

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

## **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA TORRE DE COCCIÓN DE LA INDUSTRIA PRONALCE S.A**

**Hernán Darío Balbín Montoya**

**Ingeniería Electromecánica**

Director del trabajo de grado  
**Manuel Alejandro Ospina Alarcón**

**Instituto Tecnológico Metropolitano  
Medellín  
Abril 2019**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

## RESUMEN

---

En la Procesadora Nacional de Cereales S.A existe una torre de cocción de grano, en la cual el proceso depende totalmente del operario quien está a cargo del control. Durante todo este proceso, el operario constantemente invade una sección de riesgo eléctrico, ya que de forma manual deben accionarse diferentes elementos de control involucrados en cada una de las fases del proceso de cocción. En este sentido, el presente proyecto busca proponer un sistema más seguro y eficiente a través del diseño de un programa automático para esta área de la empresa.

El trabajo en su etapa inicial consistió en evaluar y comprender el funcionamiento de cada una de las fases que se ejecutan durante la cocción del grano. Luego, en la segunda etapa se describieron cada una de las variables del programa del PLC, de acuerdo con su naturaleza (digital o analógica). Posteriormente, el programa se desarrolló en el software de automatización TIA Portal V14 de SIEMENS, utilizando el lenguaje de programación KOP (Lógica de contactos), además de una pantalla HMI (Human Machine-Interface) diseñada para controlar y supervisar cada sección del proceso de cocción. Finalmente, se realizaron pruebas de simulación para verificar el correcto funcionamiento del programa mediante el simulador S7-PLCSIM V14 y la pantalla HMI.

En definitiva, este proyecto obedece a una propuesta de mejoramiento de las rutinas realizadas en este sector de la empresa, aprovechando el potencial tecnológico que ofrecen los autómatas programables y las competencias adquiridas en el programa de Ingeniería Electromecánica.

*Palabras clave:* Sistema Automático, Proceso de cocción de grano, Control del proceso, Lógica Programada, Interfaz Hombre-Máquina.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

## RECONOCIMIENTOS

---

Le agradezco a Dios por haberme guiado y acompañado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y por brindarme vida y salud para continuar con mi aprendizaje.

Le doy gracias a mis padres Emilio y Lourdes por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado.

Le doy gracias a mis hijos Stiven y Camila por animarme cada día con solo mirarlos con el fin de continuar y ser un ejemplo de vida para ellos.

Le doy gracias a mi esposa Eugenia por apoyarme en el trayecto de mi carrera.

Le doy gracias a mis hermanos por apoyarme en aquellos momentos de necesidad, por ser un ejemplo para mí.

Le doy gracias a la industria PRONALCE S.A por haber depositado la confianza en mí y brindarme el tiempo y el espacio para poder llevar a cabo este diseño.

Le doy Gracias al ITM por haberme formado cada día en el transcurso de la carrera y transmitirme el conocimiento para ser el que soy ahora.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

# ACRÓNIMOS

---

*AI* Entradas Analógicas

*AO* Salidas Analógicas

*DI* Entradas Digitales

*DO* Salidas Digitales

*DW\_PID* Botón decrementar PID

*EV* Electroválvula

*FC* Final de Carrera

*HMI* Sistema de Supervisión de Datos

*IN* Entrada

*KOP* Esquema de Contactos

*LC* Lógica Cableada

*LP* Lógica Programada

*OUT* Salida

*PE* Pulsado de Paro de Emergencia

*PID* Proporcional, Integral y Derivativo

*PLC* Controlador Lógico Programable

*RT* Relé Térmico

*SA* Sistema Automático

*SN* Sensor de Nivel

*TIA* Automatización Totalmente Integrada

*UP\_PID* Botón incrementar PID

# TABLA DE CONTENIDO

Pág.

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
1.1. Objetivos .....	14
1.2. Específicos.....	14
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
2.1. Aspectos generales de los cereales .....	15
2.1.1. Procesamiento de la Avena en la Industria .....	16
2.2. Importancia del mejoramiento del sistema de producción a través de la tecnología .....	18
2.3. Antecedentes de mejoramiento del sistema de producción en empresas de cereales .....	20
2.4. Controlador Lógico Programable (PLC) .....	21
2.4.1 SIMATIC S7-300 .....	23
2.4.2 Lenguaje de programación KOP .....	24
2.4.3 Control PID .....	25
2.5. Interfaz Hombre-Máquina (HMI) .....	27
2.6. Celdas de carga .....	28
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>30</b>
3.1. Descripción general del funcionamiento del sistema automático para la torre de cocción .....	30
3.1.1. Etapa Uno: Carga de los silos .....	31
3.1.2. Etapa Dos: Accionamiento de las máquinas depuradoras .....	32
3.1.3. Etapa Tres: Carga y cocción del grano dentro de la marmita .....	36
3.1.4. Etapa Cuatro: Secado y preparación final del producto .....	38
3.2. Descripción general de las variables del PLC para la torre de cocción de grano .....	40
3.2.1. Declaración de variables para el PLC .....	41
3.3. Configuración general de dispositivos .....	44
3.3.1. Configuración del PLC .....	45

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

3.3.2.	Configuración de la pantalla HMI .....	48
3.4.	Cálculo de las celdas de carga .....	50
3.5.	Especificaciones técnicas de los equipos .....	52
3.5.1	Válvula de guillotina de boca cuadrada ORBINOX .....	52
3.5.1.1	Tipos de accionamiento .....	54
3.5.1.2	Accionamiento eléctrico .....	55
3.5.2	Celdas de carga tipo botella SLC611.....	58
3.5.3	Amplificador de celdas de carga DOUBLE E .....	59
3.5.4	Compuertas para tolvas DUPLEX .....	60
3.5.4.1	Servomotores compactos Kinetix TL-Series .....	61
3.5.5	Termorresistencia tipo TR10-B .....	62
3.5.6	Electroválvula proporcional compacta Serie PVQ .....	64
3.5.7	Sensor de nivel para productos a granel Mononivo MN4020 .....	65
3.5.8	Especificaciones técnicas de las máquinas operativas en la torre de cocción .	67
3.5.8.1	Motorreductores coaxiales serie INT .....	67
3.5.8.2	Motor vibrador Saideep .....	69
3.5.8.3	Motor trifásico Siemens 1LA4 .....	70
3.5.8.4	Motor trifásico SIMOTICS serie 1LEO14 de Siemens .....	71
3.5.8.5	Motor trifásico de inducción Siemens serie 1LA4 .....	72
3.5.8.6	Motor trifásico de inducción Siemens serie 1LA7 .....	73
3.5.8.7	Motorreductor MOTOX sinfín-corona de Siemens .....	73
3.6	Desarrollo del programa de automatización en KOP .....	75
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>97</b>
4.1.	Diseño de las imágenes para la pantalla HMI .....	97
4.2.	Prueba de funcionamiento mediante el simulador S7-PLCSIM y la pantalla HMI .....	106
4.3.	Planos de conexión para el PLC .....	119
4.3.1	Lista de símbolos de contactos y componentes de salida .....	120
4.3.2	Lista representativa de componentes .....	120
4.3.3	Diagramas de conexión .....	121
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....</b>	<b>129</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>131</b>
	<b>APÉNDICE .....</b>	<b>134</b>

