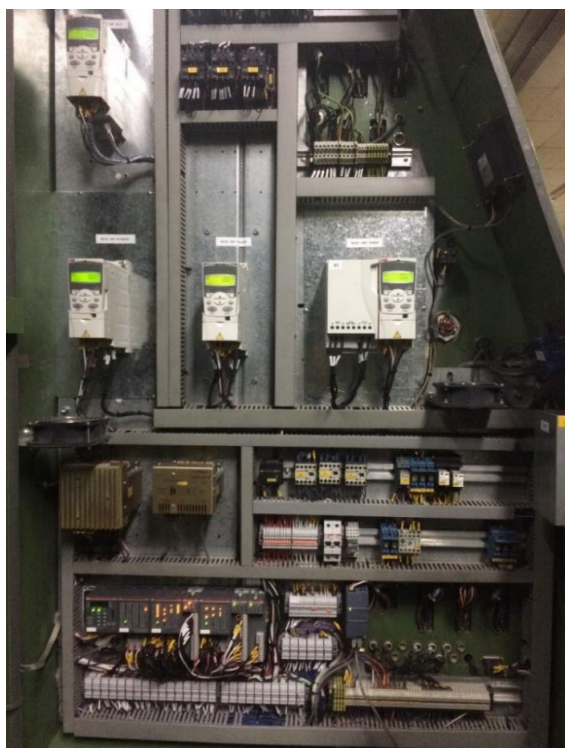


Figura 121 Distribución de dispositivos en el Tablero Principal

Fuente: Propia

- Variadores de frecuencia
- Controlador Lógico Programable
- Pantalla HMI
- Switch Industrial

Antes de realizar cualquier cambio en el tablero principal, se identificaron las señales de control correspondientes de los dispositivos que se van a reemplazar, los cuales fueron etiquetados y señalados como se muestra en la Figura 122.



Figura 122 Identificación de señales en el Tablero Principal

Fuente: Propia

5.2. Montaje del Variador de frecuencia

Para realizar el montaje de los Variadores de Frecuencia actuales, primero se desmontaron los antiguos equipos marca Rieter los cuales se encontraban en pésimo estado como se muestra en la Figura 123 donde se observa prácticamente las placas electrónicas internas de los Drivers ya que estos se encontraban sin su carcasa principal de protección. En la Figura 124 se observan los Drivers actuales fijados en el tablero principal reemplazando los equipos anteriores.

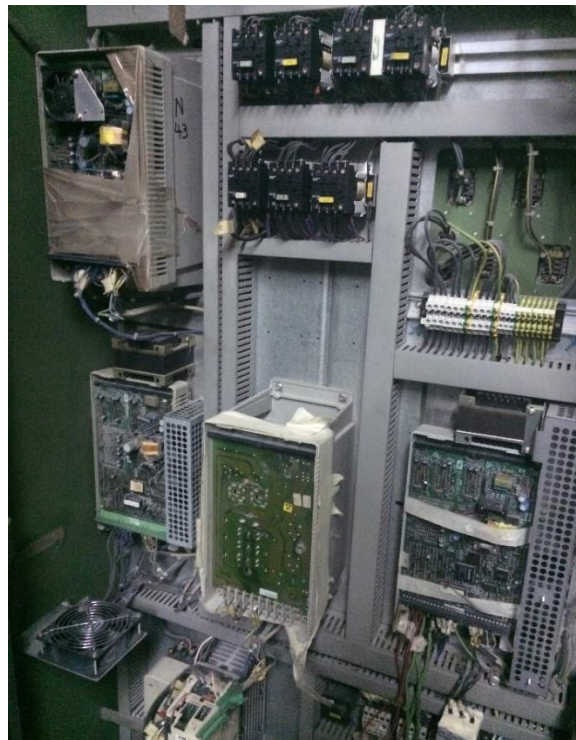


Figura 123 Variadores de frecuencia anteriores en el tablero principal
Fuente: Propia



Figura 124 Fijación de los Variadores de frecuencia actuales en el tablero principal
Fuente: Propia

Una vez fijado los Variadores de Frecuencia en la posición deseada dentro del tablero principal, se procedió a realizar el cableado correspondiente para las conexiones tanto de control como de fuerza tal como se muestra en la Figura 125.

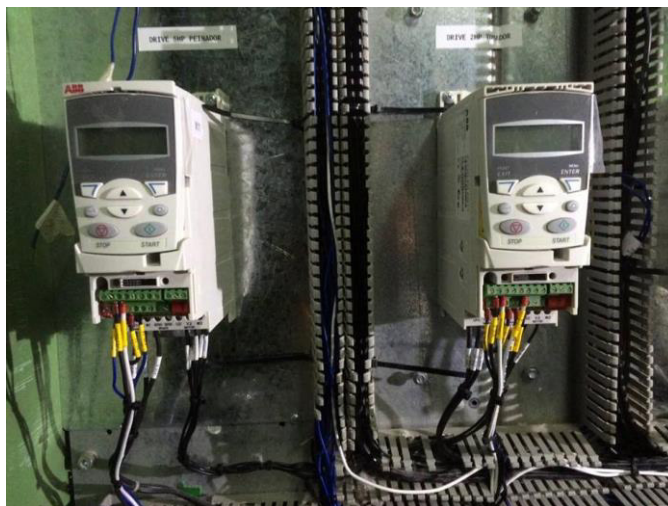


Figura 125 Cableado de control y fuerza en los Variadores de Frecuencia.

Fuente: Propia

Posteriormente se energizaron los equipos y se procedió a configurar los parámetros del Driver en base a los datos de placa de los motores como se describe desde la Tabla 24 a la Tabla 27. Después se procedió a realizar pruebas básicas de funcionamiento en modo LOCAL variando la velocidad de forma manual para verificar el correcto sentido de giro de los motores, esto se observa en la Figura 126.

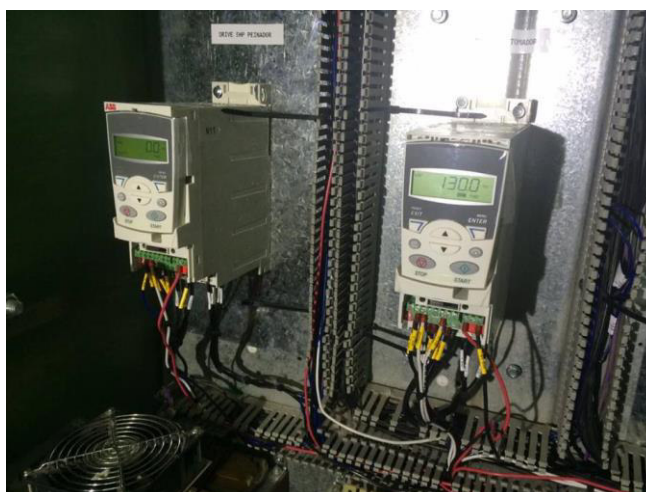


Figura 126 Energización de Drivers para pruebas manuales en modo
LOCAL

Fuente: Propia

5.3. Montaje del Controlador Lógico Programable

Para realizar el montaje del autómatas actual, de igual forma que con los Variadores de Frecuencia, primero fue necesario desmontar el antiguo controlador marca Rieter del tablero principal como se muestra en la Figura 127.



Figura 127 Controlador antiguo desmontado del tablero principal de control

Fuente: Propia

Posteriormente se identificaron las señales provenientes de los conectores de conexión antiguos que ingresaban al controlador como se muestra en la Figura 127 y se cablearon a su correspondiente en bornera como en la Figura 128.

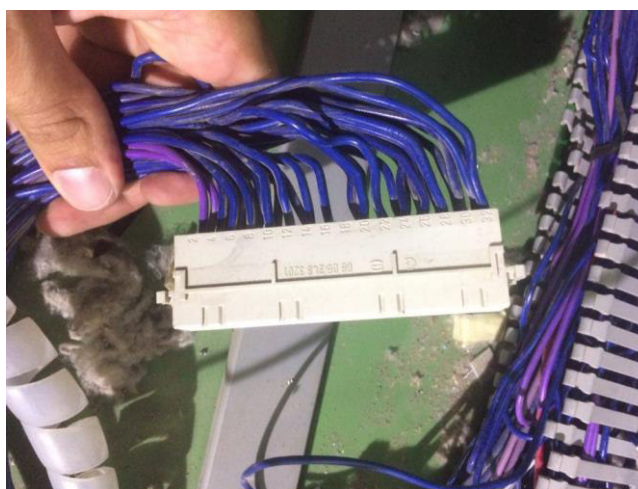


Figura 128 Antiguo conector con señales de entradas y salidas al controlador

Fuente: Propia

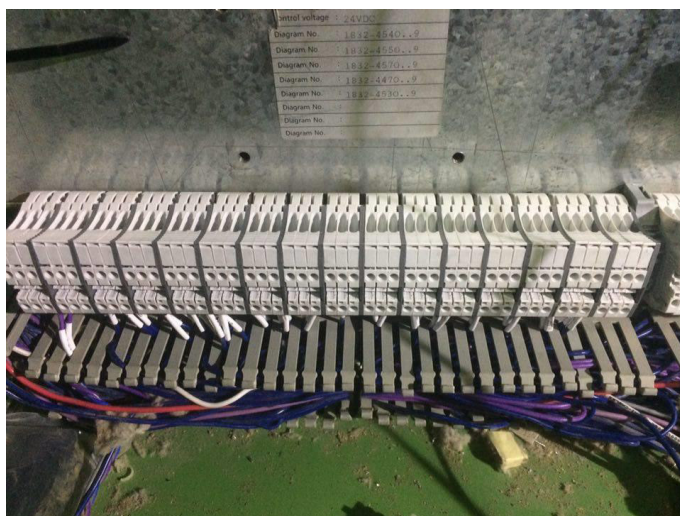


Figura 129 Conexión a bornera de señales de entradas y salidas al controlador

Fuente: Propia

En la Figura 130 se observa el Controlador lógico programable actual fijado en el tablero principal reemplazando el equipo anterior. El siguiente paso será realizar el cableado de todas las señales de entradas y salidas que se encuentran desde bornera al autómeta.

