



**Automatización de un sistema de bandas transportadoras para el abastecimiento de trozas en contrachapados de Esmeraldas S.A-Codesa**

Batioja Carvache, Bryan Vladimir

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica,  
Automatización y Control

Ing. Ortiz Tulcán, Hugo Ramiro Mgs.

10 de febrero del 2022



# COPYLEAKS

Proyecto\_Titulación\_Batioja\_CopyLeaks.pdf

Scanned on: 3:26 February 9, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	1798
Words with Minor Changes	0
Paraphrased Words	0
Omitted Words	2697



Website | Education | Businesses



HUGO RAMIRO  
ORTIZ TULCAN



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

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

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**Automatización de un sistema de bandas transportadoras para el abastecimiento de trozas en contrachapados de Esmeraldas S.A-Codesa**” fue realizado por el señor **Batioja Carvache, Bryan Vladimir** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 07 de Febrero del 2022

Firma:



HUGO RAMIRO  
ORTIZ TULCAN

**Ing. Ortiz Tulcán Hugo Ramiro, Mgs**

C. C.: 1707721591



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

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

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Yo, **Batioja Carvache, Bryan Vladimir**, con cédula de ciudadanía n° 0850084765, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Automatización de un sistema de bandas transportadoras para el abastecimiento de trozas en contrachapados de Esmeraldas S.A-Codesa** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 07 de febrero del 2022**

Firma

**Batioja Carvache Bryan Vladimir**

C.C.: 0850084765



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo **Batioja Carvache, Bryan Vladimir**, con cédula de ciudadanía n° 0850084765, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Automatización de un sistema de bandas transportadoras para el abastecimiento de trozas en contrachapados de Esmeraldas S.A-Codesa** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Sangolquí, 07 de Febrero del 2022**

Firma

**Batioja Carvache Bryan Vladimir**

C.C.: 0850084765

### **Dedicatoria**

Este trabajo va dedicado a mis padres, que con mucho esfuerzo y sacrificio han tratado de darme lo mejor, su apoyo ha sido vital en los momentos más duros, cada palabra llena de amor y aquellos consejos que me dieron me han llevado a ser una persona de bien gracias a ustedes esto es posible.

A mi abuelo, aquel gran hombre que lamentablemente ya no me acompaña le dedico este trabajo gracias a su ejemplo creaste en mi una personalidad fuerte que no se deja amilanar por ningún reto, aquella promesa que te hice hoy te la cumplo eres la persona que más amo y amare.

A mi ahijada Oana, espero ser un gran hombre y profesional para que veas en mi un ejemplo, velaré para que tus sueños se hagan realidad.

Bryan Batioja

## **Agradecimiento**

A mi madre por ser aquella persona que me educo por enseñarme mis primeras letras, mis primeras palabras, por todos aquellos consejos que me ayudaron a formarme como persona, por aquellos momentos difíciles que hemos pasado, pero a pesar de eso no te has doblado nunca.

A mi señor padre que siempre se a encargado de velar por mi seguridad y educación, a pesar de las carencias siempre has tratado de darme lo mejor, por aquellas conversaciones de horas que tenemos siempre habrá algo que tenga que aprender de ti.

A mi abuelo, siempre tendrás mi total respeto y admiración eras un hombre increíble totalmente entregado a tu familia, en muchas ocasiones te convertiste en mi figura paterna en ti vi por primera vez a un héroe, el día más doloroso de mi vida fue cuando partiste de este mundo donde quieras que te encuentres te dedico este logro porque esto también te pertenece.

A mis familiares les agradezco por cada palabra de aliento por no dejarme decaer y por soportar mis enojos se que no es fácil tratarme, pero los lazos que nos unen van más allá de los lazos sanguíneos.

Quiero agradecer a mi tía Lourdes y mi prima Aura por brindarme todo su apoyo y confianza, por cada consejo cada palabra de motivación que recibí de su parte, me acogieron en su familia como un hijo y como un hermano a pesar de haberme conocido hace poco tiempo, ese gran gesto me ayudo a soportar el tiempo que estuve lejos de mis padres.

A mi madrina de educación estoy infinitamente agradecido apareciste en el peor momento de mi vida cuando parecía que mis sueños se iban a terminar a razón de una imprudencia, viste en mí algo y gracias a ti me dieron otra oportunidad desde ese momento te convertiste en un ángel en mi vida, acudía a ti para escuchar tus consejos siempre me cuidaste.

A mis amigos que hice dentro de las aulas de clases gracias a ustedes todo el proceso universitario se hizo más llevadero por cada riza y ocurrencia, la hermandad que formamos fue genial, espero que esas amistades duren toda la vida y por más agachaditos.

*Un gran agradecimiento al Ing. Hugo Ortiz, mi tutor de tesis y mi tutor de pasantías gracias a él este proyecto de tesis ha sido posible, le guardo mucho respeto y lo veo como un gran profesional, no es casualidad que lo haya elegido para guiarme en mi último esfuerzo dentro de la universidad.*

Bryan Batioja

## Índice de Contenido

Índice de Contenido .....	9
Índice de Tablas .....	16
Índice de Figuras .....	19
Resumen .....	24
Abstract .....	25
Capítulo I .....	26
Generalidades .....	26
Antecedentes .....	26
Justificación e Importancia .....	27
Alcance .....	29
Objetivos .....	33
Objetivo General .....	33
Objetivos Específicos .....	33
Capítulo II .....	34
Fundamentación Teórica .....	34
Bandas transportadoras .....	34
Partes que constituyen una banda transportadora.....	36

Rodillos .....	37
Tambores.....	37
Dispositivos de tensado .....	38
Motorreductor.....	38
Tipos de bandas transportadora .....	38
Banda de rodillos .....	39
Bandas planas .....	39
Bandas con cadenas.....	40
Bandas tipo flexible .....	41
Bandas con listones .....	41
Bandas aéreas.....	42
Transportadores neumáticos.....	43
Sensores .....	44
Sensores de posición .....	45
Sensores electromecánicos .....	46
Sensores fotoeléctricos.....	47
Elementos de maniobra.....	48
Pulsadores .....	49
Interruptor .....	51
Selectores.....	51

Contactor electromagnético.....	52
Relé auxiliar .....	55
Válvula neumática.....	55
Elementos de protección .....	56
Fusibles.....	57
Interruptor automático .....	59
Relé térmico.....	61
Indicadores luminosos .....	62
Tableros eléctricos .....	64
Tableros generales .....	65
Tableros generales auxiliares.....	66
Tableros de distribución .....	66
Tableros de control o comando .....	67
Tableros integrados a máquinas .....	68
Construcción y especificaciones técnicas de un tablero eléctrico	68
Grado de protección IP de envolventes .....	70
Grado de protección IP de los tableros ArTu .....	72
Grado de protección IP y entornos de instalación.....	73
Controladores lógicos programables .....	74
Norma IEC 61131 .....	75

Criterios de selección .....	81
Interfaz humano máquina o HMI.....	83
Estándar ANSI – ISA 101.01 .....	84
Capítulo III .....	88
Diseño del Sistema.....	88
Descripción de la Planta.....	88
Requerimientos Técnicos del Proceso.....	89
Determinación de los equipos existentes.....	90
Viabilidad técnica.....	91
Disponibilidad técnica.....	93
Diseño conceptual .....	93
Diagrama PFD .....	93
Diagrama P&ID .....	96
Variables del proceso.....	100
Especificaciones de elementos .....	103
Análisis de riesgos.....	106
Nivel integrado de seguridad o SIL.....	107
Evaluación de seguridad y confiabilidad.....	107
Determinación del SIL en el sistema de bandas.....	108
Normativas de diseño .....	111

Alimentación eléctrica.....	113
Características eléctricas del sistema .....	113
Carga del sistema .....	115
Autómata programable PLC .....	116
Captadores.....	120
Los principales factores que determinan la elección de un sensor fotoeléctrico son.....	122
Elementos de maniobra .....	122
Actuadores rotativos.....	124
Dimensionamiento de los conductores.....	127
Dimensionamiento de actuadores lineales .....	130
Protección y maniobra.....	133
Dimensionamiento interruptor automático .....	133
Dimensionamiento de fusibles.....	138
Dimensionamiento de contactor .....	139
Dimensionamiento relé térmico .....	142
Automatización.....	145
Diseño graficet.....	145
Diseño HMI .....	156
Capítulo IV.....	165

Implementación .....	165
Selección de dispositivos.....	165
Selección del autómata y sus módulos.....	165
Selección de los captadores.....	169
Selección de los conductores.....	175
Selección de actuadores lineales .....	176
Selección de interruptores automáticos.....	177
Selección de fusibles.....	182
Selección de contactores .....	185
Selección de relé térmico .....	188
Selección relé auxiliar .....	190
Selección de luces piloto.....	191
Selección de tablero.....	192
Prevención de riesgo laboral .....	194
Integración de componentes.....	197
Norma IEC 60617 .....	197
Planteamiento esquemático .....	202
Capítulo V .....	212
Pruebas y Resultados.....	212
Pruebas de funcionamiento .....	212

Capacitación.....	217
Manual de usuario.....	217
Resultados .....	218
Capítulo VI.....	223
Conclusiones y Recomendaciones .....	223
Conclusiones.....	223
Recomendaciones.....	225
Referencias.....	226
Anexos.....	238

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Elementos existentes previo al proyecto de titulación .....	91
<b>Tabla 2</b> Variables y señales del proceso .....	100
<b>Tabla 3</b> Normativa para la instalación del sistema a automatizar.....	112
<b>Tabla 4</b> Características de los tableros.....	114
<b>Tabla 5</b> Carga proveniente del tablero de control de las bandas .....	116
<b>Tabla 6</b> Carga proveniente de la descortezadora .....	116
<b>Tabla 7</b> Características PLC 1200 – CPU 1214C .....	117
<b>Tabla 8</b> Características eléctricas fuente SITOP LOGO .....	118
<b>Tabla 9</b> Especificaciones SM 1223 E/S digitales VDC .....	119
<b>Tabla 10</b> Especificaciones SM 1221 entradas digitales VDC .....	119
<b>Tabla 11</b> Requisitos de sensores de posición electromecánica .....	120
<b>Tabla 12</b> Requisitos de sensores de posición fotoeléctrico.....	121
<b>Tabla 13</b> Elementos de maniobra .....	122
<b>Tabla 14</b> Característica de los actuadores rotativos .....	125
<b>Tabla 15</b> Dimensionamiento de los conductores.....	130
<b>Tabla 16</b> Dimensionamiento de los interruptores automáticos .....	137
<b>Tabla 17</b> Dimensionamiento de fusibles .....	139
<b>Tabla 18</b> Dimensionamiento de los contactores .....	141
<b>Tabla 19</b> Dimensionamiento de los relés térmico.....	144
<b>Tabla 20</b> Tabla de asignación de variables.....	147

<b>Tabla 21</b> Especificaciones técnicas PLC 1200 - CPU 1214C.....	166
<b>Tabla 22</b> Especificaciones técnicas SM 1223 E/S discretas .....	167
<b>Tabla 23</b> Especificaciones técnicas SM 1221 entradas discretas .....	167
<b>Tabla 24</b> Especificaciones técnicas CSM 1277 .....	168
<b>Tabla 25</b> Especificaciones técnicas HMI KTP 600 .....	168
<b>Tabla 26</b> Especificaciones técnicas fin carrera vástago de acero .....	170
<b>Tabla 27</b> Especificaciones técnicas fin carrera palanca abatible.....	171
<b>Tabla 28</b> Especificaciones técnicas sensor fotoeléctrico.....	173
<b>Tabla 29</b> Especificaciones técnicas elementos de maniobra .....	174
<b>Tabla 30</b> Selección de los conductores .....	175
<b>Tabla 31</b> Especificaciones técnicas cilindro neumático.....	177
<b>Tabla 32</b> Especificaciones técnicas interruptor automático para lubricador de aceite .....	178
<b>Tabla 33</b> Especificaciones técnicas interruptores automático para actuadores WEG y ABB, 7A .....	179
<b>Tabla 34</b> Especificaciones técnicas interruptores automático para actuadores WEG, 16A .....	180
<b>Tabla 35</b> Especificaciones técnicas interruptor general .....	181
<b>Tabla 36</b> Especificaciones técnicas de los interruptores automáticos del sistema de bandas .....	182
<b>Tabla 37</b> Especificaciones técnicas fusibles para el lubricador de aceite...	183
<b>Tabla 38</b> Especificaciones técnicas fusibles para actuadores WEG y ABB, 7A .....	183

<b>Tabla 39</b>	Especificaciones técnicas fusible para actuadores WEG, 16A....	184
<b>Tabla 40</b>	Especificaciones técnicas de los fusibles del sistema de bandas	184
<b>Tabla 41</b>	Especificaciones técnicas contactor LC1D09BD .....	186
<b>Tabla 42</b>	Especificaciones técnicas contactor LC1D12BD .....	186
<b>Tabla 43</b>	Selección de los contactores del sistema de bandas .....	187
<b>Tabla 44</b>	Especificaciones técnicas del relé térmico LR2K0306 .....	188
<b>Tabla 45</b>	Especificaciones técnicas del relé térmico LRD10 .....	188
<b>Tabla 46</b>	Especificaciones técnicas del relé térmico LRD16 .....	189
<b>Tabla 47</b>	Selección de los relés térmicos del sistema de bandas .....	190
<b>Tabla 48</b>	Especificaciones técnicas relé auxiliar C10-A10X.....	191
<b>Tabla 49</b>	Especificaciones técnicas luces piloto .....	192
<b>Tabla 50</b>	Especificaciones técnicas tablero de control.....	193
<b>Tabla 51</b>	Lista de elementos a utilizar en la implementación .....	203

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Diagrama de bloques a desarrollar.....	30
<b>Figura 2</b> Cableado eléctrico expuesto .....	31
<b>Figura 3</b> Estructura cinta transportadora .....	35
<b>Figura 4</b> Banda de rodillos .....	39
<b>Figura 5</b> Banda Plana .....	40
<b>Figura 6</b> Bandas con cadenas.....	40
<b>Figura 7</b> Transportador flexible.....	41
<b>Figura 8</b> Banda con listones.....	42
<b>Figura 9</b> Transportador aéreo.....	43
<b>Figura 10</b> Transportador neumático .....	43
<b>Figura 11</b> Composición de un interruptor electromecánico.....	47
<b>Figura 12</b> Sensor fotoeléctrico.....	48
<b>Figura 13</b> Pulsadores NA y NC .....	49
<b>Figura 14</b> Código de colores para los órganos de accionamiento de los pulsadores y sus significados .....	50
<b>Figura 15</b> Simbología de un interruptor .....	51
<b>Figura 16</b> Conmutador o selector .....	52

<b>Figura 17</b> Parámetros característicos de un contactor .....	53
<b>Figura 18</b> Categoría de los contactores en corriente alterna .....	54
<b>Figura 19</b> Válvula 5 vías, 2 posiciones y accionamiento neumático .....	56
<b>Figura 20</b> Parámetros característicos de un fusible .....	58
<b>Figura 21</b> Parámetros característicos de un interruptor automático.....	60
<b>Figura 22</b> Características de un relé térmico .....	62
<b>Figura 23</b> Colores y significado de los indicadores luminosos .....	63
<b>Figura 24</b> Cuadro general de distribución.....	65
<b>Figura 25</b> Tablero general auxiliar .....	66
<b>Figura 26</b> Tablero de distribución Codesa .....	67
<b>Figura 27</b> Tablero de control, Codesa .....	67
<b>Figura 28</b> Tablero integrado a máquinas, Codesa.....	68
<b>Figura 29</b> Disposición del código IP .....	70
<b>Figura 30</b> Grado de protección IP de las envolventes .....	72
<b>Figura 31</b> Grado de protección IP de los tableros ABB ArTu.....	73
<b>Figura 32</b> Grado de protección y entornos de instalación.....	74
<b>Figura 33</b> Estructura funcional de un autómatas programable .....	76
<b>Figura 34</b> Esquema de interfaz .....	78

<b>Figura 35</b> Modelo gráfico de la norma ANSI-ISA 101 .....	85
<b>Figura 36</b> Diagrama de flujo de proceso del conjunto de bandas transportadoras .....	94
<b>Figura 37</b> Diagrama P&ID del sistema de bandas transportadoras .....	97
<b>Figura 38</b> SIL para sistemas de modo continuo PFH .....	108
<b>Figura 39</b> Ejemplo de una tabla de asignación SIL.....	109
<b>Figura 40</b> Placa del motor WEG 2.2 [KW] .....	126
<b>Figura 41</b> Placa del motor WEG 5.5 [KW] .....	126
<b>Figura 42</b> Placa del lubricador 0.25 [KW] .....	126
<b>Figura 43</b> Placa del motor WEG 7.5 [KW] .....	126
<b>Figura 44</b> Tabla de ampacidad NOM 001.....	129
<b>Figura 45</b> Tabla normalizada cilindros neumáticos.....	132
<b>Figura 46</b> Curvas de disparo corriente vs tiempo IEC 60947.....	135
<b>Figura 47</b> Guía de elección de contactores IEC 947 .....	141
<b>Figura 48</b> Jerarquía del proceso.....	146
<b>Figura 49</b> Grafcet de seguridad y modo de marcha.....	151
<b>Figura 50</b> Grafcet de producción da la banda horizontal, banda inclinada 1 y rodillo 1.....	152

<b>Figura 51</b> Graficet de producción del brazo neumático 1 y la banda inclinada 2 .....	153
<b>Figura 52</b> Graficet de producción sierras y lubricador .....	154
<b>Figura 53</b> Graficet de producción rodillo 3, brazo neumático 4 y bandas de extracción de basura .....	155
<b>Figura 54</b> Plantilla para el desarrollo de HMI, guía Gedis.....	157
<b>Figura 55</b> Esquema de navegación entre pantallas.....	158
<b>Figura 56</b> Pantalla principal HMI, KTP 600.....	159
<b>Figura 57</b> Pantallas del estado del proceso, KTP 600 .....	160
<b>Figura 58</b> Pantallas del estado de los dispositivos, KTP 600.....	161
<b>Figura 59</b> Pantallas de diagnóstico, KTP 600.....	162
<b>Figura 60</b> Pantalla emergente de alarmas, KTP 600 .....	163
<b>Figura 61</b> Simbología de contactos .....	198
<b>Figura 62</b> Bobinas de mando .....	199
<b>Figura 63</b> Señalización.....	200
<b>Figura 64</b> Identificación de elementos .....	200
<b>Figura 65</b> Tablero de control previo al proyecto de titulación.....	205
<b>Figura 66</b> Instalación y distribución de borneras.....	206
<b>Figura 67</b> Disposición de elementos en el exterior del tablero.....	207

<b>Figura 68</b> Antes y después de las botoneras.....	208
<b>Figura 69</b> Antes y después del cableado del tablero de control.....	209
<b>Figura 70</b> Cableado de potencia .....	209
<b>Figura 71</b> Preparación y posicionamiento de los sensores.....	210
<b>Figura 72</b> Conexión online entre PLC y computadora .....	212
<b>Figura 73</b> Paro seguro presentado en la HMI .....	214
<b>Figura 74</b> Warning presentado en la HMI .....	215
<b>Figura 75</b> Pantalla de configuraciones .....	216
<b>Figura 76</b> Pantalla de proceso.....	216

## Resumen

La fábrica de Contrachapado de Esmeraldas S.A. Codesa es una empresa dedicada a la producción de tableros aglomerados, siendo la madera su materia prima. Esta empresa tiene como finalidad satisfacer la demanda nacional y de sus principales compradores como México y Estados Unidos (Contrachapado de Esmeraldas S.A. Codesa, 2020). Alineado con el mejoramiento continuo de los equipos la empresa se ha visto en la necesidad de habilitar un sistema automático de bandas y transportadores para proveer de materia prima a los diversos puntos de producción con el fin de aumentar el volumen producido. La automatización consta de un PLC-1200, elementos de maniobra, equipos de protección, sensores dedicados al monitoreo constante de las variables de posición de las trozas a lo largo del proceso de transporte, mediante la integración de estos elementos y la lógica de programación se gestiona la automatización de todo el sistema de bandas para así mantener en todo momento un flujo constante de materia prima. Evaluados los riesgos funcionales y los riesgos laborales se determinó un nivel de integración SIL 2 el cual garantiza la seguridad tanto del sistema de bandas como del personal de planta. Integrando funciones de seguridad y elementos captadores redundantes se alcanzó los objetivos planteados y se garantiza que el sistema desarrollado es seguro, eliminando el riesgo de accionamientos involuntarios, el sistema de alarmas es presentado en un interfaz humano – máquina HMI para detectar con mayor rapidez los fallos que se den en el sistema.

### Palabras clave:

- **SISTEMA AUTOMATICO**
- **CAPTADORES**
- **SEGURIDAD FUNCIONAL**

### **Abstract**

The Plywood factory of Esmeraldas S.A. Codesa is a company dedicated to the production of chipboard, wood being its raw material, the raw material comes exclusively from San Lorenzo and Borbón area, this company aims to satisfy national demand and its main buyers such as Mexico and USA (Contrachapado de Esmeraldas S.A. Codesa, 2020). Aligned with continuous improvement of the equipment the company has seen the need to enable a system of belts and conveyors to provide raw material to the various production points in order to increase the volume produced. The automation consists of a PLC-1200, maneuver elements, protection equipment, sensors dedicated to the constant monitoring of the position variables of the logs throughout the transport process, through the integration of these elements and the programming logic is manages the automation of the entire belt system in order to maintain a constant flow of raw material at all times. Once the functional risks and occupational risks were evaluated, a SIL 2 integration level was determined, which guarantees the safety of both the belt system and the plant personnel, integrating security functions and redundant sensor elements, the objectives set were achieved and it can be said that the developed system is safe. The faults detected in the set of conveyor belts were initially corrected, eliminating the risk of involuntary activations, the alarm system is presented in a human-machine interface HMI to more quickly detect the faults that occur in the system.

#### **Keywords:**

- **AUTOMATIC SYSTEM**
- **SENSOR**
- **FUNCTIONAL SAFETY.**

## Capítulo I

### Generalidades

#### Antecedentes

Los sistemas automatizados ocupan un lugar relevante en el sector de la industria manufacturera, la inclusión de estos sistemas es necesario desde la cadena de montaje y fabricación de todo tipo de productos. En la industria manufacturera es fundamental implementar mecanismos que aceleren el proceso de elaboración de los diferentes productos.

Los avances en el campo de la automatización industrial han permitido un desarrollo sustancial en el mejoramiento de la calidad del producto, manejo eficiente de la materia prima y una mayor especialización de los procesos.

Es un hecho comprobado que el conocimiento y la formación tienen una importancia creciente en el desarrollo económico y social de los países, por lo que las modernas economías se describen como “Economía basada en la formación o aprendizaje” y la sociedad actual se denomina como “Sociedad del conocimiento” (Barrera Aguilera, Blandón Zeledón, & Salgado Bucardo, 2019). Lo que refleja claramente que los sectores industriales más robustos son aquellos que incorporan innovaciones tecnológicas a sus procesos de producción.

Las bandas transportadoras tienen un papel clave dentro de los diferentes procesos industriales y estas se debe a varias razones entre las que resaltan el flujo de manera rápida y en grandes cantidades de productos, permiten optimizar espacio dentro

de una planta, posibilidad de transportar diversos materiales, poco mantenimiento consecuencia de su robustez, permite aumentar la seguridad del operador y disminuir los errores (Hernández , 1969). Son utilizadas a lo largo de toda la línea de producción desde materias primas, procesamiento, cargue, descargue, ensamblado, empaçado, distribución y organización.

Recientemente la empresa se ha visto en la necesidad de habilitar una línea de producción la cual tiene como objeto aumentar el volumen de producción, para lo cual se habilitaron maquinarias para este fin y un conjunto de bandas para mantener un abastecimiento permanente de trozas en cada punto de producción, sin que se vea perturbado el proceso en ningún momento. El sistema de bandas implementado cuenta con ciertas deficiencias técnicas que generan problemas de operabilidad y seguridad que no han permitido obtener el máximo provecho ya que es un sistema totalmente manual.

Por tal razón surge la necesidad de automatizar el proceso de abastecimiento de trozas en la fábrica de Contrachapado de Esmeraldas S.A – Codesa para hacer más eficientes los procesos de producción mediante la implementación de un sistema automatizado. El estudio propone mejorar el diseño y automatización del control eléctrico mediante el uso de un PLC Siemens 1200, que permita una mejor gobernabilidad sobre los equipos inmersos en el proceso, para mejorar aspectos como la operabilidad del conjunto de bandas, brindar seguridad a los operadores y reducir los fallos dados por conflictos entre señales de activación.

### **Justificación e Importancia**

La empresa Contrachapados de Esmeraldas S.A – Codesa comprometida con el mejoramiento continuo de los equipos se ha visto en la necesidad de habilitar un sistema

de bandas y transportadores para proveer de materia prima a los diversos puntos de producción con el fin de aumentar el volumen producido, sin que el flujo de materia prima sea perturbado en ningún momento, pero esto no ha sido así ya que el sistema de bandas ha mostrado ciertas deficiencias técnicas que generan problemas de operabilidad, seguridad y en la actualidad no se extrae el máximo provecho ya que es un sistema totalmente manual.

Ante los inconvenientes presentados de operabilidad, confiabilidad y seguridad en la nueva línea de producción que han provocado inconformidad tanto a los operadores como al personal del área de producción, resulta de especial interés la automatización y mejora del conjunto de bandas, transportadores de rodillos y transportadores de cadena subsanando los fallos presentados y disminuyendo los riesgos laborales para los operadores involucrados en este proceso de producción.

Los fallos de operabilidad se dan por conflicto de señales de activación sobre los actuadores gobernados tanto por los operadores de las tres áreas de trabajo y con inconvenientes de desconexión de las botoneras, generando retrasos en el proceso de producción.

Se evidencia fallos de seguridad en la etapa de abastecimiento de las trozas al transportador de cadena inclinada, ya que los operadores se ven forzados a mover las pesadas trozas tan cerca del transportador y a su vez poniendo en riesgo su integridad física dada la cercanía de la sierra eléctrica que es la encargada de cortar las trozas. Esto puede derivar en un accidente laboral para estos operadores.

El cableado eléctrico tanto de control como potencia se encuentra expuesto y al alcance de todos, esto tarde o temprano puede desencadenar un fallo eléctrico o la descarga eléctrica hacia una persona.

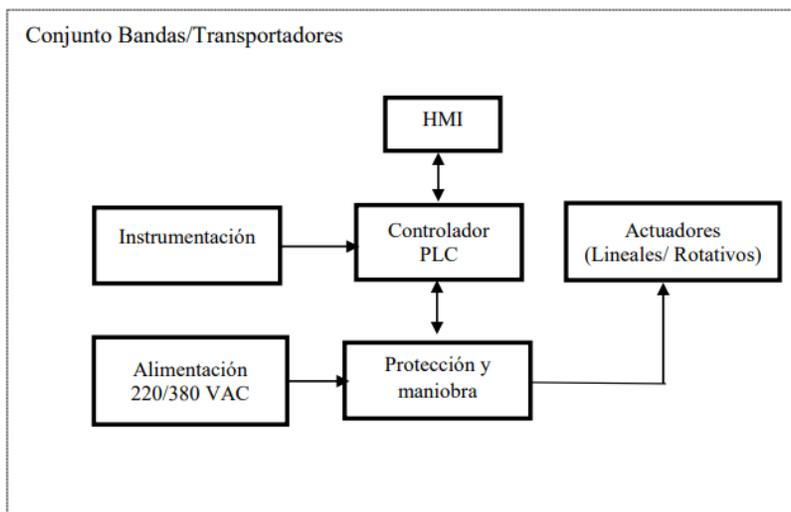
El presente proyecto surge con el claro objeto de brindar solución a los fallos descrito con anterioridad y aportando técnicas ingenieriles tanto de automatización, circuitos industriales, electroneumática e hidráulica a este conjunto de bandas y transportadores, con el propósito de transportar de manera segura e inteligente las grandes trozas a cada punto de trabajo, reducir los tiempos muertos y disminuir los errores. Esta maquinaria coopera a los resultados de crecimiento de la organización.

### **Alcance**

La empresa Contrachapado de Esmeraldas S.A – Codesa pretende realizar la automatización del sistema de bandas transportadoras mediante el uso de un PLC Siemens 1200, sensores mecánicos, fotoeléctricos, dispositivos de maniobra, operación, protección y actuadores rotativos y lineales. Para realizar operaciones de supervisión, alertas tempranas de fallas y control de unas cuantas variables se incluirá un interfaz humano máquina HMI, el diagrama de bloques del proyecto a desarrollar se presenta en la Figura 1.

**Figura 1**

*Diagrama de bloques a desarrollar*



**Alimentación:** La fábrica Contrachapado de Esmeraldas S.A – Codesa opera principalmente con un suministro de energía de 220/380 VAC, por lo cual los equipos, dispositivos y actuadores deben considerar esta especificación eléctrica. En general los equipos de control son alimentados con una tensión de 220 VAC y los dispositivos y actuadores de fuerza operan bajo una tensión eléctrica de 380 VAC.

Se busca realizar algunas correcciones en el cableado ya que se encuentra expuesto y es accesible incluso para los operadores, por lo cual es necesario soterrarlo o protegerlo con caños para evitar accidentes eléctricos, este inconveniente se muestra en la Figura 2.

## Figura 2

### *Cableado eléctrico expuesto*



*Nota.* Fotografía tomada en (Contrachapado de Esmeraldas S.A. Codesa, 2020).

Un aspecto muy importante a considerar es el correcto dimensionamiento del cableado eléctrico, equipos de protección, equipos de control y actuadores aplicando las normativas eléctricas. Todo esto para garantizar la confiabilidad y seguridad del sistema.

**Instrumentación:** La instrumentación en el conjunto de bandas y transportadores tiene como objeto principalmente el posicionamiento de las trozas dentro del proceso de transporte de la materia prima y la expulsión de los desechos. Para ello se hará uso de sensores de posicionamiento de contacto y de proximidad para enviar los datos al PLC y este a su vez se encargue de la activación de los actuadores en cada etapa del proceso.

Es fundamental la correcta selección de estos sensores ya que es una industria donde las partículas de aserrín se encuentran presente y se propagan en el ambiente. Es

necesario garantizar el correcto funcionamiento de los equipos en este ambiente industrial adverso.

**Protección y maniobra:** Se planifica dos modos de operación del sistema de bandas y transportadores (manual y automático) para lo cual es necesario botoneras que permitan a los operadores de cada área la manipulación de los actuadores tanto lineales como rotativos de cada banda, así como los pistones neumáticos que realizan la expulsión de las trozas.

Se dará solución al conflicto de señales de activación sobre los actuadores gobernados tanto por los operadores. Los equipos de protección, control, maniobra, potencia y el controlador serán montados en un tablero eléctrico que garantice la durabilidad y seguridad de estos ante factores adversos.

**Actuadores:** Los actuadores que se encuentran en operación hasta el momento en el sistema son nueve motores trifásicos de 380 VAC y cinco pistones con sus electroválvulas de 220 VAC.

Estos son los encargados de dar movimiento a todo el sistema objeto de la automatización que se plantea en este proyecto con el correcto uso de las normativas eléctricas y criterios de ingeniería para garantizar la seguridad de los operadores y del sistema eléctrico a desarrollar.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Automatizar el sistema de bandas transportadoras para el abastecimiento de trozas en Contrachapados de Esmeraldas S.A - Codesa.

### **Objetivos Específicos**

- Utilizar las herramientas del software TIA Portal para automatizar los procesos mediante un lenguaje de programación industrial.
- Analizar el sistema de abastecimiento de materia prima mediante el diseño y desarrollo de un método que permita una automatización segura y confiable.
- Determinar los fallos que se dan actualmente por conflicto entre señales de activación de los actuadores que intervienen en el sistema de bandas.
- Evaluar los tiempos muertos dados por fallos eléctricos en el proceso, para aumentar la productividad apoyados en la inclusión de un dispositivo de supervisión (HMI).
- Evaluar los riesgos laborales a los cuales se encuentran expuestos los operadores de la fábrica Contrachapados de Esmeraldas S.A Codesa, a fin que sean considerados en la opción de automatización.

## Capítulo II

### Fundamentación Teórica

#### **Bandas transportadoras**

Las primeras bandas transportadoras que se conocieron fueron empleadas para el transporte de carbón y materiales de la industria minera. El transporte de materiales mediante cintas transportadoras, data aproximadamente del año 1795. La mayoría de estas tempranas instalaciones se realizaban sobre terrenos relativamente plano, así como en cortas distancias. El primer sistema de bandas transportadoras era muy primitivo y consistía en una cinta de cuero, lona o cinta de goma que se deslizaba por una tabla de madera plana o cóncava. Este tipo de sistema no fue considerado como exitoso, pero proporcionó las bases para el desarrollo y mejora por parte de los ingenieros para considerarlos como un rápido, económico y seguro método para mover grandes volúmenes de materiales de un lugar a otro (Huaman Valencia, 2014).

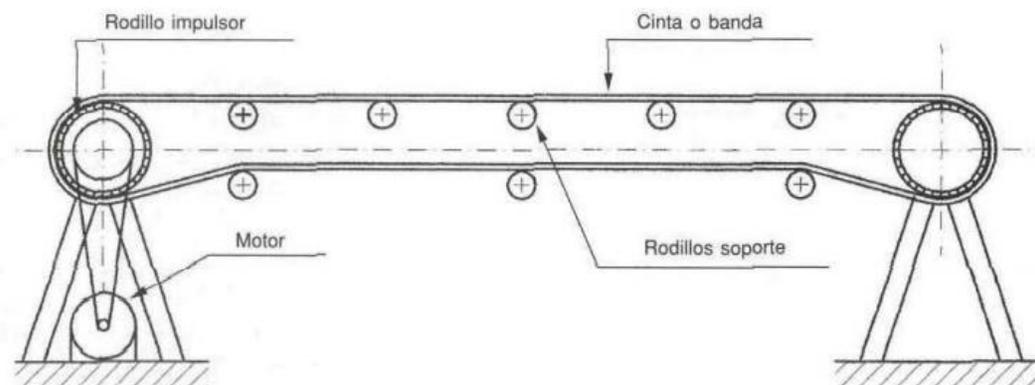
Durante la segunda guerra mundial, los componentes naturales de los transportadores empezaron a escasear, permitiendo que la industria del caucho se volcara en crear materiales sintéticos que reemplazara a los naturales. A partir de ese momento se han desarrollado diversos materiales para aplicaciones muy específicas dentro de la industria, como las bandas con aditivos antimicrobianos dirigido a la industria de alimentos, bandas resistentes a altas temperaturas, bandas que presenta poca fricción, bandas resistentes a la descomposición, etc.

Las bandas transportadoras combinan el principio de arrastre de materiales y la rueda. Dos rodillos arrastran una pieza de material elástico, que es llamado cinta, que al

estar unida en sus extremos forma una estructura sin fin dando movimiento a la carga situada sobre ella. Las partes esenciales de estas máquinas son, dos rodillos situados en los extremos del sistema, uno de los cuales es el impulsor y el otro actúa habitualmente como tensor por lo cual la cinta tiene que ser lo suficientemente flexible y poseer un alto grado de resistencia al desgaste. El rodillo impulsor debe estar unido a algún tipo de actuador rotativo o generador de movimiento. Algunas veces la cinta es reemplazada por piezas metálicas articuladas que permiten un trabajo más específico como la inserción de ladrillos en hornos de cocción (Santa Cecilia, Mallana Rodríguez, Carrera Moreno, García López, & Carmona Martínez, 1996), composición de las cintas transportadoras Figura 3.

### Figura 3

#### *Estructura cinta transportadora*



*Nota.* Tomado de (Santa Cecilia, Mallana Rodríguez, Carrera Moreno, García López, & Carmona Martínez, 1996).

Entre todos los sistemas de transporte continuos empleados en la industria, las bandas transportadoras ocupan un lugar destacado por muchas razones, entre las que resaltan las siguientes:

- Regularidad del suministro.
- Gran cantidad de materiales que transporta.
- Poco mantenimiento, consecuencia de su robustez.
- Consumo de energía escaso comparado con otros métodos.
- La gran distancia a que pueden efectuar el transporte de materiales.

Las bandas transportadoras son ampliamente utilizadas en todo tipo de industrias entre las cuales destacan las siguientes:

- Industrias mineras.
- Industrias siderúrgicas.
- Instalaciones portuarias de almacenamiento.
- Centrales térmicas.
- Industrias agrícolas.
- Industria automotriz.
- Industria farmacéutica.
- Industria alimenticia.

### **Partes que constituyen una banda transportadora.**

Las bandas transportadoras están constituidas básicamente por una banda cerrada flexible que se desplaza sobre unos rodillos de giro libre, un tambor de accionamiento que es el encargado de transmitir movimiento a la banda, un motor y un

motorreductor que son los encargados de generar y definir el movimiento y la velocidad, estos y otros componentes están alojados sobre una estructura metálica llamada bastidor que le brinda soporte y cohesión (Barrera Aguilera, Blandón Zeledón, & Salgado Bucardo, 2019).

### **Rodillos**

Los rodillos son una parte fundamental de las bandas transportadoras, de su calidad depende en gran medida el buen funcionamiento de la misma. Si el giro de los mismos no es bueno, además de aumentar la fricción y el consumo de energía, también se produce la reducción de la vida útil de la banda (Barrera Aguilera, Blandón Zeledón, & Salgado Bucardo, 2019).

Las funciones a cumplir por parte de este componente son principalmente tres:

- Soportar la banda y el material a transportar por la misma y además soportar el impacto producido por la caída del material.
- Contribuir al centrado de la banda, por razones diversas la banda está sometida a diferentes fuerzas que tienden a descentrarla de su posición ideal.
- Transmitir el movimiento a través de la banda.

### **Tambores**

Los tambores se clasifican de acuerdo a su función en:

- Tambores motrices, que transmiten la fuerza tangencial a la banda, estos están conectados por medio de poleas, catarinas con cadenas o

motorreductor.

- Tambores no motrices, los cuales realizan la función de cambio de trayectoria de la banda y su movimiento es inducido por la banda.

### **Dispositivos de tensado**

Los dispositivos de tensado cumplen las siguientes funciones:

- Lograr el adecuado contacto entre la banda y el tambor motriz.
- Compensar las variaciones de longitud producidas en la banda.
- Mantener la tensión adecuada sobre la banda.

### **Motorreductor**

Para el accionamiento del rodillo impulsor que mueve la cinta, se suele emplear un motor eléctrico dotado de un reductor de velocidad cuyo eje de salida engrana con el eje del rodillo impulsor de la cinta, la función del motorreductor es reducir la velocidad transmitida por el motor y aumentar el par mecánico (Chover, 2016).

### **Tipos de bandas transportadora**

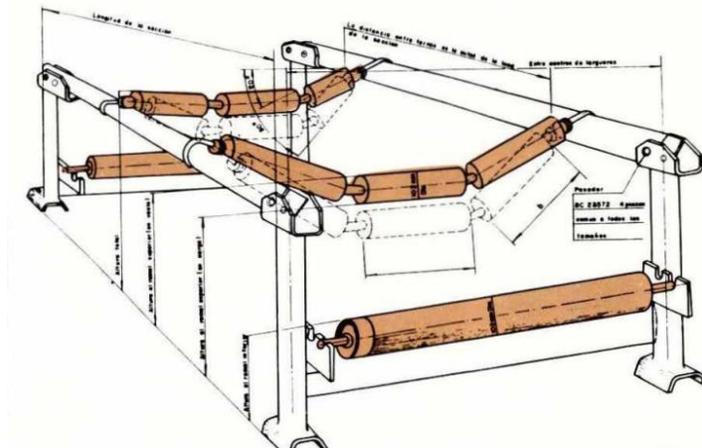
Hay varios tipos de transportadores que teniendo principio semejante de funcionamiento están adaptados a situaciones y usos diferentes. Son clasificados conforme al elemento que sirve de medio para el transporte en los siguientes tipos (Santa Cecilia, Mallana Rodríguez, Carrera Moreno, García López, & Carmona Martínez, 1996):

## Banda de rodillos

Es la forma más común implementada en las industrias, consiste en una serie de rodillos perpendiculares a la dirección de avance, como se muestra en la figura 4. Los rodillos se encuentran contenido en un armazón fijo que eleva la cinta del suelo a una altura determinada por las necesidades del transporte. Los materiales o productos son desplazados a medida que giran los rodillos.

**Figura 4**

*Banda de rodillos*



*Nota.* Tomado de (Fondo Nacional de Formación de la Industria de la Construcción FIC).