## Lista de Figuras

<b>Fig.1</b> Diagrama de Flujo de la elaboración de Hojuela a base de avena .....	17
<b>Fig.2</b> S7-300 CPU's estándar .....	24
<b>Fig.3</b> Ejemplo de una estructura de programación KOP .....	25
<b>Fig.4</b> Lazo de regulación para el control de temperatura .....	26
<b>Fig.5</b> Lazo de control realimentado .....	26
<b>Fig.6</b> Panel Básico de una HMI de SIEMENS .....	28
<b>Fig.7</b> Descripción de la secuencia del proceso de cocción del grano .....	31
<b>Fig.8</b> Tolva de carga, elevador de cangilones y los silos .....	31
<b>Fig.9</b> División superior de los silos .....	32
<b>Fig.10</b> Zaranda, ubicada en el quinto nivel .....	33
<b>Fig.11</b> Dechinadora, ubicada en el cuarto nivel .....	34
<b>Fig.12</b> Frotadora, ubicada en el tercer nivel .....	34
<b>Fig.13</b> Esquema del funcionamiento de la segunda etapa .....	35
<b>Fig.14</b> Marmita .....	36
<b>Fig.15</b> Laminador .....	37
<b>Fig.16</b> Lecho de secado de la hojuela .....	38
<b>Fig.17</b> Máquina seleccionadora de hojuela, ubicada en el cuarto nivel .....	39
<b>Fig.18</b> Tolvas de almacenamiento de hojuela .....	39
<b>Fig.19</b> Clasificación de las variables en el PLC .....	40
<b>Fig.20</b> Software de automatización TIA Portal V14 .....	44
<b>Fig.21</b> Selección del controlador .....	45
<b>Fig.22</b> Vista del PLC en TIA Portal. ....	46
<b>Fig.23</b> Direcciones asignadas por defecto para las E/S analógicas .....	46
<b>Fig.24</b> Configuración del canal 4 de entradas analógicas como una termorresistencia lineal de 2 hilos .....	47
<b>Fig.25</b> Módulo extra de salidas analógicas .....	48
<b>Fig.26</b> Pantalla táctil HMI de seis pulgadas .....	49
<b>Fig.27</b> Comunicación entre el autómatas y la pantalla HMI .....	49
<b>Fig.28</b> Válvula de guillotina de boca cuadrada modelo BC .....	53

<b>Fig.29</b> Partes de la válvula de guillotina estándar modelo BC .....	53
<b>Fig.30</b> Actuador eléctrico para válvula de guillotina modelo CRG .....	55
<b>Fig.31</b> Vistas lateral y frontal del actuador eléctrico CRG .....	55
<b>Fig.32</b> Vista superior de los silos en la torre .....	57
<b>Fig.33</b> Diseño de ejemplo para el montaje de la válvula de guillotina en los silos .....	57
<b>Fig.34</b> Celda de carga tipo botella SLC611 .....	58
<b>Fig.35</b> Amplificador de peso marca DOUBLE E .....	59
<b>Fig.36</b> Compuerta para tolvas y silos .....	60
<b>Fig.37</b> Vista frontal del modelo DUPLEX .....	61
<b>Fig.38</b> Servomotor Kinetix TL-Series .....	61
<b>Fig.39</b> Termorresistencia TR10-B .....	62
<b>Fig.40</b> Conexión eléctrica según IEC/EN 60751 .....	63
<b>Fig.41</b> Vista interior de la electroválvula proporcional PVQ .....	64
<b>Fig.42</b> Sensor de nivel Mononivo MN4020 .....	65
<b>Fig.43</b> Vista de montura de los sensores de nivel .....	66
<b>Fig.44</b> Motorreductor coaxial serie INT .....	68
<b>Fig.45</b> Vibro motor Saideep .....	69
<b>Fig.46</b> Motor trifásico de inducción Siemens .....	71
<b>Fig.47</b> Motor trifásico SIMOTICS serie 1LEO14 .....	72
<b>Fig.48</b> Motor trifásico de inducción Siemens .....	73
<b>Fig.49</b> Motorreductor MOTOX sinfín-corona .....	74
<b>Fig.50</b> Línea de programación para el Arroz .....	76
<b>Fig.51</b> Línea de programación para la detección del sistema .....	77
<b>Fig.52</b> Activación del elevador de cangilones .....	78
<b>Fig.53</b> Línea de programación para el final de carrera del Silo_1 .....	79
<b>Fig.54</b> Seguridad para el motorreductor del elevador de cangilones .....	80
<b>Fig.55</b> Activación de la alarma para el elevador de cangilones .....	81
<b>Fig.56</b> Escalización del peso medido en el Silo_1 .....	81
<b>Fig.57</b> Instrucción de desescalización para el Silo_1 .....	82
<b>Fig.58</b> Instrucción de carga en Silo_1 y activación de la electroválvula .....	83
<b>Fig.59</b> Instrucción de carga en Silo_2 .....	84
<b>Fig.60</b> Instrucción para la activación de la caldera y del dosificador .....	85



<b>Fig.61</b> Instrucción para cierre de compuerta en el Silo_2 .....	86
<b>Fig.62</b> Instrucción para apertura de compuerta en el Silo_2. ....	86
<b>Fig.63</b> Instrucción de activación de la caldera con temporizador TP .....	87
<b>Fig.64</b> Instrucción para activación de indicador LED caldera .....	87
<b>Fig.65</b> Datos PID para el control de temperatura .....	88
<b>Fig.66</b> Sistema de control realimentado para el control de temperatura .....	88
<b>Fig.67</b> Regulador PID para la temperatura .....	90
<b>Fig.68</b> Instrucción P_TRIG para pulsos ascendentes de temperatura. ....	91
<b>Fig.69</b> Instrucción P_TRIG para pulsos descendentes de temperatura .....	92
<b>Fig.70</b> Instrucción para activar el dosificador .....	93
<b>Fig.71</b> Instrucción para activación de bomba y motores de laminación fijo y móvil .....	94
<b>Fig.72</b> Instrucción para activar turbinas de aire frio-caliente y banda transportadora .....	95
<b>Fig.73</b> Instrucción para activar elevador de hojuela y maquina seleccionadora .....	96
<b>Fig.74</b> Pantalla para selección del grano .....	98
<b>Fig.75</b> Pantalla para comprobar el estado del motorreductor del elevador de cangilones .....	99
<b>Fig.76</b> Pantalla para comprobar el estado de los silos .....	100
<b>Fig.77</b> Pantalla para comprobar el estado de los silos .....	100
<b>Fig.78</b> Pantalla para comprobar el estado de los tornillos sinfín y del elevador de grano sucio ...	101
<b>Fig.79</b> Pantalla para comprobar el estado de las máquinas depuradas y de la turbina de material particulado .....	102
<b>Fig.80</b> Pantalla para comprobar el estado del elevador de grano limpio .....	103
<b>Fig.81</b> Pantalla para comprobar el estado de la marmita .....	104
<b>Fig.82</b> Pantalla para comprobar el estado de la caldera .....	104
<b>Fig.83</b> Estado de la etapa final del proceso .....	105
<b>Fig.84</b> Carga del programa en un PLC simulado .....	106
<b>Fig.85</b> Inicio de simulación a través de las imágenes HMI .....	107
<b>Fig.86</b> CPU virtual en modo RUN .....	107
<b>Fig.87</b> Pantalla en modo de selección .....	108
<b>Fig.88</b> Puesta en marcha del elevador de cangilones .....	109
<b>Fig.89</b> Simulación de la lectura de carga en los silos .....	110
<b>Fig.90</b> Estado de carga en los silos .....	110
<b>Fig.91</b> Puesta en marcha de los tornillos sinfín y del elevador de grano .....	111