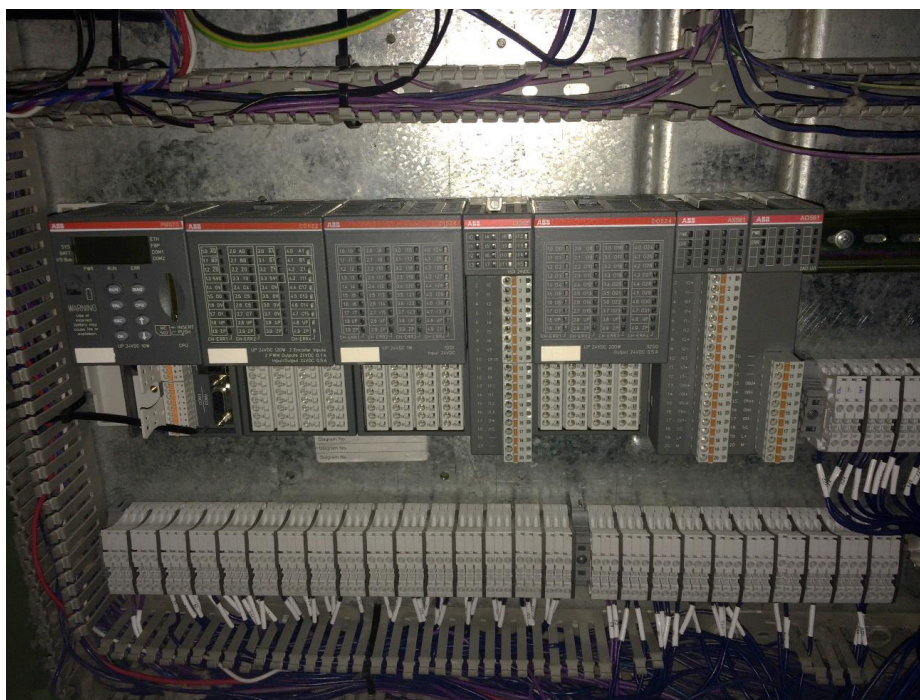


Figura 130 Controlador Lógico Programable actual fijado al tablero principal

Fuente: Propia

Por último se verificó que todas las conexiones se encuentren realizadas de forma correcta y que el voltaje de alimentación sea el adecuado midiendo con el multímetro para posteriormente energizar el controlador lógico programable.



Figura 131 Medición de voltaje de alimentación antes de energizar el autómata.

Fuente: Propia

Una vez realizado esto, se realizaron pruebas de funcionamiento para verificar que todas las señales lleguen al autómata como se muestra Figura 132.

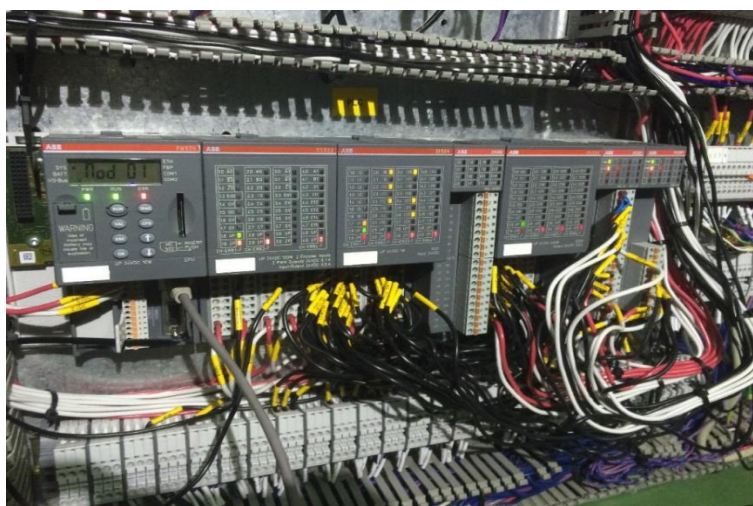


Figura 132 Controlador Lógico Programable cableado con todas las señales de control.

Fuente: Propia

5.4. Montaje de la pantalla HMI

La nueva pantalla HMI que se instalará en el tablero de control se ubicará en el antiguo espacio donde se encontraba el panel del operador anterior. Para ello, primero fue necesario desmontar el antiguo panel marca Rieter del tablero principal como se muestra en la Figura 133.

Las dimensiones del antiguo panel removido son mucho mayores comparadas a la pantalla HMI actual instalada como se muestra en la Figura 134 por lo que fue necesario fijar una plancha metálica en el fondo del tablero principal donde se montará la nueva interfaz.



Figura 133 Panel del operador antiguo desmontado del tablero principal.

Fuente: Propia



Figura 134 Espacio libre al retirar el antiguo panel en el tablero principal.

Fuente: Propia

El siguiente paso es fijar la pantalla HMI al tablero principal reemplazando el antiguo panel del operador. El diseño de la interfaz fue basado en el funcionamiento del panel antiguo para mayor facilidad por parte de los operadores al trabajar en la máquina como se observa en la Figura 135. Una vez hecho esto, se realizaron pruebas de funcionamiento completas de la interfaz.



Figura 135 Pantalla HMI actual fijada al tablero principal.

Fuente: Propia

5.5. Montaje del Sensor Reflectivo

Para la parte del silo fue necesario realizar la instalación de un sensor de nivel reflectivo ya que había ocasiones que el antiguo sensor instalado daba lecturas erróneas en la medición de la napa que ingresaba a la máquina.

Para ello se buscó en el mercado un sensor reflectivo que tenga características similares al anterior implementado en la máquina. Una vez encontrado el modelo necesario se realizaron pruebas de funcionamiento para comparar el modo de trabajo de ambos y con esto realizar el cambio del sensor en el sistema del silo como se observa en la Figura 137.



Figura 136 Sensor de nivel reflectivo antiguo en el silo

Fuente: Propia

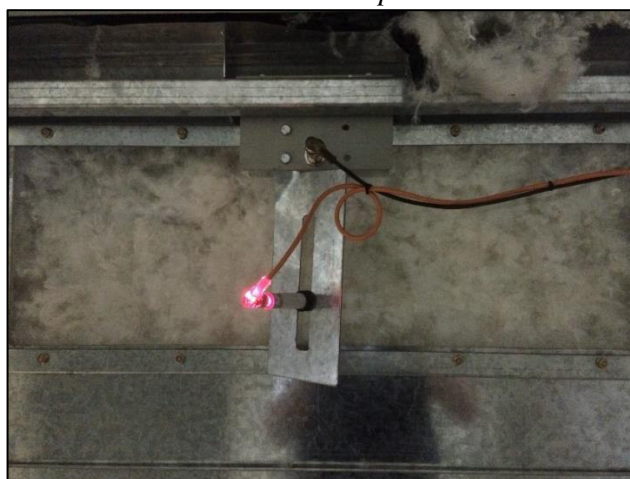


Figura 137 Pruebas de funcionamiento comparando ambos sensores de nivel reflectivos

Fuente: Propia

5.2. MONTAJE DE ELEMENTOS MECÁNICOS

5.2.1. Montaje de puerta en el Silo

Para la parte del silo, fue necesario realizar la instalación de una nueva puerta de donde ingresa la materia prima hacia la carda. Esto se debió a que era necesario disponer de una mejor visión del material que ingresaba a este proceso y posteriormente a la parte de la tolva de alimentación, en donde el material pasaba

de forma irregular y no compacta como se observa en la Figura 138, lo cual afectaba al control de la máquina y por ende a la calidad de la cinta final producida.

Con el fin de resolver dicho problema, se realizó una puerta de acero inoxidable con dos ventanas de vidrio bastante amplias para observar la forma en la que ingresa la napa desde el cilindro disgregador del silo hacia el cilindro de la tolva de alimentación. En la Figura 139 se muestra una comparación de la puerta antigua con la puerta actual instalada.

De esta manera se determinó que dicho problema contaba con 2 partes: una parte mecánica y una parte eléctrica. Para la primera, se pudo determinar que no existía una correcta relación en la parte mecánica del movimiento del cilindro en la tolva de alimentación por lo que era necesario realizar el cambio en la catarina como se explica posteriormente. Para la corrección en la parte eléctrica, fue necesario realizar modificaciones en el control de nivel del silo para que la napa que ingresaba a la tolva de alimentación sea lo más uniforme posible como se detalla en el Capítulo III.



Figura 138 Ingreso irregular de material en la tolva proveniente del Silo

Fuente: Propia



Figura 139 Izq. puerta anterior y Der. puerta actual instalada en el Silo

Fuente: Propia

5.2.2. Acabados y mantenimiento

Respecto a la parte mecánica del sistema de cardado se dio un arduo mantenimiento a través del removimiento de grasa con impurezas, limpieza de napa en la mayoría de partes de la estructura y correcciones de ciertas piezas que con el tiempo han sido desgastadas parcialmente. A continuación en la Figura 140 y 141 se muestran el mantenimiento realizado por parte de los mecánicos de la empresa.



Figura 140 Limpieza de napa en partes internas de la máquina.

Fuente: Propia



Figura 141 Ajuste y mantenimiento en partes internas de la máquina.

Fuente: Propia

5.3. PUESTA EN MARCHA Y ETIQUETADO

Para el encendido y funcionamiento del sistema de cardado en la línea de producción se ha tomado en cuenta los aspectos:

- *Calibración:* Para realizar la calibración y ajustes necesarios se utilizó la información recabada del funcionamiento expuesta por los operadores que trabajan a diario con la máquina en los siguientes literales:
 - a) Calibración del Sensor de entrada.- Para la correcta medición del material que ingresa en la entrada de la carda se debe calibrar la distancia a la que trabaja el sensor inductivo, mediante el ajuste de la arandela que soporta la pieza metálica a la máquina indicada en la Figura 142. El valor del sensor analógico se lo puede observar en el software de programación de la PC y debe calibrarse en el valor más cercano a 2000 ya que su rango de trabajo es de 2000 a 5000 siendo el primero 4mA y el segundo 20mA.



Figura 142 Calibración del sensor de entrada

Fuente: Propia

b) Calibración del Sensor de salida.- Para la correcta medición de la cinta que sale de la carda se debe calibrar la referencia de la galga o también llamada órgano de medición final, mediante el ajuste de la pieza indicada en la Figura 143. El valor del sensor analógico se lo puede observar en el software de programación de la PC y debe calibrarse en el valor más cercano a 0.



Figura 143 Calibración del sensor de salida

Fuente: Propia

c) Calibración de transmisión de movimiento de motor trifásico: La catarina colocada para la transmisión de potencia por cadena en el motor del Alimentador / Tomador de numeración # 21 fue necesario reemplazarla por otra de menor numeración, es decir, una # 20 como se muestra en la Figura 144. Esto debido a que la napa en la tolva de alimentación ingresaba de forma irregular a la carda lo cual ocasionaba perturbaciones significativas en el control de la máquina. De esta forma el acople de la cadena al cilindro Alimentador/Tomador permite que el movimiento no sea tan brusco lo cual mejora la alimentación del material a la carda.