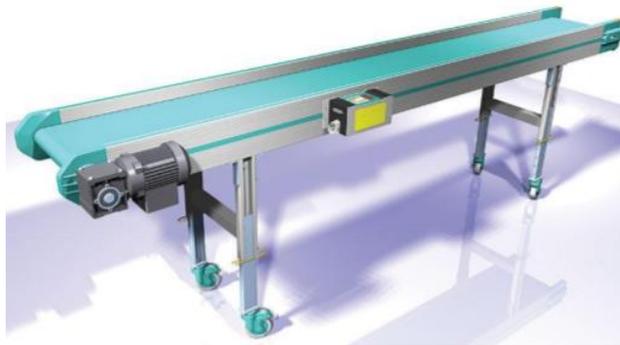
## Bandas planas

La cinta se soporta con un armazón de rodillos u otros soportes espaciados entre sí. A cada extremo de la cinta están los rodillos motores que impulsan la banda a través de tambores de accionamiento, como se ilustra en la figura 5. Los materiales se sitúan en la superficie de la banda y viajan a lo largo del recorrido de la misma. La banda forma un

lazo continuo de manera que una mitad de su longitud puede emplearse para el reparto del material y la otra mitad para el retorno (Castro Medina, Martínez González, & Ravelo Acuña, 2011).

### **Figura 5**

#### *Banda Plana*



*Nota.* Tomado de (Castro Medina, Martínez González, & Ravelo Acuña, 2011).

### **Bandas con cadenas**

Están formadas por lazos de cadena sin fin alrededor de ruedas dentadas motorizadas como se observa en la figura 6. Puede haber una o más cadenas operando en paralelo para formar la cinta. Las cadenas viajan a lo largo de canales que proporcionan soporte para las secciones flexibles de la cadena (Castro Medina, Martínez González, & Ravelo Acuña, 2011).

### **Figura 6**

#### *Bandas con cadenas*



*Nota.* Tomado de (Castro Medina, Martínez González, & Ravelo Acuña, 2011)

### **Bandas tipo flexible**

Son bandas completamente ajustables al terreno y con unidades capaces de realizar configuraciones de inclinación como se indica en la figura 7. Este tipo de transportadores permite obtener un amplio rango de aplicaciones en el manejo de materiales como: cajas, sacos, latas paquetes, botellas, etc. (Vizuet Alcocer, 2010)

### **Figura 7**

*Transportador flexible*



*Nota.* Tomado de (Vizuet Alcocer, 2010)

### **Bandas con listones**

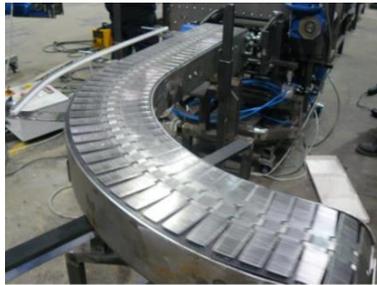
Este sistema emplea plataformas individuales conectadas a una cadena continua en movimiento. Aunque el mecanismo impulsor es la cadena, funciona en gran medida como una cinta plana. Los caminos son generalmente en línea recta, pero tiene la

posibilidad de introducir curvas ya que posee características de las bandas tipo flexible, como se observa en la figura 8. (Castro Medina, Martínez González, & Ravelo Acuña, 2011)

Es un equipo versátil ya que optimiza los procesos y no requiere de mantenimiento constante, este tipo de transportadores es útil en procesos de etiquetado, codificado, procesos de empaquetado y procesos de llenado.

### **Figura 8**

*Banda con listones*



Nota: Tomado de (Castro Medina, Martínez González, & Ravelo Acuña, 2011)

### **Bandas aéreas**

Es un soporte con ruedas moviéndose en un riel elevado del que puede colgar la carga impulsado por una cadena, se deslizan por un carril sobre ruedas que llevan las piezas o cajones a intervalos regulares. Este sistema permite cambiar de dirección y plano tantas veces como sean necesarias, como se observa en la figura 9. Estos transportadores tienen una amplia gama de operación de manufactura y manejo de materiales.

**Figura 9**

*Transportador aéreo*



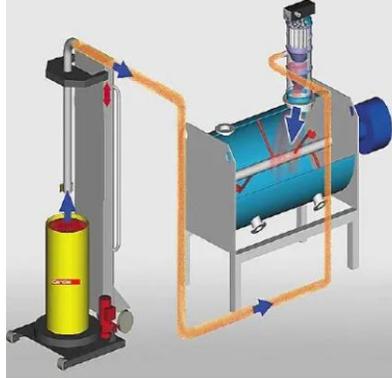
Nota: Tomado de (Soluciones Logísticas Inteligentes Sistematización de Flujo de Materiales, 2020)

**Transportadores neumáticos**

Son aquellos que utilizan el aire como medio de transporte, se utilizan para transporte de pequeños objetos cuyo peso les permite ser fácilmente trasladados o de materiales que se encuentren en pequeños trozos, como se observa en la figura 10. Están constituidos por una serie de tubos por los que se hacen pasar una corriente de aire.

**Figura 10**

*Transportador neumático*



Nota: Tomada de (Valrey, 2010)

## Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser, por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, presión, caudal, fuerza, humedad, pH, etc. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra (Meza, 2019).

Sensor y transductor se emplean a veces como sinónimos, pero sensor sugiere un significado más extenso: la ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas que, por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas directamente por los sentidos. Transductor, en cambio, sugiere que la señal de entrada y la de salida no deben ser homogéneas. Para el caso en que lo fueran se propuso el término “modificador”, pero no ha encontrado aceptación (Pallás Areny, 2003).

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos, en todos estos procesos, es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes. Los instrumentos de medición y control

permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar.

En los inicios de la era industrial, la operatoria de los procesos se llevaban a cabo con un control manual de estas variables utilizando solo instrumentos simples, manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc., control que era suficiente por la relativa simplicidad de los procesos. Sin embargo, la gradual complejidad con que estos se han ido desarrollando ha exigido su automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control, gracias a los instrumentos, ha sido posible fabricar productos complejos en condiciones estables de calidad y de características, condiciones que al operario le serían imposible de conseguir, realizando exclusivamente un control manual (Creus, 2011).

### **Sensores de posición**

Los sensores de posición se utilizan en una amplia gama de aplicaciones industriales y comerciales, desde aplicaciones militares, aparatos automotrices y en diversas industrias alrededor del mundo. La variable de posición es la segunda propiedad más común tan solo por detrás de la variable de temperatura.

Los sensores de posición pueden dar según su construcción o montaje, una posición lineal o angular.

- **Electromecánicos:** Son formado por los finales de carrera, se sitúan en lugares estratégicos a detectar, en sistemas industriales y máquinas en general. Solo pueden detectar posiciones determinadas debido a su tamaño.

- **Magnéticos:** Lo forman los detectores de proximidad magnéticos, que pueden ser los de efecto Hall y los resistivos, típicos en aplicaciones industriales.
- **Inductivos:** Son formados por los detectores de proximidad inductivos, los sincros y resolvers, los RVDT y LVDT.
- **Potenciométricos:** Lo forman los potenciómetros lineales o circulares.
- **Ópticos:** Lo forman las células fotoeléctricas y los encoders.

Bien se podría clasificar a los sensores de posición en dos tipos básicos: sensores de contacto, en los cuales, el objeto que se mide está en contacto físico con el sensor y sensores sin contacto en los que no hay contacto físico entre el objeto y el sensor.

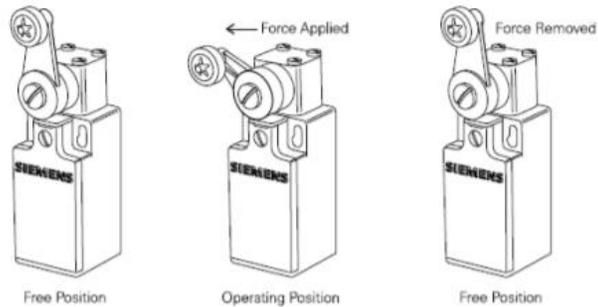
### **Sensores electromecánicos**

Un interruptor de límite de carrera, es un sensor de posición electromecánico que consiste de un cuerpo y una cabeza de operación, como se observa en la figura 11. El cuerpo del interruptor incluye contactos eléctricos para energizar o desenergizar un circuito, la cabeza de operación incorpora un cierto tipo de palanca o pulsador, designado como actuador.

El interruptor de límite de carrera estándar es un dispositivo mecánico que utiliza el contacto físico para detectar la presencia de un objeto. Cuando el objeto entra en contacto con el actuador, el actuador se gira de su posición normal a la posición de funcionamiento provocando el cambio de posición de los contactos eléctricos dentro del cuerpo del interruptor, dejando pasar el flujo de corriente o cortándolo (Vera, 2016).

## Figura 11

### *Composición de un interruptor electromecánico*



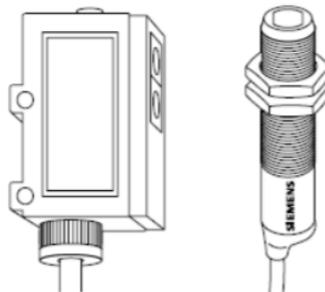
Nota: Tomado de (Vera, 2016).

## Sensores fotoeléctricos

Los sensores fotoeléctricos usan un haz de luz para detectar la presencia de un objeto a ser medido, como se observa en la figura 12. Esta es una alternativa excelente a sensores de proximidad inductivos cuando se requieren detectar objetos a largas distancias o cuando el objeto no es metálico. El sistema está compuesto de dos componentes separados un emisor y un receptor. El emisor irradia luz en longitud de ondas infrarrojas y el receptor capta la luz transmitida produciendo una señal de interrupción provocada por un objeto en la zona de detección (Vera, 2016).

## Figura 12

### *Sensor fotoeléctrico*



Nota: Tomado de (Vera, 2016)

Este tipo de sensor son ampliamente usados en procesos de manufactura tales como manejo de materiales, empaquetado, procesamiento de alimentos y transporte. Dado que el sensor detecta los objetos, ya sea en base a su reflectividad o a la cantidad de luz interrumpida, casi todos los tipos de material son detectables, esto incluye vidrio, metal, madera, plástico y líquidos.

### **Elementos de maniobra**

Son dispositivos que sin necesidad de modificar las conexiones del circuito permiten establecer, conducir e interrumpir el flujo de corriente para la cual han sido construidos y diseñados.

El uso de este tipo de elementos se rige bajo la norma IEC 602041 – 1 la cual tiene por objetivo promover la cooperación internacional en todas las cuestiones relativas a la estandarización en los campos eléctrico y electrónico, la IEC publica normas

internacionales, especificaciones técnicas, informes técnicos y protección para la seguridad.

## **Pulsadores**

Elemento electromecánico de conexión y desconexión que consta de un muelle para efectuar el retroceso una vez que se haya eliminado la presión ejercida sobre el, son de fácil instalación, robustos, fiables, ergonómicos y adaptados a cualquier condición ambiental. Pueden equiparse con variedad de cabezas de mando circulares.

Se utilizan para las operaciones relacionadas con el control y seguridad que requieren mandos tan simples y directos como sea posible (Schneider Electric Perú, 2021).

- Mandos generales de arranque y de parada, funcionamiento de ajuste y funcionamiento manual degradado.
- Mando de los circuitos de seguridad (paro de emergencia).

Existen dos estados con los que cuentan los pulsadores siendo estos normalmente abierto (NA) y normalmente cerrado (NC) y su simbología es la que podemos observar en la figura 13.

### **Figura 13**

*Pulsadores NA y NC*



Nota: Tomado de (Schneider Electric Perú, 2021)

Los órganos de accionamiento de los pulsadores deberán estar conformes con el código de colores, como se observa en la figura 14, ya que en el mercado hay pulsadores de distintos colores y cada uno de ellos cumple una función en específico dentro de un esquema de control, donde éstos no deberían ser cambiados arbitrariamente (Norma Internacional IEC 60204-1, 2005).

**Figura 14**

*Código de colores para los órganos de accionamiento de los pulsadores y sus significados*

Color	Significado	Explicación	Ejemplos de aplicación
ROJO	Emergencia	Actúa en caso de condiciones peligrosas o de emergencia.	Parada de emergencia Inicio de la función de emergencia (Véase también 10.2.1)
AMARILLO	Anomalía	Actúa en caso de condiciones anormales.	Intervención para suprimir condiciones anormales Intervención para restablecer un ciclo automáticamente interrumpido.
VERDE	Normal	Actúa para iniciar las condiciones normales	(Véase 10.2.1)
AZUL	Obligatorio	Actúa en caso de condiciones que requieran una acción obligatoria.	Función de rearme.
BLANCO	Sin significación específica atribuida	Para un inicio general de las funciones excepto la parada de emergencia. (Véase la nota)	ON/Puesta en marcha (preferente) OFF/Parada
GRIS			ON/Puesta en marcha OFF/Parada
NEGRO			ON/Puesta en marcha OFF/Parada (preferente)
NOTA – Cuando se utilicen medios de codificación suplementarios (p.e. texto, forma, posición) para la identificación de los órganos de accionamiento de los pulsadores, puede utilizarse el mismo color BLANCO, GRIS o NEGRO para diferentes funciones (p.e. BLANCO para los órganos de accionamiento de ON y OFF.			

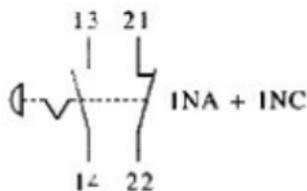
Nota: Tomado de (Norma Internacional IEC 60204-1, 2005)

### Interruptor

Elemento de maniobra utilizado para abrir o cerrar un circuito eléctrico de forma permanente, permitiendo el paso de la corriente o interrumpiéndolo. Dependiendo de su uso y aplicación existen interruptores simples, conmutados, rotativos, de palanca, de pedal, de tirador, etc. Su nombre atendiendo a las normas es “pulsador con enclavamiento” observe su simbología en la figura 15.

### Figura 15

*Simbología de un interruptor*



Nota: Tomado de (Electricidad II. Elementos de Control y Maniobra, 2020)

### Selectores

Elemento electromecánico de conexión y desconexión, que tiene una posición de reposo y varias de accionamiento, pudiendo comportarse como un conjunto de interruptores agrupados, como se observa en la figura 16. Tiene la función de abrir o cerrar contactos de acuerdo a una posición seleccionada de manera manual, existen selectores rotativos de 2, 3, 4 y 5 posiciones y puede contar con retorno automático.

**Figura 16**

*Conmutador o selector*



Nota: Tomado de (Electricidad II. Elementos de Control y Maniobra, 2020).

**Contactador electromagnético**

La norma IEC 947 y UNE – EN 60947-2, señala las características de los equipos telemecánicos usados en las industrias.

Es un dispositivo para la apertura y cierre de circuitos eléctricos, ampliamente utilizado en las instalaciones de automatismos industriales, para controlar la apertura o cierre que ofrece el contactor se realiza a través de la excitación eléctrica de un electroimán, provocando el cambio de estado de los contactos del circuito de fuerza y los circuitos auxiliares. El contactor se encuentra diseñado para efectuar elevados ciclos de maniobras, que van desde 3 hasta 1200 ciclos por hora (Rodríguez Fernández, Cerdá Filii, & Sánchez Horneros, 2014).

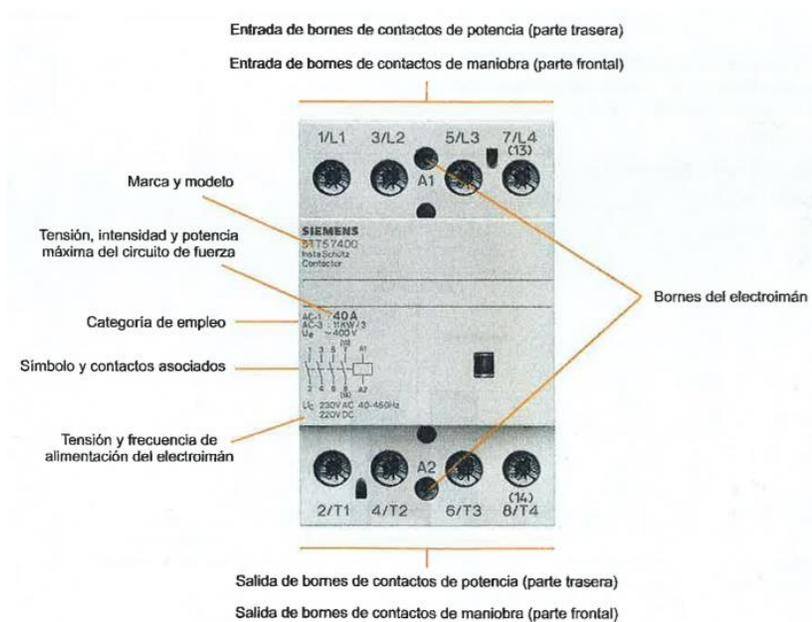
Los valores característicos asociados a los contactores de baja tensión son los siguientes, observar figura 17:

- Tensión nominal (V).
- Intensidad nominal (A).

- Tensión de aislamiento (kV).
- Tensión y corriente de alimentación del electroimán.
- Número de polos de potencia.
- Número de salidas y contactos auxiliares.
- Categoría de empleo.
- Intensidad de corta duración (kA/s).
- Endurancia mecánica.
- Endurancia eléctrica.

**Figura 17**

*Parámetros característicos de un contactor*



Nota: Tomado de (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiu, & Sánchez Horneros, 2014).

### Categoría de empleo de los contactores.

Los contactores se dividen en dos grandes grupos, que depende de las cargas que gobiernan, en sí, si estas operan bajo corriente alterna o corriente continua. Dentro de cada grupo, y en función del tipo de carga recomendada, existe una clasificación más específica que subdivide los contactores en categorías de empleo, observe la figura 18. (Schneider Electric, 1999)

**Figura 18**

*Categoría de los contactores en corriente alterna*

Categoría	Uso y características
AC-1	Se aplica a todos los aparatos de uso de corriente alterna, cuyo factor de potencia es al menos igual a 0,95 ( $\cos \varphi \geq 0,95$ ). Ejemplos de utilización: calefacción, bloques resistivos, distribución.
AC-2	Esta categoría rige el arranque, el frenado a contracorriente y la marcha "a sacudidas" de los motores de anillos. <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el cierre, el contactor establece la corriente de arranque, aproximadamente 2,5 veces la corriente nominal del motor.</li> <li>• En la apertura, deberá cortar la corriente de arranque, con una tensión igual a la tensión de la red.</li> </ul>
AC-3	Se aplica a los motores de jaula en los que el corte se realiza con el motor lanzado. <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el cierre, el contactor establece la corriente de arranque, que es de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor.</li> <li>• En la apertura, el contactor corta la corriente nominal absorbida por el motor; en ese momento, la tensión en los bornes de sus polos se acercará al 20 % de la tensión de la red. El corte resulta sencillo.</li> </ul> Ejemplos de utilización: todos los motores de jaula habituales, ascensores, escaleras mecánicas, cintas transportadoras, elevadores de cangilones, compresores, bombas, trituradoras, climatizadores, etc.
AC-4	Esta categoría se aplica a las aplicaciones con frenado a contracorriente y marcha "a sacudidas" con motores de jaula o de anillos. El contactor se cierra bajo un pico de corriente que puede alcanzar de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor. Al abrirse, corta esta misma corriente bajo una tensión tan elevada que la velocidad del motor se debilita. Esta tensión puede llegar a ser igual que la tensión de la red. El corte resulta brusco. Ejemplos de utilización: máquinas de impresión, máquinas de trefilar, elevadores, equipos de la industria metalúrgica.
AC-14	Se aplica al control de cargas electromagnéticas en las que la potencia absorbida, cuando el electroimán está cerrado, es inferior a 72 VA. Ejemplo de utilización: control de bobina de contactores y relés.
AC-15	Se aplica al control de cargas electromagnéticas en las que la potencia absorbida, cuando el electroimán está cerrado, es inferior a 72 VA. Ejemplo de utilización: control de bobina de contactores.

Nota: Tomado de (Schneider Electric, 1999).

### **Relé auxiliar**

Al ser un dispositivo auxiliar de control su estructura y función es muy similar a la de un contactor con la única diferencia de no poseer contactos principales y la limitación que poseen a la hora del manejo de altas corrientes (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiu, & Sánchez Horneros, 2014).

### **Válvula neumática**

Se denomina válvula a una pieza que sirve para interrumpir la comunicación entre dos órganos, son los dispositivos que dirigen y regulan el aire comprimido gobiernan la entrada y salida, el cierre o habilitación, la dirección, la presión y el caudal de aire comprimido, con el fin de realizar un trabajo propuesto (Moreno, 2011).

Para llevar a cabo la elección de una válvula neumática, es conveniente recurrir a ciertos criterios de selección, que posibilitarán la siguiente clasificación:

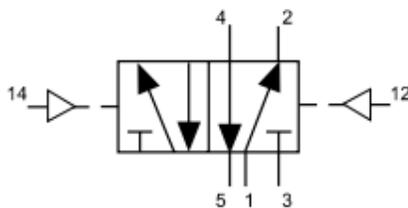
- **Número de vías:** Es el número de orificios controlados en la válvula, no es posible un número de vías inferior a 2.
- **Posiciones:** Es el número de maniobras diferentes que una válvula puede ejecutar, no es posible un número de posiciones inferior a 2.
- **Caudal:** Es el volumen de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo.
- **Sistemas de accionamiento:** Las válvulas requieren un agente externo o interno que altere las direcciones del flujo, efectúe los bloqueos y produzca la liberación de los escapes. Para eso existen diversos tipos de accionamientos como musculares, mecánicos, neumáticos, eléctricos y

combinados.

Según ya se ha dicho, las válvulas direccionales se designan de acuerdo al número de vías, posiciones y sistema de accionamiento, como se observa en la figura 19.

### Figura 19

*Válvula 5 vías, 2 posiciones y accionamiento neumático*



Nota: Tomado de (Jacareí, 2003)

### Elementos de protección

La norma IEC 947 y UNE – EN 60947-2, IEC 60204-1 brinda lineamientos para los elementos de protección.

Existen procedimientos técnicos que son indispensables dentro del diseño y elaboración de circuitos eléctricos, como lo es la protección de los elementos dentro de una instalación eléctrica o para proteger a las personas. Dentro de estas acciones se encuentran todos los dispositivos encargados de detectar condiciones anormales de funcionamiento y de realizar las acciones para evitar daños a partir de ese mal funcionamiento, interrumpiendo la alimentación de energía en situaciones anormales.

Los principales elementos encargados de esa función son los relés térmicos o magnetotérmicos y los fusibles, que se encargan de detectar y despejar las sobrecargas y cortocircuitos (D'Addario, 2015).

## Fusibles

Los fusibles proporcionan una protección fase a fase, con un poder de corte muy elevado y un volumen reducido contra fallas de cortocircuito y sobretensiones (Schneider Electric, 1999). Todas las instalaciones deberán estar protegidas por fusibles que aseguren la interrupción de corriente para una intensidad anormal, sin dar lugar a formación de arcos eléctricos ni antes ni después de la interrupción. Los fusibles deberán ir colocados sobre material aislante incombustible y estarán contruidos de forma que no puedan proyectar metal al fundirse, permitirán su recambio bajo tensión sin peligro alguno (Norma Internacional IEC 60204-1, 2005).

Los fusibles deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Resistir durante una hora, una intensidad igual a 1,3 veces el valor nominal, para secciones de conductores de 10 mm<sup>2</sup> en adelante y 1,2 veces la de su valor nominal para secciones inferiores a 10 mm<sup>2</sup>.
- Fundirse en menos de media hora, con una intensidad igual a 1,6 veces la de su valor nominal, para secciones de conductores de 10 mm<sup>2</sup> en adelante, y 1,4 veces de su valor nominal para secciones inferiores a 10 mm<sup>2</sup>.
- La intensidad nominal del fusible será, como máximo, igual al valor de la intensidad máxima de servicio del conductor (Roldán Vilorio).

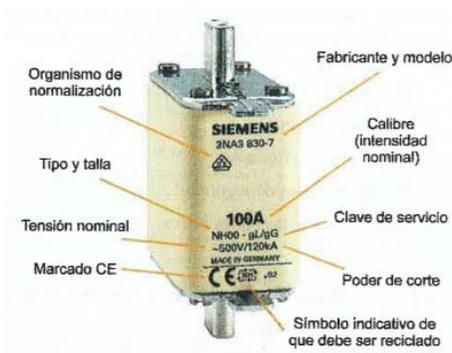
Los valores característicos asociados a los fusibles de baja tensión quedan definidos por los siguientes parámetros, observe la figura 20:

- Tensión nominal (V).

- Corriente nominal (A).
- Poder de corte (kA).
- Tipología y talla.
- Corriente de fusión.
- Temperatura de trabajo.

### Figura 20

*Parámetros característicos de un fusible*



Nota: Tomado de (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiu, & Sánchez Horneros, 2014).

### Fusibles tipo gG

Protegen contra cortocircuitos y contra sobrecargas a los circuitos con picos de corriente poco elevados ejemplo: circuitos resistivos. Normalmente tienen que tener un valor de corriente inmediatamente superior a la corriente del circuito protegido a plena carga.

### Fusibles tipo aM

Protegen contra cortocircuito a los circuitos sometidos a picos de corriente de arranque de motores asíncronos. Las características de fusión de los fusibles aM dejan pasar las sobre intensidades generadas por las máquinas eléctricas a la hora del arranque, generalmente son de 5 a 7 veces la corriente nominal de estos actuadores, a estos tipos de fusibles también se los conoce como de efecto retardado (Schneider Electric, 1999).

### **Interruptor automático**

Están diseñados para circuitos eléctricos de gran potencia, suelen encontrarse ubicados en los cuadros generales de grandes instalaciones como naves industriales, talleres, estadios deportivos y edificios de gran envergadura, etc. Es un dispositivo de protección que se basa en el mismo principio de funcionamiento del fusible, pero con la ventaja que no tienen que ser sustituidos cada vez que se produce una sobreintensidad. Están diseñados para circuitos eléctricos de gran potencia, suelen encontrarse ubicados en los cuadros generales de grandes instalaciones como naves industriales, talleres, edificios de gran envergadura, etc. Los interruptores automáticos se clasifican en dos grupos en función del tipo de protección que ofrece:

- **Interruptor automático magnético:** protege únicamente frente a cortocircuitos, dispone de una bobina que actúa por atracción en el caso de que la intensidad de la corriente sea anómala. El uso de estos elementos es muy frecuente en los circuitos industriales que alimentan a motores eléctricos, suele utilizarse en combinación con relés térmicos.
- **Interruptores automático magnetotérmico:** dispone en su interior de dos tipos de relés uno térmico que se encarga de proteger contra sobrecargas y otro

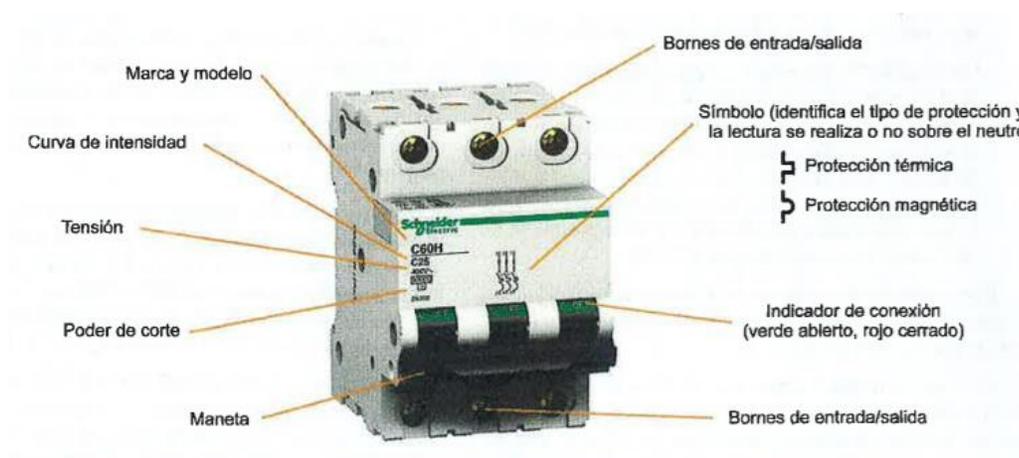
magnético que protege contra cortocircuitos. El relé térmico actúa por dilatación al aumentar la corriente nominal que fluye sobre él. Este es el dispositivo de protección más utilizado en las instalaciones eléctricas industriales (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiu, & Sánchez Horneros, 2014).

Los valores característicos asociados a los interruptores magnetotérmicos quedan definidos por los siguientes parámetros, observar la figura 21:

- Intensidad nominal (A).
- Tensión nominal (V).
- Poder de corte (A o kA).
- Número de polos.
- Temperatura de trabajo.

## Figura 21

*Parámetros característicos de un interruptor automático*



Nota: Tomado de (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiu, & Sánchez Horneros, 2014).

## Relé térmico

Los fallos más habituales en las máquinas son las sobrecargas, que se manifiestan a través de un aumento de la corriente absorbida por el motor y de ciertos efectos térmicos, cada vez que se sobrepasa la temperatura límite de funcionamiento, los aislantes se desgastan prematuramente, acortando su vida útil (Schneider Electric, 1999).

La correcta protección contra las sobrecargas resulta imprescindible para evitar daños permanentes en las máquinas y para eso se hace necesario la inclusión de relés térmicos en la configuración de los circuitos industriales. El relé térmico es un dispositivo de protección diseñado para actuar frente a sobrecargas, el elemento fundamental de un relé térmico es una lámina bimetálica, que sufre una deformación cuando la corriente que lo atraviesa es superior a la nominal produciendo la apertura del circuito.

Los valores característicos asociados a los relés térmicos quedan definidos por los siguientes parámetros, observe la figura 22:

- Tensión nominal (V).
- Intensidad nominal (A).
- Contactos auxiliares.
- Características de montaje y forma constructiva.
- Temperatura de trabajo.
- Tripolares

## Figura 22

### Características de un relé térmico



Nota: Tomado de (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiu, & Sánchez Horneros, 2014).

Estos dispositivos siempre deben ir acompañados en los circuitos eléctricos por dispositivos de protección contra cortocircuito, ya que en estos casos, dado que la intensidad de defecto es muy elevada pero dura poco tiempo, el bimetálico del relé térmico no tiene tiempo de calentarse y la protección térmica no resulta suficiente para garantizar la seguridad del actuador (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiu, & Sánchez Horneros, 2014).

### Indicadores luminosos

Son los dispositivos en los que se transforma la energía eléctrica en energía lumínica. Son muy comunes en los circuitos de maniobra para indicar el estado de los procesos industriales, para llamar la atención del operador o para indicar que debería

ejecutar una determinada tarea. Los colores: rojo, amarillo, verde y azul se utilizan normalmente para esta función, para más detalles observar la figura 23.

También se suele usar para confirmar una orden o una condición, para confirmar la terminación de un cambio o período de transición. Los colores Azul y blanco se utilizan normalmente para esta función y el verde puede utilizarse en ciertos casos (Norma Internacional IEC 60204-1, 2005).

### Figura 23

#### *Colores y significado de los indicadores luminosos*

Color	Significado	Explicación	Acción por el operador
ROJO	Emergencia	Condiciones peligrosas	Acción inmediata a realizar en condiciones peligrosas (p.e. por el accionamiento de la parada de emergencia).
AMARILLO	Anomalía	Condiciones anormales; Condiciones críticas amenazantes	Control y/o intervención (p.e. mediante el restablecimiento de la función prevista)
VERDE	Normal	Condiciones normales	Opcional
AZUL	Obligatorio	Indicación de una condición que requiere la acción por el operador.	Acción obligatoria
BLANCO	Neutro	Otras condiciones; Puede utilizarse cada vez que exista duda sobre la aplicación del ROJO AMARILLO, VERDE o AZUL	Control

Nota: Tomado de (Norma Internacional IEC 60204-1, 2005).

**Luces intermitentes.** Para una distinción o información adicional y especialmente dar un énfasis adicional, las luces intermitentes pueden utilizarse para los siguientes fines:

- Para llamar la atención.
- Para solicitar una acción inmediata.
- Para indicar una discrepancia entre la orden y el estado actual.
- Para indicar un cambio en el proceso.

Se recomienda utilizar la frecuencia más elevada para las luces intermitentes que denoten información de prioridad superior (véase la Norma IEC 60073 para niveles recomendados de intermitencia y la relación impulso/pausa) (Norma Internacional IEC 60204-1, 2005).

### **Tableros eléctricos**

Los tableros son equipos eléctricos de una instalación que contienen en su interior los equipos de conexión, maniobra o comando, medición, protección, alarma y señalización, desde los cuales se opera toda la instalación o parcialmente las instalaciones de una nave industrial y debe proveer un alto nivel de seguridad y confiabilidad (Norma Ecuatoria de Construcción NEC, 2013, pág. 27).

Como todo componente de una instalación eléctrica que deben estar homologados por alguna norma, esta no es la excepción de los tableros, se encuentra regida por la norma IEC 61439-1 y por la norma ecuatoriana de construcción, estas normas se aplican a cuadros de baja tensión. La IEC 61439-1 establece normas generales para los cuadros de baja tensión, mientras que las demás partes especifican las tipologías concretas de los cuadros (ABB-IEC61439, pág. 5).

Las partes previstas son las siguientes:

- IEC 61439-2: “Cuadros de distribución de potencia y maniobra”;
- IEC 61439-3: “Cuadro de distribución” (sustituye a IEC 60439-3);
- IEC 61439-4: “Cuadros para obras” (sustituye a IEC 60439-4);
- IEC 61439-5: “Cuadros para la distribución de potencia” (sustituye a IEC

60439-5);

- IEC 61439-6: “Sistemas de canalización para embarrado” (sustituye a IEC 60439-2).

Atendiendo a la función y ubicación de los distintos tableros dentro de la instalación, estos se clasificarán de la siguiente forma:

### **Tableros generales**

Son aquellos cuadros principales de las instalaciones o aquellos encargados de la distribución de energía proveniente de las fuentes principales de suministro eléctrico, como se observa en la figura 24. En su interior podemos encontrar los dispositivos de protección y maniobra que protegen los alimentadores y que permite operar sobre toda la instalación interior en forma conjunta o fraccionada (Norma Ecuatoria de Construcción NEC, 2013, pág. 28).

### **Figura 24**

*Cuadro general de distribución*



Nota: Tomado de (Tableros de distribución y control, s.f.).

### **Tableros generales auxiliares**

Son aquellos que gestionan la energía proveniente de un tablero general y desde ellos se protegen y operan subalimentadores que alimentan tableros de distribución, como se observa en la figura 25. Hay cuadros que llegan varias líneas de socorro, en los casos de corte del suministro eléctrico, aporta la energía suficiente para mantener operaciones prioritarias (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiu, & Sánchez Horneros, 2014).

### **Figura 25**

*Tablero general auxiliar*



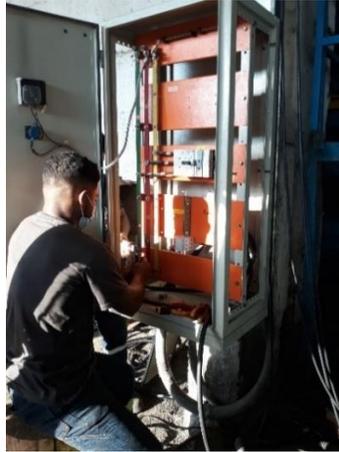
Nota: Tomado de (M&T, 2021).

### **Tableros de distribución**

Son tableros que contienen dispositivos de protección y maniobra que nos permite proteger y operar sobre los circuitos en que se encuentran divididos las instalaciones o parte de ellas, pueden ser alimentadas desde un tablero general o un tablero general auxiliar (Norma Ecuatoria de Construcción NEC, 2013). Este proyecto parte de un tablero de distribución ubicado en la empresa Contrachapados de Esmeraldas S.A Codesa, el cual es el encargado de alimentar y proteger dos tableros de control que hacen parte de la nueva línea de producción instalada recientemente, como se observa en la figura 26.

**Figura 26**

*Tablero de distribución Codesa*

**Tableros de control o comando**

Son aquellos tableros que albergan en su interior los elementos de lógica cableada, elementos de automatización programable, luces pilotos, así como los dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos, este conjunto de elementos permite operar de manera simultánea sobre circuitos individuales o grupos de circuitos, observe la figura 27.

**Figura 27**

*Tablero de control, Codesa*



### **Tableros integrados a máquinas**

Realizan la función de servir de panel de operación entre usuario y máquina, con los elementos de maniobra (interruptores, pulsadores y luces piloto) los fabricantes de máquinas desarrollan este tipo de cuadros para que el operador manipule las máquinas de forma manual.

### **Figura 28**

*Tablero integrado a máquinas, Codesa*



### **Construcción y especificaciones técnicas de un tablero eléctrico**

Los tableros deben ser fabricados en materiales resistentes al fuego, autoextinguibles, no higroscópicos, resistentes a la corrosión o estar adecuadamente

protegido, deberán contar con una cubierta interna sobre los equipos y con una puerta exterior. La cubierta interna tendrá por finalidad impedir el contacto de cuerpos extraños con las partes energizadas, o bien, que partes energizadas queden al alcance del usuario al operar las protecciones o dispositivos de maniobra; deberá contar con perforaciones de tamaño adecuado como para dejar pasar con libertad el cableado y demás conexiones pertinentes, sin que ello permita la introducción de cuerpos extraños. La puerta exterior será totalmente cerrada con un grado de hermeticidad de acuerdo a su aplicación y ubicación, permitiéndose sobre ella indicadores, equipos de medida, selectores o pulsadores (Norma Ecuatoria de Construcción NEC, 2013, pág. 29).

Los elementos de operación de las protecciones o dispositivos de maniobra solo serán accesibles abriendo la puerta exterior la que deberá permanecer cerrada, para lo cual deberá contar con una chapa con llave o un dispositivo equivalente.

Los tableros podrán ser montados empotrados o sobrepuestos en una pared si son de baja o mediana capacidad, tamaño y peso. Si los tableros son de gran capacidad, tamaño y peso, éstos deberán ser autosoportados mediante una estructura metálica anclada directamente al piso o sobre una estructura de hormigón (Norma Ecuatoria de Construcción NEC, 2013).

El tamaño de caja, gabinete o armario se seleccionará considerando que el cableado de interconexión entre sus dispositivos deberá hacerse a través de bandejas o canaletas de material no conductor que permitan el paso cómodo y seguro de los conductores. Deberá quedar un espacio suficiente entre las paredes de las cajas, gabinetes o armarios y las protecciones o dispositivos de comando y/o maniobra de modo tal de permitir un fácil mantenimiento del tablero. Se deberá considerar un volumen libre

de 25% de espacio libre para proveer ampliaciones de capacidad del tablero (Norma Ecuatoria de Construcción NEC, 2013).

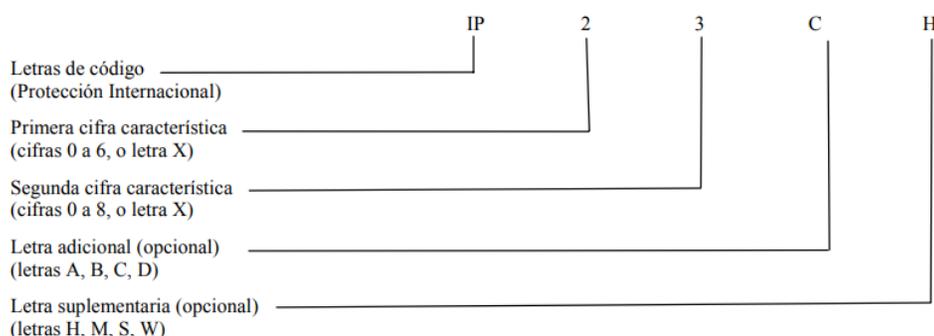
### Grado de protección IP de envoltentes

El código de protección IP se encuentra unificado internacionalmente e indica el grado de protección proporcionado por las envoltentes contra el acceso a partes peligrosas, contra la penetración de cuerpos sólidos y la entrada de líquidos. El código IP es el sistema de identificación de los grados de protección conforme a los lineamientos de la norma IEC 60529 (Norma internacional IEC 60529, 2002).

Para denominar el grado de protección, se determina por el IP seguido de dos cifras características o en ocasiones a estas dos cifras le acompañan dos letras adicionales, como se observa en la figura 29.

### Figura 29

#### Disposición del código IP



Nota: Tomado de (Norma internacional IEC 60529, 2002).

**Primera cifra característica:** Indica simultáneamente la protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas, impidiendo o limitando la penetración de

una parte del cuerpo humano y contra el ingreso de cuerpos extraños. Esta cifra cuando mayor es su valor, será mayor la protección contra cuerpos sólidos extraños de menor tamaño, hasta su valor máximo que es 6 en la que está totalmente protegida contra cuerpos sólidos (Norma internacional IEC 60529, 2002).

**Segunda cifra característica:** Corresponde al grado de protección de los equipos eléctricos contra la penetración de líquidos en la envolvente. Cuanto mayor sea la segunda cifra, será mayor la protección contra la penetración de líquidos en la envolvente, para la inmersión temporal o prolongada e inapropiadas para la exposición a chorros de agua (Norma internacional IEC 60529, 2002).

**Letra adicional:** Indica el grado de protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas. Las letras adicionales se utilizan solamente, si la protección real contra el acceso a partes peligrosas es más alta que la indicada por la primera cifra característica o si solamente se indica la protección contra el acceso a partes peligrosas, siendo la primera cifra característica reemplazada por una X (Norma internacional IEC 60529, 2002).

**Letra suplementaria:** En la norma particular del producto puede añadirse una información suplementaria mediante una letra suplementaria, esta excepción debe responder a las exigencias de esta norma básica de seguridad, la norma del producto debe explicar claramente el procedimiento adicional a realizar durante los ensayos correspondientes a una clasificación dada (Norma internacional IEC 60529, 2002).