<b>Fig.92</b> Puesta en marcha de las máquinas depuradoras y turbina .....	112
<b>Fig.93</b> Prueba de disparo de relés térmicos .....	113
<b>Fig.94</b> Puesta en marcha del elevador de grano limpio .....	114
<b>Fig.95</b> Puesta en marcha de la caldera .....	115
<b>Fig.96</b> Bloque CONT_C para el control de temperatura .....	116
<b>Fig.97</b> Parámetros de entrada para el bloque CONT_C .....	116
<b>Fig.98</b> Visualización de los botones UP_PID y DW_PID en la pantalla HMI .....	117
<b>Fig.99</b> Pantalla para comprobar el valor de temperatura: sin acción de control .....	118
<b>Fig.100</b> Pantalla para comprobar el valor de temperatura: Con acción de control .....	118
<b>Fig.101</b> Activación de la etapa final del proceso .....	119
<b>Fig.102</b> Tarjetas de E/S del PLC .....	122
<b>Fig.103</b> Esquema de conexión para entradas digitales .....	122
<b>Fig.104</b> Esquema de conexión para entradas digitales .....	123
<b>Fig.105</b> Esquema de conexión para entradas digitales .....	124
<b>Fig.106</b> Esquema de conexión para salidas digitales .....	124
<b>Fig.107</b> Esquema de conexión para salidas digitales .....	125
<b>Fig.108</b> Esquema de conexión para salidas digitales .....	126
<b>Fig.109</b> Esquema de conexión para salidas digitales .....	127
<b>Fig.110</b> Esquema de conexión para salidas digitales .....	128
<b>Fig.111</b> Línea de programación para la Avena .....	134
<b>Fig.112</b> Línea de programación para la Cebada .....	135
<b>Fig.113</b> Línea de programación para la Granolera .....	136
<b>Fig.114</b> Línea de programación para el Maíz .....	137
<b>Fig.115</b> Línea de programación para el Trigo .....	138
<b>Fig.116</b> Línea de programa para final de carrera Silo_2 CLOSE .....	139
<b>Fig.117</b> Línea de programa para final de carrera Silo_1 OPEN .....	140
<b>Fig.118</b> Línea de programa para final de carrera Silo_2 OPEN .....	140
<b>Fig.119</b> Línea de programa para final de carrera Marmita OPEN .....	141
<b>Fig.120</b> Línea de programa para final de carrera Marmita CLOSE .....	141
<b>Fig.121</b> Seguridad para el elevador de grano sucio .....	142
<b>Fig.122</b> Seguridad para el elevador de grano limpio .....	143
<b>Fig.123</b> Seguridad para la máquina zaranda .....	144

<b>Fig.124</b> Seguridad para la máquina dechinadora .....	145
<b>Fig.125</b> Seguridad para la máquina Frotadora .....	146
<b>Fig.126</b> Seguridad para el motor laminador fijo .....	147
<b>Fig.127</b> Seguridad para el motor laminador móvil .....	148
<b>Fig.128</b> Seguridad para la turbina de material particulado .....	149
<b>Fig.129</b> Activación de la alarma para el elevador de grano sucio .....	150
<b>Fig.130</b> Activación de la alarma para el elevador de grano limpio .....	150
<b>Fig.131</b> Activación de la alarma para la máquina zaranda .....	151
<b>Fig.132</b> Activación de la alarma para la máquina dechinadora .....	151
<b>Fig.133</b> Activación de la alarma para la máquina frotadora .....	151
<b>Fig.134</b> Activación de la alarma para el motor laminador fijo .....	152
<b>Fig.135</b> Activación de la alarma para el motor laminador móvil .....	152
<b>Fig.136</b> Activación de la alarma para la turbina de material particulado .....	152
<b>Fig.137</b> Función SCALE para el Silo_2.....	153
<b>Fig.138</b> Función UNSCALE para el Silo_2.....	153

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Opciones tecnológicas para la automatización .....	23
<b>Tabla 2.</b> Entradas digitales y analógicas del sistema .....	41
<b>Tabla 3.</b> Salidas digitales y analógicas del sistema .....	42
<b>Tabla 4.</b> Disposición y tratamiento de las señales analógicas .....	47
<b>Tabla 5.</b> Lista de componentes estándar .....	54
<b>Tabla 6.</b> Tiempo de apertura del actuador eléctrico CRG según el tipo .....	56
<b>Tabla 7.</b> Dimensiones, peso y voltaje de operación para la familia de actuadores eléctricos CRG ..	56
<b>Tabla 8.</b> Especificaciones de la celda de carga SLC611. ....	58
<b>Tabla 9.</b> Tipos de conexionado para el modelo TR10-B .....	63
<b>Tabla 10.</b> Rangos de operación de caudal .....	65
<b>Tabla 11.</b> Ficha técnica del sensor de nivel Mononivo MN4020 .....	67
<b>Tabla 12.</b> Especificaciones técnicas motorreductor serie INT .....	68
<b>Tabla 13.</b> Especificaciones técnicas motor vibrador Saideep .....	70
<b>Tabla 14.</b> Especificaciones técnicas motor trifásico LA4 206 .....	70
<b>Tabla 15.</b> Especificaciones técnicas motor trifásico 1LEO141.....	71
<b>Tabla 16.</b> Especificaciones técnicas motor trifásico 1LA4 207 .....	72
<b>Tabla 17.</b> Especificaciones técnicas motor trifásico 1LA7 164 .....	73
<b>Tabla 18.</b> Resumen de tecnología motorreductor MOTOX sinfín-corona .....	74
<b>Tabla 19.</b> Lista de símbolos usados en los diagramas de conexión .....	120
<b>Tabla 20.</b> Lista representativa de componentes .....	121

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

# 1. INTRODUCCIÓN

---

Para lograr el objetivo general de diseñar un sistema automático para la torre de cocción de grano por medio de un algoritmo de programación y un sistema de supervisión de datos, se ha dividido el presente proyecto en tres secciones principales.

En Marco Teórico se presenta la información relacionada con los procesos de cocción de grano en distintas industrias y la importancia de la tecnología en su automatización. En el mismo Marco Teórico se ha hecho énfasis del uso de los PLC's como herramienta tecnológica por excelencia en la automatización de la industria del siglo XXI. Esta información se complementa con una descripción general del modelo de CPU propuesto en el diseño, el SIMATIC S7-300 de SIEMENS. Posteriormente, se explican algunos conceptos básicos como el lenguaje de programación por contactos (KOP), los controladores PID, la Interfaz Hombre-Máquina y el principio de funcionamiento de las celdas de carga.

En el capítulo tres de la Metodología se condensa toda la información relacionada a cada uno de los pasos seguidos para la consecución de los objetivos del diseño. Inicia con una descripción general del funcionamiento de cada una de las etapas del proceso de cocción en la torre. Más adelante, en la sección 3.2, se describen las variables del PLC y su naturaleza digital o análoga; paso fundamental previo a la programación del sistema de automatización. Posteriormente se detalla la configuración de los dispositivos desde el software de automatización TIA Portal V14. La sección 3.4 incluye el cálculo de las celdas de carga, cumpliendo con los requisitos de máxima capacidad de los silos. En la sección 3.5 se recoge toda la información relacionada con las especificaciones técnicas de los equipos e instrumentos propuestos para la automatización y de los equipos que actualmente se encuentran en funcionamiento. Finalmente, el numeral 3.6 presenta el desarrollo del programa de automatización en lenguaje de contactos (KOP).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

El capítulo cuatro (Resultados) está dividido en tres secciones. La sección 4.1 detalla las imágenes del proceso mediante la pantalla HMI. La sección 4.2 presenta pruebas de simulación del programa de automatización mediante el simulador S7-PLCSIM V14 y el sistema de supervisión de datos (HMI). Finalmente, en la sección 4.3 se describen los diagramas de conexión eléctrica del PLC.

El capítulo 5 presenta las conclusiones y recomendaciones, donde se han señalado los objetivos conseguidos del presente proyecto, describiendo las fortalezas y debilidades encontradas durante su desarrollo. Por otra parte, se ofrecen algunas recomendaciones que deberían servir como un medio para fortalecer aún más el diseño propuesto en este trabajo.

### **1.1 Objetivos**

Diseñar un sistema automático para la cocción de grano en la Industria Procesadora Nacional de Cereales S.A por medio de un algoritmo de programación (PLC) y un sistema de supervisión de datos (HMI).