Figura 144 Catarina # 20 reemplazada en la máquina

Fuente: Propia



Figura 145 Sistema de transmisión de potencia en el cilindro Alimentador / Tomador

Fuente: Propia

- *Funcionamiento del sistema eléctrico:* Para realizar la calibración y ajustes necesarios se utilizó la información recabada del funcionamiento expuesta por los operadores que trabajan a diario con la máquina en los siguientes literales:

a) Conexiones Eléctricas.- Se verificó que las conexiones realizadas en el tablero de control estén de acuerdo al plano para lo cual se comprobó continuidad y alimentación de voltaje con el multímetro de acuerdo al diseño presentado.

b) Funcionamiento del PLC.- Se comprobó que todas las entradas provenientes de las conexiones a bornera de sensores inductivos, encoders y pulsadores activen la correspondiente entrada a la que han sido asignadas. De igual forma para las salidas del autómatas, se verificó que se activen cada una de ellas como se muestra en la Figura 50.

c) Funcionamiento de la pantalla HMI.- Se comprobó que todas las teclas de activación en los diferentes procesos funcionen adecuadamente, de igual forma que no existan inconvenientes con la comunicación proveniente del switch industrial y por ende al autómatas.



Figura 146 Comprobación de funcionamiento de la pantalla HMI.

Fuente: Propia

d) Funcionamiento del Variador de Frecuencia.- Se comprobó que todas las conexiones al Driver estén realizadas de forma correcta, tanto entradas digitales como alimentación de voltaje y fuerza. Una vez energizado se procede a configurar los parámetros de funcionamiento como se describe en la Tabla 4 y se verifica el correcto sentido de giro de los motores. En la Figura 147 se comprueba el funcionamiento del Variador de Frecuencia del Peinador y del Tomador.



Figura 147 Comprobación de funcionamiento del Variador de Frecuencia
Fuente: Propia

Una vez verificado los resultados del sistema implementado se procedió a etiquetar todas las conexiones de acuerdo a los diagramas diseñados, para ello se utilizó una máquina etiquetadora, quedando el etiquetado interno y externo de la siguiente manera.

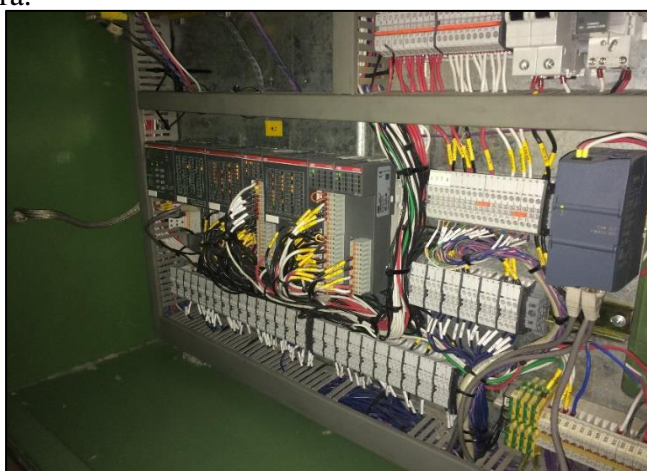


Figura 148 Etiquetado elementos internos
Fuente: Propia



Figura 149 Etiquetado completo tablero eléctrico principal de control.

Fuente: Propia

CAPÍTULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez completada la fase de implementación en la modernización del sistema de cardado de la máquina, es importante evaluar la confiabilidad y calidad de la cinta producida que posteriormente seguirá a la siguiente etapa de producción en el proceso de hilatura. Para ello fue necesario realizar pruebas continuas debido a que el sistema funcionará durante tres turnos de trabajo las 24 horas del día, 5 días a la semana respetando todas las sugerencias y condiciones de funcionamiento que se indican en el manual de usuario en el ANEXO 5.

Las pruebas realizadas incluyen un control de calidad mediante un dispositivo de regulación llamado Uster Tester 4-SE, el cual nos permite observar la irregularidad del material así como un análisis detallado de la forma en la que la mecha o velo es producido en la carda. Este parámetro es de gran importancia debido a que el producto final debe encontrarse dentro de unos límites aceptables previamente fijados por la empresa para que posteriormente ingrese a la siguiente etapa en el proceso de hilatura, que será el estiraje. Cabe recalcarse que la máquina carda tiene como objetivo fundamental paralelizar las fibras y entregar el material en forma de cinta con una densidad lineal bastante uniforme, como se explicó en el Capítulo II.

En este capítulo se detallan todas las pruebas realizadas tanto al sistema mecánico como eléctrico para el correcto funcionamiento en forma parcial y en conjunto con todos los dispositivos del sistema de cardado en dicha línea de producción. Las pruebas correspondientes al control de calidad se explican posteriormente, mostrando los espectrogramas que se realizaron en las facetas finales del desarrollo del proyecto. De esta forma se realizan los correspondientes ajustes y correcciones generales como se describe a continuación en la siguiente sección.

6.1. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA MECÁNICO

6.1.1. Catarina reemplazada en el sistema del Alimentador/Tomador

El mal funcionamiento de la catarina para la transmisión de potencia por cadena en el motor del Alimentador / Tomador provoca, en parte, un ingreso turbulento e irregular de materia prima o napa a la tolva de alimentación como se explicó anteriormente en el capítulo IV lo cual se puede observar a la izquierda de la Figura 139. La prueba consiste en reemplazar la catarina # 21 por una de menor numeración, #20, y verificar los cambios o mejoras del ingreso del material a la tolva de alimentación como se muestra en la derecha de la Figura 150.

Las pruebas se realizaron durante 8 días, con la carda en funcionamiento retirando todo el material para analizar de esta forma que tan compacta se acumula la napa antes de ingresar al cilindro del Tambor donde se realiza en sí el cardado. Esto se observa en la Figura 151.



Figura 150 Comparación ingreso de material a la tolva de alimentación (Izquierda: Catarina anterior. Derecha: Catarina actual)

Fuente: Propia



Figura 151 Pruebas retirando la materia prima en la tolva de alimentación

Fuente: Propia

Con el reemplazo de la catarina, el sistema de cardado trabajó durante ocho días sin presentar surcos u olas como los que se formaban anteriormente lo cual ocasionó una mejora en el funcionamiento general del sistema de cardado de la máquina. Sin embargo, era posible compactar mejor el material en la tolva de alimentación al realizar correcciones en el sistema del silo. Esto se logró corrigiendo la parte eléctrica del sistema, como se evidencia en las pruebas eléctricas realizadas en la sección a continuación en este capítulo.

6.2. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

Para cada uno de los dispositivos eléctricos y electrónicos implementados en este sistema, se realizaron pruebas de desempeño para verificar su correcto funcionamiento.

6.2.1. PRUEBAS Y RESULTADOS DE PULSADORES E INTERRUPTORES

Se realizaron pruebas manuales para comprobar el funcionamiento de cada uno de los diferentes pulsadores que conforman la máquina carda, así como los paros de emergencia e interruptores del panel eléctrico. De esta forma se busca evitar que señales erróneas en el sistema afecten al controlador lógico programable y activen procesos innecesariamente. Se utilizó el multímetro con opción de continuidad y voltaje como se muestra en la Figura 152. El sistema de cardado trabajó durante 10 días sin presentar ningún problema en la operación de estos elementos, cumpliendo así al 100% la operatividad del sistema.



Figura 152 Prueba de medición en pulsadores e interruptores del tablero eléctrico

Fuente: Propia

6.2.2. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PANEL DE CONTROL

Se realizaron pruebas de funcionamiento en todos los variadores de frecuencia, verificando parámetros correspondientes a las placas de cada uno de los motores, operación y arranque. Una vez hecho esto, se procedió a poner en funcionamiento en modo LOCAL al variador de frecuencia y se cambió la velocidad de forma manual para verificar el correcto sentido al que deben girar los motores como se observa en la Figura 153. Esta prueba fue de gran importancia ya que un incorrecto sentido de giro puede ocasionar daños irreparables en la máquina. Una vez hecho esto se realizaron

pruebas en el panel de control en modo REMOTO durante 10 días sin presentar ningún problema en su funcionamiento.



Figura 153 Prueba de funcionamiento en el panel de control

Fuente: Propia

6.2.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SENSORES INDUCTIVOS DEL ALIMENTADOR / TOMADOR

Para realizar un sistema de control óptimo en la carda es necesario conocer el rango de trabajo en el que actúan los sensores analógicos de entrada, por lo que se realizaron pruebas de funcionamiento fuera de la máquina. La prueba consiste en mantener fijo el sensor inductivo y acercar ligeramente una pieza metálica hasta detectar la señal de 4 – 20 mA en el software de programación como se observa en la Figura 154. En la Tabla 37 se observa un resumen de dichas pruebas.

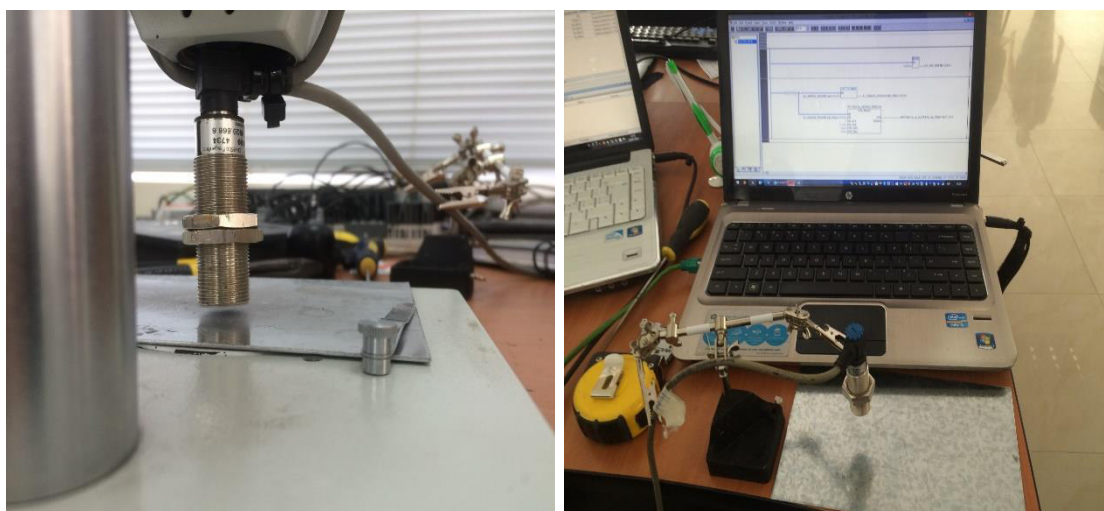


Figura 154 Pruebas de funcionamiento del sensor inductivo

Fuente: Propia

Ambos órganos de medición inicial son los encargados de detectar el ingreso de cualquier material externo que pueda dañar al funcionamiento interno de la Carda.