Toda esta información expuesta anteriormente se recopila en la figura 30 para una mejor comprensión.

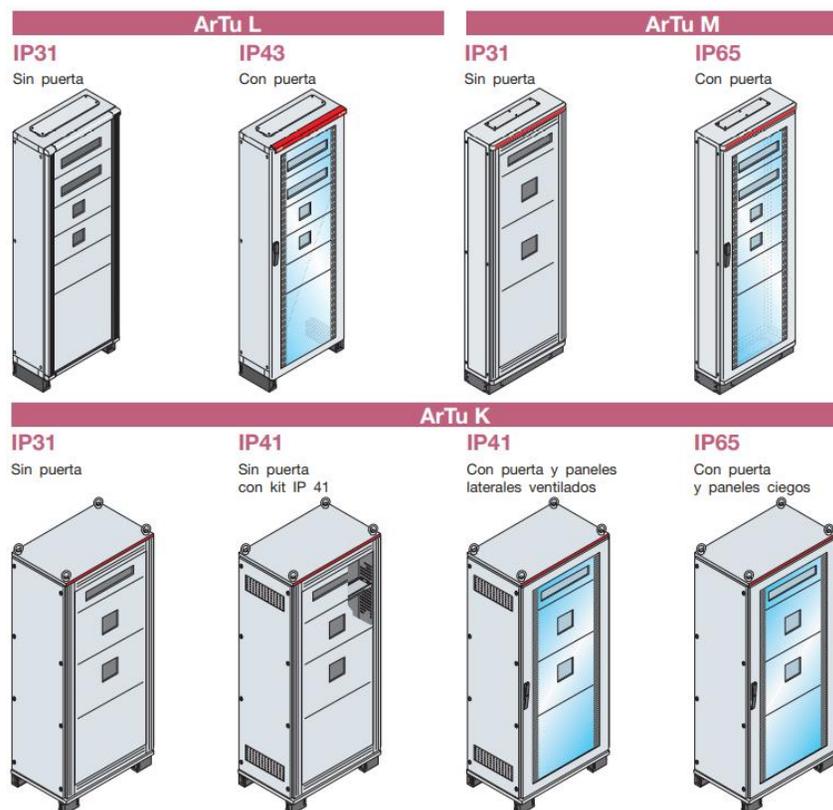
**Figura 30***Grado de protección IP de las envolventes*

	Protección del equipo	Contra el acceso a piezas peligrosas con:
<b>Primera cifra característica (entrada de cuerpos sólidos extraños)</b>	<b>0</b>	no protegido
	<b>1</b> $\geq$ 50 mm de diámetro	dorso de la mano
	<b>2</b> $\geq$ 12,5 mm de diámetro	dedo
	<b>3</b> $\geq$ 2,5 mm de diámetro	herramienta
	<b>4</b> $\geq$ 1 mm de diámetro	cable
	<b>5</b> protegido contra el polvo	cable
	<b>6</b> totalmente protegido contra el polvo	cable
<b>Segunda cifra característica (entrada de agua)</b>	<b>0</b> no protegido	
	<b>1</b> caída vertical	
	<b>2</b> caída de gotas de agua (inclinación 15°)	
	<b>3</b> lluvia	
	<b>4</b> salpicadura de agua	
	<b>5</b> chorro de agua	
	<b>6</b> chorros potentes (similar a olas marinas)	
	<b>7</b> inmersiones temporales	
	<b>8</b> inmersión continua	
<b>Letra adicional (opcional)</b>	<b>A</b>	dorso de la mano
	<b>B</b>	dedo
	<b>C</b>	herramienta
	<b>D</b>	cable
<b>Letra suplementaria (opcional)</b>	<b>H</b> equipos de alta tensión	
	<b>M</b> prueba con agua en equipos en marcha	
	<b>S</b> prueba con agua en equipos estacionarios	
	<b>W</b> condiciones atmosféricas	

En lo relativo a los tableros instalados en exteriores y sin protecciones adicional, la segunda cifra deberá ser como mínimo igual a 3. A continuación se observa los grados de protección que puede obtenerse con los cuadros ABB ArTu, observar la figura 31.

**Figura 31**

*Grado de protección IP de los tableros ABB ArTu*



Nota: Tomado de (ABB-IEC61439).

### **Grado de protección IP y entornos de instalación**

Actualmente no existe ninguna norma que relacione el grado de protección IP con el entorno de instalación de los tableros, excepto en el caso de entornos especiales con riesgo de explosión (IEC 64-2) (ABB-IEC61439, pág. 15). A modo ilustrativo, la figura 32, extraída del cuaderno de aplicaciones técnicas N° 9 de ABB, brinda una pequeña ayuda a la hora de seleccionar los tableros eléctricos, según el entorno y los grados de protección IP con los que debe contar el cuadro, como se observa en la figura 32.

Figura 32

## Grado de protección y entornos de instalación

Factorías industriales	IP 31-41	IP 43	IP 65	Factorías industriales	IP 31-41	IP 43	IP 65
acumuladores (fabricación)		•		grabado de metales		•	
ácidos (fabricación y almacenamiento)		•		lana (cardadura)			•
bebidas alcohólicas (almacenamiento)		•		explotaciones lecheras			•
alcohol (fabricación y almacenamiento)		•		lavanderías		•	•
aluminio (fabricación y almacenamiento)			•	lavanderías públicas			•
animales (crianza)			•	madera (ebanistería)			•
alquitrán para asfalto (almacenamiento)			•	líquidos halógenos (uso)	•		
fábricas de cerveza			•	líquidos inflamables (almacenamiento y uso)	•		
cal (hornos)			•	licores (fabricación)	•		
carbón (almacenes)			•	máquinas (salas de máquinas)	•		
combustibles (fabricación y almacenamiento)			•	carniceros			•
papel (almacenamiento)	•			magnesio (fabricación, procesamiento y almacenamiento)	•		
papel (fabricación)		•	•	materiales plásticos (fabricación)			•
papel (preparación de la pulpa)			•	mataderos			•
cartón (fabricación)		•		ladrillos (fábrica)			•
líneas de embotellado			•	metales (tratamiento de metales)		•	
alquitrán (tratamiento)		•		motores térmicos (pruebas)	•		
canteras			•	munición (polvorines)		•	
celulosa (fabricación de objetos)	•			níquel (tratamiento de minerales)		•	
celulosa (fabricación)			•	petróleo (extracción)	•		
cementeras			•	cuero (fabricación y almacenamiento)	•		
cloro (fabricación y almacenamiento)		•		peletería (separación)			•
plantas de carbonización			•	pintura (fabricación y almacenamiento)		•	
pegamentos (fabricación)		•		fábrica de pólvora			•
líquidos combustibles (almacenamiento)		•		sustancias químicas (fabricación)	•		•
curtidurías			•	perfumes (fabricación y almacenamiento)	•		
fertilizantes (fabricación y almacenamiento)			•	refinerías petrolíferas			•
cromado (fábricas de)		•		cobre (tratamiento de minerales)	•		
decapado			•	residuos (tratamiento)			•
detergentes (fabricación)			•	soldaduras		•	
destilerías		•		fábricas de embutidos			•
electrólisis		•		jabones (fabricación)	•		
explosivos (fabricación y almacenamiento)			•	aserraderos			•
ebanistería			•	seda y pelo (preparación)			•
ferreteria (fabricación)	•			silos de grano o azúcar			•
hierro (fabricación y tratamiento)			•	sosa (fabricación y almacenamiento)		•	
hilaturas			•	tejidos (fabricación)			•
fabricación de queso			•	fábricas de teñido			•
gas (fábricas y almacenamiento)	•			imprentas	•		
yeso (fabricación y almacenamiento)			•	pinturas (fabricación y almacenamiento)		•	
gomaespuma (fabricación y transformación)			•	prendas de ropa (depósitos)	•		
cereales (fábricas y almacenamiento)			•	vidrierías		•	
grasas (tratamiento de cuerpos grasos)			•	cinc (procesamiento del zinc)	•		
hidrocarburos (extracción)		•	•	azufre (tratamiento)			•
tintas (fabricación)	•			refinerías de azúcar			•

Nota: Tomado de (ABB-IEC61439).

### Controladores lógicos programables

Los cambios que se están dando en la producción y servicio demandan constantemente procesos de actualización y capacitación, así como también la inclusión

de nuevas tecnologías. Los sistemas informáticos, mecánicos, electrónicos y de comunicaciones se integran entre ellos en un todo armónico y funcional para dar paso a la automatización, convirtiéndose en una disciplina de base común.

La automatización consiste en el control y en la gestión de sistemas automáticos, accionados mediante un conjunto de técnicas y dispositivos particulares, se convierte así en el fundamento de todos los procesos industriales avanzados, la etapa de la lógica cableada está llegando a su fin, para permitir la inclusión de los controladores lógicos programables (Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2006, pág. 12).

Una de las principales razones para la inclusión de los autómatas programables en las industrias, es la problemática surgida a partir de la lógica cableada, su poca o nula flexibilidad a la hora de realizar cambios en la línea de producción y la probabilidad de avería es enorme.

Un controlador lógico es un dispositivo que realiza funciones lógicas, combinacionales y secuenciales, se encuentra diseñada para controlar en tiempo real varios procesos en un medio industrial, debido a que ciertas etapas en los procesos de fabricación se realizan en ambientes nocivos para el ser humano, ruido, temperaturas extremadamente altas o bajas, tareas repetitivas de alta frecuencia y peligrosas. Se decidió dejar estas tareas a un ente que no fuera afectado por las condiciones ambientales adversas.

### **Norma IEC 61131**

La finalidad de esta norma es definir e identificar las características principales que se refieren a la selección y aplicación de los PLC's y sus periféricos, así como especificar los requisitos mínimos que deben poseer los dispositivos, las condiciones de

servicio y la seguridad en general. Los PLC's y sus periféricos asociados están concebidos para ser ampliamente utilizados en entornos industriales (International Standard IEC 61131-1, 2003).

La IEC 61131 es el primer paso en la estandarización de los controladores lógicos programables y sus periféricos, incluye los lenguajes de programación a utilizar.

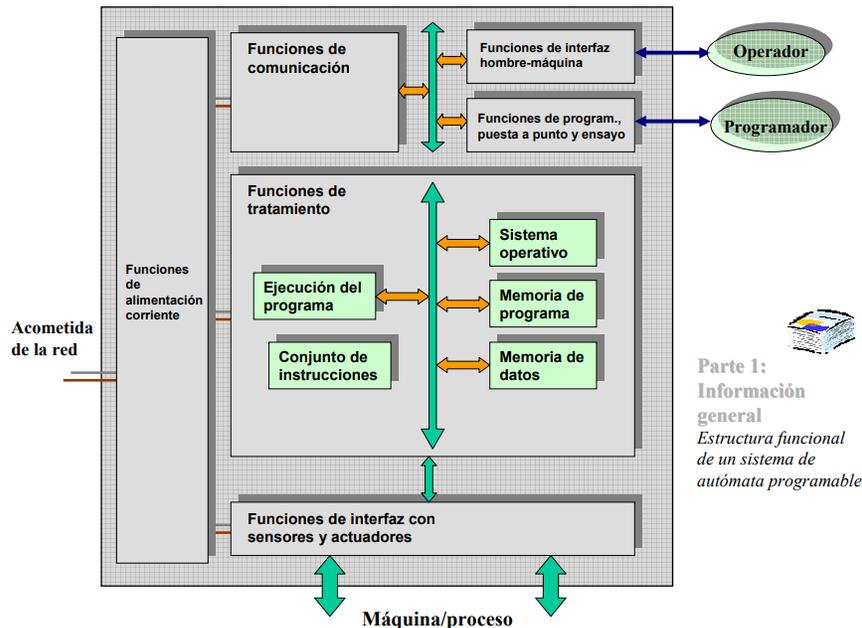
### **Características funcionales**

En la figura 33 se representa la estructura general con los componentes funcionales del sistema de un controlador lógico programable, estas funciones se comunican entre sí y con el proceso a controlar.

- Función de tratamiento de la señal
- Función de interfaz con los sensores y actuadores
- Función de comunicación
- Función de interfaz hombre – máquina
- Funciones de programación, puesta a punto, ensayo y documentación
- Funciones de alimentación de corriente.

### **Figura 33**

*Estructura funcional de un autómata programable*



Nota: Tomado de (Mateos Mertín, 2006).

La CPU procesa las señales obtenidas de los sensores, así como se encarga del almacenamiento del programa de aplicación, el almacenamiento de datos, el sistema operativo y se encarga de la ejecución de las funciones del programa.

### Disponibilidad y fiabilidad

La disponibilidad y fiabilidad es responsabilidad del usuario en cuanto a:

- Arquitectura del sistema automatizado (redundancia, funciones de diagnóstico)
- Arquitectura del sistema del autómatas programables (estructura modular con autodiagnóstico)
- Diseño, ensayo y mantenimiento del programa de aplicación (incluir funciones de análisis y detección de averías)

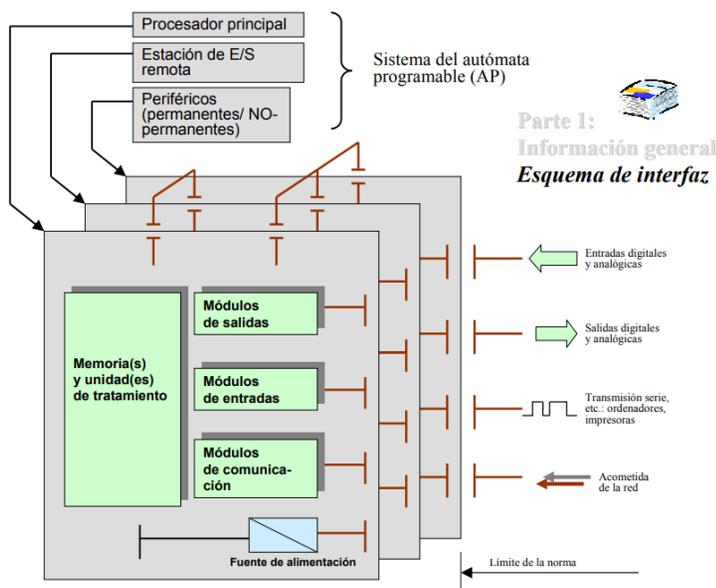
- Condiciones de instalación y servicio (mejoras en la condición de trabajo y del entorno).

### Características ergonómicas

- Uso eficaz del sistema del autómeta programable y sus periféricos, reducción de errores, fatiga y riesgo para el operario
- Indicadores de estado, para CPU's, fuentes de alimentación y el sistema de E/S
- Pantallas y teclados. Visibilidad, disposición y confirmaciones.

**Figura 34**

*Esquema de interfaz*



Nota: Tomado de (Mateos Mertín, 2006).

## **Especificaciones y ensayos de los equipos**

En este apartado se especifican:

- Los requisitos eléctricos, mecánicos y funcionales para los autómatas programables y los periféricos correspondientes
- La información que el fabricante suministra
- Los métodos y procedimientos de ensayos que han de utilizarse para la comprobación del cumplimiento de los requisitos.

## **Condiciones de servicio y requisitos del entorno físico**

Es absoluta responsabilidad del usuario que se cumpla las condiciones de servicio del autómata y sus periféricos:

- Condiciones del entorno: temperatura, humedad, contaminación, inmunidad a la corrosión y altitud
- Condiciones y requisitos eléctricos: alimentación, ruido eléctrico y sobretensiones
- Condiciones y requisitos mecánicos: vibraciones, choque y caída libre
- Condiciones de servicio: polvo, humo, partículas radiactivas, vapores, sales, insectos y pequeños animales.

## **Requisitos eléctricos**

- Tipo de alimentación AC/DC

- E/S discretas
- E/S analógicas
- Interfaces de comunicación
- Inmunidad al ruido y ruido emitido
- Autodiagnósticos.

### **Requisitos mecánicos**

- Protección contra el riesgo de choques eléctricos.
- Envolvente
- Requisitos mecánicos de los materiales de conexión
- Disposición para la tierra de protección
- Conexión/ desconexión de unidades desmontables.

### **Ensayos y verificaciones**

Se define como ha de verificarse la conformidad del autómatas programable y sus periféricos correspondientes con los requisitos, estos ensayos no se refieren a los métodos de aplicación de PLCs para cumplir con los requisitos del sistema automatizado, los ensayos se dividen en ensayos de tipo y de rutina.

### **Ensayos de tipo**

- Procedimiento de verificación
- Ensayos climáticos, mecánicos y eléctricos

- Verificación de las características de la alimentación de CA y CC
- Verificación de las características de entrada/salida
- Verificación de las características del procesador principal
- Verificación de las características de los periféricos
- Verificación del autodiagnóstico.

### **Ensayos de rutina**

- Ensayo estándar de rigidez dieléctrica
- Ensayo de continuidad de la tierra de protección.

### **Criterios de selección**

Actualmente en el mercado existe una gran cantidad de marcas donde elegir y dentro de cada marca hay un amplio catálogo de modelos de diversas capacidades. Saber seleccionar el PLC idóneo para cada situación es fundamental para obtener resultados positivos, se debe ser capaz de dimensionarlo para no quedarse corto en prestaciones ni tener funciones que no sean necesarias para el proyecto, a continuación, se dará a conocer criterios para elegir un autómata.

### **Entradas y salidas E/S**

Antes de iniciar un proyecto se debe saber el número de entradas y salidas requeridas, tanto sean discretas como analógicas. Esto requiere un estudio del proyecto y definición de todos los elementos de E/S.

Esto no es un aspecto determinante para elegir una marca u otra, pero sí que lo es para saber el rango de PLC necesario, es recomendable sobredimensionar las E/S ya que frecuentemente se añaden nuevos equipos al autómeta (Aspectos para elegir un autómeta PLC, 2014).

### **Capacidad de programa y memoria**

Este parámetro se encuentra relacionado directamente con el tamaño del PLC, es quizás el aspecto más complicado de determinar previamente, debido a la complejidad del programa a desarrollar, a menudo salta la alarma de que la memoria del controlador es insuficiente para el número de instrucciones desarrolladas.

### **Comunicaciones**

Las comunicaciones industriales son un aspecto importante dentro de la industria, ya que poder acceder desde los sistemas de supervisión SCADA hasta el autómeta más pequeño de la fábrica se convierte en una necesidad. Actualmente todos los PLCs integran puertos Ethernet para facilitar la comunicación entre dispositivos.

### **Escalabilidad**

El aspecto de la escalabilidad, de poder ir incrementando las características del autómeta es importante para proyectos en concretos.

### **Motion control**

Actualmente la automatización de maquinarias incorpora sistemas de Servo motores, generalmente son controlados por dos tipos de control:

- **Control por pulsos:** gran parte de los PLCs incorporan E/S de pulsos para

el control de servomotores y entradas de contadores rápido como encoders.

- **Controladores motion:** son PLCs que realizan el control de los servomotores mediante un controlador o tarjeta especial, actualmente la tendencia es Ethernet.

### **Software**

El software es importante, un software evolucionado y probado evita muchos problemas entre el programador y el equipo. Actualmente los fabricantes de controladores se encuentran en constante innovación tanto de los modelos de PLC como de las plataformas de programación.

### **Servicio técnico**

Es muy importante tener un servicio técnico donde apoyarse y asesorarse, por muy económico que pueda ser un PLC este debe contar con servicio técnico porque muchas veces esta es la única forma de salir de un problema.

### **Interfaz humano máquina o HMI**

Las HMI son periféricos destinados a la interacción entre el operador y la máquina, se componen de dos partes, una encargada de visualizar información como el estado de la máquina o del proceso, alarmas, diagnosticar y otra encargada de recopilar información proporcionada por las acciones de control generadas por el operador y recopilada en un historial del proceso que puede ser visualizado.

Una interfaz se caracteriza por ser funcional, accesible, agradable de usar y lógica. Conseguir esto requiere de un gran trabajo pues se necesita de un profundo conocimiento de cómo nosotros interactuamos con nuestro medio ambiente y un conocimiento del diseño de interfaces que sea accesible a un amplio espectro de los seres humanos (Barrios & Galeano, 2014).

### **Estándar ANSI – ISA 101.01**

El estándar brinda herramientas a las personas involucradas en el diseño e implementación de HMI's y de una serie de lineamientos que al ser aplicados correctamente se reconocen como buenas prácticas para la presentación de la información, proporciona orientación para diseñar, construir, operar, y mantener una eficacia en la HMI que resultan en un control más seguro, más efectivo y eficiente del proceso, tanto en situaciones normales como anormales. Dicho esto se puede llevar a cabo este tipo de implementación en cualquier proceso, ya que brinda la garantía de desarrollar procesos más eficientes de mayor seguridad y calidad puesto que la información se presenta de tal manera que puede ser procesada con mayor facilidad para la toma de decisiones más acertada en cuanto a mejoras y mantenimientos de procesos se refieran (Bohórquez, Prado, & Ramirez, 2019).

El estándar no define estrictamente pasos a seguir, pero si brinda pautas para que de una u otra manera sirvan como guía para ser implementadas por el desarrollador a la hora de diseñar la interfaz. Muchas veces la inclusión excesiva de variables obtenidas del proceso genera confusión o distracción, entorpeciendo la toma de decisiones del operario. El estándar presenta tres etapas que son necesarias para guiar el proceso y obtener buenos resultados.

**Etapa 1:** Lo primero es definir la HMI con la que se va a trabajar, teniendo en cuenta sus características de funcionalidad y conectividad, esto permitirá conocer el tipo de dispositivo con el que se trabajará y el alcance que se tendrá con el mismo.

**Etapa 2:** Es esencial conocer el proceso sujeto a automatizar, en el cual se realizará una adquisición e intercambio de información y del que se tendrá control. Valiéndonos de un esquema P&ID, se conoce al detalle los elementos y equipos que conforman el proceso permitiendo el flujo de datos durante su funcionamiento, con esto se podrá identificar alarmas o defectos.

**Etapa 3:** El estándar habla de acudir a varios documentos desarrollados y validados por la norma ISA 101, los cuales establecen un proceso de desarrollo que debe ser tomado en cuenta para la implementación estándar de una HMI mejorando su rendimiento, todo esto se resume en 4 fases del ciclo de vida, como se observa en la figura 35. La primera fase es el diseño estándar del sistema, segunda el diseño de interfaz, tercero la implementación y la operación (Bohórquez, Prado, & Ramirez, 2019).

### **Figura 35**

*Modelo gráfico de la norma ANSI-ISA 101*



### Fase #1: Estándares del sistema

- Filosofía de la HMI: En este punto se considera los modos de operación, los usuarios a quienes va dirigido, los requerimientos soportados por la interfaz y las buenas prácticas de trabajo.
- Guía de estilo: El estándar nos llama al diseño de una plantilla de la interfaz considerando los conceptos de la filosofía de la HMI y un esquemático del proceso plasmado en un P&ID para la comprensión de la información esencial que el operador necesita conocer para el desarrollo de la operación y supervisión del proceso.
- Librería de objetos: Da a conocer el software a utilizar para el desarrollo de la interfaz teniendo cuenta, el previo conocimiento del entorno de programación y desarrollo, junto con el conocimiento del proceso, las alarmas a identificar y los modos de operación a relacionar.

### Fase #2: Diseño

Se analiza la información recopilada en los puntos anteriores para el diseño de la HMI, como los requerimientos para la construcción, modos de operación, esta información puede ser el punto de partida para el desarrollo, se considerará el entorno de emplazamiento de la interfaz puesto que puede verse afectada por la iluminación, temperatura o sonidos, etc. Con todos los puntos e información recopilada ya es posible realizar un borrador de la interfaz.

### **Fase #3: Implementación**

En este punto ya se entra en materia con el software y el hardware con el fin de evaluar la información presentada al operador en pantalla y si cumple con los requerimientos previamente establecidos, es importante realizar todas las pruebas tanto en simulación como en los procesos físicos, para así documentar todas las observaciones que lleva al producto final (Bohórquez, Prado, & Ramirez, 2019).

### **Fase #4: Funcionamiento**

La última fase del proceso comprende actividades de puesta en servicio, mantenimiento y paro de servicio, donde el operador puede dar observaciones del funcionamiento, con la clara intención de que toda las modificaciones sean llevadas por el plan de mejoras de la compañía y así el equipo técnico genere una copia de respaldo de cualquier configuración antes de ser intervenida (Bohórquez, Prado, & Ramirez, 2019).

## Capítulo III

### Diseño del Sistema

#### Descripción de la Planta

Contrachapado de Esmeraldas S.A – Codesa es una empresa dedicada a la producción de tableros aglomerados para áreas de la construcción de viviendas, carpintería, mobiliario y para zonas industriales, ofreciendo un producto con dimensiones y propiedades normalizadas. La empresa tiene más de cuarenta años de experiencia ofreciendo este tipo de productos a los ecuatorianos y exportando a mercados internacionales. El producto final está formado por varias capas delgadas de madera que están encoladas entre si con las fibras cruzadas, los materiales aplicados son chapas de madera o madera maciza de acuerdo con la finalidad. La gran ventaja de la madera contrachapada es el poco peso que posee las secciones y la gran resistencia a las cargas.

La fabricación de la madera contrachapada tiene un largo proceso desde la obtención de la materia prima en los cantones de San Lorenzo y Borbón hasta que ingresa a la industria y tiene que ser trasladada desde el centro de acopio hasta los puntos de producción para su tratamiento y transformación. Para esto se hace uso de un conjunto de bandas transportadoras, transportadores de rodillos y de cadenas que llevan las pesadas trozas a lo largo de la línea de producción hasta obtener el producto final (“plywood”). La empresa cuenta con una serie de bandas y transportadores sobre las cuales se va a realizar la automatización.

## Requerimientos Técnicos del Proceso

Actualmente el sistema de bandas se encuentra operando manualmente y controlado en su totalidad por los operadores de la nueva línea de producción mediante botoneras, impidiendo alcanzar los objetivos que se habían planteado en un primer momento el departamento técnico y el departamento de producción, es por esto y otros problemas identificados hasta el momento que se ha decidido la automatización del sistema de bandas.

Para realizar el diseño del sistema de automatización se requiere conocer los parámetros eléctricos de la planta, elementos de maniobra, control, protección, etc. que serán proporcionados por la empresa para desarrollar la automatización y estos deben ser integrados entre sí para trabajar en conjunto y garantizar su correcto funcionamiento, con la finalidad de solucionar los problemas identificados.

La automatización a realizar debe cumplir con ciertos parámetros suministrado por el departamento de mantenimiento eléctrico de la planta, para cubrir sus necesidades técnicas.

- Desarrollar dos modos de marcha para el funcionamiento de las bandas (manual y automático).

**Manual:** Proveer a los operadores el control sobre el sistema de bandas, por medio de botoneras.

**Automático:** El sistema de abastecimiento se encargará de mantener un flujo constante de trozas a lo largo de las estaciones, con poco o nula intervención de los operadores.

- Emplear luces piloto para la verificación de estados de los equipos.
- Visualización de alarmas e históricos por medio de una HMI.
- Dar solución a los conflictos entre señales de activación de los actuadores que intervienen en el sistema de bandas.
- Garantizar la seguridad de los operadores mediante el emplazamiento y protección de los conductores expuestos.
- Elaboración de una interfaz HMI para el monitoreo del proceso y visualización de estados de alerta.
- Desarrollo de esquemas eléctricos de control y potencia para que el personal técnico tenga dónde recurrir a la hora de darse una falla eléctrica.

### **Determinación de los equipos existentes**

La empresa cuenta con ciertos equipos y elementos que serán reutilizados a la hora de la integración del diseño e implementación de los sistemas, ver la tabla 1.

Cabe mencionar que previo al proyecto de titulación la empresa intento la automatización del conjunto de bandas, pero no tuvieron éxito por lo cual muchos de los equipos presentes en el tablero de control están pensados para subsanar este problema, en la actualidad el conjunto de bandas se encuentra operando de forma manual permitiendo a los operadores el control de todo el proceso.

**Tabla 1***Elementos existentes previo al proyecto de titulación*

<b>Unidades</b>	<b>Elementos</b>
2	Fuentes SITOP LOGO 24VDC.
1	PLC Siemens S7-1200, CPU 1214C DC/DC/DC
1	Módulo de S1223 DI 16 y DQ 16 a 24 VDC.
13	Motores eléctricos jaula de ardilla de 380 VAC.
4	Cilindros neumáticos.
4	Electroválvulas con retorno por muelle 220 VAC.
9	Contactores de 220 VAC tensión de accionamiento.
9	Relés térmicos.
4	Sensores de posición.
3	Conjunto de botoneras.

Con el conjunto de botoneras los tres operadores tienen la posibilidad de controlar los actuadores, pero muchas veces se dan fallos por conflictos entre señales de activación presumiblemente por sobre posición de señales en los actuadores que ocasionan errores y convirtiéndolo en un sistema inseguro para el personal de planta.

### **Viabilidad técnica**

Los dispositivos de automatización, mando, potencia, protección e instrumentación deben cumplir con rigurosos estándares técnicos para ser considerados robustos a la hora de ser sometido a un entorno industrial donde la temperatura media

oscila entre los 23 a 25 grados centígrados, el medio también cuenta con la existencia de partículas de aserrín que podrían representar un problema para los dispositivos de maniobra. Es por esto que los dispositivos de automatización y elementos electromecánicos deben ser protegidos por un tablero que ofrezca un grado de protección adecuado para este entorno.

Los equipos de instrumentación deben presentar respuestas acordes a la capacidad de lectura del controlador y sus módulos de expansión (24 VDC), esta información debe ser interpretada por cualquier tipo de controlador ya que se podría dar a futuro una integración de equipos de varios fabricantes. El sistema de instrumentación es viable debido a que existe presencia a nivel nacional de diversos fabricantes que ofrecen una gran gama de productos que han sido puesto a prueba en industrias nacionales y que cumplen con certificaciones.

Los dispositivos de protección como su nombre lo indican deben de proteger a equipos vulnerables, conductores y a los actuadores en todo momento, para evitar daños catastróficos en estos elementos que obliguen a detener el proceso de producción en la industria. Los fabricantes más destacados a nivel nacional son Siemens y Schneider Electric los cuales ofrecen productos de primer nivel probados en entornos industriales. En sí la viabilidad técnica debe estar centrada en los siguientes puntos.

- IP adecuado para el entorno de trabajo (industria maderera).
- Estandarización o compatibilidad entre equipos.
- Dispositivos robustos.
- Facilidad de reposición.

### **Disponibilidad técnica**

Es de vital importancia que todos los equipos a utilizar se encuentren disponible en el mercado nacional, existen varios fabricantes que cumplen con los requisitos planteados en el apartado anterior, por tal razón la disponibilidad es alta. Se considera una práctica sana que las empresas cuenten con repuestos en bodega, para su rápida reposición esto se hace con el fin de evitar tiempos muertos por fallos en el sistema.

### **Diseño conceptual**

Comprende la parte relacionada con el análisis del proyecto y sirve para generar los documentos básicos, una vez definido los requerimientos técnicos del proceso y la determinación de los equipos existentes, se procede a introducir al lector en el proceso a desarrollar mediante el diagrama de flujo de proceso y la localización del equipamiento necesario en campo.

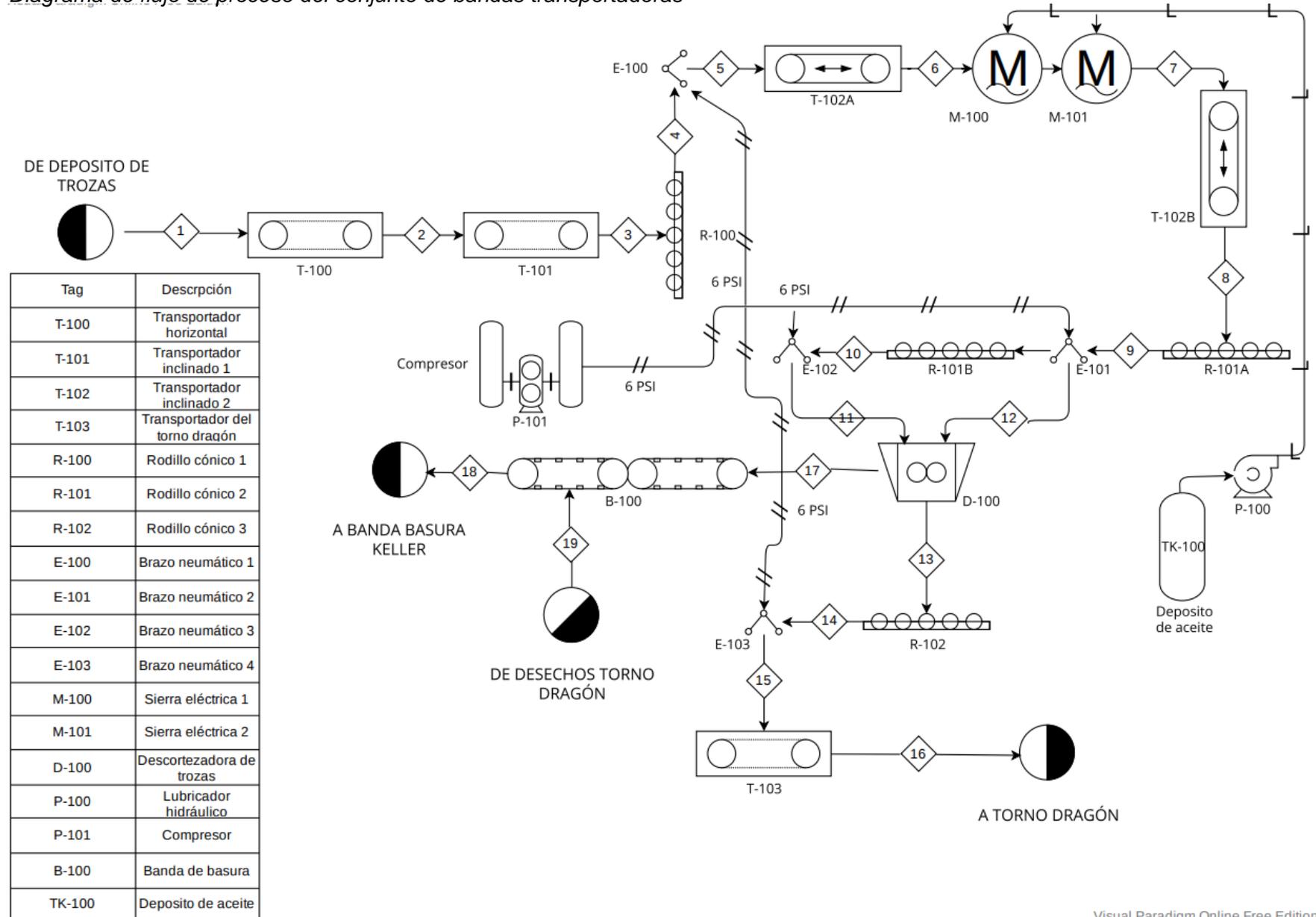
### **Diagrama PFD**

En el diagrama de flujo de proceso se muestra a gran detalle todo el proceso, observar figura 36. También muestra los nombres de los equipos que son necesarios para ejecutar el proceso pero que no necesariamente son elementos eléctricos (depósito aceite, compresor o tanque de almacenamiento de aire, las tuberías hidráulicas y neumáticas), las líneas de proceso.

El diagrama de flujo de proceso es el primer paso para desarrollar un proyecto de estas características, es el punto de partida y principal entrada para el proceso de diseño de instrumentación y control. Siendo la base para el desarrollo del diagrama de tuberías e instrumentos P&ID.

Figura 36

Diagrama de flujo de proceso del conjunto de bandas transportadoras



1. El proceso inicia una vez que el montacarga deposita las trozas de 2,65 [m] en el transportador horizontal (T-100) y este se encarga de trasladarlo hasta la etapa 2.
2. Las trozas al llegar a esta etapa son llevadas por el transportador inclinado 1 (T-101) hasta la etapa 3.
3. En esta etapa el rodillo cónico 1 (R-100) se encarga de transportar y alinear la troza hasta el brazo neumático 1 (E-100).
4. Una vez que la troza se encuentra alineada, el brazo neumático (E-100) expulsa la troza hasta la etapa 5.
5. La troza es llevada por el transportador inclinado 2 (T-102A) hasta la etapa 6.
6. En esta etapa la troza va a ser cortada por dos sierras eléctricas (M-100 y M-101) que se encuentran emplazadas en la mitad del recorrido del transportador 2.
7. En la etapa 7 la troza acaba de ser cortada a la mitad 1,33 [m] por las dos sierras eléctricas y el recorrido continua hasta alcanzar la parte superior del transportador inclinado 2 (T-102B).
8. Los dos pedazos de trozas son depositados sobre el rodillo cónico 2 (R-101A) que se encargará de transportarlos y alinearlos.
9. En esta etapa uno de los dos pedazos de trozas es alineado con el brazo neumático 2 (E-101) y este se encarga de expulsarlo hasta la etapa 12.
10. El rodillo cónico 2 (R-101B) alinea el otro pedazo de troza para que el brazo neumático 3 (E-102) se encargue de expulsar la troza hasta la etapa 11.
11. La troza proveniente de la etapa 10 es llevada a la descortezadora de rodillos (D-100).
12. La troza proveniente de la etapa 9 es llevada a la descortezadora de rodillos (D-100).
13. Una vez que las trozas pasan por la descortezadora esta maquinaria las deja caer por efecto de la gravedad sobre el rodillo cónico 3 (R-102), esta máquina lleva las trozas hasta la etapa 14.

14. Una vez que la troza se encuentra alineada, el brazo neumático 4 (E-103) expulsa la troza hasta la etapa 15.
15. La troza es llevada por el transportador del torno dragón (T-102) hasta la etapa 16.
16. La etapa 16 es el final del proceso a automatizar y es el inicio de la maquinaria denominada torno dragón, aguas arribas se encuentra un torno de rodillos que se encarga de separar las almas de las trozas.
17. Siempre que una troza pasa por la descortezadora (D-100) se genera desechos que por acción de la gravedad es depositado sobre la banda de basura (B-100).
18. La banda de basura (B-100) se conecta directamente con la banda de desechos del torno Keller, esta es una maquinaria totalmente ajena al proyecto de titulación y se encuentra aguas arriba.
19. Los desechos generados por el torno dragón se conectan a la banda de basura (B-100), la cual se encarga de despejar estos residuos hasta la banda de basura del torno Keller.

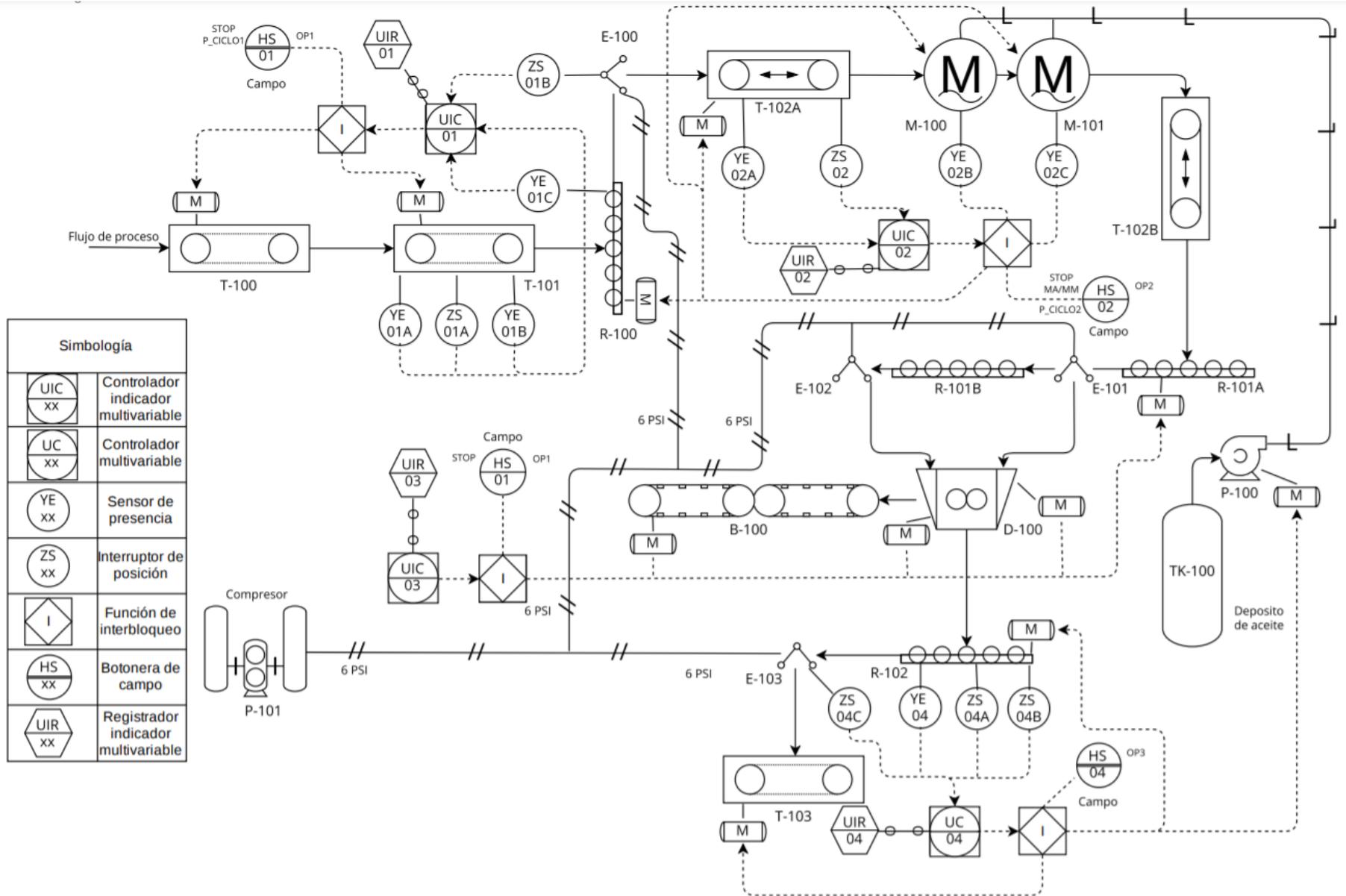
### **Diagrama P&ID**

Definido el proceso y elaborado el diagrama de flujo de proceso se procede al desarrollo del diagrama de tuberías e instrumentos P&ID, observar figura 37 este documento llega a ser uno de los más importantes dentro de la ingeniería conceptual, en este plano se correlaciona el diagrama de flujo de proceso y la filosofía de control.