### **1.2 Específicos**

- Identificar las principales variables que intervienen en el proceso y su naturaleza (digital o analógica).
- Diseñar planos de conexión eléctrica del PLC.
- Diseñar la lógica de programación del PLC y la pantalla HMI, para monitoreo, operación y control del equipo.
- Validar mediante simulación el correcto funcionamiento del programa de automatización.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1 Aspectos generales de los cereales

Para comenzar, se alude a las características generales de los cereales, los cuales pertenecen a la familia de las gramíneas, que se distinguen porque la semilla y el fruto forman la misma estructura, llamado el grano. Suelen ser plantas anuales, con raíces numerosas, tallos cilíndricos, generalmente con huecos nudosos, hojas lineales, flores hermafroditas (menos el maíz), e inflorescencia en espiga (Gómez, 2007). El grano del cereal lo conforman las cubiertas externas o glumas, que son las que contienen fundamentalmente fibra; el endospermo o núcleo central del grano, que contiene almidón; y el germen, el cual contiene lípidos, pigmentos naturales, almidón, proteínas, enzimas y vitaminas del grupo B (Asociación Española de Fabricante de Cereales, 2011).

Así que los cereales se componen por distintas estructuras, pero lo más importante es la alta composición nutricional, aprovechada por el ser humano en su alimentación; ejemplo de ello se encuentra en los cereales de los desayunos, donde puede verse su incorporación debido a su aporte nutritivo. Es así como **“Las materias primas más utilizadas son: trigo, maíz, arroz, avena, cebada y otros cereales comestibles, ya sean enteros o molidos.** Además de los cereales, en ocasiones se utilizan otros ingredientes como cacao, frutas, frutos secos, malta, miel y leche” (Parzanasse, 2001, pág. 1). Demostrándose que los cereales tienen relevancia en el consumo humano, dado que permite una sana alimentación y variedad en la dieta, motivo por el cual se hallan diversas empresas dedicadas a este producto.

Para efectos de este trabajo, se hace hincapié en la avena, que igualmente se destaca por ser un grano con un alto interés nutricional, debido a su contenido en fibra soluble, pues “posee un 66,3% de hidratos de carbono, pero además es un cereal muy valorado por su

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

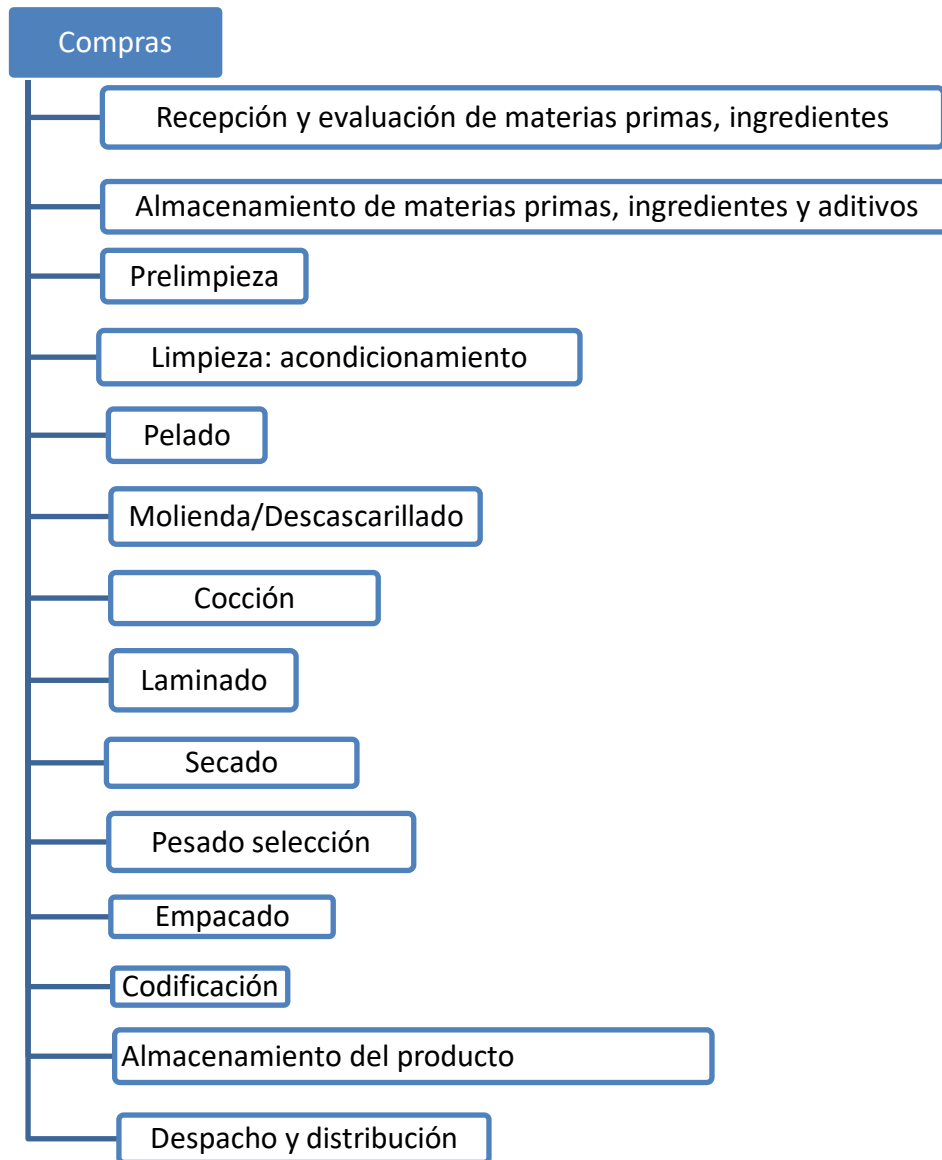
riqueza en proteínas (16,9%) y aminoácidos esenciales” (Asociación Española de Fabricante de Cereales, 2011). Esto trae ventajas para la salud de las personas, sobre todo cuando se habla de su alto contenido de fibra, ya que ayuda a reducir la absorción del colesterol y equilibra los niveles de glucosa en la sangre, además permite un adecuado equilibrio en la flora del colón (Asociación Española de Fabricante de Cereales, 2011).

### **2.1.1 Procesamiento de la avena en la industria**

Luego de la cosecha, se procede al procesamiento de los cereales, el cual tiene una serie de actividades similares, pero aquí solamente se detalla al caso de la avena, puesto que a ésta se dedica principalmente la Procesadora Nacional de Cereales. A modo general, se encuentra en la literatura los pasos de ese procesamiento (García, 2005; Espinoza & Quispe, 2013; Asociación Española de Fabricante de Cereales, 2011; Huallaco, 2019), y para el caso de la avena, se encuentran estos pasos: limpieza, secado, selección, clasificación, cocción, molienda y fraccionamiento.

En la descripción del proceso, en la Figura 1, a modo de diagrama de flujo, puede verse el paso a paso en la elaboración de las hojuelas a base de avena. Es de anotar que hay una serie de acciones realizadas a la materia prima antes de llegar a la empresa, ya que se ha recolectado, secado y transportado los granos del cereal, para proceder luego a la respectiva limpieza, acondicionamiento y posterior molienda de los granos (García, 2005). En la Fig.1 aparecen los pasos del proceso, una vez ingresado el cereal a la industria de alimentos.





**Fig. 1.** Diagrama de Flujo de la elaboración de Hojuela a base de avena.

Fuente: Adaptado de Huallaco, 2019, p. 14.

Para ampliar lo anterior, se destacan algunos procesos, como es el de la limpieza, el cual consiste en eliminar basuras, piedras, y granos en mal estado. El proceso de cocción se hace sobre una superficie caliente o en un tostador rotatorio por 15 minutos a una temperatura de 150-175°C, y luego se enfrían (Prodar & FAO, 2001). De la molienda, se precisa que es una operación que conlleva una transformación física, sin alterar su naturaleza. Esta

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

reducción se hace “dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado” (Espinoza & Quispe, 2013, pág. 29). Es aquí donde se realiza la división del grano y el germen, para lo cual se implementan rodillos y equipos especializados en la clasificación y purificación, donde recurren al tamizado. Finalmente, se destaca que en la etapa de cocción se añaden sustancias que contribuyen al desarrollo del sabor, y para ello, se utilizan tanques rotatorios horizontales (García, 2005, p. 51). Siendo importante en todos los procesos contar con estándares altos de calidad, para lo cual es vital la presencia de recursos tecnológicos que faciliten estos pasos.