Tabla 37

Pruebas de funcionamiento órgano de medición inicial

Distancia (mm)	Amperaje (mA)	Valor Digital (PLC)
0	0	(-2948, -2958, -2968)
2	4	(0, 10, 30)
3	9	(9609, 9619, 9629)
4	14	(16981, 16991, 17001)
5	20	(26319, 26339, 26349)

Fuente: Propia

Los resultados de las pruebas realizadas a los sensores inductivos demuestran que funcionan en un rango de 2 a 5 mm, transmitiendo 4mA cuando está a 2mm de distancia a cualquier objeto metálico y 20mA cuando está a 5mm de distancia.

6.2.4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO SENSOR ENCODER

Las pruebas realizadas fueron para determinar la forma de trabajo del módulo encoder CD522 implementada en el PLC. Para dichas pruebas se utilizó un encoder

similar al que se encuentra implementado en el sistema debido a que el original se encuentra fijo en la máquina ya que presenta una rueda dentada propia de la máquina y no es posible desmontarla. La finalidad de esta prueba es determinar si el número de pulsos por vuelta del sensor encoder es igual al número de pulsos de la hoja técnica. En la Figura 155 se muestran las conexiones al autómatas y las pruebas con los encoder.



Figura 155 Pruebas de funcionamiento sensor encoder

Fuente: Propia

La Tabla 38 muestra el resultado de las pruebas, utilizando 2 sensores encoder que simulan al del sistema Tambor y al sistema de Salida / Peinador, con 20 pruebas de repetición a cada uno obteniendo una precisión de 99,9% en la lectura.

Tabla 38

Pruebas de funcionamiento sensor encoder

Encoder	# de pruebas	# de pulsos hoja técnica	# de pulsos por vuelta
1	0	400	400
2	4	400	399
PROMEDIO			399.5

Fuente: Propia

6.3. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Las pruebas realizadas en el sistema de comunicación permiten comprobar que la transferencia de datos entre el autómatas y la pantalla HMI sea confiable, así como la comunicación entre el controlador y el panel de control.

6.3.1. PRUEBAS Y RESULTADOS EN LA COMUNICACIÓN MODBUS

Fue necesario utilizar un switch industrial para la visualización en línea del proceso en funcionamiento con el software de programación de la PC, así como la lectura del estado de las variables en la pantalla HMI y con el programa del autómatas. Para ello se necesitaba disponer de los puertos de conexión suficientes en la comunicación de estos tres dispositivos, como se muestra en la izquierda de la Figura 156. En la red de comunicación MODBUS el controlador lógico programable recibe parámetros desde el HMI para cualquier función que se desea realizar mediante su conexión ethernet con el switch industrial implementado como se muestra a la derecha de la Figura 156. Al finalizar las pruebas de comunicación se obtuvo un desempeño del 100% en la transferencia de datos.



Figura 156 Switch Siemens CSM 1277 y PLC con su comunicación Ethernet

Fuente: Propia

6.3.2. PRUEBAS Y RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA PANTALLA HMI

Uno de los retos del sistema era lograr la comunicación de datos entre el autómata de marca ABB con la pantalla HMI de marca WEG. Para ello fue necesario habilitar ciertos comandos y utilizar la nomenclatura correcta como se explica a detalle en el Capítulo IV. Se realizaron pruebas de voltaje para comprobar la alimentación de 24 VDC a la interfaz, así como pruebas de envío y recepción de datos al programa del controlador lógico programable como se observa en la Figura 157.

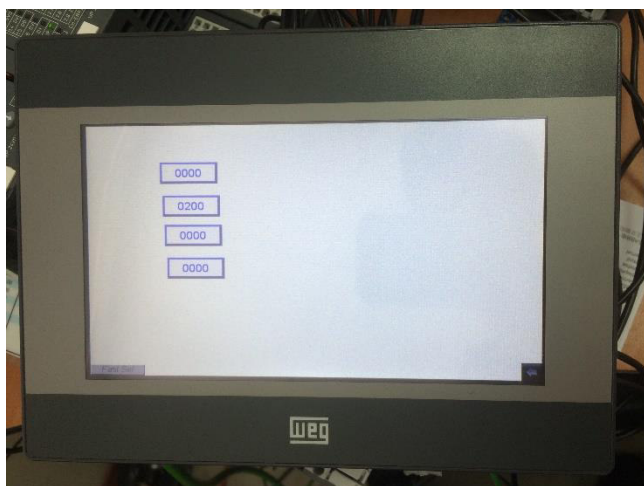


Figura 157 Lectura de variables en la comunicación de la pantalla HMI con el programa del PLC
Fuente: Propia

6.4. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL CONTROL DE NIVEL DEL SILO

Una vez corregido el problema en el sistema mecánico de la máquina, se realizaron ajustes en el lazo de control correspondiente a la parte eléctrica del sistema como se presenta en el Capítulo III sección 3.1.1. Fue importante no solo verificar el material en el compartimiento del silo y en la tolva de alimentación, sino también la cinta como producto final en la salida de la máquina para realizar pruebas de peso y poder constatar dichas mejoras en el sistema de control.

La prueba se la realizó con los diferentes materiales que trabajan, es decir, poliéster, polypeinado y polyalgodón. También se realizaron pruebas a las diferentes velocidades que trabaja la máquina según desea producir el operador.



Figura 158 Comparación ingreso de material a la tolva de alimentación (Izquierda: Solo corrección mecánica. Derecha: Corrección mecánica y eléctrica)

Fuente: Propia

En la Figura 158 se observa el resultado en la máquina de dicho ajuste en la alimentación del material. A la izquierda se presenta el ingreso de la napa solo con la corrección mecánica explicada anteriormente en la sección 1.1.1 y a la derecha se presenta el ingreso del material en la tolva de alimentación tanto con la corrección mecánica como la eléctrica.

Para lograr la uniformidad de material como se observa a la derecha de la Figura 158 fue necesario pasar por varias pruebas previas de funcionamiento.

Se puede observar claramente que fue posible mejorar el ingreso del material al compactar mejor la napa desde el silo lo cual permite producir una cinta mucho más uniforme tanto en su textura como en su peso al final del cardado. En la Figura 159 se

muestra el compartimiento del Silo lleno de materia prima posterior al ingreso a la tolva de alimentación.



Figura 159 Material lleno en el compartimiento del Silo

Fuente: Propia

6.5. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL CONTROL DE VELOCIDAD

Antes de hallar el punto adecuado de un funcionamiento óptimo en el control de velocidad, se pasó por ciertas etapas en las cuales fue necesario modificar los parámetros seteados en el sistema. Una complicación presentada fue al existir un excesivo ingreso de material desde la tolva de alimentación hacia el cilindro alimentador ocasionando que la napa compactada se desborde totalmente activando el paro por seguridad de la máquina. Esto se observa en la Figura 160.



Figura 160 Excesivo ingreso de material al cilindro alimentador

Fuente: Propia



Figura 161 Inicio de ingreso del material en la tolva de alimentación

Fuente: Propia

Los resultados del control de velocidad del sistema se presentan como parte del resultado completo del sistema de cardado, ya que el peso y la regularidad de la cinta producida dependerán de este sistema de control. Esto se presenta a detalle a continuación en la sección 6.6.

6.6. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA COMPLETO DE CARDADO

Dentro de cualquier proceso productivo resulta conveniente conocer en todo momento hasta qué punto el producto final cumple con las especificaciones preestablecidas. La idea consiste en extraer varias muestras del proceso productivo y generar gráficos para estudiar la variabilidad del mismo y comprobar si el producto obtenido cumple o no con las especificaciones establecidas anteriormente. Para ello se realizaron 2 tipos de pruebas: pruebas de peso de los botes producidos utilizando diagrama de control y pruebas de calidad en la regularidad de la cinta mediante el análisis en un espectrograma. En las secciones siguientes se presentan los resultados de ambas pruebas del sistema completo de la máquina.

6.6.1. PRUEBAS DE PESO EN LA CINTA FINAL PRODUCIDA

Para verificar el peso correcto de la cinta final producida por la máquina se realizaron varias mediciones repetitivas a diferentes velocidades de producción, con los distintos pesos y los diferentes tipos de materia prima, correspondientes de cada bote lleno de cinta de cardado.

Los operadores de planta en la empresa recomiendan máximo 10 mediciones por cada bote producido ya que es suficiente para saber la variación en el control de la máquina por lo que no es necesario utilizar más material que el indicado. Para la medición del peso, en la empresa utilizan la unidad de medida [KTex], que simboliza el peso en gramos en 1 metro de cinta. El rango normal permitido de variación en las pruebas de peso respecto al setpoint configurado es ± 2 unidades.

En la sección posterior, se realizó un análisis estadístico mediante diagramas de control en los cuales se establece estadísticamente un límite de control superior e inferior a ambos lados de la media o línea central, y a partir de ello se elabora el diagrama o carta de control el cual posteriormente se procede a interpretarlo.

6.6.2.1. PRUEBAS A DIFERENTES PESOS DE PRODUCCIÓN DE LA CINTA

A continuación se registran los pesos en gramos para diez pruebas realizadas, divididas en subgrupos de 10 mediciones, cada medición realizada en 10 metros de cinta de carda producida por la máquina con el sistema de control modernizado.

Peso en gramos por cada 10 metros de cinta de carda para 60 gr (6 KTex)

Subgrupo 1	Subgrupo 2	Subgrupo 3	Subgrupo 4
62,20	60,44	58,97	60,76
61,80	61,24	60,44	58,13
60,32	61,60	60,21	58,87
59,21	58,63	60,97	60,87
60,67	59,92	59,33	61,59
59,33	59,55	59,80	58,71
60,42	61,90	61,22	59,25
60,97	60,21	60,78	60,68
58,65	61,78	59,20	59,10
59,70	61,33	60,15	60,50

Subgrupo 5	Subgrupo 6	Subgrupo 7	Subgrupo 8
59,72	60,22	60,15	58,58
61,56	62,51	58,54	59,40
58,93	61,67	60,78	58,63
60,76	58,68	58,69	61,94
61,19	59,73	59,47	61,09
61,77	59,83	60,63	58,67
61,49	59,46	62,32	59,36
60,03	62,64	61,43	59,82
59,44	62,26	60,20	61,15
58,50	61,35	59,74	60,05

Subgrupo 9

62,20
60,32
61,80
59,21
60,67
59,33
60,42
60,97
58,65
59,70

Subgrupo 10

61,30
60,22
58,76
59,43
61,37
60,40
60,55
58,66
61,52
61,10

Primero se calculan los pesos promedios mediante la media aritmética \bar{X} y los rangos R de cada prueba realizada.