Los diagramas P&ID es ampliamente utilizado en las industrias para definir un proceso, incluyendo el equipamiento, las tuberías y los componentes del sistema de control (Ortiz Tulcán, 2020).

Figura 37

Diagrama P&ID del sistema de bandas transportadoras



Simbología	
	Controlador indicador multivariable
	Controlador multivariable
	Sensor de presencia
	Interruptor de posición
	Función de interbloqueo
	Botonera de campo
	Registrador indicador multivariable

El flujo de proceso inicia en el transportador horizontal (T-100) y pasa hasta el transportador inclinado 1 (T-101), como se muestra en la figura tiene dos sensores de presencia al inicio (YE-01A) y al final de esta máquina (YE-01B) para determinar la posición de las trozas, también cuenta con un sensor mecánico (ZS-01A) que es el encargado de crear los ciclos de espera para detener el transportador hasta que llegue una nueva troza y sea detectada por el sensor de presencia (YE-01A).

Sobre la misma máquina actúa la botonera de campo del operador 1 (HS-01) para poner a la máquina en el estado seguro y en el ciclo 1, esta botonera se encuentra conectada con la función de interbloqueo (I) y a su vez esta se encarga de activar los actuadores de los transportadores T-100 y T-101. También se encuentra conectado un registrador indicador multivariable (UIR-01) al controlador indicador multivariable (UIC-01) esta se encarga del monitoreo de los equipos y de la presentación de los estados de alarma en pantalla.

El interruptor de posición o también conocido como sensor mecánico (ZS-01B) ubicado en el brazo neumático 1 (E-100) se encarga de determinar la posición de este para así permitir el accionamiento seguro del rodillo cónico 1 (R-100), el sensor de presencia (YE-01C) se encarga de detectar la troza, estas señales ingresan al controlador indicador multivariable (UIC-01) para ser procesada por la lógica de control y sobre ellos también actúa la función de seguridad.

El sensor de presencia (YE-02A) tiene la función de detectar la troza una vez que se encuentre en la base del transportador inclinado 2 (T-102A), también cuenta con un interruptor de posición (ZS-02) que es el encargado de crear los ciclos de espera para

detener el transportador hasta que llegue una nueva troza y sea detectada nuevamente por el sensor de presencia.

Existen dos sensores de presencia (YE-02B), (YE-02C) alineados con las sierras eléctricas (M-100 y M-101) que tienen la función de brindar seguridad al sistema de corte, estos sensores se encuentran enlazados con una función de seguridad que se encarga de poner a todo el conjunto de bandas en modo seguro, puede ser por este medio o mediante la botonera de campo (HS-02) que tiene las funciones de detención segura y paro de ciclo 2. Los actuadores de las sierras y del transportador inclinado 2 son pilotados por el controlador.

El controlador indicador multivariable (UIC-03) y la botonera de campo del operador 1 (HS-01) se encuentran enlazados con la función de seguridad y esta se encarga de detener y poner en marcha los actuadores de la banda (B-100), de la descortezadora (D-100) y del rodillo 2 (R-101A). También se encuentra conectado un registrador indicador multivariable (UIR-03) que se encarga del monitoreo de los equipos y de la presentación de los estados de alarma en pantalla.

El interruptor de posición (ZS-04C) ubicado en el brazo neumático 4 (E-103) se encarga de determinar la posición de este para así permitir el accionamiento seguro del rodillo cónico 3 (R-102), los dos interruptores de posición (ZS-04A), (ZS-04B) y el sensor de presencia (YE-04) tienen la función de detectar la troza, estas señales ingresan al controlador multivariable (UC-04) para ser procesada por la lógica de control. La botonera de campo del operador 3 (HS-04) se encuentra enlazado con la función de seguridad y esta se encarga de detener y poner en marcha los actuadores de la banda dragón (T-103), el rodillo cónico (R-102) y pone en marcha al lubricador hidráulico (P-100).

### ***Variables del proceso***

Las variables de entrada y salida son señales discretas que operan a 24 VDC como los sensores de posición tanto mecánico, fotoeléctricos, selectores de marcha, pulsadores NA/NC y relés auxiliares que son necesarios para realizar el cambio de nivel de tensión de 24 VDC a 220 VAC que es el nivel necesario para accionar a los contactores de potencia. A continuación, en la tabla 2 se presentará las variables y señales del sistema.

Las múltiples señales del proceso serán transmitidas por medio de conductores eléctricos dimensionados adecuadamente para evitar caídas de tensión o pérdida de energía por efecto joule. En un primer momento se considera como un posible inconveniente las distancias de los sensores, pulsadores y actuadores con respecto al tablero de control ya que se podría dar caídas de tensión que afecten al funcionamiento del sistema.

### **Tabla 2**

*Variables y señales del proceso*

<b>Tag</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Señal</b>
SP_Emer_Tab	Pulsador paro de emergencia cabeza de seta tablero	Entrada	Discreta
SP_Emer_OP1	Pulsador paro de emergencia cabeza de seta OP1	Entrada	Discreta
S_Ini	Pulsador de inicio	Entrada	Discreta
S_Rear	Pulsador de rearmen	Entrada	Discreta
S_Ban_H	Selector de banda horizontal	Entrada	Discreta
S_Ban_Incli1	Selector banda inclinada 1	Entrada	Discreta
S_Rodi1	Selector rodillo 1	Entrada	Discreta
S_Bra_Neum1	Pulsador brazo neumático 1	Entrada	Discreta
S_Sierra	Selector para la sierra 1 y sierra 2	Entrada	Discreta
SP_Ciclo1	Selector de paro de ciclo para la banda inclinada 1	Entrada	Discreta
SP_Emer_OP2	Pulsador paro de emergencia cabeza de seta OP2	Entrada	Discreta
S_MM	Selector de modo de marcha manual	Entrada	Discreta
S_MA	Selector de modo de marcha automático	Entrada	Discreta
S_Ban_Incli2gh	Selector banda inclinada 2 giro horario	Entrada	Discreta
S_Ban_Incli2ga	Selector banda inclinada 2 giro antihorario	Entrada	Discreta
S_Bra_Neum2	Selector brazo neumático 2	Entrada	Discreta
S_Bra_Neum3	Selector brazo neumático 3	Entrada	Discreta
S_Rodi_Regle	Selector rodillo regle	Entrada	Discreta
S_Rodi_Doble	Selector rodillo doble	Entrada	Discreta
S_Hidraulico	Selector banco hidráulico	Entrada	Discreta
S_Rodi2gh	Selector rodillo 2 giro horario	Entrada	Discreta
S_Rodi2ga	Selector rodillo 2 giro antihorario	Entrada	Discreta
S_Ban_BasP	Selector banda basura principal	Entrada	Discreta
SP_Ciclo2	Selector de paro de ciclo para la banda inclinada 2	Entrada	Discreta
S_Rodi3	Selector rodillo 3	Entrada	Discreta

<b>Tag</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Señal</b>
S_Bra_Neum4	Pulsador brazo neumático 4	Entrada	Discreta
S_Ban_Dra	Pulsador para la banda dragón	Entrada	Discreta
Sen_F1	Sensor fotoeléctrico banda inclinada 1 INT	Entrada	Discreta
Sen_M1	Sensor mecánico banda inclinada 1 INT	Entrada	Discreta
Sen_M2	Sensor mecánico de retroceso (brazo neumático1)	Entrada	Discreta
Sen_F2	Sensor fotoeléctrico rodillo 1	Entrada	Discreta
Sen_F3	Sensor fotoeléctrico de seguridad sierra 1	Entrada	Discreta
Sen_F4	Sensor fotoeléctrico de seguridad sierra 2	Entrada	Discreta
Sen_F5	Sensor fotoeléctrico rodillo 3	Entrada	Discreta
Sen_M3	Sensor mecánico de retroceso (brazo neumático4)	Entrada	Discreta
Sen_F6	Sensor fotoeléctrico banda inclinada 1 OUT	Entrada	Discreta
Sen_F7	Sensor fotoeléctrico banda inclinada 2 INT	Entrada	Discreta
Sen_M4	Sensor mecánico banda inclinada 2 INT	Entrada	Discreta
Sen_M5	Sensor mecánico rodillo 3.1	Entrada	Discreta
Sen_M6	Sensor mecánico rodillo 3.2	Entrada	Discreta
Ban_H	Relé auxiliar para la banda horizontal	Salida	Discreta
Ban_Incli1	Relé auxiliar para la banda inclinada 1	Salida	Discreta
Rodi1	Relé auxiliar para el rodillo 1	Salida	Discreta
Bra_Neum1	Relé auxiliar para el brazo neumático 1	Salida	Discreta
Ban_Incli2gh	Relé auxiliar para la banda inclinada 2 giro horario	Salida	Discreta
Ban_Incli2ga	Relé para la banda inclinada 2 giro antihorario	Salida	Discreta
Lubri	Relé auxiliar para la bomba lubricadora	Salida	Discreta
Sierr_Seg12	Relé auxiliar para las sierras 1 y 2	Salida	Discreta
Rodi2gh	Relé auxiliar para el rodillo 2 giro horario	Salida	Discreta
Rodi2ga	Relé auxiliar para el rodillo 2 giro antihorario	Salida	Discreta
Bra_Neum2	Relé auxiliar para el brazo neumático 2	Salida	Discreta
Bra_Neum3	Relé auxiliar para el brazo neumático 3	Salida	Discreta

<b>Tag</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Señal</b>
Rodi3	Relé auxiliar rodillo 3	Salida	Discreta
Bra_Neum4	Relé auxiliar para el brazo neumático 4	Salida	Discreta
Ban_Dra	Relé auxiliar para la banda dragón	Salida	Discreta
Ban_BasP	Relé auxiliar para la banda de basura principal	Salida	Discreta
Rodi_Regle	Relé auxiliar para el rodillo regle	Salida	Discreta
Rodi_Doble	Relé auxiliar para el rodillo doble	Salida	Discreta
Hidraulico	Relé auxiliar para banco hidráulico	Salida	Discreta
L_Emer	Luz piloto de estado de emergencia	Salida	Discreta
L_MM	Luz piloto de modo de marcha manual	Salida	Discreta
L_MA	Luz piloto de modo de marcha automático	Salida	Discreta

En la tabla número dos se puede apreciar tres colores los cuales representan a las botoneras asignada a cada operador: el color verde representa a la botonera del operador número uno, el color azul representa la botonera del operador número dos y el color naranja representa al operador tres. Todas las señales del proceso son digitales debido a la naturaleza del sistema a tratar.

### **Especificaciones de elementos**

Los dispositivos necesarios para la integración de elementos, serán seleccionados según los requerimientos adecuados para que estos sean seguros y confiables a la hora de la implementación, dichos elementos serán dimensionado y seleccionados en los próximos apartados, dando a conocer características técnicas para su utilización. A continuación, se dará a conocer ciertas características generales.

### **Sistema de control**

El sistema a automatizar requiere de un controlador que ofrezca prestaciones, que van desde la flexibilidad y alta posibilidad de escalamiento debido al gran número de

entradas y salidas digitales que serán utilizadas para la automatización. Para esto se debe considerar los dispositivos existentes en el tablero de control, el controlador leerá señales como:

- Señales discretas proveniente de los sensores de posición.
- Señales discretas del estado de operación de los actuadores.
- Señales discretas para los modos de marcha manual y automático.
- Señales discretas para las luces piloto.

De acuerdo con las señales y características establecidas en la tabla 2, el controlador deberá tener como mínimo las siguientes características:

- Poseer como mínimo 38 entradas discretas mediante la integración de módulos de E/S.
- Poseer como mínimo 22 salidas discretas mediante la integración de módulos de E/S.
- Contar con un puerto ethernet para la comunicación.
- Tensión de alimentación de 24 VDC.
- Tensión de salida de 24 VDC.
- Funciones especiales del PLC como temporizadores, contadores y comparadores.

Para complementar el sistema de control se requiere de otros elementos como:

- Selectores de tres posiciones 24 VDC.
- Selectores de dos posiciones 24 VDC.
- Relés auxiliares con tensión de accionamiento de 24 VDC.
- Contactores de potencia AC-3 con tensión de accionamiento de 220 VAC.
- Luces piloto de 220 VAC.
- Elementos de protección tripolares 380 VAC para los circuitos de potencia.
- Elementos de protección bipolares 220VAC para el circuito de control.
- Fuente de tensión de 24 VDC para alimentar al PLC y sus módulos.

### **Sistema de instrumentación**

Para los dispositivos de adquisición de datos se debe considerar que la única variable a manipular en el proceso es la posición la cual es una variable del tipo todo o nada.

- Tensión de alimentación de 24 VDC o 220 VAC.
- Grado de protección mínima IP 65, ya que se encontrará en un ambiente cargado de partículas de aserrín.
- Rango de detección comprendido entre los 3 a 170 cm.
- Salida digital de 24 VDC.

### **Sistema de supervisión**

Para el sistema de supervisión se utilizará una pantalla HMI por medio de este equipo se podrá visualizar las variables que intervienen en el proceso. Esta pantalla debe tener las siguientes características:

- Alimentación 24 VDC.
- Grado de protección IP 20.
- Puerto de conexión ethernet.
- Pantalla monocromática o a color.

### **Análisis de riesgos**

Este apartado tiene como objetivo dar a conocer los aspectos básicos a considerar al momento de utilizar sistemas eléctricos, electrónicos y sistemas programables para desempeñar funciones de seguridad, las principales normativas para la gestión de la seguridad es la norma IEC 61508 y la IEC 61511. La norma se basa en la consideración de un proceso que puede suponer un riesgo a la seguridad es por esto que se proporcionan funciones de seguridad para mitigar los riesgos.

El concepto de seguridad se ha limitado a la seguridad ocupacional y se ha dejado de lado la seguridad funcional. La seguridad funcional es parte de la seguridad que depende del correcto funcionamiento de los componentes o subsistemas eléctricos, electrónicos, sistemas programables y sistemas de mando que responda de forma adecuada ante cualquier fallo externo (Rockwell Automation). Si se llegase a dar un fallo el sistema instrumentado de seguridad SIS es el encargado de poner al proceso en un estado seguro que no represente riesgo alguno al personal de planta y al producto de

manufactura, el diseño y funcionamiento de un proceso deben estar basados en la evaluación y la comprensión de los riesgos y para esto es necesario el análisis de riesgo previo al desarrollo de un proyecto.

El objetivo de un análisis de riesgo es la determinación de los peligros existentes en el proceso, estimar los riesgos y decidir si el riesgo es tolerable. Para reducir los riesgos a un nivel tolerable los primeros recursos son las capas de protección, si no se alcanza un nivel de riesgo deseado después de aplicar dichas capas, se debe implementar un SIS (Venegas Riera, 2013). El análisis incluye la identificación de las funciones instrumentadas de seguridad SIF que son necesarias para detectar daños inminentes y llevar al proceso a un estado seguro.

### **Nivel integrado de seguridad o SIL**

Según la norma IEC 61511 el nivel integrado de seguridad SIL es una representación estadística de la disponibilidad segura de un SIS en el momento en que el proceso lo demanda, posee un nivel de seguridad especificado que es necesario alcanzar y que puede ser una función de protección de seguridad instrumentada.

### **Evaluación de seguridad y confiabilidad**

Para realizar la evaluación se recurre a la norma IEC 62061 la cual se deriva de la norma IEC 61511 y la IEC 61508, pero posee la particularidad que es una norma específica para ser aplicada en maquinarias facilitando el análisis de riesgo. La IEC 62061 se centra en la evaluación de riesgos mediante gráficos de riesgos, al realizar esta evaluación obtenemos un valor denominado nivel de integridad de la seguridad SIL, ver figura 38. La probabilidad de fallo aceptable varía según el sistema a evaluar, puede ser

un sistema de baja o alta demanda, esto depende de las veces que los componentes de seguridad actúan en el transcurso de un año (ABB Drives, 2014).

### Figura 38

*SIL para sistemas de modo continuo PFH*

<b>Modo continuo de operación</b> (Probabilidad de fallo peligroso por hora, PFH)	<b>Nivel de integridad de seguridad</b>
$\geq 10^{-9}$ a $< 10^{-8}$	4
$\geq 10^{-8}$ a $< 10^{-7}$	3
$\geq 10^{-7}$ a $< 10^{-6}$	2
$\geq 10^{-6}$ a $< 10^{-5}$	1

Nota: Tomado de (Rockwell Automation).

La medición del fallo para los objetivos del modo continuo es la probabilidad de fallo por hora (PFH), muchas veces los fabricantes de elementos eléctricos o electrónicos incluyen esta información en sus productos.

### ***Determinación del SIL en el sistema de bandas***

El proceso para determinar el SIL es el siguiente:

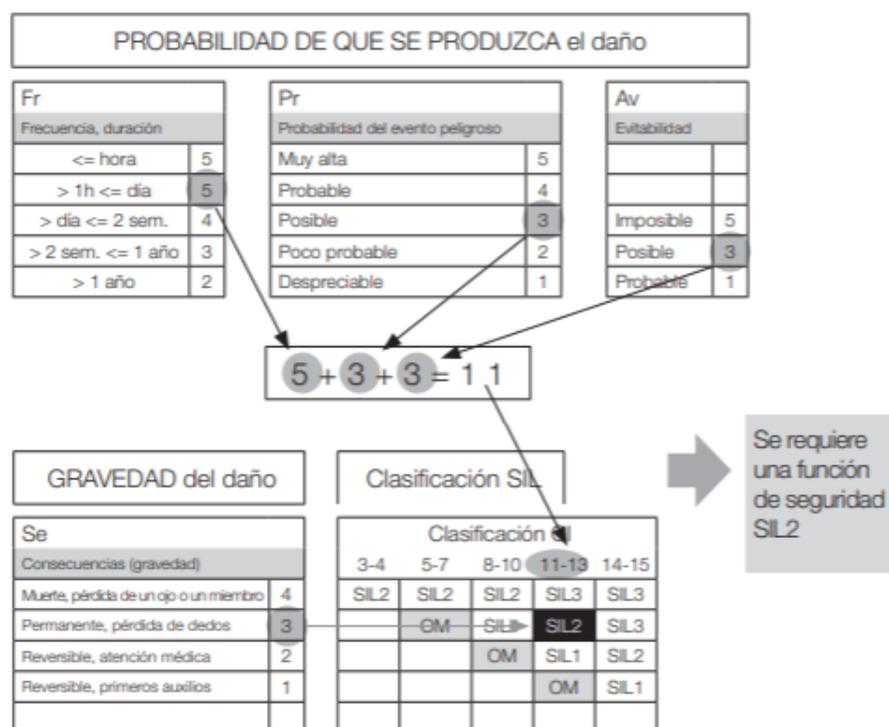
- Determine el valor numérico para la frecuencia y el tiempo durante el cual la persona está expuesta al peligro
- Determinar el valor de la probabilidad de que una situación de riesgo ocurra cuando se está expuesto a ella.
- Determina el valor de la posibilidad de prevenir o limitar el alcance de los daños.

- Determinar la gravedad de las consecuencias de un evento peligroso (ABB Drives, 2014).

Todos estos pasos se agrupan para determinar el nivel integrado de seguridad, observar la figura 39.

**Figura 39**

*Ejemplo de una tabla de asignación SIL*



Nota: Tomado de (ABB Drives, 2014).

A continuación, se procederá a evaluar el riesgo en el sistema de banda transportadora de la empresa Contrachapado de Esmeraldas S.A. – Codesa, para esto se recurre al proceso descrito anteriormente y a la figura 39 para cuantificar el riesgo con la ayuda de las tablas.

- El primer paso a seguir es la clasificación de la frecuencia y la duración de la exposición (Fr) a la cual se encuentra sometido los operadores del sistema de bandas. Los principales riesgos son atrapamiento por mecanismos móviles, riesgo de caída de una troza sobre los operadores, accionamiento involuntario de los actuadores eléctrico y choques eléctricos por exposición a conductores energizados. Debido a esto la exposición es mayor a una hora y menor a un día, aquella clasificación se evalúa con 5 puntos.
- El siguiente punto a analizar es la clasificación de la probabilidad (Pr), como se mencionó anteriormente el operador se encuentra en todo momento con sus manos expuestas en el área de transporte de la materia prima. Debido al diseño actual que posee el sistema de bandas permite paradas durante el ciclo de operación una vez que se acciona el pulsador de emergencia. Por lo tanto, la posibilidad de sufrir un accidente se reduce hasta el nivel de posible que se encuentra cuantificado con 3 puntos.
- El siguiente aspecto a evaluar es la probabilidad de evitar o limitar el daño (Av), para esto se recurre a la mejora de las funciones de seguridad mediante una programación responsable y a la redundancia de seguridad con el fin de evitar accionamientos involuntarios. También a la protección de los mecanismos móviles y los conductores expuestos, todo esto requiere tiempo e inversión por lo cual se le asigna en la categoría de posible la cual se encuentra categorizada con 3 puntos.
- El último aspecto a analizar es la gravedad del daño (Se) en caso de un posible accidente, para todo el sistema de banda la opción adecuada es el daño irreversible como la rotura de miembros o pérdida de dedos este nivel posee 3

puntos.

- Solo queda calcular la clase que no es nada más que la suma de los valores resultantes de la clasificación de riesgos, por lo tanto.

$$Cl = Fr + Pr + Av$$

$$Cl = 5 + 3 + 3 = 11$$

- El SIL se determina recurriendo a la tabla de clasificación SIL (11) y según el valor de la gravedad del daño (3), interpolando estos datos obtenemos el nivel mínimo de integridad de seguridad del sistema de bandas que al menos debe ser SIL 2.

Todos los equipos del sistema de banda deben ser adecuados al nivel SIL 2 desde los pulsadores, sensores, los sistemas de mando y entre otros varios equipos.

### **Normativas de diseño**

Este apartado tiene como objetivo dar a conocer todas las normas de los cuales nos vamos a valer para aplicar al diseño e implementación de este proyecto.

- IEC 947, IEC 60204-1: "Seguridad de las máquinas y telemecanique".
- IEC 61439-1, NEC-15: "Guía para la construcción de tableros eléctricos".
- IEC 60529: "Grado de protección proporcionado por las envolventes IP".
- IEC 61131-3: "Recurso de programación estándar".
- ANSI/ISA 101: "Norma para el diseño de HMI".
- IEC 60617: "Simbología y documentación esquemas eléctricos".

- IEC 60034: “Máquinas eléctricas rotativas”.

A continuación, se abordará brevemente las normas expuesta anterior mente, donde se dará a conocer el campo de aplicación de estas normas ver tabla 3.

**Tabla 3**

*Normativa para la instalación del sistema a automatizar*

<b>Normativa</b>	<b>Descripción</b>
IEC 947, IEC 60204-1	Estas normas se encargan de regir los elementos de maniobra, indicadores de estado, control y protecciones eléctricas, va desde la selección de los pulsadores, luces piloto, contactores y los elementos de protección integrados en los circuitos de control y potencia, revisar las secciones 2.5 – 2.6 – 2.7.
IEC 61439-1, NEC 15	Brinda lineamientos para la selección y construcción de tableros eléctricos de baja tensión que van desde entornos industriales hasta domiciliarios, por el lugar en el que se va a dar este proyecto solo se ha considerado tableros dirigidos al entorno industrial, revisar la sección 2.8.
IEC 60529	Esta normativa proporciona una ayuda a la hora de seleccionar los equipos mediante el grado de protección IP de las envolventes, este punto es vital por el entorno al que van a estar expuestos todos los elementos eléctricos, revisar la sección 2.9 – 2.10 – 2.11.
IEC 61131-3	Esta norma fue la encargada de estandarizar los lenguajes de programación, de aquí se obtendrán los lineamientos para el desarrollo del grafcet y la programación del autómeta, revisar la sección 2.12.
ANSI/ISA 101	Esta norma se encarga de reglamentar el diseño de interfaz HMI desde la ubicación de los elementos, selección de colores hasta el control eficiente del proceso, revisar la sección 2.13.
IEC 60617	La principal función que cumple esta norma es la estandarización de la simbología de los elementos eléctricos y la correcta generación de la documentación técnica o esquemática.
IEC 60034	Especifica características eléctricas y mecánicas para motores de inducción eléctricos trifásicos, de velocidad única, de jaula de ardilla con 2, 4 y 6 polos.

## Alimentación eléctrica

La empresa Contrachapado de Esmeraldas S.A Codesa opera principalmente con un suministro de energía de 220/380 VAC trifásico de cuatro hilos, por lo cual los equipos, dispositivos y actuadores deben considerar esta especificación eléctrica. En general los equipos de control son alimentados con una tensión de 220 VAC y los equipos y actuadores de fuerza operan con una tensión eléctrica de 380 VAC.

El sistema de distribución en la nueva línea se encuentra a cargo de un tablero que fue emplazado durante mis pasantías en la empresa, observar figura 26, el armario cuenta con dos termomagnéticos que son los encargados de suministrar y proteger al tablero de control del sistema de bandas y al tablero de la descortezadora.

### Figura 26

*Tablero de distribución Codesa*



### Características eléctricas del sistema

El sistema de distribución de la nueva línea se puede observar en el anexo 1, para cuestiones de este proyecto no se consideró necesario la representación esquemática de

todo el sistema de distribución de toda la planta, ya que nuestra área de interés es la nueva línea de producción.

- Alimentación trifásica de 4 conductores.
- Tablero de distribución.
- Interruptores termomagnéticos.
- 2 tableros de control (ver Tabla 4).

**Tabla 4**

*Características de los tableros*

<b>Tablero</b>	<b>Características</b>
<b>Distribución</b>	Centro de carga trifásico (3 $\Phi$ , 4H) 4 conductores (R, S, T, N) Conductores de cobre calibre 4 AWG 2 puntos
<b>Protecciones</b>	<b>Interruptor termomagnético 1</b> U <sub>r</sub> : 400 [VAC] I <sub>n</sub> : 100 [A] I <sub>cn</sub> : 10 [KA] Marca: Tengen <b>Interruptor termomagnético 2</b> U <sub>r</sub> : 400 [VAC] I <sub>n</sub> : 63 [A] I <sub>cn</sub> : 6 [KA] Marca: Schneider
<b>Control de bandas</b>	Centro de carga trifásico (3 $\Phi$ , 4H) 4 conductores (R, S, T, N) Conductores de cobre calibre 6 AWG 14 puntos

Tablero	Características
<b>Protecciones</b>	<b>Interruptor general caja moldeada</b> U <sub>r</sub> : 500 [VAC] I <sub>n</sub> : 63 [A] I <sub>cn</sub> : 25 [KA] Marca: Siemens <b>2 interruptores termomagnético riel DIN</b> U <sub>r</sub> : 400 [VAC] I <sub>n</sub> : 10 [A] I <sub>cn</sub> : 4,5 [KA] Marca: Siemens <b>4 porta fusibles monopolar</b> U <sub>r</sub> : 500 [VAC] I <sub>n</sub> : 32 [A] Marca: Sassin
<b>Control de la descortezadora</b>	Centro de carga trifásico (3Φ, 4H). 4 conductores (R, S, T, N) Conductores de cobre calibre 6 AWG 3 puntos
<b>Protección</b>	<b>Interruptor termomagnético riel DIN</b> U <sub>r</sub> : 400 [VAC] I <sub>n</sub> : 63 [A] I <sub>cn</sub> : 6 [KA] Marca: Schneider

### ***Carga del sistema***

Para este proyecto se debe considerar que gran parte de los elementos que se encuentran en los tableros serán reutilizados para la automatización, las estructuras y actuadores ya se encuentran emplazadas, es por esto que se realizara un estudio de cargas para obtener la carga total, se procedió a la recopilación de valores de potencia de placa de cada equipo, ver la tabla 5 y tabla 6.

**Tabla 5**

*Carga proveniente del tablero de control de las bandas*

<b>Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>P<sub>n.</sub> Uni [KW]</b>	<b>P<sub>n.</sub> Total [KW]</b>
Motor 3Φ banda de cadena	1	2.2	2.2
Motor 3Φ banda inclinada 1	1	2.2	2.2
Electroválvulas	4	0.011	0.044
Motor 3Φ rodillo cónico	3	2.2	6.6
Motor 3Φ banda inclinada 2	1	5.5	5.5
Motor 3Φ banda expulsión de basura	2	2.2	4.4
Lubricadora de aceite	1	0.25	0.25
<b>Carga total del tablero</b>			<b>21.2</b>

**Tabla 6**

*Carga proveniente de la descortezadora*

<b>Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>P<sub>n.</sub> Uni [KW]</b>	<b>P<sub>n.</sub> Total [KW]</b>
Motor 3Φ rodillo relee	1	7.5	7.5
Bomba hidráulica	1	5.5	5.5
Motor 3Φ	1	7.5	7.5
<b>Carga total del tablero</b>			<b>20.5</b>

Estos valores de potencia serán esencial a la hora de realizar los cálculos para el dimensionamiento del conductor y de los equipos de protección.

### **Autómata programable PLC**

Se utilizará un controlador Siemens S7-1200 para la recepción y procesamiento de datos obtenidos a partir de los captadores instalados en el proceso, el cual brinda

prestaciones que se adaptan a las necesidades encontradas en este proyecto, que van desde la flexibilidad y alta posibilidad de escalamiento mediante la integración de módulos, bajo costo y amplio juego de instrucciones. Son idóneos para controlar una gran variedad de aplicaciones y el amplio número de dispositivos que tenemos en este proyecto para ser controlados.

La ventaja que presenta la CPU 1214C la convierte en la idónea para las necesidades de este proyecto, ya que integra 14 entradas discretas, 10 salidas discretas y se le puede integrar hasta 8 módulos de señales E/S que superan ampliamente a su predecesora, con la integración de los módulos de entrada y salida serán suficiente para el gran número de señales que deben ser cableadas al PLC, según el fabricante la corriente máxima consumida con todo los accesorios de ampliación no supera 1500 [mA], ver tabla 7.

**Tabla 7**

*Características PLC 1200 – CPU 1214C*

Dispositivo	Características	
Siemens S7-1200	Número de entradas discretas	14 DI
CPU 1214C	Número de salidas discretas	10 DQ
	Número de entrada analógica	2 AI
	Tensión de funcionamiento	20.4/ 28.8 [VDC]
	Consumo de corriente	500/ 1500 [mA]
	Grado de protección IP	IP 20

Conocidas las características del PLC a usar surge la necesidad de alimentación, ya que requiere de una alimentación 24 [VDC] y que cumpla con la corriente requerida por el PLC y los relés auxiliares que se pretenden utilizar, observar tabla 8.

Una fuente de alimentación eficiente es el requisito fundamental para el funcionamiento de cualquier instalación. Solo es posible mantener procesos de producción exigentes si se dispone de una tensión de alimentación constante y de la calidad necesaria para la automatización (Siemens Perú, 2019).

**Tabla 8**

*Características eléctricas fuente SITOP LOGO*

Dispositivo	Características	
	Tensión de entrada	100 – 240 [VAC]
	Tensión de salida	24 [VDC]
	Corriente de salida	2.5 [A]
	Frecuencia nominal de la red	50 – 60 [Hz]
	Rango de temperatura	-20 °C a + 70 °C
	Grado de protección IP	IP 20

Como se mencionó con anterioridad se requerirá el uso de módulos adicionales de entradas y salidas digitales para suplir el exceso de entradas y salidas dadas por el gran número de botoneras, sensores y actuadores que hacen parte del proceso a automatizar, ver tabla 9 y tabla 10.

**Tabla 9***Especificaciones SM 1223 E/S digitales VDC*

Dispositivo	Características	
	Número de entradas discretas	16 DI
	Número de salidas discretas	16 DQ
	Tensión nominal	24 [VDC]
	Consumo de corriente	180 [mA]
	Vida útil de los contactos bajo carga nominal	10000 ciclos Apertura/cierre
	Grado de protección IP	IP 20

**Tabla 10***Especificaciones SM 1221 entradas digitales VDC*

Dispositivo	Características	
	Número de entradas discretas	8 DI
	Tensión nominal	24 [VDC]
	Consumo de corriente	105 [mA]
	Vida útil de los contactos bajo carga nominal	10000 ciclos Apertura/cierre
	Grado de protección IP	IP 20

Según el fabricante estos dispositivos requieren protección externa contra polvo, impurezas, agua y objetos extraños de < 12.5 [mm] de diámetro (Siemens, 2018). Debido a que poseen un grado de protección IP 20 que es muy bajo para ser emplazados por sí solos en un entorno industrial, lo cual nos lleva a revisar la figura 32 y determinar que el

grado de protección mínimo que requieren es a partir del IP 33. A la hora de seleccionar el tablero también se debe considerar el tipo de industria.

## Captadores

Para sensar la posición de las trozas se recurre principalmente a dos tipos de sensores como lo son los sensores fotoeléctricos y sensores electromecánicos, ver tabla 11 y tabla 12. Las señales enviadas por los sensores ingresan al PLC, el cual controla la activación sincronizada de relés que a su vez conecta a los actuadores. Una vez conocidas las características de las entradas del PLC y sus módulos resulta más fácil seleccionar sensores que se adapten a esas especificaciones.

**Tabla 11**

*Requisitos de sensores de posición electromecánica*

<b>Dispositivo</b>	<b>Requisitos mínimos</b>	
Interruptor electromecánico o fin carrera	Número de contactos NC	1
	Número de contactos NA	1
	Tensión asignada	24 [VDC]
	Intensidad de conmutación	500 [mA]
	Vida útil de los contactos bajo carga nominal	10000 ciclos de maniobra
	Activación por medio de palanca	21 [mm]
	Grado de protección IP	IP 64

Los interruptores electromecánicos juegan un papel importante en el ámbito de los equipos de automatismos ya que son de los más usados en las industrias, consiste en detectar la presencia o el paso de un objeto, para más información revisar el apartado

Los principales factores que determinan la elección de un interruptor electromecánico son:

- Protección contra condiciones ambientales como humedad, polvo, corrosión, temperatura, etc.
- El número de ciclos de maniobra.
- El número y tipo de los contactos
- La naturaleza de la corriente, el valor de la tensión y de la corriente que se deben controlar (Schneider Electric, 1999).

**Tabla 12**

*Requisitos de sensores de posición fotoeléctrico*

<b>Dispositivo</b>	<b>Requisitos mínimos</b>	
Sensor de posición fotoeléctrico	Número de contactos NC	1
	Número de contactos NA	1
	Tensión de alimentación	24 [VDC]
	Intensidad de conmutación	500 [mA]
	Vida útil media	10000 horas
	Rango de activación	50 - 1500 [mm]
	Grado de protección IP	IP 64

Los detectores fotoeléctricos permiten detectar todo tipo de objetos (opacos, transparentes, reflectantes, etc.) en gran variedad de aplicaciones industriales, estos componentes se utilizan por su elevado rendimiento luminoso, su insensibilidad a las

vibraciones y su durabilidad prácticamente ilimitada, para más información revisar el apartado

***Los principales factores que determinan la elección de un sensor fotoeléctrico son:***

- Alcance de trabajo o rango de activación.
- Grado de protección contra condiciones ambientales.
- Tensión e intensidad de consumo en la bobina.
- Retraso en la disponibilidad (retraso al accionamiento y retraso en el desaccionamiento).
- Número y tipo de contactos (Schneider Electric, 1999).

Una vez establecidos los requisitos mínimos de los sensores se procederá a buscar los equipos que cumplan con estas características y un distribuidor que se encargue de suministrar esos elementos, pero esto se realizará en el apartado 4.1.2.

### **Elementos de maniobra**

Los elementos de maniobra son indispensables para la elaboración de las botoneras que se desarrollaran para controlar los actuadores en el modo manual, es necesario utilizar pulsadores para emergencia, arranque y así como selectores de posición, observar tabla 13.

### **Tabla 13**

*Elementos de maniobra*

<b>Dispositivo</b>	<b>Características</b>	
Pulsador tipo hongo  40 mm	Número de contactos NC	1
	Tensión de aislamiento	500 [VAC]
	Corriente máxima de operación	10 [A]
	Tipo de desenclavamiento	Por tracción
	Vida útil media	500000
	Grado de protección IP	IP 67
Pulsador rasante  22mm	Número de contactos NA	1
	Tensión de aislamiento	500 [VAC]
	Corriente máxima de operación	10 [A]
	Vida útil media	10000000
Selector 3 posiciones  22mm	Número de posiciones de maniobra	3
	Tensión de aislamiento	500 [VAC]
	Corriente máxima de operación	10 [A]
	Vida útil media	1000000
	Grado de protección IP	IP 67

Estos son los posibles elementos que serán utilizados a la hora de implementar las botoneras, en este apartado no se aborda los contactores y relés auxiliares ya que se desarrollará un apartado para el dimensionamiento de estos elementos con respecto a cada actuador que se tiene.

### **Actuadores rotativos**

Las máquinas eléctricas son capaces de transformar la energía eléctrica en energía mecánica o viceversa, basando su funcionamiento en la inducción electromagnética, los motores tienen un papel muy importante dentro de la industria manufacturera porque son visto como el músculo motriz de un complejo sistema. Dentro de este grupo sobresalen los motores asíncronos trifásicos de jaula de ardilla que se encuentran entre los más utilizados para el accionamiento de máquinas. El uso de estos motores se impone en la mayoría de las aplicaciones debido a las ventajas competitivas que poseen como robustez, sencillez de mantenimiento, facilidad de instalación y bajo coste.

Este tipo de motor es el más usado en el presente proyecto, los actuadores ya se encuentran emplazados en el sistema de banda, se procederá a extender los datos de la tabla 5 y tabla 6 obtenidos de la placa para el dimensionamiento de los conductores, contactores y elementos de protección, ver tabla 14.

**Tabla 14***Característica de los actuadores rotativos*

<b>Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>Tensión [VAC]</b>	<b>I<sub>n</sub> [A]</b>	<b>Potencia [KW]</b>	<b>Cosφ</b>	<b>rpm</b>	<b>IP</b>	<b># Fases</b>
Motor ABB banda de cadena (ver figura 39)	1	380	4.72	2.2	0.83	1144	55	3
Motor WEG banda inclinada 1 (ver fig 40)	1	380	4.71	2.2	0.81	1750	55	3
Motor WEG rodillo cónico (ver fig 40)	3	380	4.71	2.2	0.81	1750	55	3
Motor WEG banda inclinada 2 (ver fig 41)	1	380	10.8	5.5	0.87	3495	55	3
Motor WEG banda expulsión de basura (ver fig 40)	2	380	4.71	2.2	0.81	1750	55	3
Lubricadora de aceite (ver fig 42)	1	380	0.83	0.25	0.69	1680	55	3
Motor WEG rodillo relee (ver fig 43)	1	380	14.5	7.5	0.88	3515	55	3
Motor WEG (ver fig 43)	1	380	14.5	7.5	0.88	3515	55	3
Bomba hidráulica WEG (ver fig 41)	1	380	10.8	5.5	0.87	3495	55	3

Figura 39

Placa del motor ABB 2.2 [KW]



Figura 40

Placa del motor WEG 2.2 [KW]



Figura 41

Placa del motor WEG 5.5 [KW]



Figura 42

Placa del lubricador 0.25 [KW]



Figura 43

Placa del motor WEG 7.5 [KW]



### Dimensionamiento de los conductores

El método para calcular la sección de un conductor se basa en dos criterios: que el conductor sea capaz de soportar la intensidad máxima que circula por el circuito y que la caída de tensión no sea superior a un determinado valor marcado por el reglamento electrotécnico de baja tensión.

Para el cálculo de la corriente recurrimos a la siguiente expresión o bien si tenemos el dato de placa.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos \varphi * \eta} = \frac{2200}{\sqrt{3} * 380 * 0.81 * 0.85} = 4.73[A]$$

Observando los datos de la tabla 12 podemos apreciar que los datos de corriente del motor ABB es similar al calculado, por lo cual resulta más práctico partir desde la corriente nominal dada por la placa. Para alimentación de motores nunca deben utilizarse secciones de cable inferior a 12 AWG, ya que estos equipos están diseñados en muchos casos para trabajar en sobrecarga (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiu, & Sánchez Horneros, 2014).