## **2.2 Importancia del mejoramiento del sistema de producción a través de la tecnología**

Existen procesos precisos, para el caso de los cereales, desde el punto de vista industrial, donde se hace necesario contar con la maquinaria y las técnicas suficientes que posibiliten el adecuado desarrollo de los procesos, de manera que se obtengan altos estándares de productividad, lo cual va de la mano a la eficiencia y eficacia. Es por eso que debe existir un mejoramiento continuo del sistema, en sus procesos, ya que “ayuda a tener una productividad alta, debido a que no se trata de producir más sino de producir mejor” (Guerron, 2018, pág. 9). En ese sentido, lo que deben buscar las empresas es la optimización en sus productos, a través de estrategias que faciliten los procesos, y que, al recurrir a la tecnología, por ejemplo, esto represente mayor agilidad, facilidad y menos riesgos para sus empleados.

Es por esto, que para el mejoramiento se tiene en cuenta la reingeniería de procesos, en donde puede hallarse diversas metodologías, de modo que se logre rediseñar los procesos estratégicos en aras de su mejoramiento. Una de las metodologías a destacar es (Moreno & Parra, 2017, pág. 2):

- Maximizar los procesos que aportan valor al cliente y a la organización, atenuado aquellos que no lo aportan.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

- Reducción de costos y gastos en aras de potenciar los resultados económicos de la organización.
- Minimizar los riesgos asociados a deficiencias en los procesos y los sistemas de dirección y gestión empresarial.
- Utilización de las tecnologías de la información en función de los procesos rediseñados.

De este modo, lo que cuenta es la implementación de la tecnología bajo unas necesidades específicas, desde donde se resuelve el o los procesos que presentan dificultades, y tener la oportunidad de menguar los riesgos de los empleados, tal como se apunta con este trabajo.

Adicionalmente, en la implementación de la tecnología pueden entablarse varias relaciones, una de ellas es la de hombre-máquina: “Referida a la capacidad del hombre para servirse de las herramientas de trabajo para facilitar su trabajo” (Vargas, 2007, pág. 2); de manera que se cuenta con una máquina que hace varias actividades en la empresa, optimizando tiempo y recursos, pero ésta requiere de la presencia del ser humano para que funcione.

El mejoramiento del sistema de producción trae consigo otros beneficios para las empresas, y aquí es clave la presencia de la tecnología, la cual se divide en dos: La primera es la tecnología de productos y procesos alimentarios, lo cual quiere decir “el arte de transformar, conservar y empacar una materia prima en un producto alimenticio semiterminado o terminado” (Vargas, 2007, pág. 2). La segunda es la tecnología incorporada en los equipos e insumos, en ésta, “los equipos especialmente diseñados y los insumos como son empaques y otros” (Vargas, 2007, pág. 2). La incorporación de tecnología es sin duda una herramienta que mejora el rendimiento de la producción, ya sea a través de nuevos hardware o software, de programas o procesos que permitan agilizar los procesos y mantener la calidad y la seguridad.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

### **2.3 Antecedentes de mejoramiento del sistema de producción en empresas de cereales**

Aquí, se hace mención de algunos ejemplos del proyecto a desarrollar, entre estos se encuentra en la empresa Cargill de Venezuela, donde surgió igualmente la necesidad de automatizar sus sistemas de producción en la planta procesadora de harina. Dicho proyecto se enfocó en el proceso de recepción del trigo, que consiste en transportar el producto desde los camiones hasta los silos de resguardo. Actualmente, dicho proceso es controlado por circuitos cableados entre relés y contactores; es decir, a través de lógica cableada (Acevedo 2011). Lo anterior establece las bases para el diseño de un sistema de automatización, basado en el uso de controladores lógicos programables, el cual es uno de los objetivos del proyecto que se propone.

En el proyecto Tecno Merced (2012), se hace referencia a la cocción de los granos, los cuales, una vez limpios, pasan por un proceso de cocción a altas temperaturas, en una olla especial, con resistencias eléctricas. Esto permite eliminar todos los posibles microorganismos dañinos al ser humano. Anteriormente, el proceso de cocción era a leña, pero con la introducción de tecnología, se logró la producción de forma más limpia, segura y con mayor eficiencia en cuanto a rendimientos, pasando hoy de 1200 kg a 3500 kg por cocción (Garcete 2014). De esta manera, puede establecerse cómo la automatización es un elemento clave en la industria, ya que la misma interviene en los diversos procesos de las empresas que se dedican a la transformación de materias primas; no sólo mejorando la productividad, sino también reduciendo los riesgos para los operarios. Cabe anotar, que la automatización, es igualmente un excelente aliado en una industria tan exigente, como lo es la alimentaria (Interempresas, 2016).

Otro aspecto a tener en cuenta es la implementación de las marmitas, las cuales se utilizan generalmente para el procesamiento de alimentos en casinos, donde la producción es demasiado grande. También en la fabricación de mermeladas, jaleas, chocolates, dulces y confites; bocadillos, salsas, arequipe, entre otros. Además, se utilizan en la industria química farmacéutica y en la elaboración de shampoo y crema dental. Ahora bien, las

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

marmitas utilizan un sistema de calentamiento muy común en la industria; en el cual el fluido producido por las calderas es aprovechado para la cocción de alimentos. Con la instalación de instrumentos de medición, se supervisa los parámetros de funcionamiento, ayudados con metodologías para el cálculo de la eficiencia de un sistema de marmita (Delgado, Jiménez & Lapidó 2016).

Para finalizar, se hace referencia a la compañía mexicana Industria Sigrama S.A. de C.V. Automatización y Control de Procesos, la cual viene interviniendo la planta Nuplen, esta última se dedica a la elaboración de productos alimenticios para ganado, y actualmente elabora diferentes variedades de alimentos procedentes de varios productos primarios tales como maíz, cebada, centeno, etc. Nuplen tiene como proyecto automatizar una de sus plantas, donde se elaboran hojuela a base de maíz. Frente a la necesidad de mejorar sus estándares de calidad y producción, se recomienda allí la sistematización y automatización de sus procesos, los cuales gozarían de muchos beneficios como la obtención de un producto con la misma calidad, aumento de la eficiencia, disminución en los tiempos muertos y operadores como supervisores del proceso (Industria Sigrama, 2017).

#### **2.4 Controlador Lógico Programable (PLC)**

El Controlador Lógico Programable (PLC) o Autómata Programable, es una herramienta tecnológica que corresponde “a toda máquina electrónica diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales” (Aguilera, 2002, pág. 14). A través de un programa se controla la máquina, y el PLC mantiene un diálogo entre el operario y la máquina, elabora y realiza acciones dentro del sistema, ejerce supervisión al informar de los movimientos y estado de la máquina, y por supuesto, realizar el control de los procesos. De ahí su relevancia para una torre de cocción del grano, porque así da mayor seguridad y rendimiento al producto.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

El PLC es un equipo electrónico de control, el cual se configura a través de una electrónica interna (hardware), la cual es independiente del proceso a controlar, y que se adapta al proceso por medio de un programa específico (software), el cual tiene la secuencia de operaciones a realizar (My Electronic, 2010). El PLC es un equipo electrónico que tiene por función controlar los procesos secuenciales dados, que contiene una “cadena de operaciones sobre señales de entrada y salida al proceso, cableadas directamente en los bornes de conexión del autómeta” (My Electronic, 2010).