Subgrupo 1

62,20
61,80
60,32
59,21
60,67
59,33
60,42
60,97
58,65
59,70

$$\bar{X} = 60,32$$

$$R = 62,20 - 58,65 = 3,55$$

Subgrupo 2

60,44
61,24
61,60
58,63
59,92
59,55
61,90
60,21
61,78
61,33

$$\bar{X} = 60,66$$

$$R = 61,90 - 58,63 = 3,27$$

Subgrupo 3

58,07
60,44
60,21
60,97
59,33
59,80
61,52
60,78
59,20
60,15

$$\bar{X} = 60,04$$

$$R = 61,52 - 58,07 = 3,45$$

Subgrupo 4

60,76
58,13
58,87
60,87
61,59
58,71
59,25
60,68
59,10
60,50

$$\bar{X} = 59,84$$

$$R = 61,59 - 58,13 = 3,46$$

Subgrupo 5

59,72
61,56
58,93
60,76
61,19
62,37
61,49
60,03
59,44
58,20

$$\bar{X} = 60,36$$

$$R = 62,37 - 58,20 = 4,17$$

Subgrupo 6

60,22
62,51
61,67
58,68
59,73
59,83
59,46
62,64
62,26
61,35

$$\bar{X} = 60,83$$

$$R = 62,51 - 58,68 = 3,83$$

Subgrupo 7

60,15
58,54
60,78
58,69
59,47
60,63
62,32
61,43
60,20
59,74

$$\bar{X} = 60,19$$

$$R = 62,32 - 58,54 = 3,78$$

Subgrupo 8

58,58
59,40
58,63
61,94
61,09
58,67
59,36
59,82
61,15
60,05

$$\bar{X} = 59,86$$

$$R = 61,94 - 58,58 = 3,36$$

Subgrupo 9

61,89
60,32
61,80
58,21
60,67
58,33
60,42
61,97
58,65
59,70

$$\bar{X} = 60,19$$

$$R = 61,97 - 58,21 = 3,76$$

Subgrupo 10

61,30
60,22
58,26
59,43
61,37
60,40
60,55
58,66
61,72
61,10

$$\bar{X} = 60,30$$

$$R = 61,72 - 58,26 = 3,46$$

El siguiente paso es obtener el promedio de los promedios de los subgrupos o pruebas realizadas ($\bar{\bar{x}}$) y el promedio de los rangos de los subgrupos (\bar{R}) como se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39**Promedio de los subgrupos y rangos de las pruebas realizadas**

Prueba	\bar{x}	R
1	60,32	3,55
2	60,66	3,27
3	60,04	3,45
4	59,84	3,46
5	60,36	4,17
6	60,83	3,83
7	60,19	3,78
8	59,86	3,36
9	60,19	3,76
10	60,30	3,46
PROMEDIO	$\bar{\bar{x}} = 60,25$	$\bar{R} = 3,61$

Fuente: Propia

Se calcula la desviación estándar para datos individuales mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma' = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\sigma' = \frac{3,61}{3,078} = \mathbf{1,17}$$

Se calcula la desviación estándar para los promedios mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma'}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{1,17}{\sqrt{10}} = \mathbf{0,370}$$

Con estos valores, se puede establecer los límites de control superior e inferior para el diagrama de control por variables de la siguiente forma:

$$\text{Línea Central} = \bar{x}$$

$$\text{Línea Central} = \mathbf{60,25}$$

$$L.C.S = \bar{x} + 3 \sigma_{\bar{x}}$$

$$L.C.S.A = \mathbf{60,25 + 3(0,370) = 61,36}$$

$$L.C.I = \bar{x} - 3 \sigma_{\bar{x}}$$

$$L.C.S.A = \mathbf{60,25 - 3(0,370) = 59,14}$$

La desviación estándar del rango \bar{R} se puede calcular utilizando el coeficiente d_3 , cuyo valor se encuentra mediante la tabla mostrada en la Figura 162, el cual también depende del número de mediciones en el subgrupo:

VALORES INTERNACIONALES PARA CADA SUBGRUPO

Tamaño de subgrupo (n)	d_2	A_2	D_3	D_4
2	1,128	1,880	0	3,268
3	1,693	1,023	0	2,574
4	2,059	0,729	0	2,282
5	2,326	0,577	0	2,114
6	2,534	0,483	0	2,004
7	2,704	0,419	0,076	1,924
8	2,847	0,373	0,136	1,864
9	2,970	0,338	0,184	1,816
10	3,078	0,308	0,223	1,777
11	3,173	0,285	0,256	1,744
12	3,258	0,266	0,284	1,717
13	3,336	0,249	0,308	1,692
14	3,407	0,235	0,329	1,671
15	3,472	0,229	0,348	1,652

Figura 162 Diagrama de Control por variables.

Fuente: (Lockuán, 2012)

$$\sigma_{\bar{R}} = \frac{d_3 \times \bar{R}}{d_2}$$

$$\sigma_{\bar{R}} = \frac{0,223 \times 3,61}{3,078}$$

$$\sigma_{\bar{R}} = 0,26$$

Y así se puede calcular los límites de control para el diagrama de rangos:

$$\text{Línea Central} = \bar{R}$$

$$\text{Línea Central} = \mathbf{3,61}$$

$$L.C.S.R = \bar{R} + 3 \sigma_{\bar{R}}$$

$$L.C.S.R = \mathbf{3,61} + 3 \times (\mathbf{0,26}) = \mathbf{4,39}$$

$$L.C.I.R = \bar{R} - 3 \sigma_{\bar{R}}$$

$$L.C.I.R = \mathbf{3,61} - 3 \times (\mathbf{0,26}) = \mathbf{2,83}$$

Finalmente se elaboran los diagramas de control respectivos con los valores calculados anteriormente. En la Figura 163 se presenta el diagrama de control por variables \bar{x} donde se representa los promedios de los subgrupos en las diez pruebas realizadas.

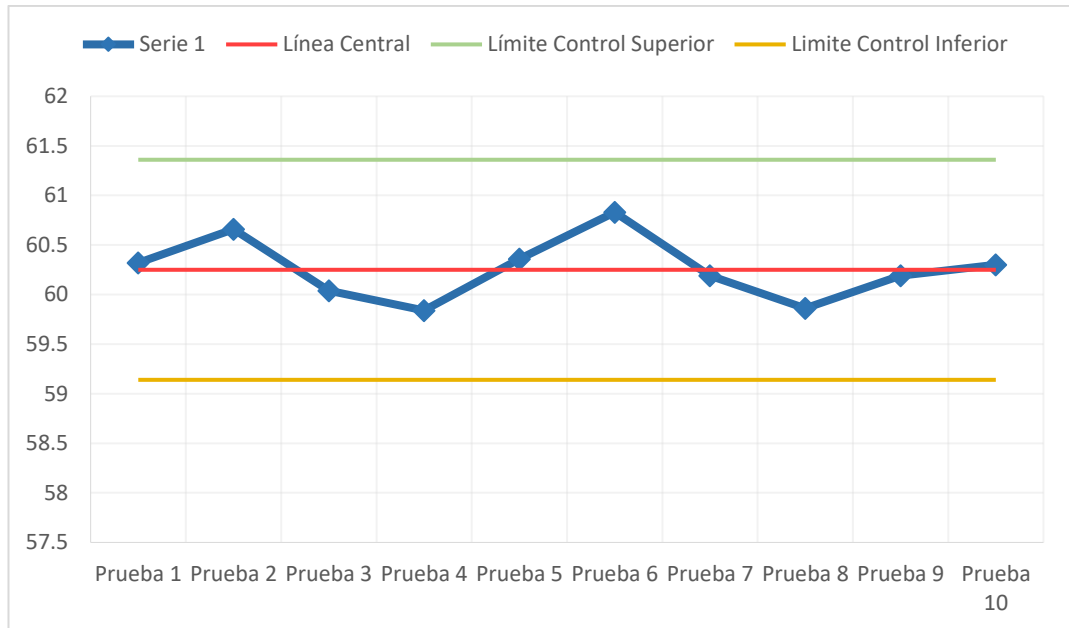


Figura 163 Diagrama de Control por variables.

Fuente: Propia

En la Figura 164 se construye el diagrama de control mediante rangos \bar{R} donde se representa los rangos de los subgrupos en las diez pruebas realizadas:

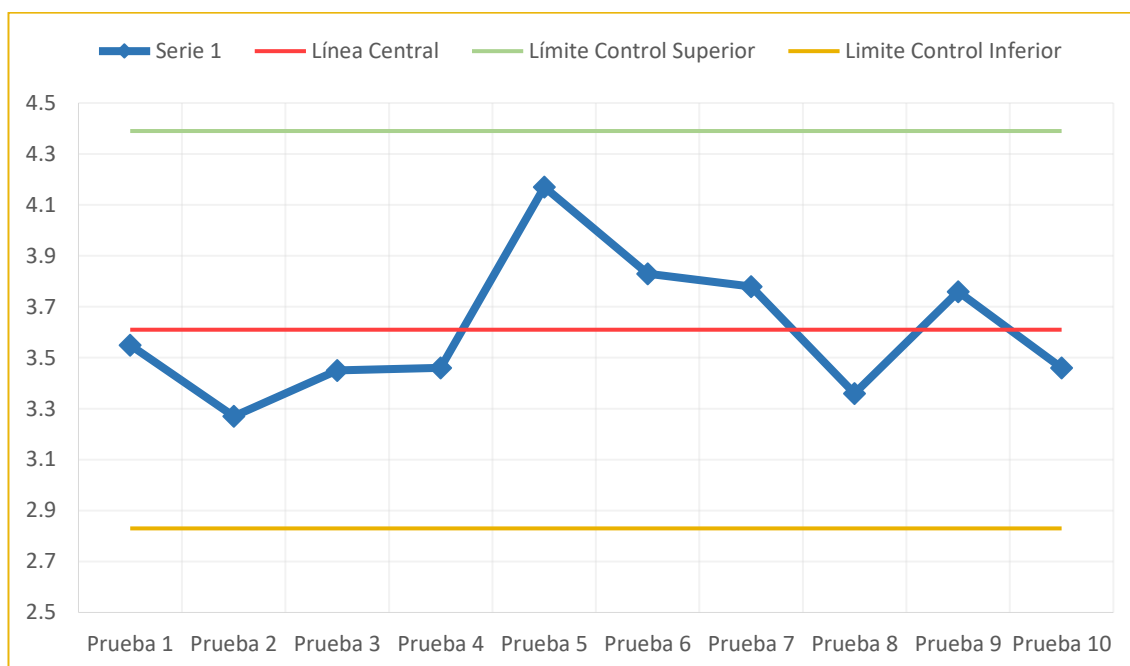


Figura 164 Diagrama de Control mediante rangos.