La ITC-BT-47 establece criterios técnicos para la instalación y dimensionamiento de máquinas eléctricas como, los conductores de alimentación de un motor deben ser dimensionados para una intensidad del 125% de la corriente nominal (REBT, 2002, pág. 199).

$$I = \frac{4.73 * 125}{100} = 5.91[A]$$

Debemos de considerar que muchas veces los motores se encuentran alejados de la fuente de alimentación lo cual provoca una caída de tensión afectando el suministro de energía, para esto se debe considerar la siguiente expresión.

$$S = \frac{\sqrt{3} * \rho * L * I}{\Delta V}$$

Dónde:

S: sección del conductor expresada en mm<sup>2</sup>.

$\rho$ : resistividad de los materiales conductores (Cu=0.021, Al=0.033).

L: distancia de la fuente a la carga.

I: intensidad de corriente.

$\Delta V$ : caída de tensión.

De acuerdo a la REBT la caída de tensión permisible entre la fuente de alimentación y cualquier punto de utilización debe ser del 5% para contactos más alejados y 3% para calefacción, fuerza, alumbrado y una combinación de ellas (REBT, 2002). Para este proyecto no haremos uso de esta igualdad ya que las distancias entre la fuente y la carga no superan los 50 metros, es decir no hay una caída de tensión relevante.

Ahora para la selección de los conductores debemos de considerar los criterios expuestos anteriormente y recurrir a la tabla de ampacidad dada por la NOM 001, ver figura 44. Debemos de recordar que en las máquinas eléctricas se da un sobreimpulso de corriente al momento del arranque comprendido entre 3 y 7 veces la corriente nominal, es por esto que se debe sobre dimensionar al conductor para que soporte los picos generados por la corriente transitoria y las sobrecargas.

Figura 44

Tabla de ampacidad NOM 001

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Véase la tabla 310-104(a)]					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW- LS, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW- 2, ZW-2	TIPOS UF	TIPOS RHW, XHHW, USE	TIPOS SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
		COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.824	18 <sup>™</sup>	—	—	14	—	—	—
1.31	16 <sup>™</sup>	—	—	18	—	—	—
2.08	14 <sup>™</sup>	15	20	25	—	—	—
3.31	12 <sup>™</sup>	20	25	30	—	—	—
5.26	10 <sup>™</sup>	30	35	40	—	—	—
8.37	8	40	50	55	—	—	—
13.3	6	55	65	75	40	50	55
21.2	4	70	85	95	55	65	75
26.7	3	85	100	115	65	75	85
33.6	2	95	115	130	75	90	100
42.4	1	110	130	145	85	100	115
53.49	1/0	125	150	170	100	120	135
67.43	2/0	145	175	195	115	135	150
85.01	3/0	165	200	225	130	155	175
107.2	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	195	230	260
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	350	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	315	375	425
380	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	445
456	900	435	520	585	355	425	480
507	1000	455	545	615	375	445	500
633	1250	495	590	665	405	485	545
760	1500	525	625	705	435	520	585
887	1750	545	650	735	455	545	615
1013	2000	555	665	750	470	560	630

En la tabla 15 podemos apreciar el calibre seleccionado de cada motor con respecto a la corriente.

**Tabla 15**

*Dimensionamiento de los conductores*

<b>Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>Tensión [V]</b>	<b>Intensidad [A]</b>	<b>Sección AWG</b>
Motor ABB banda de cadena	1	380	5.9	10
Motor WEG banda inclinada 1	1	380	5.88	10
Motor WEG rodillo cónico	3	380	5.88	10
Motor WEG banda inclinada 2	1	380	13.6	8
Motor WEG banda expulsión de basura	2	380	5.88	10
Lubricadora de aceite	1	380	1.04	14
Motor WEG rodillo relee	1	380	18.13	6
Motor WEG	1	380	18.13	6
Bomba hidráulica WEG	1	380	13.5	8

En los circuitos de control, la sección utilizada será generalmente 14 AWG, ya que las cargas que alimentan presentan un consumo muy bajo.

### **Dimensionamiento de actuadores lineales**

Este tipo de actuador transforma energía neumática o hidráulica en un movimiento lineal por medio de la activación de un cilindro que forma parte de un proceso con la

finalidad de generar un efecto sobre un sistema automatizado. El cilindro neumático consiste en un cilindro cerrado con un pistón en su interior que desliza y que transmite su movimiento al exterior mediante un vástago.

Existen dos tipos fundamentales de los cuales se derivan configuraciones especiales:

- **Cilindro de simple efecto**, desarrolla un trabajo en un solo sentido. El émbolo se hace retornar por medio de un resorte interno o por algún otro medio externo como cargas, movimientos mecánicos, etc.
- **Cilindro de doble efecto**, son aquellos que realizan su carrera de avance como la de retroceso por acción del aire comprimido. Su denominación se debe en que permite el ingreso de aire en ambas cámaras del cilindro, por lo que estos componentes pueden realizar trabajo en ambos sentidos.

Las principales variables a considerar en el dimensionamiento y selección de los cilindros neumáticos son la fuerza del cilindro, la carga, la presión de aire y la velocidad de salida del vástago, pero para las necesidades de este proyecto la velocidad de salida no es relevante por lo cual se prioriza el valor de la fuerza. Antes de pasar al dimensionamiento del cilindro hay que mencionar que se realizó un estudio de las trozas para determinar su masa, donde obtuvimos una masa promedio de 97,61 Kg, este dato es importante porque interviene en los cálculos para la selección del cilindro.

$$F = P * S * R$$

Dónde:

P: presión de aire o presión de trabajo.

S: superficie del embolo .

R: rozamiento de las juntas dinámicas del cilindro.

Hay un criterio que se debe considerar para el rozamiento de las juntas el cual es que  $R=0.85$  para cilindros de hasta 40 mm de diámetro y  $R=0.95$  para cilindros mayores de 40 mm de diámetro.

$$F = m * g; \quad S = \pi * r^2$$

$$m * g = P * \frac{\pi * d^2}{4} * R$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * m * g}{\pi * P * R}} = \sqrt{\frac{4 * 97.62 * 981}{\pi * 600000 * 0.95}}$$

$$d = 0.0462 \text{ m} \therefore 46.2 \text{ mm}$$

Sobredimensionamos el diámetro por un factor de 1.2, esto se hace para compensar parte de la energía que se pierde por motivos de rozamiento y bajadas de presión en la red.

$$d \geq 1.2 * 46.2$$

$$d \geq 55.44 \text{ mm}$$

Con este valor obtenido recurrimos a la figura 45 la cual nos ayudara a seleccionar el diámetro de sección normalizado del cilindro.

### Figura 45

*Tabla normalizada cilindros neumáticos*

Diámetro cilindro mm	Diámetro Vástago mm	A+ N a 6 bar	A- N a 6 bar
10	4	47	39
12	6	67	50
16	6	120	103
20	8	188	158
25	10	294	245
32	12	482	414
40	16	753	633
50	20	1178	989
63	20	1870	1681
80	25	3015	2721
100	25	4712	4418
125	32	7353	6881
160	40	12063	11309
200	40	18849	18095
250	50	29452	28274

## Protección y maniobra

### Dimensionamiento interruptor automático

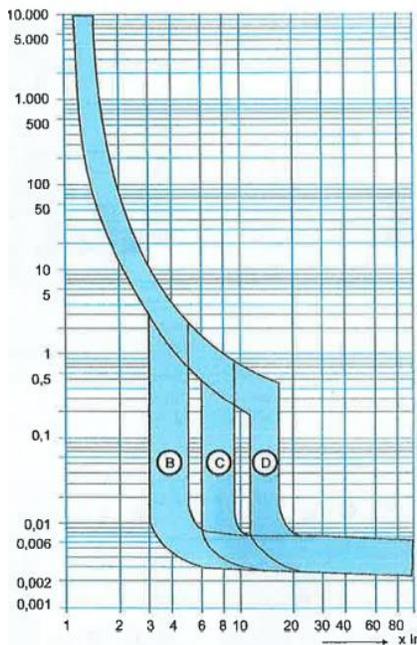
Para los interruptores termomagnéticos no regulables, la corriente magnética se ajusta en fábrica según la norma IEC 60947:

<b>Categoría</b>	<b>Ajuste magnético</b>	<b>Aplicaciones</b>
B	3.2 a 4.8 $I_n$	<p>Protección de circuitos con cargas resistivas (alumbrado, calefacción, etc.)</p> <p>Circuitos con intensidades débiles de cortocircuito (alternador).</p> <p>Protección de circuitos en los que no se produce transitorios.</p>
C	5 a 10 $I_n$	<p>Aplicaciones usuales de distribución.</p> <p>Protección de circuitos con cargas mixtas y habitualmente en las instalaciones de uso doméstico o análogo.</p> <p>Protección de circuito con cargas inductivas y capacitivas.</p> <p>Protección de pequeños motores.</p>
D	10 a 14 $I_n$	<p>Protección de circuitos con cargas inductivas o capacitivas importantes (motores, baterías de condensadores, etc.)</p> <p>Evita los disparos intempestivos, especialmente en el arranque de motores.</p> <p>Corrientes elevadas como transformadores.</p> <p>Cuando se prevén transitorios importantes.</p>
MA (solamente magnético)	12 $I_n \pm 20\%$	<p>Protección en el arranque de motores.</p> <p>Poseen un umbral de funcionamiento destinado a una continuidad máxima de servicio. Por esa razón se utiliza en los servicios de seguridad.</p>

Antes de proceder al dimensionamiento del interruptor automático debemos de poder interpretar las curvas de disparo, ver figura 46.

**Figura 46**

*Curvas de disparo corriente vs tiempo IEC 60947*



La curva tiene dos zonas bien diferenciadas, una en la que el disparo se produce tras un largo período de tiempo para bajas intensidades de defecto (zona de sobre carga) y otra donde el disparo es prácticamente instantáneo para intensidades muy elevadas (zona de cortocircuito) (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiiu, & Sánchez Horneros, 2014).

En el eje de las ordenadas tenemos el tiempo de actuación de la protección expresado en segundos y minutos (0.001 hasta 0.99 se da en segundo y a partir de 1 se expresa en minutos), en el eje de las abscisas se encuentra el factor multiplicativo de la intensidad nominal y el rango comprendido entre cada categoría, una vez que la corriente de cortocircuito se encuentre en el rango de operación de la categoría del interruptor seleccionado este se activara abriendo el circuito.

La importancia de estas curvas radica en la selección de la categoría adecuada, ya que se trata de evitar que el dispositivo de protección actúe al detectar corrientes transitorias, es decir el pico de corriente que se genera al momento del arranque de las máquinas eléctricas. El objetivo de este elemento es proteger contra cortocircuitos y sobrecargas en estado permanente.

La aparición de un cortocircuito tiene como consecuencia la elevación de temperaturas y esfuerzos electrodinámicos en el interruptor. A pesar de esto, se necesita restablecer el servicio inmediatamente y para eso los interruptores tienen el poder de corte que los caracteriza  $I_{cn}$  es el máximo valor de corriente que el interruptor es capaz de interrumpir, la IEC 60898 establece ciertos valores nominales para la corriente de corte como 1.5, 3, 4.5, 6, 10, 15, 20, 25 [KA] (IEC 60898, 2020).

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos \varphi * \eta}$$

$$I_n = \frac{2200}{\sqrt{3} * 380 * 0.83 * 0.856}$$

$$I_n = 4.70 [A]$$

$I_n$  es el valor de la corriente nominal del actuador ABB 2.2 [KW], a continuación, se procederá a sobre dimensionar la protección.

$$I_p = 1.5 * I_n = 7.05 [A]$$

Para elegir la categoría del interruptor automático debemos de saber el factor multiplicativo de la corriente transitoria del actuador, para eso debemos de ir hasta los datos de placa. La corriente transitoria del motor ABB es de 6 veces la corriente nominal, por lo cual la corriente magnética se encuentra comprendida en la categoría C.

$$I_m = 6 * I_n = 6 * 4.70$$

$$I_m = 28.2[A]$$

Si la corriente generada por un cortocircuito supera los 28.2 [A] el interruptor termomagnético actuará en cuestión de fracciones de segundo provocando la apertura del circuito. A continuación, se realizará una tabla donde se recopilarán los datos para el dimensionamiento y selección de un interruptor, siguiendo los criterios anteriormente expuestos, ver tabla 16.

**Tabla 16**

*Dimensionamiento de los interruptores automáticos*

<b>Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>I<sub>n</sub> [A]</b>	<b>I<sub>p</sub> [A]</b>	<b>I<sub>m</sub> [A]</b>	<b>I<sub>cn</sub> [KA]</b>	<b>Categoría</b>
Motor ABB banda de cadena	1	4.70	7.05	6*I <sub>n</sub>	4.5	C
Motor WEG banda inclinada 1	1	4.72	7.07	7*I <sub>n</sub>	4.5	C
Motor WEG rodillo cónico	3	4.72	7.07	7*I <sub>n</sub>	4.5	C
Motor WEG banda inclinada 2	1	10.83	16.24	6.8*I <sub>n</sub>	4.5	C
Motor WEG banda expulsión de basura	2	4.72	7.07	7*I <sub>n</sub>	4.5	C
Lubricadora de aceite	1	0.83	1.24	4.3*I <sub>n</sub>	1.5	B
Motor WEG rodillo relee	1	14.47	21.7	7.2*I <sub>n</sub>	4.5	C
Motor WEG	1	14.47	21.7	7.2*I <sub>n</sub>	4.5	C
Bomba hidráulica WEG	1	10.83	16.24	6.8*I <sub>n</sub>	4.5	C

## Dimensionamiento de fusibles

Para el dimensionamiento de los fusibles debemos de recordar las condiciones expuestas en el apartado 2.6.1 donde se hace mención al factor multiplicativo de la corriente nominal y el tipo de fusible que debe ser elegido según las condiciones dadas por la carga.

Debemos de obtener la corriente nominal de los actuadores y para eso se recurre a los datos de  $I_n$  proporcionado por la tabla 14.

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos \varphi * \eta}$$

Después de obtener las corrientes nominales de cada actuador se consideran los siguientes criterios dado en la sección 2.6.1.

- Los fusibles deberán resistir durante una hora, una intensidad igual a 1,3 veces el valor nominal, para secciones de conductores de 10 mm<sup>2</sup> en adelante y 1,2 veces la de su valor nominal para secciones inferiores a 10 mm<sup>2</sup>.
- El tipo de fusible más apropiado para esta aplicación es el aM, porque protege contra cortocircuitos a los circuitos sometidos a picos de corriente de arranque de máquinas asíncronas que presentan sobre intensidades de 5 a 7 veces la corriente nominal de estos actuadores. La característica más relevante de este fusible es que permiten el paso de las sobre intensidad de arranque.

A continuación, se realizará una tabla donde se recopilarán los datos y criterios para el dimensionamiento y selección, siguiendo los criterios anteriormente expuestos, ver tabla 17.

**Tabla 17**

*Dimensionamiento de fusibles*

<b>Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>I<sub>n</sub> [A]</b>	<b>Sección AWG</b>	<b>I<sub>f</sub> [A]</b>	<b>Tipo</b>
Motor ABB banda de cadena	1	4.70	10	1.2*I <sub>n</sub>	aM
Motor WEG banda inclinada 1	1	4.72	10	1.2*I <sub>n</sub>	aM
Motor WEG rodillo cónico	3	4.72	10	1.2*I <sub>n</sub>	aM
Motor WEG banda inclinada 2	1	10.83	8	1.2*I <sub>n</sub>	aM
Motor WEG banda expulsión de basura	2	4.72	10	1.2*I <sub>n</sub>	aM
Lubricadora de aceite	1	0.83	14	1.2*I <sub>n</sub>	aM
Motor WEG rodillo relee	1	14.47	6	1.3*I <sub>n</sub>	aM
Motor WEG	1	14.47	6	1.3*I <sub>n</sub>	aM
Bomba hidráulica WEG	1	10.83	8	1.2*I <sub>n</sub>	aM

**Dimensionamiento de contactor**

El dimensionamiento de los contactores depende directamente de las características de cada aplicación según sea de distribución o control de motores, así los criterios básicos para elegir el contactor son:

- Categoría de empleo.
- Cadencia de funcionamiento < a 30 ciclos de maniobras por hora.
- Temperatura ambiente.
- Nivel de tensión  $\leq 440$  V (Schneider Electric, 1999).

Todas las máquinas eléctricas del presente proyecto corresponden a motores de jaula de ardilla que desarrollan más de 5 veces la corriente nominal al momento del arranque, por tal razón el funcionamiento corresponde a la categoría de empleo AC-3, observar figura 20.

Esta aplicación tendrá un número elevado de ciclos de maniobra tolerando sin peligro un deterioro del 0.5% de los ciclos de maniobras (Schneider Electric, 1999).

La temperatura ambiente de la ciudad de Esmeralda se encuentra entre los 22 °C a 25 °C, lo cual se encuentra por debajo de las especificaciones de la mayoría de fabricantes.

Es importante conocer las variables eléctricas como, corriente nominal del actuador, tensión de operación y la potencia para esto recurrimos a los datos presentados en la tabla 14.

$$I > I_n$$

La corriente que circula por el contactor debe ser mayor a la corriente nominal de la carga, esto se hace para evitar el deterioro temprano de los contactos móviles (soldadura por arco eléctrico), ver figura 47.

Figura 47

## Guía de elección de contactores IEC 947

Guía de elección		LC1- D09	LC1- D12	LC1- D18	LC1- D25	LC1- D32	LC1- D40	LC1- D50	LC1- D65	LC1- D80	LC1- D95		
Contactores													
Empleo en categoría AC-1	<b>Corriente de empleo máxima</b> según IEC 947-1 (para una frecuencia de 600 ciclos de maniobras por hora)												
	Con cable de sección	mm <sup>2</sup>	4	4	6	6	10	16	25	25	50	50	
	Corriente de empleo	≤ 40 °C	A	25	25	32	32	50	60	80	80	125	125
	según la temperatura ambiente	≤ 55 °C	A	20	20	26	26	44	55	70	70	100	100
	≤ 70 °C	A	17	17	22	22	35	42	56	56	80	80	
<b>Aumento de la corriente de empleo por conexión en paralelo de los polos</b>													
Aplicar a las corrientes que figuran a continuación los siguientes coeficientes, que tienen en cuenta el reparto a menudo desigual entre los polos:													
2 polos en paralelo: K = 1,6													
3 polos en paralelo: K = 2,25													
4 polos en paralelo: K = 2,8													
Empleo en categoría AC-3	<b>Corriente y potencia de empleo</b> (temperatura ambiente ≤ 55 °C)												
	Corriente de empleo máxima	≤ 440 V	A	9	12	18	25	32	40	50	65	80	95
	Potencia nominal	220/230 V	kW	8,2	3	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	25
	de empleo P	240 V	kW	2,2	3	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	25
	(potencias normalizadas de los motores)	380/400 V	kW	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37	45
		415 V	kW	4	5,5	9	11	15	22	25	37	45	45
		440 V	kW	4	5,5	9	11	15	22	30	37	45	45
		500 V	kW	5,5	7,5	10	15	18,5	22	30	37	55	55
		660/690 V	kW	5,5	7,5	10	15	18,5	30	33	37	45	45
	<b>Frecuencias máximas de ciclos de maniobras</b> (en función de la potencia de empleo y del factor de marcha) (θ ≤ 55 °C)												
Factor de marcha	Potencia de empleo												
≤ 0,85 %	P		1.200	1.200	1.200	1.200	1.000	1.000	1.000	1.000	750	750	
≤ 0,25 %	0,5 P		3.000	3.000	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.000	2.000	
	P		1.800	1.800	1.800	1.800	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	
Empleo en categoría AC-2 y AC-4 (Ue ≤ 690 V)	<b>Corriente cortada máxima</b> (en función de la frecuencia máxima de ciclos de maniobras (1) y del factor de marcha) (θ ≤ 55 °C) (2)												
	De 150 y 15% a 300 y 10%	A	30	40	45	75	80	110	140	160	200	200	
	De 150 y 20% a 600 y 10%	A	27	36	40	67	70	96	120	148	170	170	
	De 150 y 30% a 1.200 y 10%	A	24	30	35	56	60	80	100	132	145	145	
	De 150 y 55% a 2.400 y 10%	A	19	24	30	45	50	62	80	110	120	120	
De 150 y 85% a 3.600 y 10%	A	16	21	25	40	45	53	70	90	100	100		
(1) No sobrepasar la frecuencia máxima de ciclos de maniobras mecánicas.													
(2) Para las temperatura superiores a 55 °C, utilizar en las tablas de elección un valor de la frecuencia máxima de ciclos de maniobras igual al 80% del valor.													

A continuación, se realizará una tabla donde se tabulará las características eléctricas de los actuadores con respecto al dimensionamiento de los contactores, siguiendo los criterios anteriormente expuestos, ver tabla 18.

Tabla 18

## Dimensionamiento de los contactores

<b>Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>Tensión [V]</b>	<b>I<sub>n</sub> [A]</b>	<b>Potencia [KW]</b>	<b>I &gt; I<sub>n</sub> [A]</b>	<b>P_Empleo [KW]</b>
Motor ABB banda de cadena	1	380	4.72	2.2	12	5.5
Motor WEG banda inclinada 1	1	380	4.71	2.2	12	5.5
Motor WEG rodillo cónico	3	380	4.71	2.2	12	5.5
Motor WEG banda inclinada 2	1	380	10.8	5.5	25	11
Motor WEG banda expulsión de basura	2	380	4.71	2.2	12	5.5
Lubricadora de aceite	1	380	0.83	0.25	9	4
Motor WEG rodillo relee	1	380	14.5	7.5	32	15
Motor WEG	1	380	14.5	7.5	32	15
Bomba hidráulica WEG	1	380	10.8	5.5	25	11

### **Dimensionamiento relé térmico**

Los relés térmicos son los aparatos más utilizados para proteger los motores contra las sobre cargas débiles y prolongadas, los criterios básicos para la selección de este tipo de protección son (Schneider Electric, 1999):

- Número de polos.
- Tipo de rearme.
- Rango de operación en amperios.
- Clase de disparo.

La clase de disparo es determinante a la hora de seleccionar un relé térmico ya que durante la fase de arranque deben permitir el paso de la sobrecarga temporal que provoca el pico de corriente y activarse si dicho pico resulta excesivamente largo (Schneider Electric, 1999).

- **Relés de clase 10:** válidos para aplicaciones que poseen una duración de arranque inferior a 10 segundos.
- **Relés de clase 20:** permiten arranques de hasta 20 segundos de duración.
- **Relés de clase 30:** permiten arranques con un máximo de 30 segundos de duración.

La corriente límite de disparo está comprendida entre 1.05 y 1.20 veces el valor indicado, se debe tomar el valor de servicio dado por la placa el cual es el factor multiplicativo de la corriente de sobrecarga. A continuación, se procederá a realizar los cálculos para el motor ABB, se recurre a los datos de placa de la figura 38.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos \varphi * \eta}$$

$$I = \frac{2200}{\sqrt{3} * 380 * 0.83 * 0.856} = 4.70[A]$$

$$I_S = I * F_S$$

Dónde:

$I_S$ : corriente de servicio.

$F_S$ : factor de servicio.

$$I_S = 4.70 * 1.15$$

$$I_s = 5.4 [A]$$

Con lo anteriormente expuesto y el valor de corriente  $I_s$  encontrado debemos de seleccionar un relé térmico que comprenda ese nivel de corriente, a continuación, se realizará una tabla para presentar los datos de corriente de servicio, para cada actuador del sistema de banda ver tabla 19.

**Tabla 19**

*Dimensionamiento de los relés térmico*

<b>Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>Eficiencia <math>\eta</math></b>	<b><math>F_s</math></b>	<b><math>I_s</math> [A]</b>	<b>Clase</b>	<b>Escala [A]</b>
Motor ABB banda de cadena	1	0.856	1.15	5.41	10	4 ... 6.3
Motor WEG banda inclinada 1	1	0.875	1.15	5.42	10	4 ... 6.3
Motor WEG rodillo cónico	3	0.875	1.15	5.42	10	4 ... 6.3
Motor WEG banda inclinada 2	1	0.887	1.15	12.45	10	10 ... 14
Motor WEG banda expulsión de basura	2	0.875	1.15	5.42	10	4 ... 6.3
Lubricadora de aceite	1	0.663	1.15	0.95	10	0.85 ... 1.3
Motor WEG rodillo relee	1	0.895	1.15	16.63	10	15 ... 23
Motor WEG	1	0.895	1.15	16.63	10	15 ... 23
Bomba hidráulica WEG	1	0.887	1.15	12.45	10	10 ... 14

## **Automatización**

Para el desarrollo de la automatización se va a tomar como guía base la norma IEC 61131-3 y las recomendaciones que son sugeridas por este. Para desarrollar la automatización se utilizará un PLC S7- 1200, el cual se encargará de recibir las señales de los sensores y captadores, se encargará de su procesamiento según la lógica de programación desarrollada para poner en marcha los actuadores, esta programación se realizará mediante el software de TIA Portal.

TIA Portal es un innovador sistema que permite configurar de forma intuitiva y eficiente todos los procesos de planificación y producción industrial. Se destaca por su funcionalidad probada en varios tipos de industrias y por ofrecer un entorno de ingeniería unificado para todas las tareas de control, visualización y accionamiento. Este programa nos permite optimizar la calidad, eficiencia y la consistencia de todo el proceso de producción a través de diagnósticos temprano y funciones de administración (Siemens, 2020).

Para la lógica de programación del sistema de banda se ha recurrido al desarrollo de grafcet para representar y dar solución a la problemática encontrada.

## **Diseño grafcet**

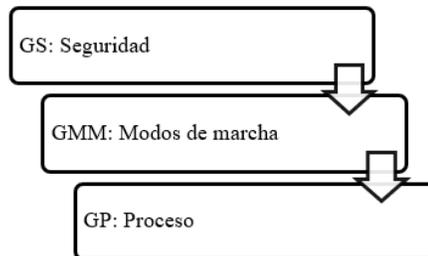
Es un lenguaje gráfico, derivado del lenguaje de relés que mediante símbolos representa contactos, solenoides, etc. El grafcet se concibió para sistematizar la programación del proceso implementando secuencias de etapas que tienen asociadas unas determinadas acciones a ejecutarse sobre el proceso junto con la validación de las transiciones (Sotomayor, 2018).

Está definido por unas reglas de evolución que demuestran la dinámica del comportamiento del sistema. Este representa estados del sistema que realizan diversas acciones, con condiciones que tienen que darse para la evolución de las etapas.

Con el fin de representar de manera clara la secuencia del proceso, se desarrolló la estructuración jerarquizada de forzamiento de varios graficet, ver figura 48.

### Figura 48

#### *Jerarquía del proceso*



Existen reglas para la utilización de los forzamientos jerarquizados, los cuales se deben cumplir para generar procesos seguros.

- Un graficet no puede forzarse a sí mismo.
- Un graficet no puede forzar un graficet del mismo nivel jerárquico.
- Un grafo de menor nivel no puede forzar a un grafo de mayor nivel.
- Dos grafos del mismo nivel jerárquico no pueden forzar al mismo gráfico.
- Se puede forzar un grafo incluso si este no está en marcha (Sotomayor, 2018).

En las figuras 49, 50, 51, 52 y 53 se ampliarán los graficet que muestra de manera simple el orden de evolución del comportamiento del proceso de abastecimiento de trozas

en la empresa Contrachapado de Esmeraldas S.A – Codesa y a continuación se presenta la tabla de asignación de variables, ver tabla 20.

**Tabla 20**

*Tabla de asignación de variables*

<b>N</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tags</b>	<b>Dirección</b>	<b>Tipo</b>
1	Pulsador paro de emergencia cabeza de seta tablero	SP_Emer_Tab	I0.2	Entrada_Dis
2	Pulsador paro de emergencia cabeza de seta OP1	SP_Emer_OP1	I0.5	Entrada_Dis
3	Pulsador de inicio	S_Ini	I1.2	Entrada_Dis
4	Pulsador de rearmen	S_Rear	I16.4	Entrada_Dis
5	Selector de banda horizontal	S_Ban_H	I16.6	Entrada_Dis
6	Selector banda inclinada 1	S_Ban_Incli1	I9.5	Entrada_Dis
7	Selector rodillo 1	S_Rodi1	I9.4	Entrada_Dis
8	Pulsador brazo neumático 1	S_Bra_Neum1	I8.3	Entrada_Dis
9	Selector para la sierra 1 y sierra 2	S_Sierra	I16.5	Entrada_Dis
10	Selector de paro de ciclo para la banda inclinada 1	SP_Ciclo1	I16.1	Entrada_Dis
11	Pulsador paro de emergencia cabeza de seta OP2	SP_Emer_OP2	I0.7	Entrada_Dis
12	Selector de modo de marcha manual	S_MM	I0.3	Entrada_Dis
13	Selector de modo de marcha automático	S_MA	I16.2	Entrada_Dis
14	Selector banda inclinada 2 giro horario	S_Ban_Incli2gh	I8.0	Entrada_Dis
15	Selector banda inclinada 2 giro antihorario	S_Ban_Incli2ga	I8.1	Entrada_Dis
16	Selector brazo neumático 2	S_Bra_Neum2	I8.4	Entrada_Dis
17	Selector brazo neumático 3	S_Bra_Neum3	I8.5	Entrada_Dis
18	Selector rodillo regle	S_Rodi_Regle	I9.1	Entrada_Dis

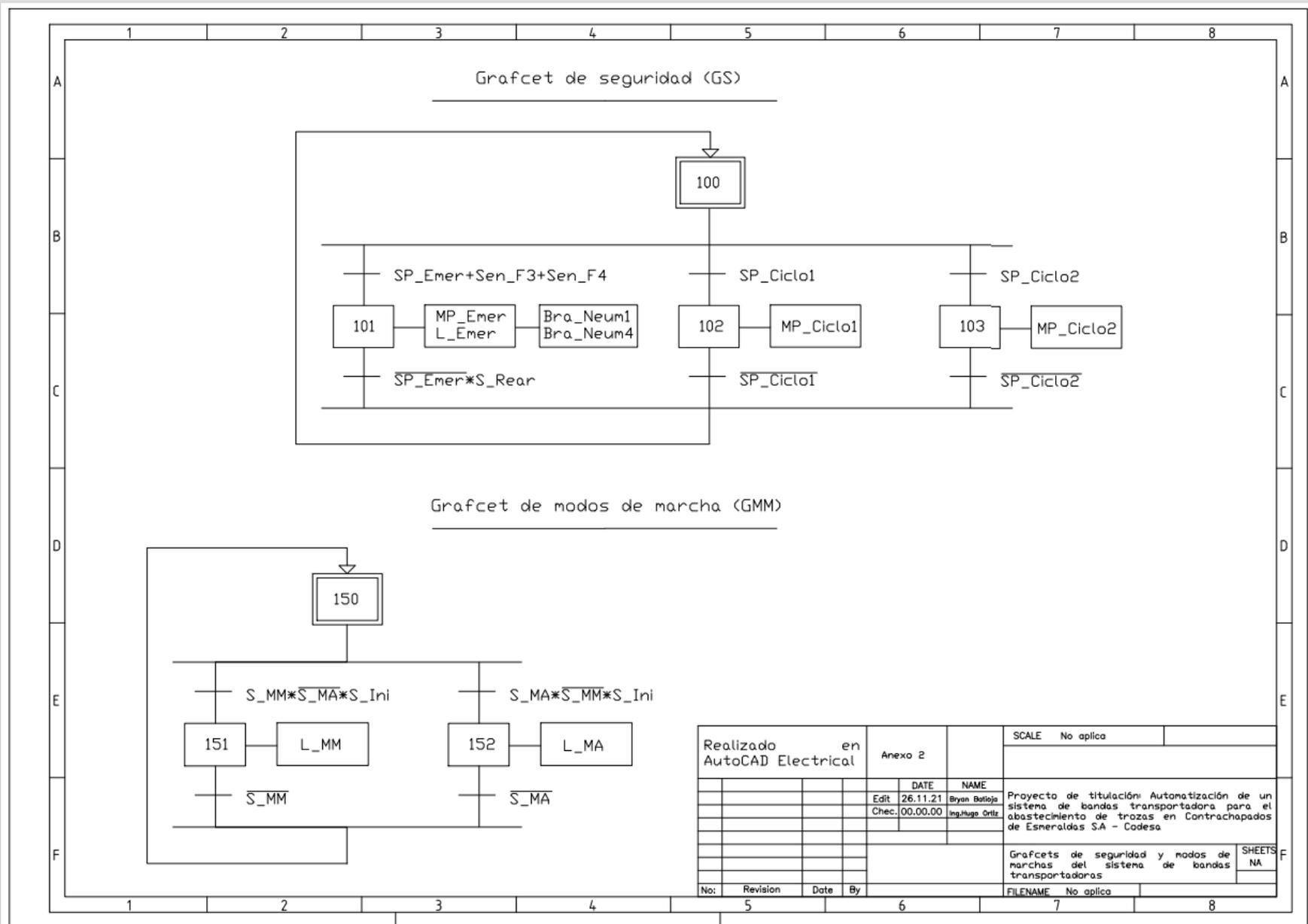
<b>N</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tags</b>	<b>Dirección</b>	<b>Tipo</b>
19	Selector rodillo doble	S_Rodi_Doble	I9.0	Entrada_Dis
20	Selector banco hidráulico	S_Hidraulico	I9.3	Entrada_Dis
21	Selector rodillo 2 giro horario	S_Rodi2gh	I8.6	Entrada_Dis
22	Selector rodillo 2 giro antihorario	S_Rodi2ga	I8.7	Entrada_Dis
23	Selector banda basura principal	S_Ban_BasP	I9.2	Entrada_Dis
24	Selector de paro de ciclo para la banda inclinada 2	SP_Ciclo2	I1.5	Entrada_Dis
25	Selector rodillo 3	S_Rodi3	I0.6	Entrada_Dis
26	Pulsador brazo neumático 4	S_Bra_Neum4	I1.0	Entrada_Dis
27	Pulsador para la banda dragón	S_Ban_Dra	I1.2	Entrada_Dis
28	Sensor fotoeléctrico banda inclinada 1 INT	Sen_F1	I20.1	Entrada_Dis
29	Sensor mecánico banda inclinada 1 INT	Sen_M1	I20.0	Entrada_Dis
30	Sensor mecánico de retroceso (brazo neumático1)	Sen_M2	I0.0	Entrada_Dis
31	Sensor fotoeléctrico rodillo 1	Sen_F2	I0.1	Entrada_Dis
32	Sensor fotoeléctrico de seguridad sierra 1	Sen_F3	I12.1	Entrada_Dis
33	Sensor fotoeléctrico de seguridad sierra 2	Sen_F4	I12.2	Entrada_Dis
34	Sensor fotoeléctrico rodillo 3	Sen_F5	I1.3	Entrada_Dis
35	Sensor mecánico de retroceso (brazo neumático4)	Sen_M3	I1.4	Entrada_Dis
36	Sensor fotoeléctrico banda inclinada 1 OUT	Sen_F6	I12.3	Entrada_Dis
37	Sensor fotoeléctrico banda inclinada 2 INT	Sen_F7	I12.5	Entrada_Dis
38	Sensor fotoeléctrico banda inclinada 2 OUT	Sen_F8	I12.6	Entrada_Dis
39	Sensor fotoeléctrico rodillo 3.1	Sen_F9	I12.7	Entrada_Dis
40	Sensor fotoeléctrico rodillo 3.2	Sen_F10	I16.0	Entrada_Dis

<b>N</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tags</b>	<b>Dirección</b>	<b>Tipo</b>
41	Señal de falla del relé térmico 1	Termo1	I20.2	Entrada_Dis
42	Señal de falla del relé térmico 2	Termo2	I20.3	Entrada_Dis
43	Señal de falla del relé térmico 3	Termo3	I20.4	Entrada_Dis
44	Señal de falla del relé térmico 4	Termo4	I20.5	Entrada_Dis
45	Señal de falla del relé térmico 5	Termo5	I20.6	Entrada_Dis
46	Señal de falla del relé térmico 6	Termo6	I20.7	Entrada_Dis
47	Relé auxiliar para la banda horizontal	Ban_H	Q8.1	Salida_Dis
48	Relé auxiliar para la banda inclinada 1	Ban_Incli1	Q8.3	Salida_Dis
49	Relé auxiliar para el rodillo 1	Rodi1	Q8.2	Salida_Dis
50	Relé auxiliar para el brazo neumático 1	Bra_Neum1	Q8.0	Salida_Dis
51	Relé auxiliar para la banda inclinada 2 giro horario	Ban_Incli2gh	Q0.2	Salida_Dis
52	Relé para la banda inclinada 2 giro antihorario	Ban_Incli2ga	Q0.3	Salida_Dis
53	Relé auxiliar para la bomba lubricadora	Lubri	Q8.7	Salida_Dis
54	Relé auxiliar para las sierras 1 y 2	Sierr_Seg12	Q9.0	Salida_Dis
55	Relé auxiliar para el rodillo 2 giro horario	Rodi2gh	Q0.0	Salida_Dis
56	Relé auxiliar para el rodillo 2 giro antihorario	Rodi2ga	Q0.1	Salida_Dis
57	Relé auxiliar para el brazo neumático 2	Bra_Neum2	Q0.6	Salida_Dis
58	Relé auxiliar para el brazo neumático 3	Bra_Neum3	Q0.7	Salida_Dis
59	Relé auxiliar rodillo 3	Rodi3	Q0.5	Salida_Dis
60	Relé auxiliar para el brazo neumático 4	Bra_Neum4	Q1.0	Salida_Dis
61	Relé auxiliar para la banda dragón	Ban_Dra	Q1.1	Salida_Dis
62	Relé auxiliar para la banda de basura principal	Ban_BasP	Q0.4	Salida_Dis
63	Relé auxiliar para el rodillo regle	Rodi_Regle	Q8.4	Salida_Dis

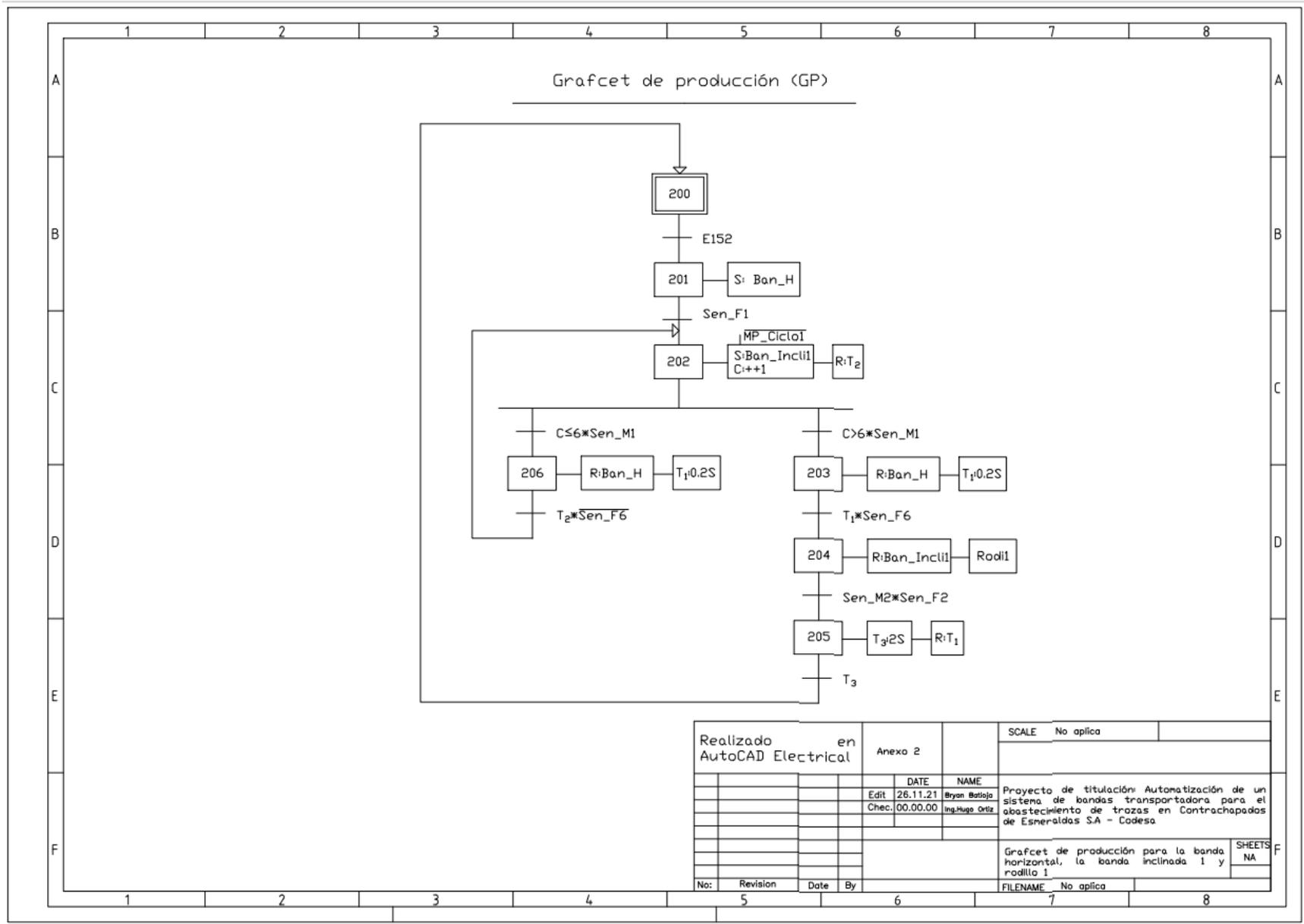
<b>N</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tags</b>	<b>Dirección</b>	<b>Tipo</b>
64	Relé auxiliar para el rodillo doble	Rodi_Doble	Q8.5	Salida_Dis
65	Relé auxiliar para banco hidráulico	Hidraulico	Q8.6	Salida_Dis
66	Luz piloto de estado de emergencia	L_Emer	Q9.1	Salida_Dis
67	Luz piloto de modo de marcha manual	L_MM	Q9.2	Salida_Dis
68	Luz piloto de modo de marcha automático	L_MA	Q9.3	Salida_Dis

Figura 49

Grafcet de seguridad y modo de marcha



Grafcet de producción da la banda horizontal, banda inclinada 1 y rodillo 1.