Todo autómeta programable cuenta con señales de entrada, que pueden ser digital o analógico, y de acuerdo con la elegida, a esta línea se conectan los sensores y dispositivos de salida en tensión o corriente continuas; por su parte, las señales de salida pueden también ser de orden analógico o digital, que se envían a los elementos indicadores y actuadores del proceso, como lámparas, contactores, relés, entre otros. Adicionalmente, se cuenta con una Unidad Central de Proceso (CPU), la cual procesa el programa de usuario a introducir; también, se incluye una serie de componentes para el software, por ejemplo, los programas para diagnosticar y hallar fallos, y los que permiten la visualización de los resultados o la comunicación entre diversos dispositivos (My Electronic, 2010; Lifelong y Performance Adaptive Curriculum, 2011).

A su vez, se añade que la automatización debe contar con opciones tecnológicas para su funcionamiento. En la Tabla 1 se muestran las diferentes opciones tecnológicas:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

**Tabla 1.** Opciones tecnológicas para la automatización. Fuente: Facet.

TIPO	FAMILIA TECNOLÓGICA	SUBFAMILIA ESPECÍFICA
Lógica cableada	Eléctrica	Relés electromagnéticos Electroneumática Electrohidráulica
	Electrónica	Electrónica estática
Lógica programada	Electrónica	Microcontroladores Computadoras industriales Autómatas programables

Las ventajas del PLC son: posibilidad de introducción de modificaciones sin cambiar el cableado, ni añadir instrumentos; mínimo espacio de ocupación; menor costo de mano de obra en la instalación; economía en su mantenimiento y menor tiempo para la puesta de mantenimiento del proceso (Aguilera, 2002, pág. 18-19); también aporta a la solución de problemas a tiempo y sin afectar la producción, y contribuye al mejoramiento de la fiabilidad del sistema de orden global. Es por todo esto, que en el sector industrial puede verse su aplicación e inclinación por el PLC, y así contar con un autómata programable, siendo un gran aporte a la electromecánica moderna.

Finalmente, una característica diferenciadora del PLC en relación con otros sistemas de control programable es “la estandarización de su hardware, que permite la configuración de sistemas de control a medida, según las necesidades estimadas de potencia de cálculo y número y tipo de señales de entrada y salida” (My Electronic, 2010).

#### **2.4.1 SIMATIC S7-300**

SIMATIC S7-300 es el controlador más vendido de la plataforma Totally Integrated Automation (TIA) con múltiples aplicaciones de referencia en sectores como industria del automóvil, máquinas especiales, maquinaria en general, industria de alimentación y bebidas, transformación de plásticos, entre otros (Siemens, 2019).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

Algunas de las características más destacadas de la CPU S7-300 son:

- Ejecución rápida de comandos
- Reducción de costes de ingeniería
- Reutilización de programas y librerías
- Reducción de costes de operación
- Menor volumen de montaje

La Fig.2 muestra tres tipos de CPU estándar para el S7-300.



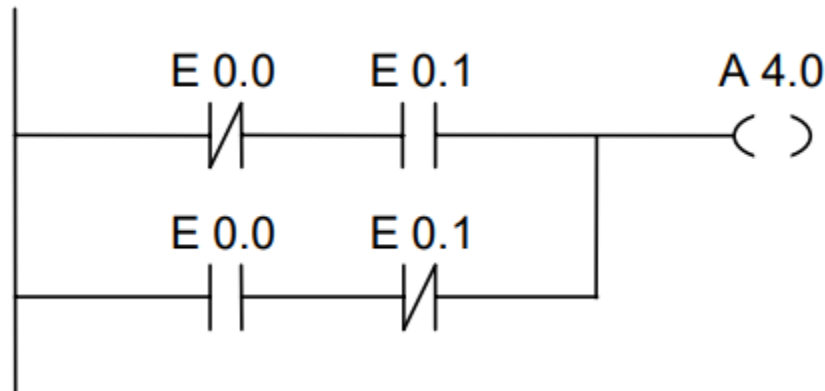
**Fig.2.** S7-300 CPU's estándar. Fuente: <https://w5.siemens.com>

#### 2.4.2 Lenguaje de programación KOP

KOP sigue los principios del lenguaje “Esquema de contactos” (en inglés Ladder Logic) fijados en la norma DIN EN-61131-3 (Siemens, 2006). Es, en efecto, el lenguaje de programación predilecto por miles de profesionales de la ingeniería eléctrica y electromecánica, ya que su estructura asemeja bastante a un esquema de contactos (Ver Fig.3).



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24



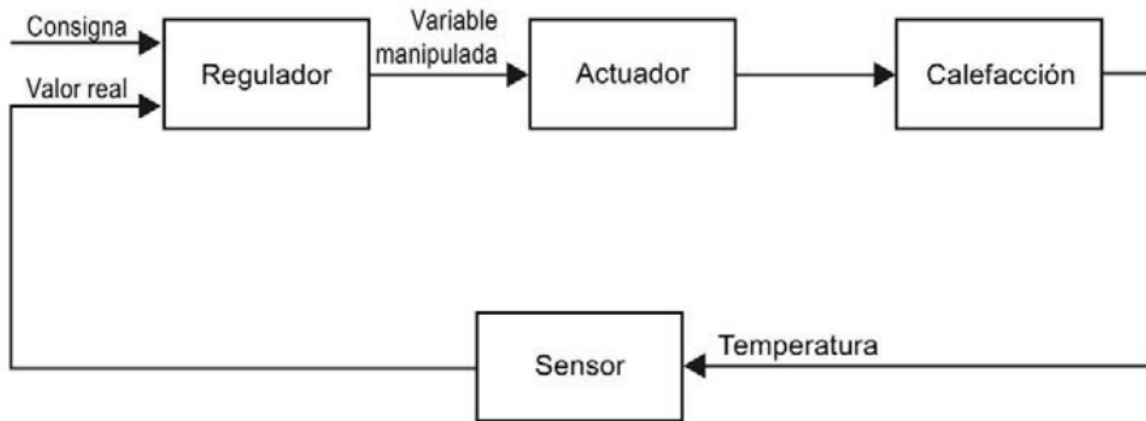
**Fig.3.** Ejemplo de una estructura de programación KOP. Fuente:

<https://cache.industry.siemens.com>

El ejemplo de la Fig.3 corresponde a una condición O-exclusiva o XOR, la cual genera que la salida A 4.0 sea 1 si el estado de señal de los dos bits indicados es distinto. En este caso, la salida A 4.0 es 1 si E 0.0 es 0 y E 0.1 es 1 o si E 0.0 es 1 Y E 0.1 es 0.

### 2.4.3 Control PID

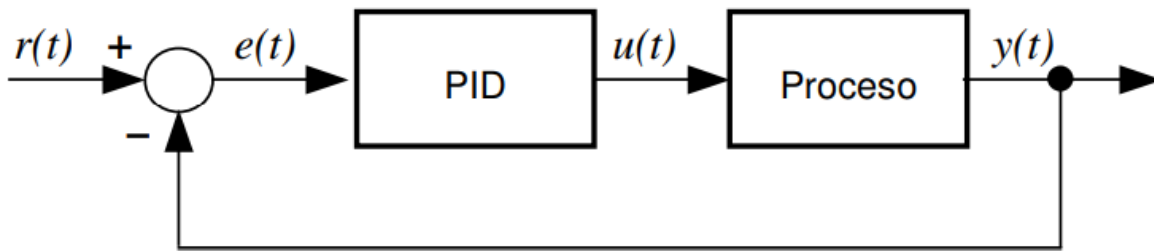
El controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) consiste en una herramienta de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular cualquier variable de un proceso industrial (temperatura, presión, velocidad, flujo, entre otras). Un ejemplo de control PID sería la regulación de temperatura mediante una calefacción utilizando un sensor y un regulador (Ver Fig.4), el cual compara la temperatura actual con un valor de referencia o punto de control y calcula el valor de salida para controlar la calefacción (Siemens, 2018).