Fuente: Propia

6.6.2.2. INTERPRETACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE CONTROL

Los diagramas de control presentados en las Figuras 163 y 164 son la representación de la distribución de un conjunto de datos. A continuación se detallan las características que deberían presentar el diagrama por variables y el diagrama mediante rangos en un proceso normal:

- La mayoría de los puntos están cerca de la línea central.
- Unos pocos puntos se alejan de la línea central acercándose a los límites de control superior e inferior.
- Nunca u ocasionalmente un punto excede los límites de control.

Fuente: (Lockuán, 2012)

No existen reglas fijas para interpretar los diagramas para los diferentes procesos de fabricación existentes, sin embargo ciertos autores presentan ciertas guías para la interpretación correcta de un diagrama:

- Si todos los puntos de la característica de la calidad caen dentro de los límites de control, el proceso es normal. El diagrama presenta una serie de puntos dispuestos al azar sin que estos se salgan fuera de los límites de control.
- Si la característica de calidad cae fuera de control (más de dos puntos fuera de los límites) se admite que puede existir un desajuste en el proceso debido a la presencia de causas sistemáticas que están perturbando el proceso.

(Lockuán, 2012)

En el diagrama de control por variables de la Figura 163 se observa una gran tendencia con relación al valor central o línea central previamente calculada, lo cual indica que la cinta producida al final de la máquina contará con el peso deseado dentro del rango permitido en la variación máxima de ± 2 unidades. Ningún valor se aproxima o sobrepasa los límites superiores e inferiores de control por lo que se concluye que el funcionamiento de la máquina se encuentra en óptimo estado y es el adecuado para la aplicación correspondiente.

La tendencia presentada en la Figura 164 para el diagrama de rangos está constituida por una serie de puntos que se encuentran todos por encima o por debajo del valor central o promedio, sin embargo existe una mayor tendencia ascendente en cuanto a la distribución de los valores. Generalmente una tendencia ascendente o descendente puede introducir una variabilidad brusca del proceso, y esto es característico cuando se produce desajustes y desgastes en la parte mecánica de las máquinas de hilatura.

Es aconsejable elaborar el diagrama de rangos paralelamente al diagrama de promedios, para poder interpretarlos y estudiarlos conjuntamente. De esta forma, en caso de encontrar causas asignables, primeramente tratar de colocar el diagrama de rangos bajo control y seguidamente el diagrama de promedios.

6.6.2. PRUEBAS DE CALIDAD EN LA CINTA FINAL PRODUCIDA

Para realizar estas pruebas de calidad se utilizó como materia prima el polialgodón y con la ayuda de un equipo electrónico de análisis de fibra en el laboratorio de la empresa se analizó la uniformidad de la cinta producida. El control de calidad sirve como una realimentación necesaria para detectar inmediatamente cualquier variación negativa y de esta forma localizar y reparar dicha unidad o línea defectuosa en la producción. Para cumplir dicho propósito es fundamental disponer del equipo necesario capaz de analizar, ya sea diariamente durante cada turno, muestras al azar del producto final de la máquina. En la sección siguiente se presentan las pruebas de calidad realizadas y posteriormente un análisis y explicación de los espectrogramas realizados en la cinta o manto final producido en orden de fecha realizado.

INFORME 1:

Fecha de la prueba: 9 de Junio del 2016

Material: Polialgodón

Velocidad: 60 kg/h

Peso: 6 KTex

- **Set Point Sensor de Salida:** 10800

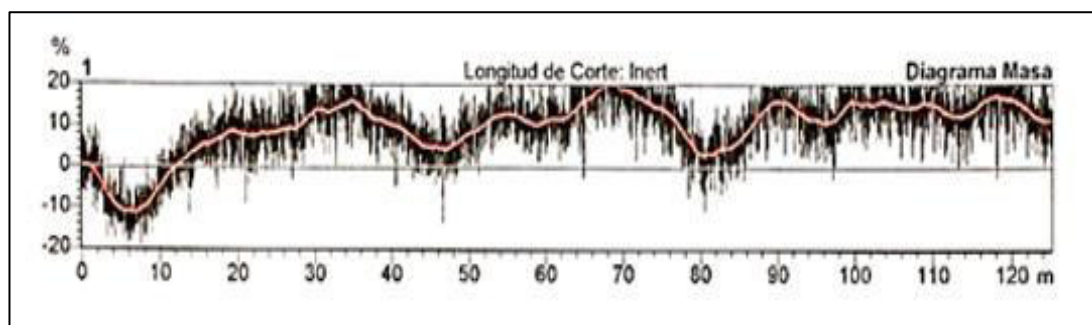


Figura 165 Diagrama de masa informe 12

Fuente: Propia

El diagrama que se presenta en la Figura 165 es uno de los reportes más importantes ya que muestra las variaciones de masa instantáneas del material que se está analizando y que se refleja en los valores estadísticos tales como ($U\%$, CVm y otros) como se muestra en la Tabla 40. Uno de los valores más importante a tomar en

cuenta para analizar la uniformidad de la cinta producida es el **CVm** (Coeficiente de variación de masa). Para esta prueba de calidad se tomó uno de los primeros botes de carda producidos y se analizó en el laboratorio para un espectrograma. Esta prueba tiene como objetivo principal analizar y clasificar por su longitud de onda los defectos de masa periódicos, resaltando ésta mediante una *torre o chimenea* cuya altura está definida por la amplitud de la variación de masa, como se muestra en la Figura 166.

Tabla 40

Análisis de datos prueba espectrograma realizado informe 12

No	U%	CVm %	CVm	CVm	Título
			1m %	3m %	
1	5.60	7.27	6.26	6.25	0.00

Fuente: Propia

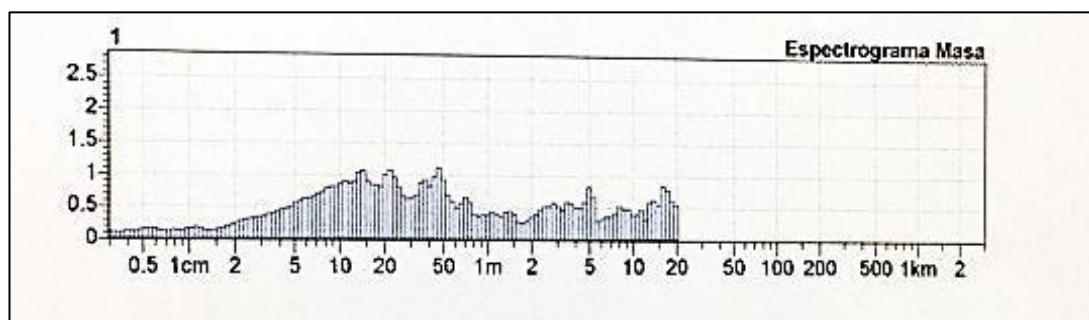


Figura 166 Espectrograma informe 12

Fuente: Propia

INFORME 2:

Fecha de la prueba: 13 de Junio del 2016

Material: Polialgodón

Velocidad: 60 kg/h

Peso: 6 KTex

- **Set Point Sensor de Salida:** 10500

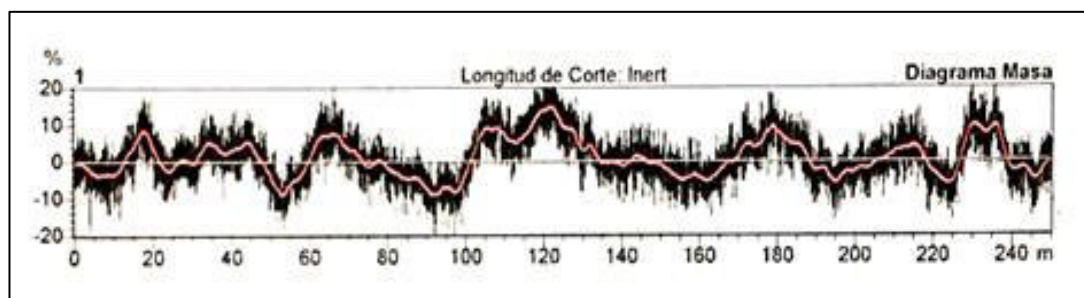


Figura 167 Diagrama de masa informe 13

Fuente: Propia

Tabla 41

Análisis de datos prueba espectrograma realizado informe 13

No	U%	CVm %	CVm	CVm	CVm	Título
			1m %	3m %	10m %	
1	5.03	6.23	5.20	5.05	4.41	0.00

Fuente: Propia

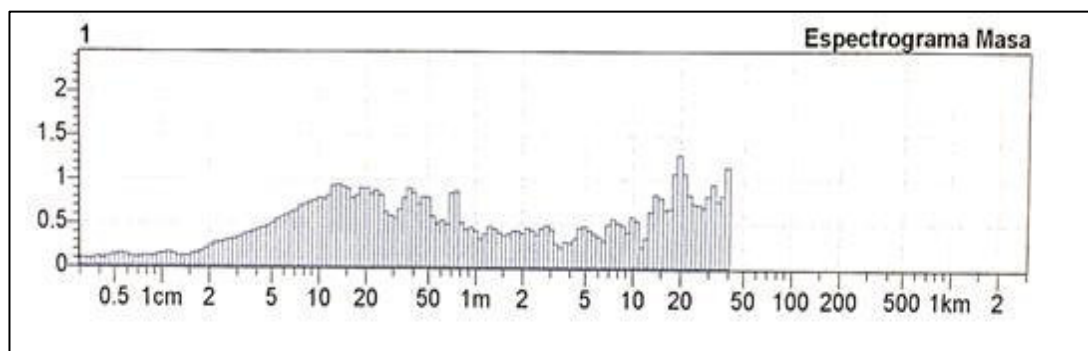


Figura 168 Espectrograma informe 13

Fuente: Propia

INFORME 3:

Fecha de la prueba: 16 de Junio del 2016

Material: Polialgodón

Velocidad: 60 kg/h

Peso: 6 KTex

- **Set Point Sensor de Salida:** 9300

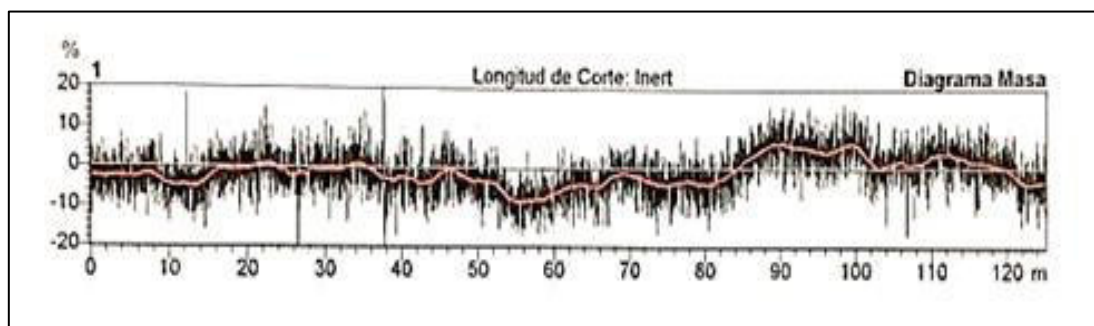


Figura 169 Diagrama de masa informe 14

Fuente: Propia

Tabla 42

Análisis de datos prueba espectrograma realizado informe 14

No	U%	CVm %	CVm	CVm	Título
			1m %	3m %	
1	4.23	5.31	3.71	3.58	0.00

Fuente: Propia

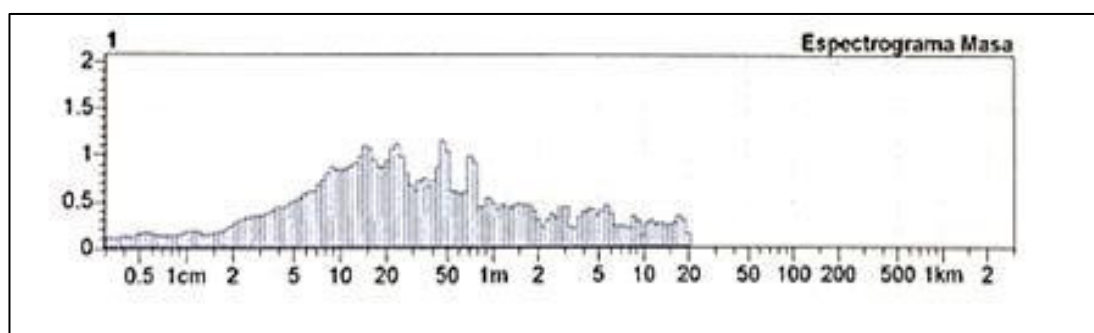


Figura 170 Espectrograma informe 14

Fuente: Propia

INFORME 4:

Fecha de la prueba: 20 de Junio del 2016

Material: Polialgodón

Velocidad: 60 kg/h

Peso: 6 KTex

- **Set Point Sensor de Salida:** 9500

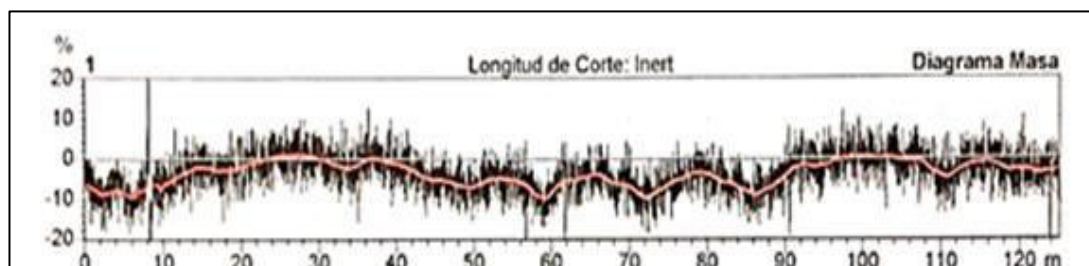


Figura 171 Diagrama de masa informe 15

Fuente: Propia

Tabla 43

Análisis de datos prueba espectrograma realizado informe 15

No	U%	CVm %	CVm	CVm	Título
			1m %	3m %	
1	3.87	4.88	3.27	3.12	0.00

Fuente: Propia

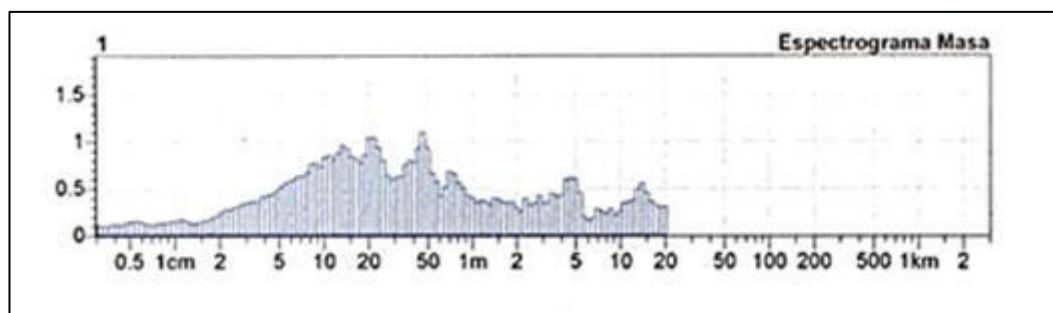


Figura 172 Espectrograma informe 15

Fuente: Propia

INFORME 5:

Fecha de la prueba: 22 de Junio del 2016

Material: Polialgodón

Velocidad: 60 kg/h

Peso: 6 KTex

- **Set Point Sensor de Salida:** 9600

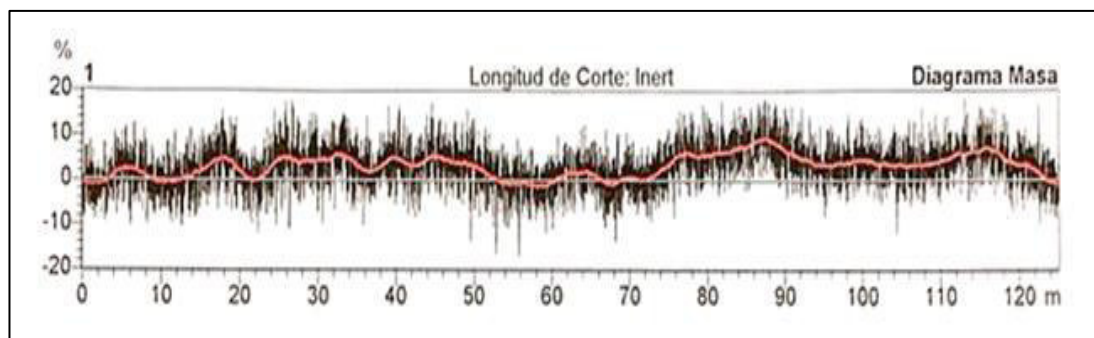


Figura 173 Diagrama de masa informe 16

Fuente: Propia

Tabla 44

Análisis de datos prueba espectrograma realizado informe 16

No	U%	CVm %	CVm	CVm	Título
			1m %	3m %	
1	3.62	4.54	2.57	2.41	0.00

Fuente: Propia

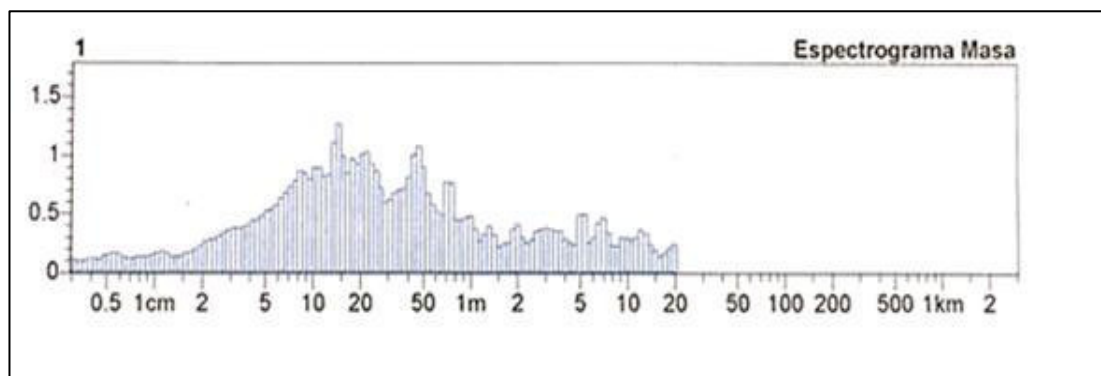


Figura 174 Espectrograma informe 16

Fuente: Propia

INFORME 6:

Fecha de la prueba: 24 de Junio del 2016

Material: Polialgodón

Velocidad: 60 kg/h

Peso: 6 KTex

- Set Point Sensor de Salida: 9650

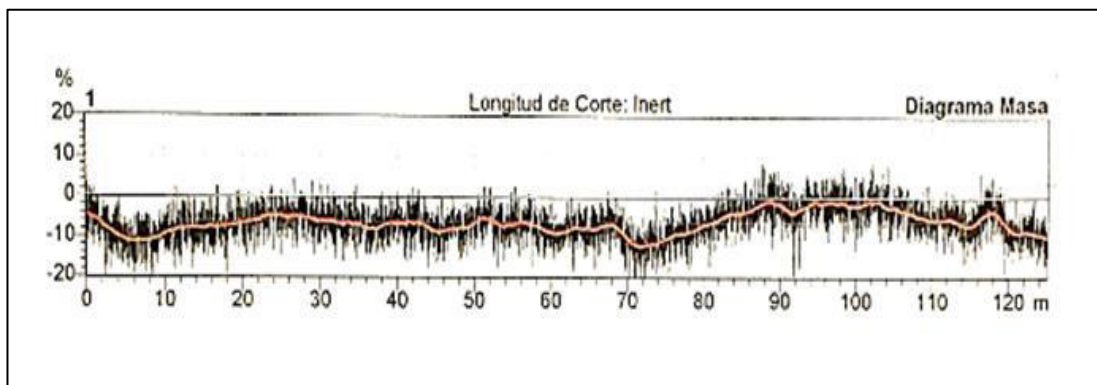


Figura 175 Diagrama de masa informe 17

Fuente: Propia

Tabla 45

Análisis de datos prueba espectrograma realizado informe 17

No	U%	CVm %	CVm	CVm	Título
			1m %	3m %	
1	3.61	4.54	3.07	2.91	0.00

Fuente: Propia

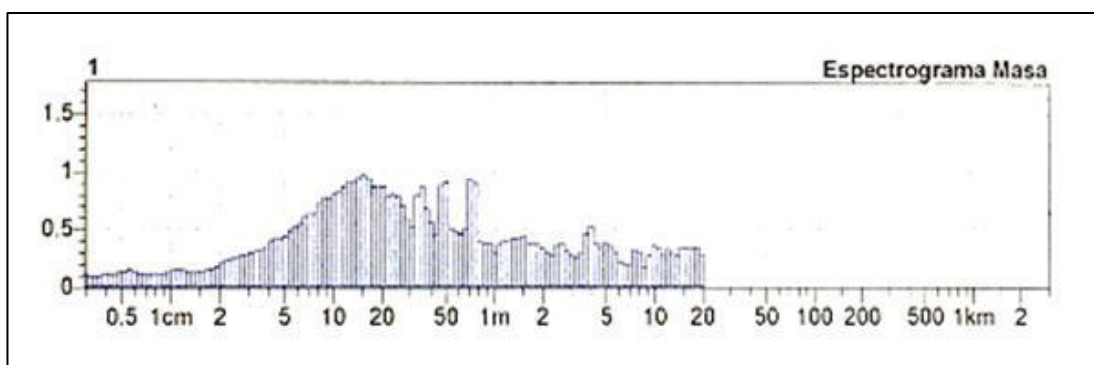


Figura 176 Espectrograma informe 17

Fuente: Propia

Análisis de las pruebas realizadas: El análisis de calidad de las diferentes pruebas con respecto a la uniformidad de la fibra se observa que la diferencia más notoria es en la mejora conseguida respecto al coeficiente de variación de masa (CVm), la cual existe una variación del 2% al 3% entre los informes 1, 2, 3, 4, 5 y 6. A medida que se realizaba correcciones en el software de control y se ajustaba el setpoint de trabajo, el porcentaje de CVm disminuía considerablemente, lo que significa que la uniformidad y textura en la fibra iban mejorando. Esto se observa desde la primera prueba realizada en el informe 1 y Figura 165, en la cual como resultado del espectrograma el CVm es de 7,27%, un valor demasiado alto y fuera de los límites de trabajo para una máquina carda. Mientras que en la última prueba de calidad realizada en la Figura 175 del informe 6, el CVm del espectrograma es de 4,54%, uno de los valores más bajos logrados para un óptimo funcionamiento en el proceso de cardado de la empresa.

Respecto a los espectrogramas de las Figuras 166, 168, 170, 172, 174 y 176 se observa que en todos ellos a una longitud de onda igual a 50cm, aparece un pico (chimenea) el cual se ha vuelto un defecto periódico, lo que significa que es un defecto mecánico de la carda. Este problema es posible eliminarlo completamente solo al realizar un mantenimiento constante en la máquina.

6.7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA MÁQUINA DESPUÉS DE LA MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Existen varias mejoras al comparar el funcionamiento del sistema antiguo con el sistema de control modernizado de la máquina, como se detalla a continuación:

- Mejora en tiempos de producción: Con el nuevo sistema de control de la máquina no es necesario que el cilindro Tambor se detenga por completo al momento de re arrancar la máquina después de una parada en su producción.

- Con la nueva puerta implementada, fue posible mejorar el sistema del silo al visualizar la forma de ingreso del material el cual pasa uniformemente a la tolva de alimentación y a su posterior cardado en la máquina.
- Cambio de botes sin pérdida de producción y merma de la calidad: el peso de la cinta en la apiladora se mantienen uniforme desde el inicio hasta el final del llenado del bote.
- Reducción de imperfecciones (neps) e impurezas gracias a la disgregación suave de las fibras en el silo de alimentación.
- Vida útil más larga de la guarnición del cilindro tomador.
- Tiempos de paro de la máquina más cortos: Si ocurre algún problema de cinta muy gruesa o muy delgada, la máquina para el cilindro Alimentador y el cilindro Peinador pero no el Tambor. Este cilindro al poseer una masa tan grande se demora demasiado tiempo en llegar a su velocidad de trabajo, por lo que este nuevo cambio ocasiona que los tiempos de paro sean más cortos.
- Mejores valores CV gracias a la napa homogénea de ingreso a la máquina.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- Mediante una correcta disgregación de la fibra en el silo y una óptima alimentación de la materia prima hacia la tolva de almacenamiento se logra que la napa se compacte uniformemente en la máquina, reduciendo las imperfecciones (neps) e impurezas y mejorando de esta manera la calidad de la cinta producida en el cardado.
- El tipo de material y el peso final con el que se desea trabajar incide directamente en el sistema de control de la máquina ya que de ella dependerá la relación de velocidades de producción en los cilindros internos de la carda para la regulación de la cinta final producida.
- La modernización en el sistema de control de la máquina presenta ventajas cualitativas como: eficiencia en su funcionamiento, notable mejora en tiempos de producción y mayor seguridad hacia los operadores lo cual disminuye riesgos laborales.
- La interfaz HMI desarrollada cumple con las características de diseño planteadas de operatividad al ser intuitiva y de fácil aprendizaje para el personal que opere la máquina, sin tener la necesidad de conocimientos avanzados del programa permitiendo que el operador pueda interactuar con el sistema sin problema alguno.
- Para evaluar el desempeño y funcionalidad del proceso de cardado se ha tomado varias muestras de la cinta producida por la máquina, en la cual se verificaron valores correctos del coeficiente de variación (CV) para la uniformidad de la cinta y chequeando que cumpla con un estándar de peso

por unidad de longitud (KTex). Esta toma de datos se las puede verificar en los anexos 2 y 3.

7.2. RECOMENDACIONES

- El sistema de control modernizado de la máquina fue diseñado e implementado con varios dispositivos de seguridad, sin embargo, el manejo negligente del mismo podría ocasionar daños en el sistema de cardado. Para prevenir esta situación, es importante leer cuidadosamente los manuales provistos de manera que comprendan el funcionamiento de la máquina antes de operarla.
- Evitar la manipulación o acercamientos a las bandas de los motores cuando la máquina se encuentra en funcionamiento ya que existe gran riesgo de atrapamientos en las extremidades y/o lesiones graves.
- El reconocimiento, diagnóstico y entendimiento general de cada uno de los componentes eléctricos y mecánicos que forman una máquina carda permitió minimizar tiempos de paro y reducción de imperfecciones en la cinta final producida mediante el proceso de reingeniería en la modernización del sistema de control de la máquina.
- Al analizar los espectrogramas en las pruebas de calidad realizadas se observó que en todos ellos a una longitud de onda igual a 50cm, aparecía un pico o chimenea el cual al volverse un defecto periódico en todas las pruebas, significa que es un defecto mecánico de la carda. Este problema es posible eliminarlo completamente mediante un mantenimiento constante de la máquina por lo que es indispensable y de gran importancia que se realice un correcto mantenimiento correctivo de varias piezas mecánicas de la máquina carda para que su funcionamiento sea continuo y de mayor eficiencia.

- Al momento de realizar las conexiones eléctricas de potencia en los variadores de frecuencia, es importante primero verificar el correcto sentido de giro de los motores para no realizar ningún daño a la máquina. Para esto se recomienda realizarlo por partes, primero con el sistema del silo, después el cilindro alimentador, el cilindro de salida y por último el cilindro tambor. En caso de no ser el sentido de giro el correcto, es necesario cambiar una de las fases de salida al motor en el variador de frecuencia.
- Respecto a los diagramas de control presentados es aconsejable elaborar el diagrama de rangos paralelamente al diagrama de promedios, para poder interpretarlos y estudiarlos conjuntamente. De esta forma, en caso de encontrar causas asignables, primeramente tratar de colocar el diagrama de rangos bajo control y seguidamente el diagrama de promedios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB. (JULIO de 2009). CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.*
Recuperado el 05 de Junio del 2016. Obtenido de
<http://www.abb.com/product/db0094db009472/588aca69e327a7f9c1257d2e003bbe5c.aspx?tabKey=2&gid=ABB1TNE968902R1301&cid=9AAC177387>
- ABB. (JULIO de 2009). MODULO DE ENTRADAS DIGITALES MODELO DI524.* Recuperado el 05 de Junio del 2016. Obtenido de
<http://new.abb.com/products/ABB1SAP240000R0001>
- ABB. (JULIO de 2009). MODULO DE ENTRADAS/SALIDAS ANALOGICAS.*
Recuperado el 06 de Junio del 2016. Obtenido de
<http://www.abb.com/product/db0094db009472/588aca69e327a7f9c1257d2e003bbe5c.aspx?tabKey=2&gid=ABB1TNE968902R1301&cid=9AAC177387>
- ABB. (JULIO de 2009). MÓDULO DE LECTURA ENCODER CD522.* Recuperado el 07 de Junio del 2016. Obtenido de
<http://www.abb.com/cawp/seitp202/d3181c63773e01d4c12576390052dc67.aspx>

- ABB. (JULIO de 2009). MODULO DE SALIDAS DIGITALES DO524. Recuperado el 07 de Junio del 2016. Obtenido de <http://new.abb.com/products/ABBISAP240700R0001>*
- Bracamontes, A. (2010). Procesos de Manufactura. Recuperado el 15 de Julio del 2016. Obtenido de <http://israeltextil2010.blogspot.com/2010/11/manual-textil-proceso-de-hilatura.html>*
- Coats. (2014). Todo sobre fibras textiles. Recuperado el 07 de Agosto del 2016. Obtenido de <http://www.coatsindustrial.com/es/information-hub/apparel-expertise/know-about-textile-fibres>*
- Lockuán, F. E. (2012). La Industria Textil y su control de calidad tomo I. Recuperado el 13 de Septiembre del 2016. Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=EYyadH_TTfkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q=diagramas%20de%20control&f=false*
- Mejía, F. (2011). Programa de Textilización. Recuperado el 20 de Octubre del 2016. Obtenido de <http://programadetextilizacion.blogspot.com/2014/12/capitulo-6-maria-de-perinat-1997-2000.html>*
- Novara, A. (2007). Monocabeza manual intersección. Recuperado el 07 de Julio del 2016. Obtenido de <http://santandreatm.it/es/portfolio/vsn-manuar-intersecting-monocabeza/>*
- PONSA, P., & GRANOLLERS, A. (s.f.). DISEÑO DE PANTALLA. CATALUNYA. Recuperado el 11 de Julio del 2016.*
- RIETER. (1998). Máquina de Cardado Rieter C50 . Recuperado el 15 de Octubre del 2016.*
- Systems, E. (2013). The Engineering Training Center. Recuperado el 3 de Noviembre del 2016. Obtenido de <http://emt-systems.com/codesys-course.html>*
- WEG. (2015). Pantallas e Interfaces. Recuperado el 20 de Agosto del 2016. Obtenido de <http://www.weintek.com/globalw/download/download.aspx>*

ANEXOS

ANEXO 1. Planos eléctricos de la máquina de cardado.

ANEXO 2. Espectrogramas realizados para pruebas de calidad en el laboratorio de la empresa Textiles del Valle S.A.

ANEXO 3. Pruebas de peso de la cinta producida por la máquina de cardado Rieter C50 en el laboratorio de la empresa Textiles del Valle S.A.

ANEXO 4. Presupuesto del trabajo de titulación.

ANEXO 5. Manual de Usuario.