Grafcet de producción del brazo neumático 1 y la banda inclinada 2

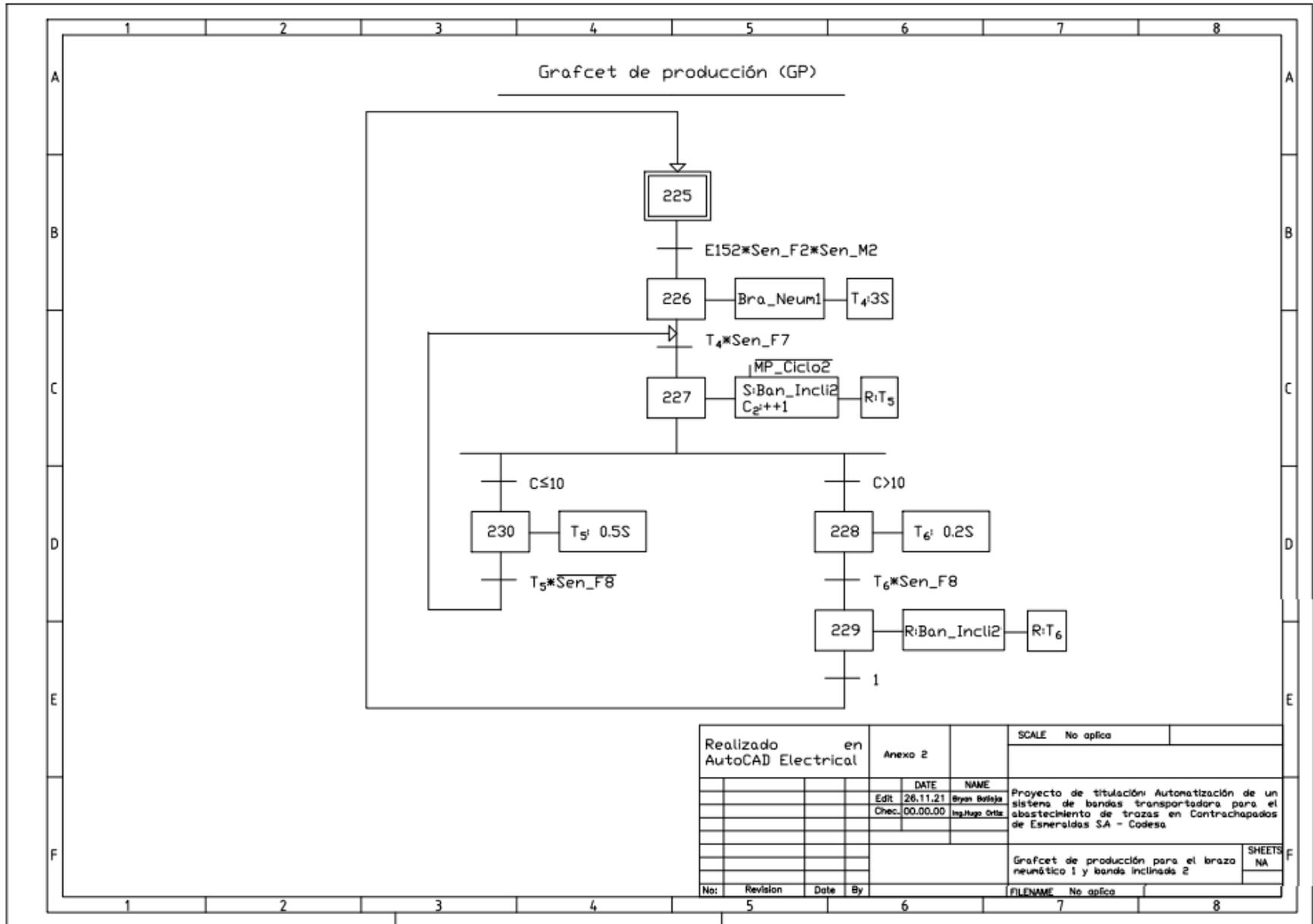
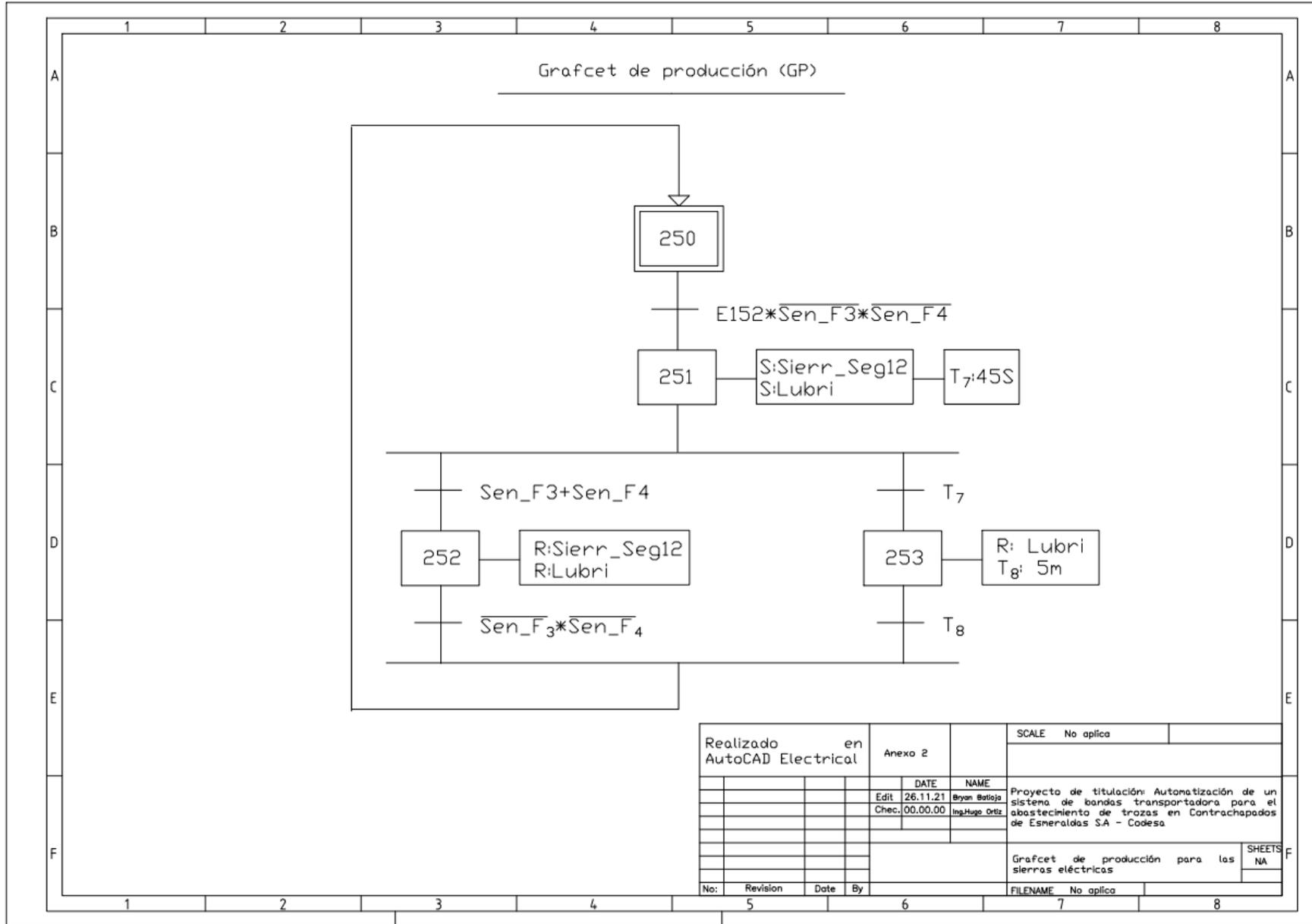
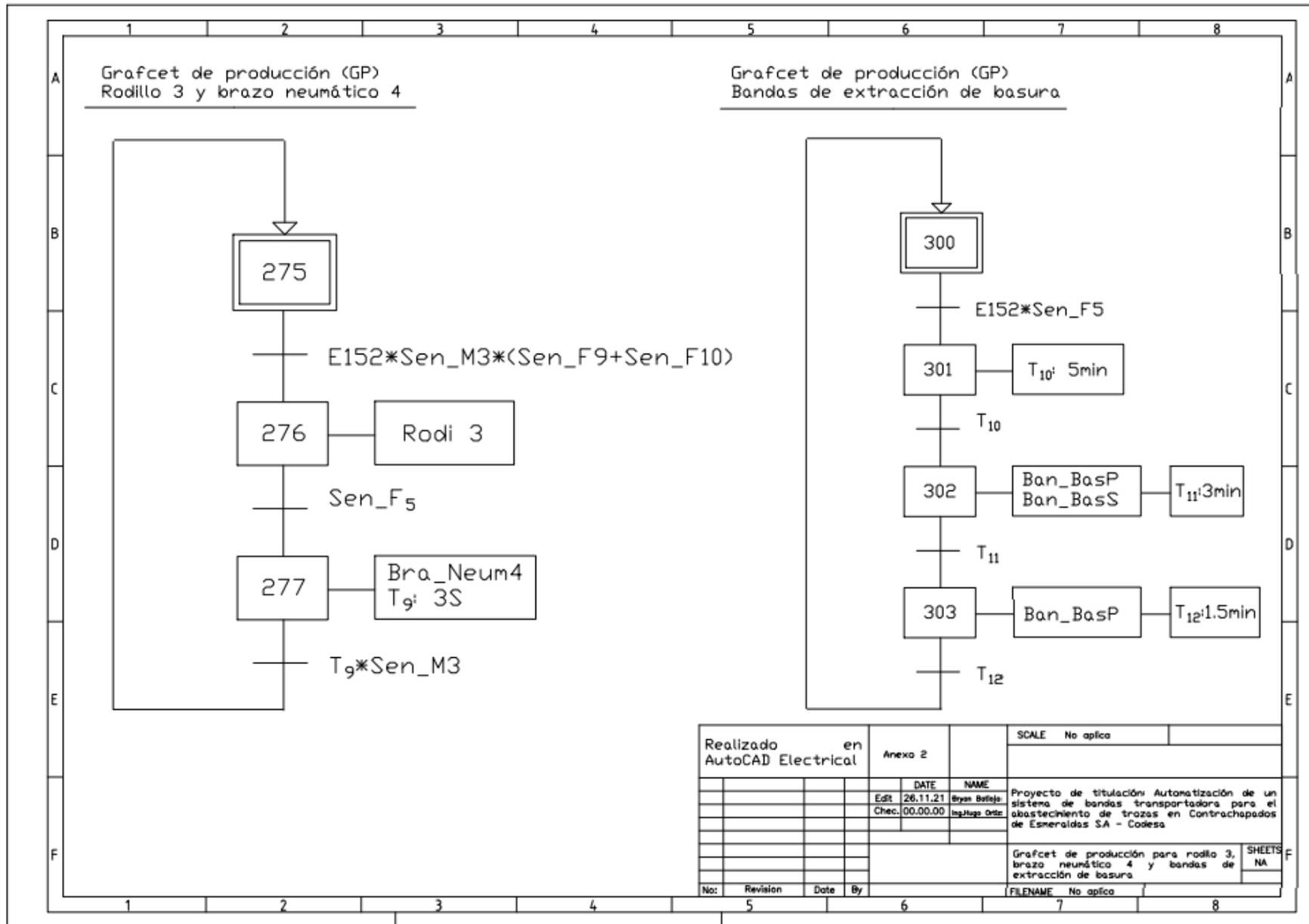


Figura 52

Grafcet de producción sierras y lubricador



Grafcet de producción rodillo 3, brazo neumático 4 y bandas de extracción de basura



## Diseño HMI

Para el desarrollo de la HMI se va a tomar como guía base la norma ANSI\_ISA 101 y las recomendaciones establecidas en el apartado 2.13.1.

### Fase #1: Estándar del sistema

- Filosofía: La interfaz de supervisión a desarrollar va dirigida a las necesidades de la empresa Contrachapados de Esmeraldas S.A – Codesa, esta empresa se dedica a la transformación de madera en laminas contrachapadas (Plywood). La problemática detectada en la empresa es la falta de monitoreo en el proceso de transformación y poca seguridad otorgada a los operadores.
- Guía de estilo: El sistema de bandas a automatizar requiere del desarrollo de un sistema de monitoreo para visualizar el estado de los captadores, actuadores y el estado del proceso, por tal razón el diseño de la interfaz precisa de varias pantallas para cumplir los requerimientos dados por el departamento de mantenimiento eléctrico.
- Librería de objetos: El software a utilizar será TIA Portal el cual consta del entorno de desarrollo WinCC, el cual es una poderosa herramienta de los equipos de Siemens para el control y desarrollo de sistemas de monitoreo en entornos industriales. Sus características más significativas se pueden resumir en:
  - Arquitectura de desarrollo abierta para facilitar la integración.
  - Simulación del proceso.
  - Comunicación vía OPC

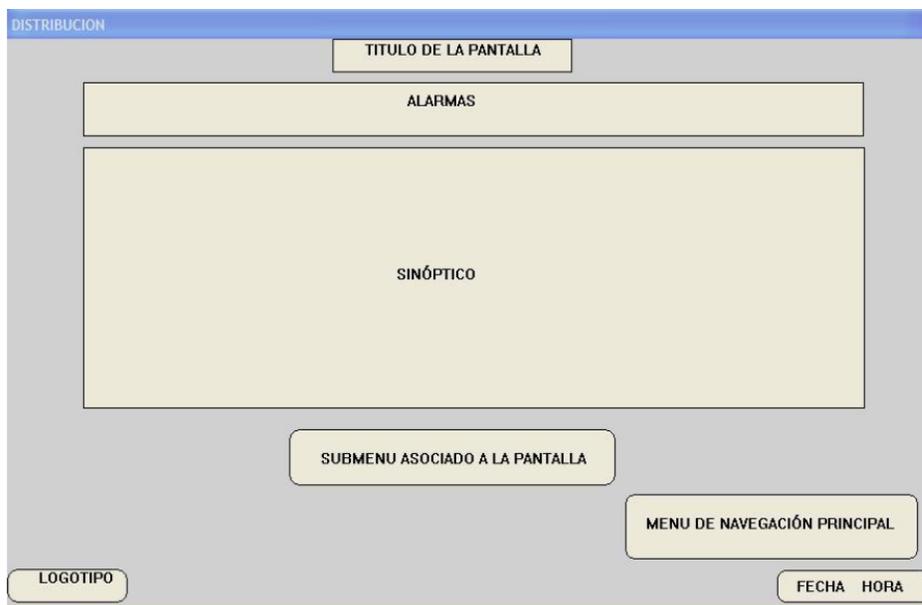
- Programación online para no detener la runtime del desarrollo.

## Fase #2: Diseño

Para el diseño de la interfaz se iniciará a partir de una plantilla general como se observa en la figura 54, esta plantilla proporciona noción para el desarrollo de las pantallas. El desarrollo de la HMI propuesta tiene como principal base los requerimientos técnicos solicitado por el departamento de mantenimiento de la planta y por opiniones de los operadores que se encuentran inmersos en el proceso, revisar el apartado 3.2.

### Figura 54

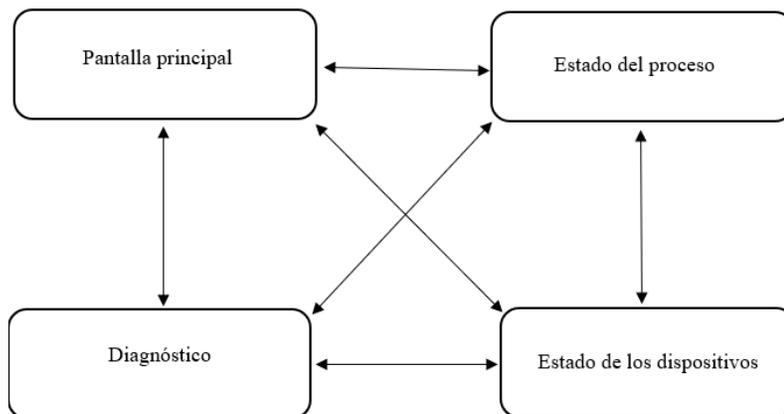
*Plantilla para el desarrollo de HMI, guía Gedís*



Es esencial determinar la navegación entre pantallas dentro del sistema. El objetivo es que el esquema de navegación sea intuitivo y fácil de usar para el personal de la empresa Contrachapados de Esmeraldas S.A – Codesa, para este fin se desarrolló un esquema de navegación, ver figura 55.

**Figura 55**

*Esquema de navegación entre pantallas*



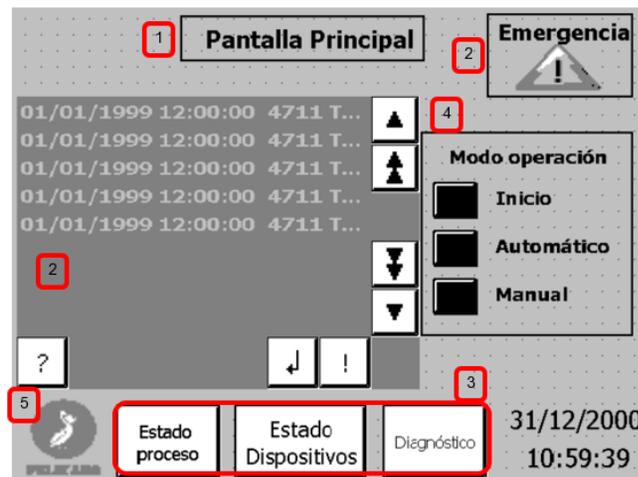
Se desarrollará cuatro pantallas de las cuales una será la pantalla principal y las otras tres serán pantallas secundarias, pero tendrán un fácil acceso para ir de una pantalla a otra, para que el personal de la planta no tenga mayor dificultad a la hora de acceder a la información mostrada en cada pantalla, las pantallas a diseñar serán: pantalla principal, estados del proceso, estado de los dispositivos y diagnóstico.

La figura 56 representa la pantalla principal, esta fue creada para el monitoreo de los modos de marcha y la visualización del estado del sistema, así como registro de alarmas y el estado de emergencia, en el recuadro de modo de operación se incluyó tres luces piloto que parpadean al momento de encontrarse activo el sistema y cuando los modos de marcha se encuentra activo, se debe mencionar que la pantalla utilizada es una KTP 600 monocromática por lo cual no se podía representar los estados de los equipos y proceso con colores, se optó por luces piloto parpadeantes una vez que se encuentra activa la variable de accionamiento, si la variable se encuentra en reposo las luces se tornan invisibles. La pantalla cuenta con los siguientes elementos:

1. Titulo
2. Alarmas y registro de alarmas
3. Botones de navegación entre pantallas
4. Modo de operación
5. Logotipo de la empresa

**Figura 56**

*Pantalla principal HMI, KTP 600*



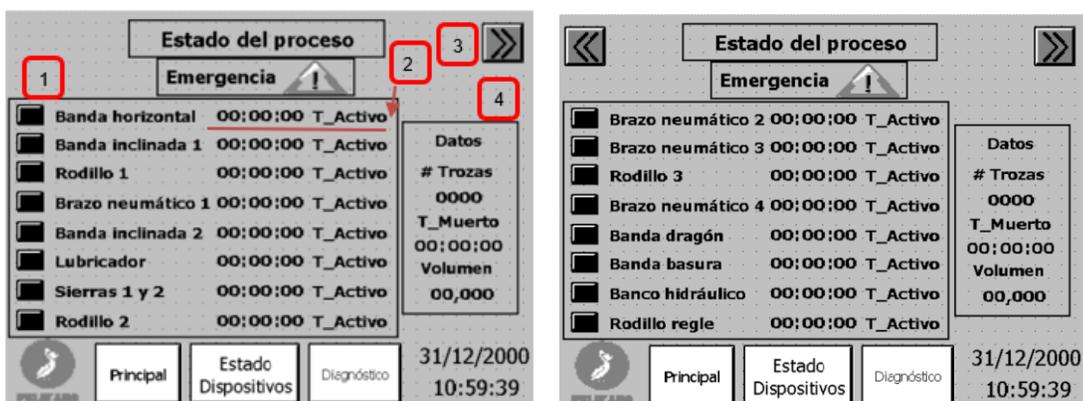
En la figura 57 se puede apreciar las pantallas de estado del proceso, aquí se representa el estado de los actuadores mediante luces piloto y la acumulación de tiempo que permanece activo de cada actuador, este parámetro es importante al momento de la planeación del mantenimiento preventivo de los equipos para minimizar el riesgo de averías y reducir la necesidad de realizar mantenimientos correctivos sobre los actuadores.

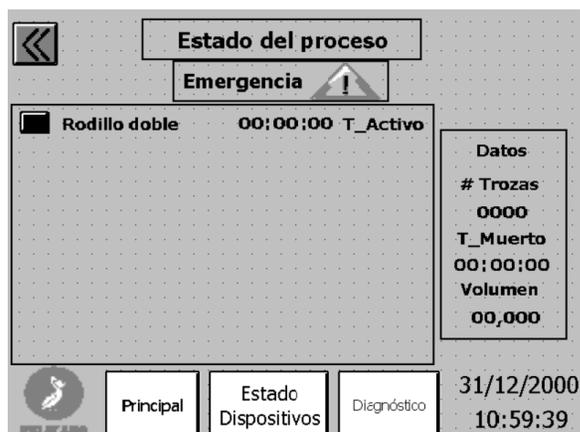
En el recuadro de datos se lleva el control del número de trozas que son transportadas y procesadas por el sistema, así como el tiempo muerto acumulado y el volumen promedio obtenido después de procesar las trozas. La pantalla cuenta con los siguientes elementos:

1. Tabla de actuadores
2. Acumulación de tiempo activo
3. Botones de navegación lateral
4. Recuadro de datos

**Figura 57**

*Pantallas del estado del proceso, KTP 600*



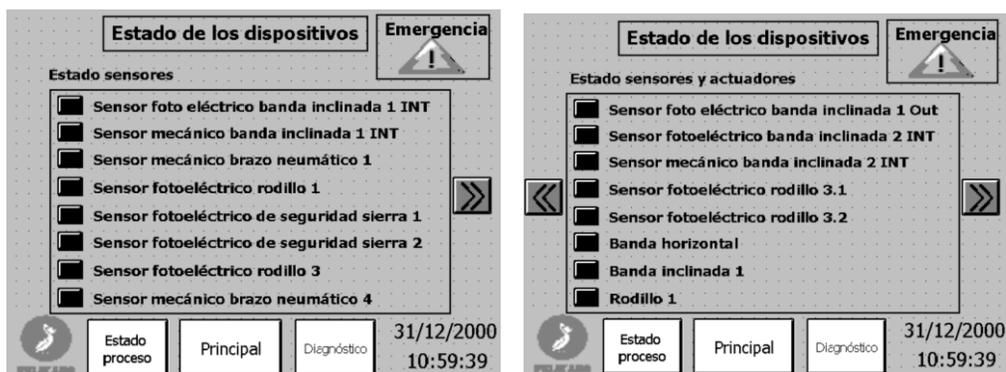


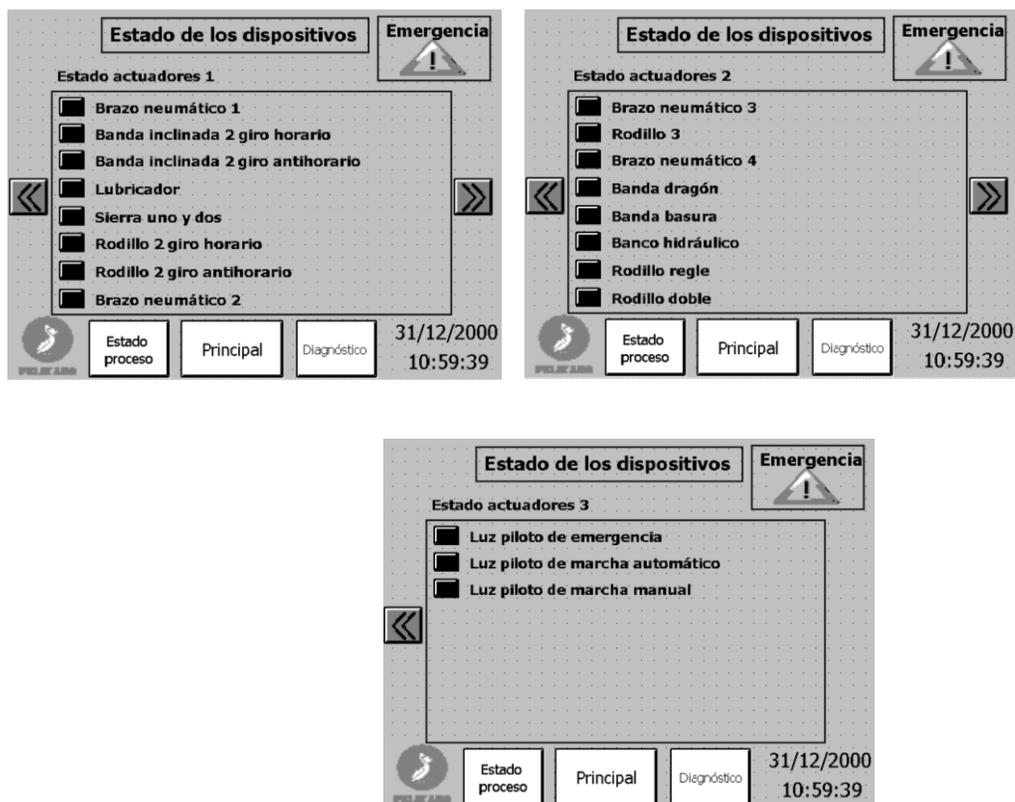
En la figura 58 representa el estado de los dispositivos, esta pantalla fue creada para determinar si los sensores o actuadores se encuentran en buen estado mediante luces piloto, la pantalla esta dirigida principalmente al personal técnico para facilitar la rápida identificación de fallas en estos elementos y así optimizar el tiempo de mantenimiento.

#### 1. Tabla de captadores y actuadores

**Figura 58**

*Pantallas del estado de los dispositivos, KTP 600*

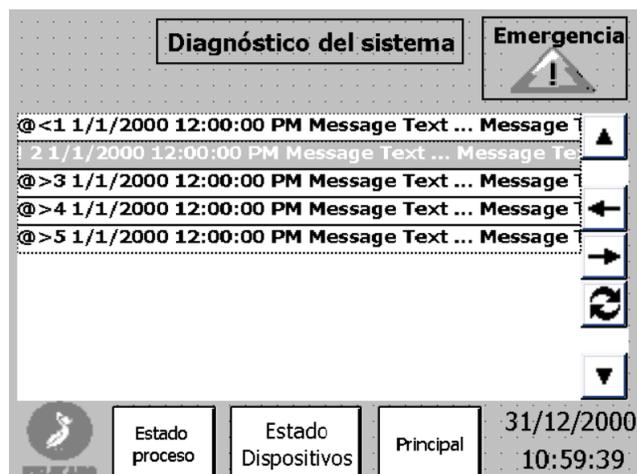




La figura 59 representa la pantalla de diagnóstico, muchas veces los componentes de hardware y los dispositivos de terceros pueden desencadenar fallas en el PLC llevándolo al paro, es por esto que el diagnóstico del sistema ofrece una cómoda posibilidad para que la CPU evalúe la información y la muestre en el registro de diagnóstico. Así se puede minimizar los tiempos de inactividad no planificada (SIEMENS, 2020).

**Figura 59**

*Pantallas de diagnóstico, KTP 600*



También se creó una pantalla emergente para las alarmas en donde se configuraron las alarmas de los relés térmicos en caso de que estos dispositivos se accionen ante un aumento paulatino de la temperatura, ver figura 60.

**Figura 60**

*Pantalla emergente de alarmas, KTP 600*

1	Aviso de bit_1	El sistema entro en paro general	Errors	Variable_H...	8	%DB10.DBX0.0
2	Aviso de bit_2	Falla detectada en el relé térmico 1, revisar el fallo	Errors	Variable_HMI_1	9	%DB10.DBX0.1
3	Aviso de bit_3	Falla detectada en el relé térmico 2, revisar el fallo	Errors	Variable_HMI_1	10	%DB10.DBX0.2
4	Aviso de bit_4	Falla detectada en el relé térmico 3, revisar el fallo	Errors	Variable_HMI_1	11	%DB10.DBX0.3
5	Aviso de bit_5	Falla detectada en el relé térmico 4, revisar el fallo	Errors	Variable_HMI_1	12	%DB10.DBX0.4
6	Aviso de bit_6	Falla detectada en el relé térmico 5, revisar el fallo	Errors	Variable_HMI_1	13	%DB10.DBX0.5
7	Aviso de bit_7	Falla detectada en el relé térmico 6, revisar el fallo	Errors	Variable_HMI_1	14	%DB10.DBX0.6
8	Aviso de bit_8	Falla en la sierra 1, se movio la hoja de la sierra	Errors	Variable_HMI_1	15	%DB10.DBX0.7
9	Aviso de bit_9	Falla en la sierra 2, se movio la hoja de la sierra	Errors	Variable_HMI_1	0	%DB10.DBX1.0

Está herramienta permite identificar rápidamente una falla de sobrecarga suscitado en los actuadores rotativos, porque se despliega en la HMI un mensaje que indica el tipo de falla el actuador en dónde se dio y una pequeña recomendación para poner al sistema en marcha nuevamente.

### Fase #3: Implementación

Comprende el desarrollo completo de la interfaz con el software, con la intención de llevar el diseño a una pantalla real, se evaluó si el diseño cumplió con los parámetros establecidos por el departamento de mantenimiento eléctrico, si el diseño expone la información adecuada y se determinó que la HMI cumple con las recomendaciones de la norma.

## **Capítulo IV**

### **Implementación**

#### **Selección de dispositivos**

El sistema de bandas transportadora a automatizar en la empresa Contrachapados de Esmeraldas S.A – Codesa, debe cumplir los requerimientos mínimos establecidos en el capítulo 3, una vez realizado el dimensionamiento de los dispositivos a utilizar, es fundamental realizar la selección siguiendo los criterios expuestos en el diseño del sistema, todos los elementos seleccionados en este apartado serán proporcionado por la empresa Contrachapados de Esmeraldas S.A – Codesa para la implementación.

#### **Selección del autómeta y sus módulos**

Se utilizará un controlador Siemens S7-1200 para llevar acabo la automatización del conjunto de bandas transportadoras, el cual presenta ventajas tales como flexibilidad y alta posibilidad de escalamiento mediante la integración de módulos, bajo costo y amplio juego de instrucciones. Las características competitivas que presenta la CPU 1214C la convierte en la idónea para las necesidades de este proyecto, ya que integra 14 entradas discretas, 10 salidas discretas y se le puede integrar hasta 8 módulos de señales E/S, 3 módulo de comunicación, superando ampliamente a su predecesora, con la integración de los módulos de entrada y salida serán suficiente para el gran número de señales que deben ser cableadas al PLC, ver tabla 21.

**Tabla 21***Especificaciones técnicas PLC 1200 - CPU 1214C*

Dispositivo	Características	Especificación
Siemens S7-1200	Tensión de funcionamiento	20.4/ 28.8 [VDC]
CPU 1214C	Consumo de corriente	500/ 1500 [mA]
	Número de entradas discretas	14 DI
	Número de salidas discretas	10 DQ
	Número de entrada analógica	2 AI
	Ampliación con módulos de señales	8 SM
	Ampliación de módulos de comunicación	3 CM
	Memoria de usuario	4 MB
	Grado de protección IP	IP 20

Nota: Tomado de (SIEMENS, 2018)

Según el fabricante la corriente máxima consumida con todos los accesorios de ampliación no supera 1500 [mA]. Conocidas las características del PLC a usar surge la necesidad de alimentación y para ello recurriremos a una fuente de alimentación eficiente de Siemens como lo es la SITOP LOGO.

La familia S7-1200 ofrece diversos módulos y placas de conexión para ampliar las capacidades de la CPU con E/S adicionales y otros protocolos de comunicación. Debido al gran número de captadores y actuadores que se hacen presente en este proyecto de titulación para la automatización de las bandas, es necesario la integración de módulos SM 1223 y módulos 1221, ver tabla 22 y tabla 23.

**Tabla 22***Especificaciones técnicas SM 1223 E/S discretas*

Dispositivo	Características	Especificación
	Número de entradas discretas	16 DI
	Número de salidas discretas	16 DQ
	Tensión nominal	24 [VDC]
	Consumo de corriente	180 [mA]
	Vida útil de los contactos bajo carga nominal	100000 ciclos Apertura/cierre
	Tensión de salida	5 a 30 [VDC]
	Intensidad máx	2.0 [A]
	Vida útil de los contactos bajo carga nominal	100000 ciclos Apertura/cierre
	Grado de protección IP	IP 20

Nota: Tomado de (SIEMENS, 2018)

**Tabla 23***Especificaciones técnicas SM 1221 entradas discretas*

Dispositivo	Características	Especificación
	Número de entradas discretas	8 DI
	Tensión nominal	24 [VDC]
	Consumo de corriente	105 [mA]
	Vida útil de los contactos bajo carga nominal	100000 ciclos Apertura/cierre
	Longitud de cable	500 [m] Apantallado 300 [m]

	No apantallado
Grado de protección IP	IP 20

Nota: Tomado de (SIEMENS, 2018)

También es necesario la integración de un módulo de comunicación compacto CSM 1277 que se empleara para incrementar los slots ethernet del autómatas 1200 y permitir así una comunicación simultánea con la pantalla HMI (Siemens, 2018). Ofrece las siguientes funciones, ver tabla 24.

**Tabla 24**

*Especificaciones técnicas CSM 1277*

Dispositivo	Características	Especificación
	Número de puertos Ethernet	4
	Tensión	24 [VDC]
	Consumo de corriente	0.07 [A]
	Rango de temperatura	0 ... 60 °C
	Grado de protección IP	IP 20

Nota: Tomado de (Datasheet SIEMENS, 2014)

Para realizar la función de monitoreo es necesario una pantalla HMI y para ello la empresa proporciona una pantalla de 7 pulgadas del fabricante Siemens, observar tabla 25.

**Tabla 25**

*Especificaciones técnicas HMI KTP 600*

Dispositivo	Características	Especificación
	Tensión de alimentación	24 [VDC]
	Display monocromático	6"
	Escala de grises	4
	Número de teclas de función	6
	Memoria de usuario	1 MB
	Número de puertos Ethernet	1
	Grado de protección IP	IP 20

Nota: Tomado de (Datasheet SIEMENS, 2016)

Todos los componentes descritos hasta ahora pertenecen al fabricante Siemens y formarán parte en la integración del autómatas son totalmente compatibles entre sí, estos dispositivos juegan un papel importante porque suplirán necesidades en el montaje e instalación.

### Selección de los captadores

A continuación, se describen los principales factores que determinan la elección de un interruptor electromecánico:

- Protección contra condiciones ambientales como humedad, polvo, corrosión, temperatura, etc.
- El número de ciclo de maniobras.
- El número y tipo de los contactos.
- La naturaleza de la corriente, el valor de la tensión y de la corriente que se

deben controlar.

- Tipo de salida discreta o analógica.

Uno de los mayores fabricantes de sensores mecánicos a nivel mundial, como Siemens tiene una gran presencia en el país, sus productos son garantía de calidad, robustez y ampliamente puestos a prueba en las industrias ecuatorianas.

Para determinar la posición de las trozas se recurrirá a dos tipos de sensores de posición como lo son los sensores fotoeléctricos y sensores electromecánicos, ver tabla 26.

**Tabla 26**

*Especificaciones técnicas fin carrera vástago de acero*

Dispositivo	Requisitos mínimos	Especificación
Fin carrera Siemens	Número de contactos NC	1
SIRIUS 3SE5112	Número de contactos NA	1
	Tensión asignada	24 ... 400 [VDC] 24 ... 400 [VAC]
	Intensidad de conmutación	3 ... 0.12 [A] 6 ... 4 [A]
	Frecuencia de empleo	50 ... 60 [Hz]
	Vida útil de los contactos bajo carga nominal	100000 ciclos de maniobra
	Temperatura	-25 ... 85 °C
	Tipo de contacto	Mecánico
	Grado de protección IP	IP 66/ IP 67

Nota: Tomado de (Datasheet SIEMENS, 2019)

Este tipo de interruptor electromecánico será utilizado principalmente para determinar el estado inicial de los brazos neumáticos empleados en el conjunto de bandas transportadoras, este sensor es adecuado para llevar a cabo esta labor por su vástago de acero que es muy resistente a los choques y el gran número de ciclos de maniobra que puede soportar el contacto móvil.

Se debe mencionar que este no es el único tipo de interruptor electromecánico que será utilizado, ya que se requiere un sensor electromecánico que posea una varilla abatible en el vástago, ver tabla 27.

**Tabla 27**

*Especificaciones técnicas fin carrera palanca abatible*

Dispositivo	Requisitos mínimos	Especificación
Fin carrera Siemens	Número de contactos NC	1
SIRIUS 3SE5112	Número de contactos NA	1
	Tensión asignada	24 ... 400 [VDC] 24 ... 400 [VAC]
	Intensidad de conmutación	3 ... 0.12 [A] 6 ... 4 [A]
	Frecuencia de empleo	50 ... 60 [Hz]
	Temperatura	-25 ... 85 °C
	Tipo de contacto	Palanca abatible
	Grado de protección IP	IP 66/ IP 67

Nota: Tomado de (Datasheet SIEMENS, 2020)

También se hará uso de sensores fotoeléctricos por sus características a la hora de detectar todo tipo de objeto, elevado rendimiento luminoso, por su durabilidad

prácticamente ilimitada y por el rango de activación que supera ampliamente a los sensores electromecánicos, ver tabla 28.

Los principales factores que determinan la elección de un sensor fotoeléctrico son:

- Alcance de trabajo o rango de activación.
- Grado de protección contra condiciones ambientales.
- Tensión e intensidad de consumo en la bobina.
- Retraso en la disponibilidad (retraso al accionamiento y retraso en el desaccionamiento).

El sensor fotoeléctrico elegido para detectar las trozas pertenece al fabricante Sick, la cual es una empresa alemana con más de 70 años de experiencia ofreciendo productos para el sector industrial, tal vez no son tan conocidos como Siemens o Schneider pero sus productos gozan de una alta calidad.

**Tabla 28***Especificaciones técnicas sensor fotoeléctrico*

Dispositivo	Requisitos mínimos	Especificación
	Número de contactos NC	1
	Número de contactos NA	1
	Tensión de alimentación	24 ... 240 [VAC] 12 ... 240 [VDC]
	Intensidad de conmutación	3 [A] 3 [A]
	Frecuencia de empleo	50 ... 60 [Hz]
	Vida útil media	100000 h
	Temperatura	-25 ... 55 °C
	Rango de activación ajustable	5 ... 1700 [mm]
	Grado de protección IP	IP 67

Nota: Tomado de (Datasheet SICK, 2021)

Para la selección de todos los sensores nos basamos en los criterios dado por la norma IEC 60947 que fue abordada en la sección 2.4 y 3.11.

Los elementos de maniobra como los pulsadores y selectores son indispensables en la elaboración de las botoneras que se desarrollarán para el accionamiento de los actuadores en modo manual, selección de los modos de marcha y los paros de emergencia, ver tabla 29.

Los órganos de accionamiento de los pulsadores deberán estar conformes con el código de colores, como se observa en la figura 16, ya que en el mercado hay pulsadores de distintos colores y cada uno de ellos cumple una función en específico dentro de un

esquema de control, donde estás no deberan ser cambiados arbitrariamente (Norma Internacional IEC 60204-1, 2005).