**Fig. 4.** Lazo de regulación para el control de temperatura. Fuente:

<https://cache.industry.siemens.com>

La Fig.5 muestra un lazo de control por realimentación, en el cual la acción de control viene dada por la diferencia entre la variable de referencia  $r(t)$  y la variable controlada  $y(t)$  (Cova, 2005).



**Fig. 5.** Lazo de control realimentado. Fuente: Cova.

Donde:

$r(t)$ : variable de referencia

$u(t)$ : señal de control

$y(t)$ : variable controlada

$e(t) = r(t) - y(t)$ : error actuante

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

## 2.5 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

La sigla HMI es la abreviación en inglés de Human Machine Interface (Interfaz Hombre-Máquina). Esta interfaz consiste básicamente en un panel o pantalla asociada a diferentes variables de un proceso. En efecto, esta pantalla puede funcionar en distintos dispositivos como paneles de operador (Ver Fig. 6) o en una PC, en ambos casos es el software HMI quien se encarga del monitoreo y control de supervisión (Méndez, Morales y Vásquez, 2011).

La Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es la principal herramienta con la que operarios e ingenieros interactúan en la supervisión y control de los procesos industriales. En este sentido, algunas investigaciones se han enfocado en la construcción o diseño de arquitecturas de software que faciliten la interacción de los usuarios con el fin de generar respuestas más eficientes (Benito, 2019).

Tradicionalmente los sistemas HMI consistían en pantallas compuestas por indicadores y comandos; en la actualidad, dado el avance significativo de los procesos industriales, es posible contar con sistemas de HMI más complejos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso (Cobo, 2008).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

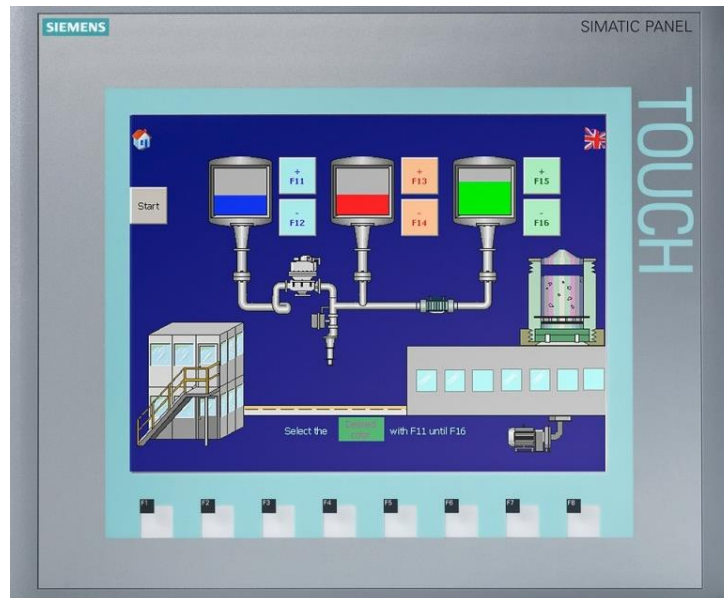


Fig. 6. Panel Básico de una HMI de SIEMENS. Fuente: <https://www.plc-city.com>

## 2.6 Celdas de carga

Una celda de carga consiste en un transductor que convierte una fuerza en una señal eléctrica. Su uso se extiende a diferentes aplicaciones, como las básculas para pesar frutas y verduras, o las utilizadas a nivel industrial (Roque, 2018). Por otra parte, las celdas de carga se pueden diferenciar según el tipo de señal generada: neumática, hidráulica o eléctrica; o según la forma de detección del peso: doblez, cizalla, compresión o tensión (Gomora y Fragoso, 2015).

El presente proyecto busca programar la acción de una celda de carga a partir de la señal eléctrica generada por el peso del grano en los silos y en la marmita. A este respecto, Gamoroa y Fragoso (2015) sostienen:

Este tipo de celdas convierten la carga que actúa en ellas en señales eléctricas. Los calibradores en sí están unidos a un haz o elemento estructural que se deforma

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

cuando se aplica peso. Cuando se aplica peso, la tensión cambia la resistencia eléctrica de los calibradores en proporción a la carga. (p.13)

En el próximo capítulo se explicará el modo de funcionamiento de cada una de las etapas realizadas en la Procesadora; se describen las variables del programa del PLC; configuración de dispositivos mediante TIA Portal y se describen las especificaciones técnicas de los equipos e instrumentos. Por otra parte, se presenta el desarrollo del programa de automatización en lenguaje de contactos (KOP).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

### 3. METODOLOGÍA

---

Esta sección recoge de forma detallada los pasos realizados para la ejecución del diseño de automatización para la torre de cocción de grano. Se inicia con una descripción general del funcionamiento de cada una de las etapas del proceso de cocción. En el apartado 3.2 se describen cada una de las variables y su naturaleza digital o análoga. El apartado 3.3 define la configuración de los dispositivos y programa utilizado para la automatización: Software, tipo de PLC, CPU y pantalla táctil HMI. Luego, el numeral 3.4, incluye el cálculo de celdas de carga para los silos. En la sección 3.5 se detallan los equipos e instrumentos propuestos para la automatización y de los equipos que están actualmente en operación, junto con las especificaciones técnicas de cada uno. Finalmente, la programación en lenguaje de contactos (KOP) del proceso se encuentra en la sección 3.6.

#### **3.1 Descripción general del funcionamiento del sistema automático para la torre de cocción**

El objetivo general del presente trabajo tiene como finalidad diseñar un sistema automático para la cocción de grano en la Industria Procesadora Nacional de Cereales S.A. Esto, con el propósito de mejorar las condiciones operativas, prevenir averías de los equipos y mejorar las condiciones de funcionamiento y de seguridad del proceso. Para conseguirlo, se ha optado por el desarrollo de un programa que automatice y garantice el correcto funcionamiento de los equipos presentes en cada una de las etapas de la cocción del grano.

Estas etapas vienen representadas en la Fig. 7 y a continuación se describe su funcionamiento.

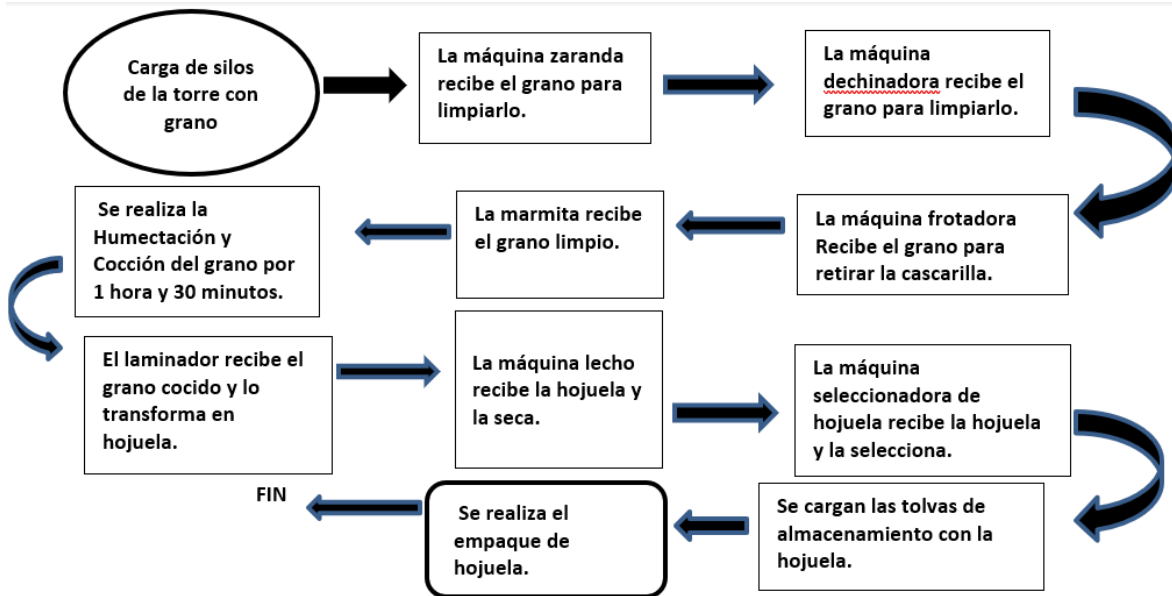


Fig. 7. Descripción de la secuencia del proceso de cocción del grano. Fuente: Autor.