**Tabla 29:**

*Especificaciones técnicas elementos de maniobra*

Dispositivo	Características	Especificación
<p><b>Pulsador seta (Emergencia)</b></p> <p>40 mm</p>  <p>Nota: Tomado de (Datasheet SIEMENS, 2021)</p> <p>Siemens</p> <p>SIRIUS ACT 3SU1100</p>	Número de contactos NC	1
	Tensión de empleo	5 ... 500 [V]
	Corriente máxima de operación	10 [A]
	Tipo de desenclavamiento	Por tracción
	Vida útil media	10000000 ciclos de maniobra
	Material	Plástico
	Conexión de bornes	24 ... 16 AWG
<p><b>Pulsador rasante (Arranque)</b></p> <p>22mm</p>  <p>Nota: Tomado de (Datasheet SIEMENS, 2021)</p> <p>Siemens</p> <p>SIRIUS ACT 3SU1100</p>	Número de contactos NA	1
	Tensión de empleo	5 ... 500 [V]
	Corriente máxima de operación	10 [A]
	Vida útil media	10000000 ciclos de maniobra
	Material	Plástico
	Conexión de bornes	18 ... 14 AWG
	Temperatura	-25 ... 70 C
Grado de protección IP	IP 69	

Dispositivo	Características	Especificación
<p><b>Selector 3 posiciones (Múltiple)</b></p> <p>22mm</p>  <p>Siemens</p> <p>SIRIUS ACT 3SU1100</p>	Número de posiciones de maniobra	3
	Tensión de empleo	5 ... 500 [V]
	Corriente máxima de operación	10 [A]
	Vida útil media	10000000 ciclos de maniobra
	Material	Plástico
	Conexión de bornes	18 ... 14 AWG
	Temperatura	-25 ... 70 °C
	Grado de protección IP	IP 69

Nota: Tomado de (Datasheet SIEMENS, 2021)

### Selección de los conductores

Previamente se realizó el dimensionamiento de los conductores considerando varios criterios dado por el reglamento electrotécnico de baja tensión (REBT 2002), norma ecuatoriana de la construcción y la NOM 001. Una vez aplicado los criterios y recomendaciones se obtuvieron datos que serán agrupados en la tabla 30, para más información sobre el dimensionamiento de conductores revisar apartado 3.12.1.

### Tabla 30

*Selección de los conductores*

<b>Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>Tensión [V]</b>	<b>I<sub>n</sub> [A]</b>	<b>Sección AWG</b>	<b>Tipos TW, UF [A]</b>
Motor ABB banda de cadena	1	380	5.9	10	30
Motor WEG banda inclinada 1	1	380	5.88	10	30
Motor WEG rodillo cónico	3	380	5.88	10	30
Motor WEG banda inclinada 2	1	380	13.6	8	40
Motor WEG banda expulsión de basura	2	380	5.88	10	30
Lubricadora de aceite	1	380	1.04	14	15
Motor WEG rodillo relee	1	380	18.13	6	55
Motor WEG	1	380	18.13	6	55
Bomba hidráulica WEG	1	380	13.5	8	40

En los circuitos de control, la sección utilizada será generalmente 14 AWG, ya que las cargas que alimentan presentan un consumo muy bajo.

### **Selección de actuadores lineales**

Una vez expuestos los criterios fundamentales y realizado el dimensionamiento en el apartado 3.12.2, se procederá a seleccionar un fabricante que tenga presencia en el país y oferte pistones neumáticos con diámetro superior o igual a 55.44 mm, el cual es el cilindro capaz de ejercer la fuerza necesaria para mover las trozas, ver tabla 31.

**Tabla 31***Especificaciones técnicas cilindro neumático*

<b>Dispositivo</b>	<b>Características</b>	<b>Especificación</b>
	Tipo de cilindro	Doble efecto
	Presión de trabajo nominal	1 ... 9 [BAR]
	Presión máxima	13.5 [BAR]
	Diámetro pistón	100 [mm]
	Carrera del vástago	250 [mm]
	Fabricante	Eternal Machinery America "EMC"
	Temperatura	-5 ... 70 °C
Grado de protección IP	IP 69	

Nota: Tomado de Contrachapados de Esmeraldas S.A. - Codesa

Como se puede apreciar en la tabla 31 el diámetro del pistón es el doble del valor obtenido en los cálculos desarrollado, por tal razón no presentará ninguna deficiencia de fuerza a la hora de mover las trozas, la empresa opto por un cilindro de 100 milímetro de diámetro porque en ese momento el distribuidor no poseía en stock cilindros de 63 u 80 milímetros.

### **Selección de interruptores automáticos**

Considerando los criterios y normas abordadas en el apartado 3.13.1 se procederá a la selección de los interruptores automáticos para la protección de las máquinas eléctricas. A continuación, se realizará la selección del interruptor termomagnético para el lubricador de aceite, ver tabla 32.

**Tabla 32**

*Especificaciones técnicas interruptor automático para lubricador de aceite*

<b>Dispositivo</b>	<b>Características</b>	<b>Especificación</b>
 <p>Siemens 5SL3304-7MB</p> <p>SENTRON</p>	Tensión de alimentación	400 [VAC]
	Intensidad de empleo	4 [A]
	Número de polos	3
	Categoría de disparo	C
	Vida útil	10000 ciclos de maniobra
	Poder de corte	4.5 [KA]
	Temperatura	-25 ... 45 °C
Grado de protección IP	IP 20	

Nota: Tomado de (Datasheet SIEMENS, 2021)

El interruptor seleccionado en la tabla 32 tiene una corriente de empleo de 4 [A] que claramente supera a los 1.3 [A] calculados en la sección 3.13.1 para el lubricador, esto se da a razón de que el dispositivo de protección no posee ese valor de corriente normalizado para tal magnitud.

El dispositivo termomagnético encargado de proteger a los motores WEG y ABB para una corriente de 7 [A] se describirá a continuación ver las características en la tabla 33.

**Tabla 33**

*Especificaciones técnicas interruptores automático para actuadores WEG y ABB, 7A*

<b>Dispositivo</b>	<b>Características</b>	<b>Especificación</b>
 <p>Siemens 5SL3310-7MB</p> <p>SENTRON</p>	Tensión de alimentación	400 [VAC]
	Intensidad de empleo	10 [A]
	Número de polos	3
	Categoría de disparo	C
	Vida útil	10000 ciclos de maniobra
	Poder de corte	4.5 [KA]
	Temperatura	-25 ... 45 °C
Grado de protección IP	IP 20	

Nota: Tomado de (Datasheet SIEMENS, 2021)

El interruptor seleccionado en la tabla 33 tiene una corriente de empleo de 10 [A] que claramente supera a los 7 [A] calculados en la sección 3.13.1, esto se da a razón de que el dispositivo de protección no posee ese valor de corriente normalizado para tal magnitud.

El dispositivo termomagnético encargado de proteger al motor WEG de la banda inclinada 2 para una corriente de 16 [A] se describirá a continuación ver las características en la tabla 34.

**Tabla 34**

*Especificaciones técnicas interruptores automático para actuadores WEG, 16A*

<b>Dispositivo</b>	<b>Características</b>	<b>Especificación</b>
 <p>Siemens 5SL3310-7MB</p> <p>SENTRON</p>	Tensión de alimentación	400 [VAC]
	Intensidad de empleo	16 [A]
	Número de polos	3
	Categoría de disparo	C
	Vida útil	10000 ciclos de maniobra
	Poder de corte	4.5 [KA]
	Temperatura	-25 ... 45 °C
Grado de protección IP	IP 20	

Nota: Tomado de (Datasheet SIEMENS, 2021)

Para el tablero de control de las bandas transportadoras se estableció un consumo máximo de 66.9 [A] según la tabla 16, la protección general se determina a partir de la suma de las corrientes de protección determinadas para cada máquina eléctrica, ver tabla 35.

Según la norma IEC 60439 la corriente general de protección  $I_{PG}$  debe ser multiplicado por el coeficiente de simultaneidad, el cual nos dice que es poco probable que todos los actuadores entren en funcionamiento en el mismo momento y a pleno rendimiento, es por esto que se establecerá una igualdad a continuación.

$$I_G = 0.8 * I_{PG}$$

Dónde:

$I_G$ : corriente de la protección general

$I_{PG}$ : corriente general de protección

$$I_G = 0.8 * 66.9 = 53.52 A$$

**Tabla 35**

*Especificaciones técnicas interruptor general*

Dispositivo	Características	Especificación
Siemens 3VT1706-2DC36- 0AA0	Tensión de alimentación	690 [VAC]
 <p>SENTRON</p>	Intensidad de empleo	63 [A]
	Número de polos	3
	Categoría de disparo	C
	Vida útil	6000 ciclos de maniobra
	Poder de corte	25 [KA]
	Frecuencia	50 ... 60 [Hz]
	Temperatura	-25 ... 45 °C
	Grado de protección IP	IP 40

Nota: Tomado de (Datasheet SIEMENS, 2020)

En la tabla 36 se presenta un pequeño resumen de las protecciones seleccionadas anteriormente, para una mejor comprensión.

**Tabla 36**

*Especificaciones técnicas de los interruptores automáticos del sistema de bandas*

<b>Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>Tensión [V]</b>	<b>I [A]</b>	<b># Polos</b>	<b>Categoría</b>	<b>Icn [KA]</b>	<b>Termomagnético</b>
Motor ABB banda de cadena	1	400	10	3	C	4.5	Siemens 5SL3310-7MB
Motor WEG banda inclinada 1	1	400	10	3	C	4.5	Siemens 5SL3310-7MB
Motor WEG rodillo cónico	3	400	10	3	C	4.5	Siemens 5SL3310-7MB
Motor WEG banda inclinada 2	1	400	16	3	C	4.5	Siemens 5SL3310-7MB
Motor WEG banda expulsión de basura	2	400	10	3	C	4.5	Siemens 5SL3310-7MB
Lubricadora de aceite	1	400	4	3	C	4.5	Siemens 5SL3304-7MB
Protección general	1	690	63	3	C	25	Siemens 3VT1706-2DC36-0AA0

### **Selección de fusibles**

Considerando los criterios y normas abordadas en el apartado 3.13.2 se procederá a la selección de los fusibles para la protección de los circuitos de potencia. A continuación, se realizará la selección de los fusibles para el lubricador de aceite, ver tabla 37.

**Tabla 37**

*Especificaciones técnicas fusibles para el lubricador de aceite*

<b>Dispositivo</b>	<b>Características</b>	<b>Especificación</b>	
Fusible 10X38 2A	Rango de tensión	500 [VAC]	
	Intensidad de empleo	2 [A]	
	Tamaño	10X38 [mm]	
	Categoría de utilización	aM	
	Frecuencia	45 ... 62 [Hz]	
	Poder de corte	120 [KA]	
	EATON	Grado de protección IP	IP 20

Nota: Tomado de (Datasheet EATON, 2021)

El dispositivo encargado de proteger a los motores WEG y ABB para una corriente de 7 [A] se describirá a continuación ver las características en la tabla 38.

**Tabla 38**

*Especificaciones técnicas fusibles para actuadores WEG y ABB, 7A*

<b>Dispositivo</b>	<b>Características</b>	<b>Especificación</b>	
Fusible 10X38 8A	Rango de tensión	500 [VAC]	
	Intensidad de empleo	8 [A]	
	Tamaño	10X38 [mm]	
	Categoría de utilización	aM	
	Frecuencia	45 ... 62 [Hz]	
	Poder de corte	120 [KA]	
	EATON	Grado de protección IP	IP 20

Nota: Tomado de (Datasheet EATON, 2021)

El dispositivo encargado de proteger al motor WEG de la banda inclinada 2 para una corriente de 16 [A] se describirá a continuación ver las características en la tabla 39.

**Tabla 39**

*Especificaciones técnicas fusible para actuadores WEG, 16A*

Dispositivo	Características	Especificación
 <p>Fusible 10X38 16A</p> <p>EATON</p>	Rango de tensión	500 [VAC]
	Intensidad de empleo	16 [A]
	Tamaño	10X38 [mm]
	Categoría de utilización	aM
	Frecuencia	45 ... 62 [Hz]
	Poder de corte	120 [KA]
	Grado de protección IP	IP 20

Nota: Tomado de (Datasheet EATON, 2021)

En la tabla 40 se presenta un pequeño resumen de las protecciones seleccionadas anteriormente, para una mejor comprensión, en ella se puede apreciar que las corrientes de empleo son menores a las corrientes de los interruptores automáticos, esto se da a razón de que el fusible es el primer elemento de protección que debe actuar ante un cortocircuito.

**Tabla 40**

*Especificaciones técnicas de los fusibles del sistema de bandas*

<b>Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>Tensión [V]</b>	<b>I<sub>r</sub> [A]</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Categoría</b>	<b>I<sub>cn</sub> [KA]</b>	<b>Fusible</b>
Motor ABB banda de cadena	1	500	8	10X38	aM	120	Fusible 10X38 8A EATON
Motor WEG banda inclinada 1	1	500	8	10X38	aM	120	Fusible 10X38 8A EATON
Motor WEG rodillo cónico	3	500	8	10X38	aM	120	Fusible 10X38 8A EATON
Motor WEG banda inclinada 2	1	500	16	10X38	aM	120	Fusible 10X38 16A EATON
Motor WEG banda expulsión de basura	2	500	8	10X38	aM	120	Fusible 10X38 8A EATON
Lubricadora de aceite	1	500	2	10X38	aM	120	Fusible 10X38 2A EATON

### **Selección de contactores**

Una vez expuestos los criterios fundamentales y realizado el dimensionamiento en el apartado 3.13.3, se procederá a seleccionar un fabricante que tenga presencia en el país y oferte contactores que se adapten a las necesidades expuestas en la tabla 18, los cuales son los requerimientos mínimos para seleccionar los contactores.

A continuación, se realizará la selección de los contactores que satisfacen los requerimientos mínimos, ver tabla 41 y tabla 42.

**Tabla 41***Especificaciones técnicas contactor LC1D09BD*

Dispositivo	Características	Especificación
	Tensión de activación	220 [VAC]
	Intensidad de empleo	9 [A]
	Número de polos de potencia	3 NA
	Categoría de empleo	AC-3
	Contactos auxiliares	1 NA + 1 NC
	Tensión de aislamiento	690 [VAC]
	Poder de corte	250 [A]
	Temperatura	-40 ... 60 °C
	Categoría de sobretensión	3
	TeSys D	Grado de protección IP

Normal: Tomado de (Datasheet Schneider Electric, 2021)

**Tabla 42***Especificaciones técnicas contactor LC1D12BD*

Dispositivo	Características	Especificación
	Tensión de activación	220 [VAC]
	Intensidad de empleo	12 [A]
	Número de polos de potencia	3 NA
	Categoría de empleo	AC-3
	Contactos auxiliares	1 NA + 1 NC
	Tensión de aislamiento	690 [VAC]

Dispositivo	Características	Especificación
TeSys D	Poder de corte	250 [A]
	Temperatura	-40 ... 60 °C
	Categoría de sobretensión	3
	Grado de protección IP	IP 20

Nota: Tomado de (Datasheet Schneider Electric, 2021)

A continuación, se realizará una tabla general donde se tabula las características eléctricas de los contactores con respecto a los actuadores eléctricos, ver tabla 43.

**Tabla 43**

*Selección de los contactores del sistema de bandas*

Equipo	Cant	Tensión bobina [V]	Tensión de aislamiento [V]	Categoría	Contactador
Motor ABB banda de cadena	1	220	690	AC-3	Schneider LC1D12BD
Motor WEG banda inclinada 1	1	220	690	AC-3	Schneider LC1D12BD
Motor WEG rodillo cónico	3	220	690	AC-3	Schneider LC1D12BD
Motor WEG banda inclinada 2	1	220	690	AC-3	Schneider LC1D25BD
Motor WEG banda expulsión de basura	2	220	690	AC-3	Schneider LC1D12BD
Lubricadora de aceite	1	220	690	AC-3	Schneider LC1D09BD

## Selección de relé térmico

Previamente se realizó el dimensionamiento de los relés térmicos considerando varios criterios dado por la norma IEC60947. Una vez aplicado los criterios y recomendaciones se obtuvieron datos que serán agrupados en la tabla 44, tabla 45 y tabla 46 para más información sobre el dimensionamiento de los relés térmicos revisar apartado 3.13.4.

**Tabla 44**

*Especificaciones técnicas del relé térmico LR2K0306*

Dispositivo	Características	Especificación
 <p>TeSys LS1</p>	Tensión de aislamiento	690 [VAC]
	Rango de ajuste	0.8 ... 1.2 [A]
	Número de polos de potencia	3 NA
	Clase	10
	Contactos auxiliares	1 NA + 1 NC
	Temperatura	-20 ... 55 °C
	Grado de protección IP	IP 20

Nota: Tomado de (Datasheet Schneider Electric, 2021)

**Tabla 45**

*Especificaciones técnicas del relé térmico LRD10*

Dispositivo	Características	Especificación
 <p>Schneider LRD10</p> <p>TeSys LRD</p>	Tensión de aislamiento	690 [VAC]
	Rango de ajuste	4 ... 6 [A]
	Número de polos de potencia	3 NA
	Clase	10
	Contactos auxiliares	1 NA + 1 NC
	Temperatura	-20 ... 55 °C
	Grado de protección IP	IP 20

Nota: Tomado de (Datasheet Schneider Electric, 2021)

**Tabla 46**

*Especificaciones técnicas del relé térmico LRD16*

Dispositivo	Características	Especificación
 <p>Schneider LRD16</p> <p>TeSys LRD</p>	Tensión de aislamiento	690 [VAC]
	Rango de ajuste	9 ... 13 [A]
	Número de polos de potencia	3 NA
	Clase	10
	Contactos auxiliares	1 NA + 1 NC
	Temperatura	-20 ... 55 °C
	Grado de protección IP	IP 20

Nota: Tomado de (Datasheet Schneider Electric, 2021)

A continuación, se realiza una tabla general donde se recopilará las características eléctricas de los relés térmicos con respecto a los actuadores eléctricos del sistema de banda a automatizar, ver tabla 47.

**Tabla 47***Selección de los relés térmicos del sistema de bandas*

<b>Equipo</b>	<b>Cant</b>	<b>Rango de ajuste [A]</b>	<b>Tensión de aislamiento [V]</b>	<b>Clase</b>	<b>Relé Térmico</b>
Motor ABB banda de cadena	1	4 ... 6	690	10	Schneider LRD10
Motor WEG banda inclinada 1	1	4 ... 6	690	10	Schneider LRD10
Motor WEG rodillo cónico	3	4 ... 6	690	10	Schneider LRD10
Motor WEG banda inclinada 2	1	9 ... 13	690	10	Schneider LRD16
Motor WEG banda expulsión de basura	2	4 ... 6	690	10	Schneider LRD10
Lubricadora de aceite	1	0.8 ... 1.2	690	10	Schneider LR2K0306

**Selección relé auxiliar**

Al ser un dispositivo auxiliar de control su estructura y función es muy similar a la de un contactor con la única diferencia de no poseer contactos principales y la limitación que poseen a la hora del manejo de altas corrientes (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiu, & Sánchez Horneros, 2014). Estos elementos son necesarios para poder manejar los niveles de tensión entre las fuentes de 24VDC y 220 VAC, dado que la salida de tensión del PLC no es suficiente para lograr activar a los contactores de potencia, es imprescindible la inclusión de relés auxiliares que sean activados con 24 VDC y por medio de sus contactos móviles permitan el paso de tensiones de 220VAC que es la energía necesaria para lograr el accionamiento del contactor de fuerza, observar tabla 48.

**Tabla 48**

*Especificaciones técnicas relé auxiliar C10-A10X*

Dispositivo	Características	Especificación
	Tensión de activación	30 [VDC] 230 [VAC]
	Corriente de consumo	32 [mA] 4.7 [mA]
	Tensión de conmutación	1000 V
	Corriente de conmutación	10 [A] – 10 [A]
	Categoría de empleo	DC-1 – AC-1
	Contactos auxiliares	1 NA + 1 NC
	Vida útil	≥100000 ciclo de maniobra
	Temperatura	-20 ... 60 °C
	Grado de protección IP	IP 40

Nota: Tomado de (Datasheet Releco)

Este relé tiene la posibilidad de trabajar bajo tensión AC y DC lo cual lo hace idóneo para la integración del proyecto.

### **Selección de luces piloto**

Para la selección de las luces piloto nos basaremos principalmente en la norma IEC 60204-1 la cual fue abordada en la sección 2.7, da a conocer las funciones específicas que cumple cada color según el estado del proceso industrial, observar tabla 49.

Tabla 49

*Especificaciones técnicas luces piloto*

Dispositivo	Características	Especificación
<b>Luz piloto roja (Emergencia)</b>	Tensión de empleo	220 - 240 [VAC]
22 mm	Corriente de consumo	50 [mA]
	Color	Rojo
	Material del indicador	Plástico
	Diámetro exterior	29.45 mm
	Temperatura	-25 ... 70 °C
Nota: Tomado de (Datasheet SIEMENS, 2021)		
SIRIUS ACT 3SU1001	Grado de protección IP	IP 66
<b>Luz piloto verde (Normal)</b>	Tensión de empleo	220 - 240 [VAC]
22mm	Corriente de consumo	50 [mA]
	Color	Verde
	Material del indicador	Plástico
	Diámetro exterior	29.45 mm
	Temperatura	-25 ... 70 °C
Nota: Tomado de (datasheet SIEMENS, 2021)		
SIRIUS ACT 3SU1001	Grado de protección IP	IP 66

**Selección de tablero**

Como todo componente de una instalación eléctrica que deben estar homologados por alguna norma, esta no es la excepción de los tableros, para lo cual recurrimos a la norma IEC 61439-1, IEC 60529 y a la norma ecuatoriana de construcción NEC, para ampliar la información revisar el apartado 2.8. El tablero a utilizar tendrá la función de albergar y proteger los dispositivos de automatización, protecciones y

maniobra que nos permite operar sobre los circuitos que se encuentran divididos las instalaciones, el tablero de control a implementar se alimentara desde un tablero de distribución ubicado en la empresa Contrachapados de Esmeraldas S.A – Codesa. Se describirá las principales características que debe contar el tablero a ser utilizado.

- Grado de protección IP 65 para industrias de la madera según la sección 2.11.
- Los tableros deben ser fabricados en materiales resistentes al fuego y a la corrosión.
- Contar con una puerta exterior hermética.
- Deberá quedar un espacio prudencial entre las paredes del tablero y los dispositivos de tal modo que permita un fácil mantenimiento.
- Considerar un volumen libre del 25% para posibles ampliaciones de capacidad.
- El cableado de interconexión deberá hacerse a través de bandejas o canaletas de material no conductor.

#### **Tabla 50**

*Especificaciones técnicas tablero de control*

Dispositivo	Características	Especificación
Tablicon	Dimensiones exteriores	100 x 140 x 33 [cm]
	Dimensiones de placa	85 x 125 [cm]
	Tensión máxima	690 [VAC]
	Corriente en barras	40 ... 150 [A]
	Tensión de control	110 ... 440 [VAC]
	Resistencia mecánica al cortocircuito	65 [KA]
	Temperatura	60 °C
	Grado de protección IP	IP 65

Nota: Tomado del fabricante Tablicon

### Prevención de riesgo laboral

En el apartado 3.7 fue tratado la seguridad funcional del proceso, este apartado aborda la seguridad ocupacional dirigido a los operadores y personal técnico de la empresa Contrachapado de Esmeraldas S.A. – Codesa donde se recopilará información del decreto ejecutivo 2393, el reglamento de seguridad del trabajo contra riesgos en instalaciones de energía eléctrica y la resolución del IESS 513. Para garantizar la seguridad laboral del personal el estado ecuatoriano reglamenta las actividades laborales en orden a reducir los riesgos de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales (Ministerio del trabajo, 1996), para ello se dará a conocer ciertas recomendaciones.

- El transporte de materiales en lo posible deberá ser mecanizado, utilizando para el efecto elementos como carretillas, vagonetas, elevadores, transportadores de bandas y similares.

- El peso máximo de la carga que puede soportar un trabajador es de hasta 175 libras, no se deberá exigir ni permitir a un trabajador el transporte manual de cargas cuyo peso pueda comprometer su salud o seguridad.
- Los motores que impliquen un riesgo potencial se emplazarán en recintos cerrados, prohibiéndose el acceso a personal ajeno a su servicio.
- Todas las partes móviles de motores, órganos de transmisión que representen un riesgo para el personal por acción atrapante, cortante, lacerante, etc. Serán eficazmente protegidos mediante resguardos u otros dispositivos de seguridad.
- Las máquinas cuyo manejo implique un grave riesgo, deberán estar provista de un sistema de bloqueo eléctrico o mecánico de forma que brinde seguridad a los operadores.
- Las máquinas fijas deberán disponer de los mecanismos de mando necesarios para su puesta en marcha o parada.
- Los dispositivos de parada deberán estar señalizados, fácilmente accesibles para su rápido accionamiento.
- Los interruptores de control de las máquinas estarán colocados e identificados de forma que resulte difícil su accionamiento involuntario.
- Los pulsadores deben estar dispuestos de tal manera que obliguen a introducir el extremo del dedo para accionarlos.
- Todo operario que utilice una máquina deberá haber sido capacitado en su manejo y en los riesgos inherentes a la misma.
- Los dispositivos de seguridad de las máquinas serán revisados y sometidos a todas las operaciones de mantenimiento establecidas por el fabricante, o que aconseje el buen funcionamiento de las mismas.

- Las herramientas estarán construidas con materiales adecuados para la labor a desarrollar y no tendrán defecto ni desgaste que dificulten su correcta utilización.
- Todo trabajador debe portar su EPP, estos deben ser adecuados para las funciones que desarrolla el trabajador y el entorno de trabajo.

El estado ecuatoriano reconoce que todo trabajo que tenga que ver con la generación, transmisión y mantenimiento de equipos eléctricos es considerado de alta peligrosidad, de acuerdo a las estadísticas la mayoría de los accidentes ocasionados por la corriente eléctrica se dan por falta de conocimiento, omisión de las normas de seguridad o poca preparación para el desarrollo de ese tipo de actividades (Decreto ejecutivo 2393). Son varios los efectos eléctricos que se dan sobre el cuerpo humano tras el contacto con conductores bajo tensión:

- Fibrilación ventricular, paro cardíaco o infarto.
- Paro respiratorio.
- Quemaduras graves.
- Hemorragias internas.
- Quemaduras de los órganos internos.
- Fallecimiento.

### **Trabajos y maniobras en instalaciones de baja tensión**

- Antes de iniciar cualquier trabajo en baja tensión se procederá a identificar la instalación sobre la que se deberá trabajar.
- Toda instalación se considera bajo tensión, mientras no se compruebe lo contrario.
- Siempre que sea posible deberá dejarse sin tensión la parte de la instalación sobre

la que se vaya a trabajar, seccionando la fuente de energía con las cargas.

- Preparar herramientas, útiles y EPP comprobando su estado.
- Señalización y delimitar la zona de trabajo.
- Una vez finalizado los trabajos se repondrá el servicio cuando se ha retirado herramientas, materiales sobrantes, elementos de señalización y el personal se haya alejado de la zona de peligro.

### **Integración de componentes**

#### **Norma IEC 60617**

Los símbolos gráficos y las referencias identificativas de los esquemas eléctricos, cuyo uso se recomienda para mantener un estándar entre todos los profesionales eléctricos y electrónicos, están regidas por las publicaciones más reciente de la normativa IEC 60617.

La norma IEC 60617 fomenta el correcto uso de los símbolos gráficos y las reglas numéricas o alfanuméricas que deben ser utilizadas para diseñar los esquemas y montar los tableros o equipos eléctricos. El uso de las normas minimiza el riesgo de confusión o mala interpretación, facilita la puesta en servicio, el mantenimiento de las instalaciones y su estudio (IEC 60617, 2000).

Entre el gran número de aportaciones realizado por la norma electrotécnica, resalta la definición de los símbolos a utilizar para identificar los elementos y equipos eléctricos según su función o forma de accionamiento.

Figura 61

## Simbología de contactos

## Contactos

Contacto "NA" (de cierre)	1 – principal 2 – auxiliar		Contactos de dos direcciones no solapado (apertura antes de cierre)	
Contacto "NC" (de apertura)	1 – principal 2 – auxiliar		Contactos de dos direcciones solapado	
Interruptor			Contacto de dos direcciones con posición mediana de apertura	
Seccionador			Contactos presentados en posición accionada	
Contactador			Contactos de apertura o cierre anticipado. Funcionan antes que los contactos restantes de un mismo conjunto	
Ruptor			Contactos de apertura o cierre retardado. Funcionan más tarde que los contactos restantes de un mismo conjunto	
Disyuntor			Contacto de paso con cierre momentáneo al accionamiento de su mando	
Interruptor-seccionador			Contacto de paso con cierre momentáneo al desaccionamiento de su mando	
Interruptor-seccionador de apertura automática			Contactos de cierre de posición mantenida	
Fusible-seccionador			Interruptor de posición	
			Contactos de cierre o apertura temporizados al accionamiento	
			Contactos de cierre o apertura temporizados al desaccionamiento	
			Interruptor de posición de apertura, de maniobra de apertura positiva	

Nota: Tomado de (Schneider Electric, 1999).

Figura 62

## Bobinas de mando

## Mandos de control

Mando electromagnético Símbolo general			
Mando electromagnético Contactor auxiliar		Mando electromagnético de un relé polarizado	
Mando electromagnético Contactor		Mando electromagnético de un relé intermitente	
Mando electromagnético de 2 devanados		Mando electromagnético de un relé por impulsos	 *
Mando electromagnético de puesta en trabajo retardada		Mando electromagnético de accionamiento y desaccionamiento retardados	
Mando electromagnético de puesta en reposo retardada		Bobina de relé RH temporizado en reposo	
Mando electromagnético de un relé de remanencia		Bobina de relé RH de impulso en desactivación	
Mando electromagnético de enclavamiento mecánico		Bobina de electroválvula	

Nota: Tomado de (Schneider Electric, 1999).

La señalización del proceso es un punto importante dentro de la implementación de esquemas eléctricos, porque estos brindan información del estado del proceso mediante luces piloto y señales acústicas, que el personal debe interpretar.

**Figura 63***Señalización*

Lampara de señalización o de alumbrado (1)	
Dispositivo luminoso intermitente (1)	
Avisador acústico	
Timbre	
Sirena	
Zumbador	

Nota: Tomado de (Schneider Electric, 1999)

Estos son los principales símbolos que debe manejar cualquier persona que pretenda realizar un diseño de lógica cableada o bien una automatización mediante controladores, la riqueza de símbolos es tan grande que se recomienda revisar con detenimiento la norma IEC 60617, ya que esto depende el éxito o fracaso de un proyecto.

Todos los elementos que conforman un sistema de automatización son identificados mediante un símbolo alfanumérico que describe su función, según la siguiente figura.

**Figura 64***Identificación de elementos*

Referencia		Ejemplos de materiales
A	Conjuntos y subconjuntos funcionales de serie	Amplificador de tubos o transistores, amplificador magnético, regulador de velocidad, autómatas programables
B	Transductores de magnitudes eléctricas	Par termoeléctrico, detector termoeléctrico, detector fotoeléctrico, dinamómetro eléctrico, transductores de presión o temperatura, detectores de proximidad.
C	Condensadores	
D	Operadores binarios, dispositivos de temporización y de puesta en memoria	Operadores combinatorios, interruptores de décadas, línea de retardo, relés biestables, relés monoestables, grabador, memoria magnética.
E	Materiales varios	Alumbrado, calefacción, elementos no incluidos en esta tabla
F	Dispositivos de protección	Cortacircuitos fusible, limitador de sobretensión, pararrayos, relé de protección de máxima corriente, relé de protección de umbral de tensión.
G	Generadores, dispositivos de alimentación	Generador, alternador, convertidor rotativo de frecuencia, batería oscilador, oscilador de cuarzo, inversores.
H	Dispositivos de señalización	Piloto luminoso, señalizador acústico, led
K	Relés de automatismos y contactores en general	Relés y contactores. (se utiliza KA y KM en los automatismos importantes)
KA	Relés de automatismos y contactores auxiliares	Contacto auxiliar de temporización, todo tipo de relés
KM	Contactores de potencia	Contactores de motores o resistencias
L	Inductancias	Bobina de inducción, bobina de bloqueo
M	Motores	
N	Subconjuntos que no sean de serie	
P	Instrumentos de medida y de prueba	Aparato indicador, aparato registrador, contador, conmutador horario
Q	Aparatos mecánicos de conexión para circuitos de potencia	Disyuntores magnetotérmicos, seccionadores, interruptores diferenciales, interruptores de potencia, guardamotores.
R	Resistencias	Resistencias regulables, potenciómetro, reostato, shunt, termistancia
S	Aparatos mecánicos de accionamiento manual para conexión de circuitos de control	Auxiliar manual de control, pulsador, interruptor de posición, selector, conmutador
T	Transformadores	Transformador de tensión, transformador de intensidad
U	Moduladores y convertidores	Convertidores de frecuencia, variadores de velocidad electrónicos, discriminador, demodulador, codificador, convertidor-rectificador, ondulator autónomo
V	Tubos electrónicos semiconductores	Tubo de vacío, tubo de gas, tubo de descarga (ej.: neón), lámparas de descarga, diodo, transistor, tiristor, rectificador.
W	Vías de transmisión, guías de ondas, antenas	Tirante (conductor de reenvío), cable, juego de barras
X	Regleteros de bornas, clavijas, zócalos	Clavija y toma de conexión, clips, clavija de prueba, regletero de bornas, salida de soldadura
Y	Aparatos mecánicos accionados eléctricamente	Electrofreno, embrague, electroválvula, electroimán
Z	Cargas correctivas, transformadores diferenciales, filtros correctores, limitadores	Equilibrador, corrector, filtro

Nota: Tomado de (IEC 60617, 2000).

**Planteamiento esquemático**

Una vez que se tiene noción de la norma que rige la representación esquemática y todos los elementos seleccionados para el desarrollo del sistema a automatizar, se realiza los planos eléctricos, observar Anexo 2. Con esta referencia se facilita el diseño del tablero de control en donde se realiza la instalación de los elementos de protección, control y potencia del sistema automático de las bandas transportadoras, en la tabla 51 se presenta la lista de elementos a utilizar.

**Tabla 51***Lista de elementos a utilizar en la implementación*

#	Dispositivo	Cantidad	Unidad
1	Siemens S7-1200, CPU 1214C, DC/DC/DC	1	Unid.
2	Fuente SITOP LOGO 24 VDC	2	Unid.
3	Módulo SM 1223 E/S digitales 24 VDC	1	Unid.
4	Módulo SM 1221 entradas digitales 24 VDC	3	Unid.
5	Módulo CSM 1277 comunicación ethernet	1	Unid.
6	Sensor electromecánico SIRIUS 3SE5112 cabeza de acero	2	Unid.
7	Sensor electromecánico SIRIUS 3SE5112 de palanca abatible.	2	Unid.
8	Sensor fotoeléctrico Sick WT 260-R270	9	Unid.
9	Pulsadores de emergencia cabeza de seta 40 mm Siemens SIRIUS ACT 3SU1100	3	Unid.
10	Pulsador rasante 22 mm Siemens SIRIUS ACT 3SU1100	6	Unid.
11	Selector 2 posiciones 22 mm Siemens SIRIUS ACT 3SU1100	11	Unid.
12	Selector 3 posiciones 22 mm Siemens SIRIUS ACT 3SU1100	2	Unid.
13	Selector 3 posiciones 22 mm Siemens SIRIUS ACT 3SU1100 con retroceso por muelle	2	Unid.
14	Conductor TW 18 AWG	100	Metro.
15	Conductor TW 14 AWG	30	Metro.
16	Conductor TW 10 AWG	195	Metro.
17	Conductor TW 8 AWG	36	Metro.
18	Terminal tipo pin para conductor 16 – 18 AWG	3	Caja.

#	Dispositivo	Cantidad	Unidad
19	Terminal tipo pin para conductor 12 – 14 AWG	2	Caja
20	Terminal tipo pin y tipo u para conductor 8 – 10 AWG	1	Caja
21	Cilindro neumático FVBC 100X250-S	4	Unid.
22	Electroválvula 5/2 con retroceso por muelle	4	Unid.
23	Interruptor termomagnético SENTRON Siemens 5SL3310-7MB	7	Unid.
24	Interruptor termomagnético SENTRON Siemens 5SL3316-7MB	1	Unid.
25	Interruptor termomagnético SENTRON Siemens 5SL3304-7MB	1	Unid.
26	Interruptor termomagnético SENTRON Siemens 3VT1706-2DC36-0AA0 de caja moldeada	1	Unid.
27	Fusible 10X38 8A EATON	21	Unid.
28	Fusible 10X38 16A EATON	3	Unid.
29	Fusible 10X38 2A EATON	3	Unid.
30	Contactador TeSys D Schneider LC1D12BD	7	Unid.
31	Contactador TeSys D Schneider LC1D25BD	1	Unid.
32	Contactador TeSys D Schneider LC1D09BD	1	Unid.
33	Relé térmico TeSys LS1 Schneider LR2K0306	1	Unid.
34	Relé térmico TeSys LRD Schneider LRD10	7	Unid.
35	Relé térmico TeSys LRD Schneider LRD16	1	Unid.
36	Relé auxiliar Releco C10-A10X	22	Unid.
37	Base para relé auxiliar	22	Unid.
38	Luz piloto verde 22 mm Siemens SIRIUS ACT 3SU1001	3	Unid.

#	Dispositivo	Cantidad	Unidad
39	Luz piloto roja 22 mm Siemens SIRIUS ACT 3SU1001	1	Unid.
40	Luz piloto amarillo 22 mm Siemens SIRIUS ACT 3SU1001	1	Unid.
41	Tablero con doble fondo 100 x 140 x 33 cm Tablicon	1	Unid.

Como se mencionó en anteriores capítulos muchos de los elementos serán reutilizados de un intento de automatización que se realizó previo al proyecto de titulación ver figura 65, la empresa se encarga de suministrar todos los elementos que serán utilizados para la implementación, una vez hecho entrega de ellos se procederá al armado del tablero de control.

### Figura 65

*Tablero de control previo al proyecto de titulación*



Nota: Tomado de Contrachapados de Esmeraldas S.A. - Codesa

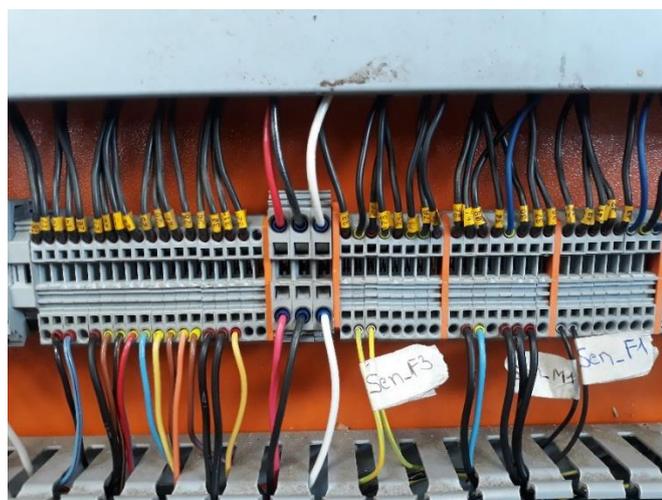
Cabe mencionar que no existe una norma que determina la forma o manera en la que deba ir posicionado los elementos dentro del tablero, pero generalmente se dispone de la siguiente manera:

- Parte superior: protecciones termomagnéticas.
- Parte central: equipos de control y maniobra.
- Parte inferior: borneras para control y borneras para actuadores.
- Puerta: luces piloto, dispositivos de mando y HMI.

Se inicia con la instalación, marquillado y distribución de las borneras para el sistema de control y potencia, esto ayuda a mantener el orden dentro del tablero. Precisamente uno de los problemas detectado era ese ya que muchas veces se confundían las señales y por el caos existente entre el cableado dificultaba la labor del personal técnico, observar figura 66.

### **Figura 66**

*Instalación y distribución de borneras*



Nota: Tomado de Contrachapados de Esmeraldas S.A. – Codesa

Se procede a instalar luces piloto y un pulsador de emergencia en la puerta del tablero a una altura debida, observar figura 67.

- Luz piloto verde para indicar la existencia de energía en el tablero.
- Luz piloto roja indica los estados de emergencia que fueron configurados en el PLC y de igual manera serán mostrados en la pantalla HMI, revisar apartado 3.14.2.
- Luz piloto verde para indicar el modo de marcha manual.
- Luz piloto verde para indicar el modo de marcha automático.
- Pulsador de emergencia NC cabeza de seta.
- HMI, pantalla de monitoreo del proceso.

La HMI, el pulsador de emergencia y dos luces piloto ya se encontraban instaladas, pero existía un error conceptual porque los elementos se encontraban instalados al pie del tablero de control, lo cual lo hacía poco práctico, ver figura 65.

### Figura 67

*Disposición de elementos en el exterior del tablero*



Nota: Tomado de Contrachapados de Esmeraldas S.A. - Codesa

La instalación del cableado se realiza siguiendo los esquemas eléctricos presentado en el Anexo 2, la instalación de las botoneras de los operadores no sufrió muchos cambios porque uno de los requisitos del departamento de mantenimiento era que se mantuvieran estas botoneras tal como estaban, tan solo se le agregaron unos cuantos pulsadores y selectores para poder cumplir con la lógica de control diseñada y para hacer que el sistema sea más seguro, observar figura 68.

**Figura 68**

*Antes y después de las botoneras*



Nota: Tomado de Contrachapados de Esmeraldas S.A. - Codesa

Con lo que respecta al cableado del tablero de control se separó la parte de control con la de potencia mediante la diferenciación de las secciones de los conductores y borneras. Cada conductor debe poseer un identificador único que facilite el trabajo al personal técnico dado el caso de un daño, observar figura 69.

### Figura 69

*Antes y después del cableado del tablero de control*



Nota: Tomado de Contrachapados de Esmeraldas S.A. - Codesa

Otro punto que requería atención era el cableado de potencia que se encontraba expuesto y accesible incluso para los operadores. Esto representaba un serio riesgo de descarga eléctrica, por lo cual se instalaron bandejas eléctricas para proteger los conductores, observar figura 70.

### Figura 70

*Cableado de potencia*



Nota: Tomado de Contrachapados de Esmeraldas S.A. - Codesa

El peinado de los conductores le da una mejor presentación al trabajo realizado y brinda orden. Si comparamos entre las figuras 2 y 63 se puede apreciar el estado inicial y como se está entregando este aspecto del proyecto.

Para la instalación de los sensores se tuvo que preparar pequeños soportes para albergar y posicionar los captadores en los puntos previstos, observar figura 71.

### **Figura 71**

*Preparación y posicionamiento de los sensores*



Nota: Tomado de Contrachapados de Esmeraldas S.A. - Codesa

## Capítulo V

### Pruebas y Resultados

#### Pruebas de funcionamiento

Con el firme objetivo de constatar que la automatización desarrollada no presenta fallas se procedió a poner en marcha el sistema de bandas transportadoras, para lo cual se realizó varias pruebas en el modo de marcha manual donde el sistema respondió según la lógica desarrollada, se observó a detalle si existía un comportamiento anómalo, pero no fue así por más de que se trató de llevar al sistema de bandas al error.

Mediante diagnostico online entre el PLC y la computadora se llevó un monitoreo de las variables de entradas y salida para dar seguimiento a las direcciones y estados que permanecen activos, observar figura 72.

#### Figura 72

*Conexión online entre PLC y computadora*



Nota: Tomado de Contrachapados de Esmeraldas S.A. - Codesa

Se detectó una falla en el pulsador de emergencia del operador 2, una vez que este se accionaba llevaba todo el sistema a un paro general, pero cuando se salía de este estado también lo hacía del modo de marcha manual, el problema surgió a raíz de una falla en la conexión del pulsador.

Una vez solucionado el problema los tres pulsadores de emergencia respondieron correctamente poniendo al sistema en un paro general desactivando los actuadores, para salir de este estado se debe corregir la falla, desenclavar los pulsadores de emergencia y presionar el pulsador de rearme solo así se sale de este estado.

Se debe mencionar que existe dos sensores (Sen\_F3 y Sen\_F4) que también conducen al sistema de bandas al estado de emergencia, estos sensores se encuentran posicionados cerca de las hojas de las sierras. Si estas se llegasen a mover cosa que ha sucedido con anterioridad los sensores fotoeléctricos se activarían de inmediato llevando al sistema a un paro general, de igual manera para salir de aquel estado se debe corregir la falla, alinear las hojas de la sierra y presionar el pulsador de rearme. Para comprobar el funcionamiento de estos sensores se lo realizo con las sierras detenidas porque estar muy cerca de aquellas máquinas representa un grave riesgo, una vez activados los sensores el conjunto de bandas fue llevado al estado de paro seguro.

El modo de marcha manual arrojó buenos resultados salvo el inconveniente del pulsador de emergencia del operador 2 que fue corregido de inmediato, el sistema se mantuvo operativo sin presentar ningún inconveniente en el proceso.

El funcionamiento del sistema de bandas en el modo de marcha automático no presentó fallo alguno, se ejecutó correctamente toda la lógica planteada en los graficets. Cada sección del proceso realizó el ciclo completo de funcionamiento con

poca intervención de los operadores salvo por el operador dos que es el encargado de manipular la descortezadora, la cual es una máquina que no entró en los objetivos de automatización por lo cual esta maquinaria aún debe ser manipulada por una persona.

El estado de seguridad aún sigue teniendo mayor jerarquía y pone a todo el conjunto de bandas en un paro seguro, los captadores y sensores que llevan a aquel estado siguen siendo los paros de emergencia de los operadores y los dos sensores de seguridad que se encuentran alineados con las sierras eléctricas, observar figura 73.

### Figura 73

*Paro seguro presentado en la HMI*

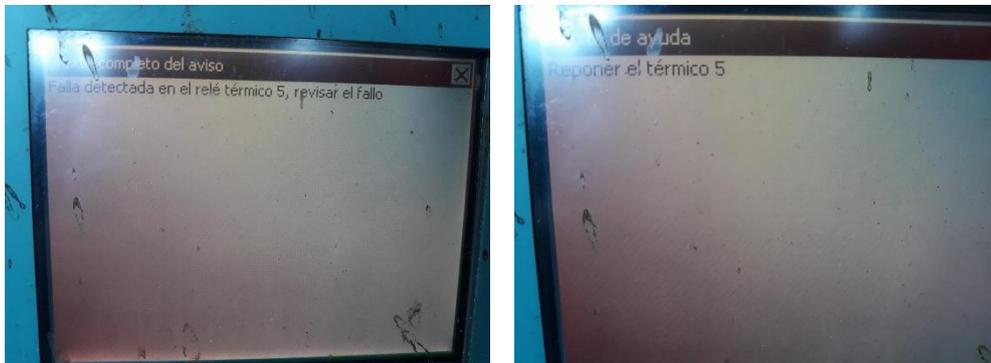


Nota: Tomado de Contrachapados de Esmeraldas S.A. - Codesa

También se configuró warnings en caso de accionamiento de los relés térmicos (sobrecarga), las advertencias son presentadas en una pantalla emergente donde indica el tipo de fallo, donde se encuentra ubicado y qué hacer ante ese fallo, observar figura 74. Para simular esta situación tan solo se puso en "off" los relés térmicos y se pudo comprobar el correcto funcionamiento del conjunto de bandas.

## Figura 74

*Warning presentado en la HMI*



Nota: Tomado de Contrachapados de Esmeraldas S.A. - Codesa

Otro dispositivo que también hace parte de las pruebas de funcionamiento es la pantalla HMI, que se encarga de monitorear los dispositivos, el proceso, diagnóstico del sistema y registrar datos del proceso. La pantalla se mantuvo operativo durante toda la prueba de funcionamiento sin presentar inconveniente alguno, es decir se pudo registrar los errores y warnings configurados, los modos de marcha presentados en pantalla se correspondían a las luces indicadoras, el estado de los dispositivos variaba según el funcionamiento de estos y los datos obtenidos del proceso eran correctos.

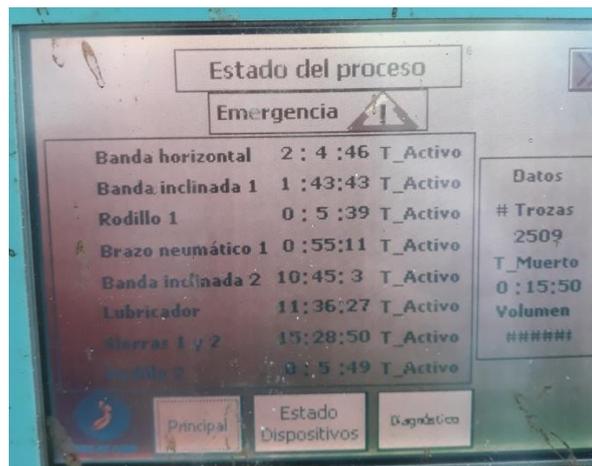
Durante las pruebas el personal técnico comunicó que muchas veces el PLC entra en "Stop" deteniendo todo el proceso de abastecimiento de trozas, para solucionar aquel inconveniente les tomaba mucho tiempo porque no tenían un pulsador físico o en la HMI que ponga en "Run" la CPU. Por tal razón se decidió agregar una pantalla más llamada configuraciones donde se puede poner en "Run o Stop" la CPU, para acceder a la pantalla de configuraciones se debe digitar un usuario y clave, así nos aseguramos que solo el personal autorizado tenga acceso a aquella pantalla, observar figura 75.

**Figura 75***Pantalla de configuraciones*

Nota: Tomado de Contrachapados de Esmeraldas S.A. - Codesa

Los datos obtenidos en la pantalla de proceso se correspondían al tiempo que permanecían activos los actuadores a lo largo del turno de trabajo, estos datos están pensados para que el departamento de mantenimiento eléctrico pueda planear y ejecutar mantenimientos preventivos en los actuadores antes de que estos sufran daños graves que obliguen al paro del proceso y también para alargar la vida útil, observar figura 76. El mantenimiento preventivo se adelanta a las averías antes de que ocurran o reduciendo la gravedad, por lo que disminuye el gasto en reparaciones y el tiempo que toma poner el proceso a la normalidad, existe una relación inversa entre el mantenimiento preventivo y los daños que sufren los equipos, es decir mientras se lleve un plan de mantenimiento preventivo eficaz los equipos sufrirán menos fallos previniendo las incidencias antes de que ocurran.

**Figura 76***Pantalla de proceso*



Nota: Tomado de Contrachapados de Esmeraldas S.A. - Codesa

En esta misma pantalla podemos encontrar datos como el número de trozas que son transportadas por el conjunto de bandas, acumulación del tiempo muerto y volumen promedio que es procesado.

### Capacitación

Una vez concluido el periodo de pruebas se realizó una charla explicativa donde se dio conocer el funcionamiento del sistema, cómo realizar la intervención del tablero de control en caso de una posible falla, la operación de las botoneras, como poner al sistema en marcha y en modo seguro. En la charla se explicó el procedimiento a seguir ante todos los posibles escenarios que se puedan dar, los elementos que conforman el tablero de control, las botoneras y las ventajas que otorgan al personal de mantenimiento las diversas pantallas configuradas.

### Manual de usuario

El manual de usuario se encuentra desarrollado en el anexo 3, en donde se puede encontrar los siguientes temas para brindar ayuda a los operadores y personal técnico de la empresa Contrachapado de Esmeraldas S.A. – Codesa.

- Información general
- Arranque de la maquinaria
- Dispositivos de seguridad para la detención de forma segura
- Monitoreo
- Peligros y riesgos comunes

## **Resultados**

Este apartado da a conocer las situaciones adversas que se presentaron en el conjunto de bandas, las soluciones que fueron dadas para superar estas situaciones y la interpretación de los datos post implementación.

### **Controlador**

El proyecto de titulación surge a partir de un intento de automatización mal ejecutado, con falencias técnicas y de criterios. Se debió trabajar a partir de las direcciones de entradas y salidas concebidas por el primer intento de automatización, esto trajo muchos problemas porque existían tantas variables de entradas en el PLC que muchas veces no eran utilizadas en la programación o creaban dos variables para un mismo elemento cosa que producía conflicto de señales. No poseía una programación estructurada lo cual lo volvía muy complicado de entender, no se identificaba con claridad las funciones de seguridad y los modos de marcha.

Ante esto se decidió plantear una programación estructurada y jerárquica que sea fácil de entender, programar y brinde seguridad al sistema, ya que toda la documentación técnica será cedida a la empresa Contrachapado de Esmeraldas S.A. – Codesa para que el personal técnico disponga a placer sobre ellos. Solo así se logró alcanzar los requisitos establecidos por la empresa.

### **Función de seguridad**

La función de seguridad desarrollada presentó varios problemas que no fueron identificados en un principio durante el periodo de pruebas, ya que al activar los paros de ciclos simultáneamente se anulaba el paro seguro del operador dos y el que se encuentra instalado en el tablero de control tan solo permitía la detención desde el operador uno. Se tuvo que corregir este problema desde la programación de la función porque esto representaba un serio riesgo al sistema y al personal, una vez hecho esto la función de seguridad quedó operando correctamente.

La evaluación de seguridad funcional realizada en el anexo 4 arrojó resultados positivos que se corresponde al análisis funcional realizado en el apartado 3.7, la función integrada de seguridad SIF cumple con los requisitos de arquitectura y confiabilidad del conjunto de bandas alcanzando el nivel SIL 2 esperado, según la norma IEC 61511.

### **Captadores**

En sí los captadores no dieron mayor problema, tan solo se debió modificar unas cuantas conexiones para cumplir con la lógica desarrollada y para resolver una falla en la botonera del operador dos, al presionar el pulsador de emergencia este se encargaba de cortar el suministro de energía de todo el órgano de mando llevando al conjunto de banda a un estado no esperado.

Con respecto a los sensores el único inconveniente presentado fue la falta de los sensores fotoeléctricos en stock, pero esto fue solventado con el uso de sensores mecánicos en gran parte del sistema.

### **Tablero de control**

Durante la instalación y organización del tablero de control se identificaron varios hechos anómalos con respecto al cableado de los elementos de control y maniobra que no son prácticas recomendadas por las normativas electrotécnicas, se corría el riesgo de un accionamiento involuntario desde varios puntos de mando, todas estas situaciones fueron resueltas para garantizar un sistema robusto, mediante la aplicación de los esquemas de control desarrollados para el conjunto de bandas.

Una vez hecho esto ya no hay la posibilidad de accionar un actuador desde dos puntos distinto que pueda volver al sistema inseguro.

También se atendieron necesidades con respecto al cableado de potencia que se encontraba expuesto y era un foco de inseguridad para el personal ya que tarde o temprano podía provocar una descarga eléctrica, este cableado fue introducido en bandejas eléctricas.

### **Monitoreo**

La pantalla de monitoreo fue diseñada para ser comprendida y facilitar el trabajo del personal técnico mediante la detección de errores surgidos en el sistema de bandas, en varias ocasiones se debió reconfigurar las pantallas para adaptarla a las necesidades de la empresa, siguiendo la normativa ISA 101 y llegando a acuerdos con el cliente.

El sistema de alarmas que fue configurado para ser presentado en la HMI funcionó correctamente desplegando el mensaje de alarma, el tipo de alarma, el lugar donde se daba la alarmar y ofrecía una sugerencia para restablecer el sistema a las condiciones normales.

### **Datos post implementación**

Post período de prueba se logró recopilar datos estadísticos que ayudan a validar el trabajo realizado y posibles mejoras que se podrían efectuar, En el anexo 5 se encuentra un histograma de fallos en el cual podemos identificar la recurrencia de fallas y el periodo de tiempo que toma superarlas, el mayor número de fallas se da en el intervalo de tiempo de trece minutos, estas fallas se deben a causas mecánicas, eléctricas, mano de obra y al método, pero en si no intervienen significativamente en los tiempos de producción ya que son fallas de poca duración al contrario de las causas que son descritas en el diagrama de Pareto.

El diagrama de Pareto nos sugiere identificar el 20% de los acontecimientos que generan el 80% del tiempo muerto, en esta grafica generada podemos identificar cinco sucesos (ruptura de cadena rodillo dragón, falla de rodamiento en la banda del torno Keller, falta de elementos en stock, descanso y alimentación, cambio de cadena sierra eléctrica) que generan el 80% del tiempo muerto dado en la línea de producción, si la empresa Contrachapados de Esmeraldas logra corregir estos sucesos es posible que se de una reducción en los tiempos muertos observados durante el periodo de recopilación de datos.

El único suceso que no se podría tratar, es el descanso y alimentación de los trabajadores ya que es un derecho inalienable que ellos poseen, si observamos el tiempo que ellos toman para desarrollar esta actividad nos damos cuenta que tan solo corresponde a treinta y tres minutos que vendría a ser la mitad de tiempo que por derecho a ellos les corresponde para descansar y alimentarse.

Contrastando entre el histograma y el diagrama de Pareto podemos notar que el veinte por ciento de las causas que generan el ochenta por ciento del tiempo muerto se desarrolla a partir de los quince minutos hasta una hora con cuarenta y tres minutos que es el máximo tiempo identificado de una falla, lo cual no incluye las once fallas

identificadas en el histograma porque éstas son fallas frecuentes pero no significativas en comparación a las fallas menos frecuentes pero que representan un mayor tiempo de paro en la producción.

El diagrama Ishikawa nos ayuda a identificar las causas principales y secundarias que generan los problemas en la línea de producción, de las cuales resaltan todas las causas mecánicas que generan gran parte de los problemas de producción y dos causas eléctricas como lo son falla del contactor y falla de guardamotor en la peladora, observar anexo 5. Los retrasos para poner en marcha la peladora se encuentran ligados a la falta de estos elementos en Stock.

## Capítulo VI

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- Se realizó la automatización del sistema de bandas transportadoras para el abastecimiento de trozas en la empresa Contrachapados de Esmeraldas S.A – Codesa, mediante la integración de un PLC 1200, dispositivos de instrumentación y su respectivo sistema de monitoreo.
- El proceso de abastecimiento de trozas fue automatizado utilizando las herramientas del software TIA Portal mediante la aplicación de grafcat estructurados, jerárquicos y lenguajes de programación industriales.
- Se desarrolló el análisis funcional del conjunto de abastecimiento de materia prima, donde se obtuvo el nivel de seguridad integral SIL 2 y posterior a esto se realizó la evaluación de confiabilidad, cuyos resultados se corresponden al análisis funcional realizado en un primer momento, la función integrada de seguridad SIF cumple con los requisitos de arquitectura y confiabilidad del conjunto de bandas alcanzando el nivel SIL 2 esperado. Esto respalda que el sistema de bandas es seguro y confiable.
- Se logró determinar y resolver los fallos que se daban por conflictos entre señales de activación de los actuadores, este objetivo se alcanzó gracias al desarrollo de una nueva lógica de programación que considera muchos de los aspectos que hacía inseguro al sistema.
- La evaluación de tiempos muertos arrojó resultados concluyentes que pueden ser resueltos para reducir estos tiempos adversos, las causas principales que

generan gran parte del tiempo muerto se deben a fallas mecánicas puntuales que se pueden observar en el diagrama Ishikawa y unas cuantas causas secundarias que provienen de fallas eléctricas dadas en la descortezadora ahondada por la falta de repuestos en stock.

- Muchas de las fallas registradas durante el periodo de prueba no corresponden al conjunto de bandas transportadoras, pero influyen indirectamente en la detención del proceso de producción en esta maquinaria.
- El dispositivo de supervisión instalado facilita el trabajo de mantenimiento efectuado por el personal técnico permitiendo la rápida identificación de fallas en el conjunto de bandas y brinda la posibilidad de llevar un control de los tiempos activos de cada actuador para así planear un mantenimiento preventivo.
- Se incluyeron sensores fotoeléctricos, pulsadores de emergencia redundantes para convertir a la función de seguridad en un sistema robusto que garantice tanto la seguridad del sistema de bandas y la del personal de planta.
- Se realizó un estudio de riesgo laboral a los cuales se encuentran expuestos los operadores y el personal técnico que desarrollan sus funciones sobre esta maquinaria, a fin de incluir estos riesgos en las opciones de automatización para convertir al conjunto de bandas en un sistema seguro y confiable para el personal de la empresa Contrachapados de Esmeraldas S.A - Codesa.
- Durante la instalación de los equipos en campo se pudo observar que el sistema se encontraba comprometido, ya que en cualquier momento podía darse un accionamiento involuntario desde varios puntos de mando y en el programa se daba la repetición de bobinas de accionamiento, cosa que no se recomienda a la hora de efectuar una programación de este tipo. También se

atendieron necesidades con respecto al cableado de potencia que se encontraba expuesto y era un foco de inseguridad para el personal, ya que en algún momento podía provocar una descarga eléctrica.

### **Recomendaciones**

- Se recomienda reemplazar la sierra eléctrica de cadena por una sierra circular, así se evitará el cambio de la cadena cada turno, debemos recordar que esta es una causa que genera los tiempos muertos en la línea de producción.
- Se podría incluir un dispositivo que se encargue de registrar los códigos de barra de cada troza que es transportada por el conjunto de bandas e integrar el PLC a Web Server para así monitorear el dispositivo remotamente y desarrollar una base de datos para almacenar datos provenientes del PLC.
- En lo posible se debería de mantener gran parte de los elementos eléctricos en stock para tener la posibilidad de reponerlos con facilidad.
- Se recomienda al departamento de mantenimiento valerse de la herramienta de tiempo activo que fue incorporada en el sistema de monitoreo, para desarrollar la planificación del mantenimiento preventivo de los actuadores que se ven involucrados en el conjunto de bandas, para alargar la vida útil de estos equipos.
- Se recomienda al personal técnico familiarizarse con el manual de usuario y los esquemas de control y potencia desarrollados para esta maquinaria, así se podría desarrollar cambios o reparaciones en el sistema.

## Referencias

- ABB Drives. (2014). *Guía técnica No 10, Seguridad funcional*. Recuperado el Diciembre de 2021, de library abb:  
[https://library.e.abb.com/public/63ee11d6d0d1b113c1257d4e002bde56/ES\\_TechnicalguideNo10\\_REVE.pdf](https://library.e.abb.com/public/63ee11d6d0d1b113c1257d4e002bde56/ES_TechnicalguideNo10_REVE.pdf)
- ABB-IEC61439. (s.f.). *Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439, parte 1 y parte 2*. Recuperado el Noviembre de 2021, de Library e:  
[https://library.e.abb.com/public/05999db1911e4c6ec125791a003cfa4f/1TXA007110G0701\\_CT9.pdf](https://library.e.abb.com/public/05999db1911e4c6ec125791a003cfa4f/1TXA007110G0701_CT9.pdf)
- Aspectos para elegir un autómata PLC*. (10 de Febrero de 2014). Recuperado el Enero de 2022, de infoPLC: <https://www.infopl.net/blogs-automatizacion/item/101501-10-aspectos-para-elegir-automata-plc>
- Barrera Aguilera, I. Y., Blandón Zeledón, J. d., & Salgado Bucardo, X. M. (mayo de 2019). *Diseño de bandas transportadoras de cajas de madera para evitar accidentes laborales y mejorar la organización en el área de fabricación de cajas en la Tabacalera PERDOMO S.A*. Recuperado el octubre de 2021, de Repositorio institucional UNAN-Managua:  
<http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/11458>
- Barrios , L., & Galeano, I. (2014). *Interfaces Hombre - Máquina*. Recuperado el Noviembre de 2021, de Jeuazarru: <http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/HMI.pdf>
- Bohórquez, E., Prado, E., & Ramirez, M. (2019). Implementación de la norma ISA 101, sobre las HMI, pertenecientes a los módulos de instrumentación de la

Universidad ECCI. *SEMINARIO INTERNACIONAL. III*, pág. 9. Bogotá:  
Universidad ECCI. Recuperado el Noviembre de 2021, de  
[https://www.academia.edu/40663621/Implementaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_norma\\_ISA\\_101\\_sobre\\_las\\_HMI\\_pertenecientes\\_a\\_los\\_m%C3%B3dulos\\_de\\_instrumentaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_Universidad\\_ECCI](https://www.academia.edu/40663621/Implementaci%C3%B3n_de_la_norma_ISA_101_sobre_las_HMI_pertenecientes_a_los_m%C3%B3dulos_de_instrumentaci%C3%B3n_de_la_Universidad_ECCI)

Bouabdallah, S. (2007). *Desing and control of quadrotors with application to autonomous flying*. Lausanne: Ecole Polytechnique Federale de Lausanne.

Brito, J. (2009). *Quadrotor prototype*. Lisboa.

Castillo, P., Lozano, R., García, P., & Albertos, P. (2007). Modelado y Estabilización de un helicóptero con cuatro rotores. *RIAI*, 41-57.

Castro Medina, J. A., Martínez González, G. Y., & Ravelo Acuña, F. J. (diciembre de 2011). *Diseño de una banda transportadora semiautomática para la fabricación de tanques de combustible de vehículos de carga*. Recuperado el octubre de 2021, de Tesis IPN:  
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/10563/1/100.pdf>

Chover, C. N. (2016). *Diseño de un reductor de velocidad para una cinta transportadora de carbon*. Recuperado el octubre de 2021, de Ingemecanica:  
<https://ingemecanica.com/proyectos/objetos/proyecto48/doc1pro48.pdf>

Contrachapado de Esmeraldas S.A. Codesa. (2020). *Reseña histórica de Codesa*. Contrachapado de Esmeraldas S.A. Codesa, Calidad y Productividad, Esmeraldas. Recuperado el 25 de octubre de 2021

Creus, A. (2011). *Instrumentación industrial* (Octava ed.). DF México, México: Alfaomega. Recuperado el Octubre de 2021

D'Addario, M. (2015). *Instalaciones eléctricas singulares en viviendas y automatismos* (Primera ed.). Recuperado el Octubre de 2021

Datasheet EATON. (1 de Enero de 2021). *Fusible Cilíndrico 10x38 16A*. Recuperado el Diciembre de 2021, de datasheet.eaton:

[https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=C10M16&locale=en\\_GB](https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=C10M16&locale=en_GB)

Datasheet EATON. (12 de Enero de 2021). *Fusible Cilíndrico 10x38 2A*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Datasheet EATON:

[https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=C10M2&locale=en\\_GB](https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=C10M2&locale=en_GB)

Datasheet EATON. (1 de Enero de 2021). *Fusible Cilíndrico 10x38 8A*. Recuperado el Diciembre de 2021, de datasheet.eaton:

<https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=C10M8&locale=en>

Datasheet Releco. (s.f.). *Relé auxiliar C10-A10X*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Farnell: <https://www.farnell.com/datasheets/1993417.pdf>

Datasheet Schneider Electric. (4 de Enero de 2021). *Contactador LC1D09BD*.

Recuperado el Diciembre de 2021, de Schneider Electric:

<https://www.newark.com/schneider-electric/lc1d09bd/contactador-3pst-no-24vdc-20a-din/dp/79C9454>

Datasheet Schneider Electric. (Diciembre de 2021). *Contactores LC1D12BD*.

Recuperado el Diciembre de 2021, de AllDatasheet:

[https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Lc1d12bd%20datasheet&gclid=Cj0KCQiAw9qOBhC-ARIsAG-rdn7sII2-\\_deaBv8ebcLYqxBHUw41AvS2gekfjok24Tg\\_cQqc-4t62gsaAi7PEALw\\_wcB](https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Lc1d12bd%20datasheet&gclid=Cj0KCQiAw9qOBhC-ARIsAG-rdn7sII2-_deaBv8ebcLYqxBHUw41AvS2gekfjok24Tg_cQqc-4t62gsaAi7PEALw_wcB)

Datasheet Schneider Electric. (1 de Diciembre de 2021). *Relé Térmico LR2K0306*.

Recuperado el Diciembre de 2021, de Schneider Electric:

<https://www.se.com/ar/es/product/LR2K0306/rele-termico-p-cont-k-0-8-1-2/>

Datasheet Schneider Electric. (2 de Diciembre de 2021). *Relé Térmico LRD10*.

Recuperado el Diciembre de 2021, de Schneider Electric:

<https://www.se.com/co/es/product/LRD10/rel%C3%A9-de-sobrecarga-t%C3%A9rmica-para-motor-tesys-46a-clase-10a/>

Datasheet Schneider Electric. (1 de Diciembre de 2021). *Relé Térmico LRD16*.

Recuperado el Diciembre de 2021, de Schneider Electric:

<https://www.se.com/ar/es/product/LRD16/rel%C3%A9-t%C3%A9rmico-para-contactor-d12-d38-913a/>

Datasheet SICK. (12 de Octubre de 2021). *Fotocélulas Compactas WT260-R270*.

Recuperado el Diciembre de 2021, de CdnSick:

[https://cdn.sick.com/media/pdf/0/50/550/dataSheet\\_WT260-R270\\_6020770\\_es.pdf](https://cdn.sick.com/media/pdf/0/50/550/dataSheet_WT260-R270_6020770_es.pdf)

Datasheet SIEMENS. (9 de Octubre de 2014). *Compact Switch Module CSM 1277*.

Recuperado el Diciembre de 2021, de Automation 24:

<https://media.automation24.com/datasheet/es/6GK72771AA100AA0.pdf>

Datasheet SIEMENS. (22 de Febrero de 2016). *SIMATIC HMI KTP 600 BASIC*

*MONO PN 6AV6647-0AB11-3AX0*. Recuperado el Enero de 2022, de Mall Industry:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/pe/Catalog/Product/6AV6647-0AB11-3AX1>

Datasheet SIEMENS. (13 de Septiembre de 2019). *Interruptor Mecánico Vástago de Acero 3SE5112-0CC02*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Assetconrad: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/es/001746813DS00/datablad-1746813-siemens-3se5112-0cc02-positieschakelaar-6-a-kopplunjer-rvs-plunjer-ip66-ip67-1-stuks.pdf>

Datasheet SIEMENS. (31 de Julio de 2020). *Interruptor Mecánico de Palanca Abatible 3SE5112-0CH50*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Elinea.Topdrive: <https://enlinea.topdrive.com.co/wp-content/uploads/wpallimport/files/siemens-capitulo-3/archivos-pdf/3SE5112-0CH50.pdf>

Datasheet SIEMENS. (6 de Abril de 2020). *Interruptor Termomagnético de Caja Moldeada 3VT1706-2DC36-0AA0*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Mall.Industry.SIEMENS: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/it/Catalog/Product/3VT1706-2DC36-0AA0>

Datasheet SIEMENS. (30 de Noviembre de 2021). *Interruptor Magnetotérmico 5SL3304-7MB*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Mall.Industry.SIEMENS: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ar/Catalog/Product/5SL3304-7MB>

Datasheet SIEMENS. (1 de Diciembre de 2021). *Interruptor Termomagnético 5SL3310-7MB*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Mall.Industry.SIEMENS: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ar/Catalog/Product/5SL3310-7MB>

Datasheet SIEMENS. (29 de Noviembre de 2021). *Interruptor Termomagnético 5SL3316-7MB*. Recuperado el Diciembre de 2021, de

Mall.Industry.SIEMENS:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ar/Catalog/Product/5SL3316-7MB>

Datasheet SIEMENS. (3 de Diciembre de 2021). *Luz Piloto Roja 3SU1001-6AA20-*

*0AA0*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Mall.Industry.SIEMENS:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/3SU1001-6AA20-0AA0>

datasheet SIEMENS. (2 de Diciembre de 2021). *Luz Piloto verde 3SU1001-6AA40-*

*0AA0*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Mall.Industry.SIEMENS:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/3SU1001-6AA40-0AA0>

Datasheet SIEMENS. (16 de Noviembre de 2021). *Pulsado Seta 3SU1100-1BA20-*

*3CA0*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Mall.Industry.SIEMENS:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/?mlfb=3SU1100-1BA20-3CA0>

Datasheet SIEMENS. (12 de Noviembre de 2021). *Pulsador 22mm 3SU1100-0AB40-*

*1BA0*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Mall.Industry.SIEMENS:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/3SU1100-0AB40-1BA0>

Datasheet SIEMENS. (10 de Noviembre de 2021). *Selector 3 posiciones 3SU1100-*

*2BL60-1NA0*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Mall.Industry.SIEMENS:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/3SU1100-2BL60-1NA0>

Decreto ejecutivo 2393. (s.f.). *Raglamento de seguridad y salud de los trabajadores*

*y mejoramiento del medio ambiente de trabajo*. (IESS, Ed.) Recuperado el

Diciembre de 2021, de Prosigma:

<https://www.prosigma.com.ec/pdf/nlegal/Decreto-Ejecutivo2393.pdf>

*Electricidad II. Elementos de Control y Maniobra.* (Octubre de 2020). Recuperado el Octubre de 2021, de Ingeniero marino:

<https://ingenieromarino.com/electricidad-elementos-de-control-y-maniobra/>

Fondo Nacional de Formación de la Industria de la Construcción FIC. (s.f.). *Bandas Transportadoras.* Bogota: Servicio Nacional de Aprendizaje.

González, H., Martínez, J., Bueno, M., & Arias, P. (2017). *Unmanned Aerial Systems for Civil Applications: A*. Vigo.

Gupta, S., Ghonge, M., & Jawandhiya, P. (2013). *Review of Unmanned Aircraft System (UAS).* IJAR CET.

Hernández, A. (1969). *Bandas transportadoras.* Recuperado el octubre de 2021, de Repositorio institucional SENA: <https://hdl.handle.net/11404/4032>

Huaman Valencia, E. R. (2014). *Tecnología de bandas transportadoras.* Recuperado el octubre de 2021, de Repositorio UNSA: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2912>

IEC 60617. (2000). *Símbolos gráficos.* Recuperado el Diciembre de 2021, de PDF Coffee: <https://pdfcoffee.com/iec-60617-12-graphical-symbolspdf-pdf-free.html>

IEC 60898. (Abril de 2020). *Accesorios eléctricos. Interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas para la protección contra sobrecorrientes. Parte 1.* Recuperado el Noviembre de 2021, de

Normalización Española: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0063530>

Instituto Nacional de Educación Tecnológica. (2006). *Controladores lógicos programables PLC 2* (Segunda ed.). Buenos Aires: Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología. Recuperado el Noviembre de 2021

International Standard IEC 61131-1. (Mayo de 2003). *Controladores Programables*. Recuperado el Enero de 2022, de Amobbs: [https://d1.amobbs.com/bbs\\_upload782111/files\\_31/ourdev\\_569647.pdf](https://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_31/ourdev_569647.pdf)

Jacareí. (2003). *Tecnología Neumática Industrial*. Sau PAulo, Brazil: Parker Hannifin Corporation. Recuperado el Noviembre de 2021

Lorandi, A., & Hermedia, G. (2011). *Controladores PID y Controladores Difusos*. Veracruz: AcademiaJournals.

M&T. (Agosto de 2021). *Capítulo I, Tableros Eléctricos*. Recuperado el Noviembre de 2021, de M&T Ingeniería.

Mateos Mertín, F. (Octubre de 2006). *Autómatas Programables: Introducción al Estándar IEC-61131*. Recuperado el Enero de 2022, de Scribd: <https://es.scribd.com/document/385352433/Norma-IEC-61131-pdf>

Meza, R. A. (2019). *Transductores*. Recuperado el octubre de 2021

Ministerio del trabajo. (28 de Febrero de 1996). *Reglamento de seguridad del trabajo contra riesgos en instalaciones de energía eléctrica*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Trabajogobec: <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/Reglamento-de-Seguridad-del-Trabajo-contra-Riesgos-en-Instalaciones-de-Energ%C3%ADa-El%C3%A9ctrica.pdf>

- Moreno, M. (Noviembre de 2011). *Introducción a la neumática*. Recuperado el  
Noviembre de 2021, de Micro\_manual\_021:  
<https://cafemachado.files.wordpress.com/2011/11/apunte-neumatica-basica-micro-021.pdf>
- Norma Ecuatoria de Construcción NEC. (2013). *Instalaciones electromecánicas (Capítulo 15)*. (C. e. construcción, Ed.) Ecuador. Recuperado el Noviembre de 2021
- Norma Internacional IEC 60204-1. (2005). *Seguridad de las máquinas Equipo eléctrico de las máquinas*. Madrid: AENOR. Recuperado el Octubre de 2021, de <https://pdfcoffee.com/norma-iec-602041-5-pdf-free.html>
- Norma internacional IEC 60529. (2002). *Grado de protección proporcionado por las envolventes (Código IP) (2.1 ed.)*. Madrid: AENOR. Recuperado el Noviembre de 2021
- Olfati, R. (2001). *Nonlinear control of underactuated mechanical systems with application to robotics and aerospace vehicles*. Massachusetts.
- Ortiz Tulcán, H. (Octubre de 2020). *Diagramas de Tuberías e Instrumentos (P&ID)*. Sangolquí, Pichincha, Ecuador: ESPE. Recuperado el Enero de 2022
- Pallás Areny, R. (2003). *Sensores y acondicionadores de señal (Cuarta ed.)*. Barcelona, España: Marcombo. Recuperado el Octubre de 2021
- Raffo, G. V. (2007). *Modelado y control de un helicóptero quadrotor*. Sevilla.
- REBT. (Septiembre de 2002). *Reglamento electrotécnico para baja tensión*. Recuperado el Noviembre de 2021, de BOE:  
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2002/08/02/842>

Robles, M., & Sáenz, P. (2015). *Diseño y construcción de un prototipo experimental de un cuadricóptero estabilizado por control difuso*. Sangolquí.

Rockwell Automation. (s.f.). *Seguridad funcional en la industria de proceso*.

Recuperado el 16 de Diciembre de 2021, de Literature Rockwellautomation:  
[https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/safebk-rm003\\_-es-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/safebk-rm003_-es-p.pdf)

Rodríguez Fernández, J., Cerdá Filiu, L. M., & Sánchez Horneros, R. B. (2014).

*Automatismos Industriales*. Madrid: Paraninfo.

Roldán Viloría, J. (s.f.). *Electricidad Industrial Esquemas básicos* (Septima ed.).

Paraninfo. Recuperado el Octubre de 2021

Sánchez, C. (2017). *Vehículos aéros no tripulados: descripciones generales y aplicaciones*. Colinnovacion.

Santa Cecilia, J. M., Mallana Rodríguez, M. Á., Carrera Moreno, D., García López, M., & Carmona Martínez, A. (1996). *Cintas transportadoras la identificación de problemas técnicos*. Recuperado el octubre de 2021, de Ministerio de educación y formación profesional:

<https://sede.educacion.gob.es/publiventa/cintas-transportadoras-la-identificacion-de-problemas-tecnicos/ciencia/1477>

Schneider Electric. (1999). *Manual electrotécnico Telesquemario Telemecanique (IEC 947)*. Merlin Gerin. Recuperado el Octubre de 2021, de

<https://www.um.es/docencia/mmc/pdf/telesquemario.pdf>

Schneider Electric Perú. (2021). *Manual y Catálogo del Electricista - MYCE*.

Recuperado el Octubre de 2021, de Life is on:

<https://www.se.com/pe/es/download/document/MYCE2021/>

- SIEMENS. (Agosto de 2018). *Manual de sistema SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Automation 24:  
[https://media.automation24.com/manual/es/91696622\\_s71200\\_system\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf)
- Siemens. (Agosto de 2018). *Simatic Controlador Programable S7-1200*. Recuperado el Noviembre de 2021, de Media Automation24:  
[https://media.automation24.com/manual/es/91696622\\_s71200\\_system\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf)
- SIEMENS. (Septiembre de 2020). *System diagnostics with S7-1500 and TIA Portal*. Recuperado el Diciembre de 2021, de Support.industry:  
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/68011497/diagn%C3%B3stico-del-sistema-con-s7-1500-y-tia-portal?dti=0&lc=es-NI>
- Siemens. (2020). *TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal)*. Recuperado el Noviembre de 2021, de NewSiemens:  
<https://new.siemens.com/ar/es/productos/automatizacion/software-industrial/tia-portal.html>
- Siemens Perú. (Noviembre de 2019). *Catalogo siemens lista de precios 2020*. Recuperado el Noviembre de 2021, de Assets:  
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:4fc6aece-4320-44c6-a777-2c418a8a7f24/version:1579213679/pe-di-lista-de-precios-final-2020-moviles-1601.pdf>
- Soluciones Logísticas Inteligentes Sistematización de Flujo de Materiales. (Agosto de 2020). *¿Qué son los transportadores aéreos y cuáles son sus beneficios?* Recuperado el Octubre de 2021, de Blog gieicom:

<https://blog.gieicom.com/que-son-los-transportadores-aereos-y-cuales-son-sus-beneficios>

Sotomayor, D. C. (Octubre de 2018). *Diseño o estructura grafcet*. Sangolquí, Ecuador: ESPE. Recuperado el Noviembre de 2021

*Tableros de distribución y control*. (s.f.). Recuperado el Noviembre de 2021, de AGSG: <https://www.ags.pe/ingenieria/tableros-de-distribucion-y-control>

Valrey, H. (14 de Enero de 2010). *Transportadores Neumáticos*. Recuperado el Octubre de 2021, de Slideshare: <https://es.slideshare.net/herovalrey/transportadores-neumaticos>

Venegas Riera, F. (2013). *La seguridad funcional en la industria de procesos: conceptos y metodologías de diseño*. (U. P. Cuenca, Ed.) Recuperado el Diciembre de 2021, de Dspace UPS: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6870/1/UPS-CT003539.pdf>

Vera, A. (05 de septiembre de 2016). *Sensores de posición electromecánicos*. Recuperado el Octubre de 2021, de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/323089054/Sensores-de-Posicion-Electromecanicos>

Vizuet Alcocer, A. (2010). *Diseño y desarrollo de banda transportadora*. Recuperado el octubre de 2021, de Repositorio UTC: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1809/1/T-UTC-1682%281%29.pdf>

Wang, W., Ma, H., Xia, M., Weng, L., & Ye, X. (2013). *Attitude and altitude controller desing for quad-rotor type MAVs*. Jiangsu: Hindawi.

## **Anexos**

**Anexo 1:** Sistema de distribución para la nueva línea de producción.

**Anexo 2:** Esquemas eléctricos de control y potencia.

**Anexo 3:** Manual de usuario.

**Anexo 4:** Evaluación de seguridad funcional del sistema de bandas.

**Anexo 5:** Representación de datos post implementación