### 3.1.1 Etapa Uno: Carga de los silos

El proceso para la cocción del grano comienza seleccionando el tipo de producto: arroz, avena, cebada, granolera, maíz o trigo. Una vez seleccionado el tipo de grano, éste se carga en una tolva y el producto cae en un elevador de cangilones para luego ser transportado hacia dos silos con una capacidad de 6 toneladas cada uno (Ver Fig. 8).



Fig. 8. Tolva de carga, elevador de cangilones y los silos. Fuente: Autor.

El llenado de los silos se realiza por separado. Para ello, se dispone actualmente de una válvula de accionamiento manual que permite sellar el silo que ha sido cargado y, a su vez, habilita el siguiente silo para su llenado. Para este proyecto, se propone sustituir la válvula de accionamiento manual por una electroválvula con el propósito de conseguir un mayor grado de automatismo en el sistema.

La Fig. 9 ofrece una vista superior del elevador de cangilones para el llenado de los silos y, marcado en rojo, el lugar donde se propone implementar la electroválvula.



**Fig. 9.** División superior de los silos. Fuente: Autor.

De esta forma, se consideraron los siguientes elementos para automatizar la primera etapa:

- Motorreductor del elevador de cangilones
- Electroválvula de cierre o apertura
- Celdas de carga para los silos
- Compuertas de cierre/apertura accionadas por motorreductores para cada silo

### **3.1.2 Etapa Dos: Accionamiento de las máquinas depuradoras**

Después de cargarse los silos, el siguiente paso consiste en activar la salida de alguno de ellos. El producto lo recibe varios tornillos sinfín, llevando la materia prima hasta un segundo elevador denominado elevador de grano sucio. Este elevador transporta el grano



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

hasta el quinto nivel, donde luego es trasladado por gravedad hacia una serie de máquinas depuradoras encargadas de limpiar el producto.

El primer filtro consiste en una zaranda (Ver Fig. 10). Esta máquina realiza un trabajo vibratorio con mallas separando los granos aptos; el polvillo resultante es aspirado por un ducto cilíndrico conectado a una turbina, donde luego son almacenados en recipientes.



**Fig. 10.** Zaranda, ubicada en el quinto nivel. Fuente: Autor.

El grano filtrado por la zaranda lo recibe otra máquina ubicada en el cuarto nivel, la dechinadora, la cual, por trabajo vibratorio y mallas en su interior, ayudan a reforzar la separación de material particulado y basura restante (Ver Fig. 11). El polvillo es aspirado por un ducto cilíndrico conectado a una turbina.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24



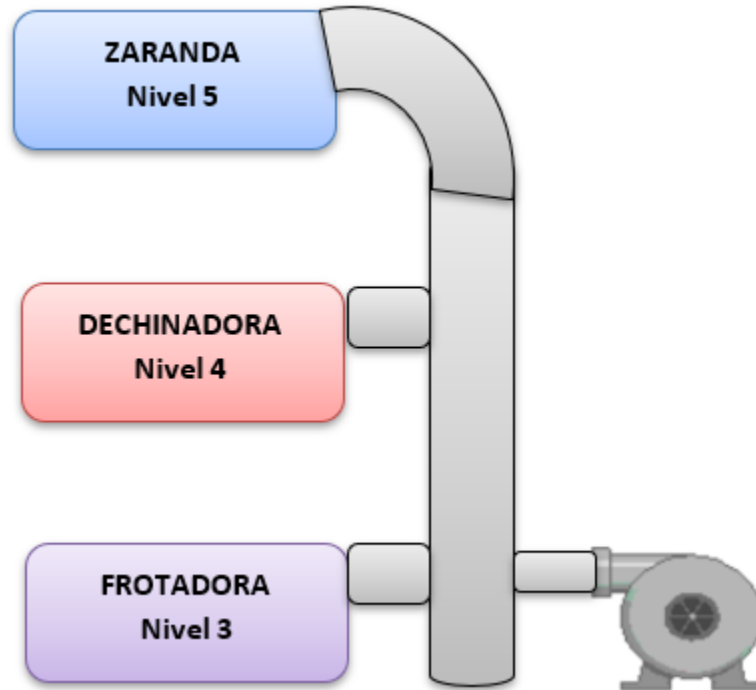
**Fig. 11.** Dechinadora, ubicada en el cuarto nivel. Fuente: Autor.

El producto filtrado por la dechinadora es recibido en el tercer nivel por la frotadora (Ver Fig. 12). Esta máquina se encarga de retirar la cascarilla del grano por medio de una malla cilíndrica que gira sobre su propio eje. La cascarilla resultante queda almacenada en el interior de la máquina, en un espacio especialmente diseñado para dicho fin. Al igual que en los dos niveles anteriores, existe un ducto cilíndrico conectado a una turbina que aspira el polvillo que se genere.



**Fig. 12.** Frotadora, ubicada en el tercer nivel. Fuente: Autor.

Para una mayor comprensión del funcionamiento de la segunda etapa, se ofrece un esquema que resume lo anteriormente explicado (Ver Fig. 13).



**Fig. 13.** Esquema del funcionamiento de la segunda etapa. Fuente: Autor.

Por tanto, los siguientes son los elementos o componentes que se tuvieron en cuenta dentro del diseño de automatización:

- Motores 1 y 2 acoplados a los tornillos sinfín
- Motorreductor del elevador de grano sucio
- Motor de la máquina zaranda
- Motor de la máquina dechinadora
- Motor de la máquina frotadora
- Turbina

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

### 3.1.3 Etapa Tres: Carga y cocción del grano dentro de la marmita

Terminado el proceso en las máquinas depuradoras, ya el grano se encuentra libre de piedras, polvillo, hilos, material particulado y granos no aptos. A continuación, el producto es recibido por un tercer elevador, denominado elevador de grano limpio, el cual, transporta el grano seleccionado hasta el quinto nivel, donde es descargado en una tolva rectangular denominada marmita con una capacidad admisible de 3000 *kg* (Ver Fig. 14).



**Fig. 14.** Marmita. Fuente: Autor.

La marmita tiene como función humectar el grano agregando agua, para posteriormente cocinarlo inyectando vapor saturado durante un tiempo estimado de 90 minutos. Una vez el grano se encuentre cocinado, la salida del producto es por gravedad y controlado por un dosificador para luego ser laminado. El proceso de laminado se gradúa de forma manual según el tipo de grano seleccionado (Ver Fig. 15).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24



**Fig. 15.** Laminador. Fuente: Autor.

El laminador se encuentra acoplado a la salida de la marmita y se compone de dos rodillos: uno fijo y otro móvil, los cuales son controlados por dos motores de 30 HP. El rodillo móvil se desplaza por medio de accionamiento hidráulico, acercándose lo suficiente al rodillo fijo de acuerdo con la necesidad de laminado del producto. El proceso de laminado consiste en aplanar el grano cocido, proporcionándole forma de hojuela.

De esta tercera etapa se consideraron los siguientes equipos para automatizar:

- Motorreductor del elevador de grano limpio
- Celda de carga para la marmita
- Caldera para la generación de vapor saturado
- Termocupla para medir la temperatura dentro de la marmita
- Válvula de alivio de presión
- Motor del dosificador de grano
- Motor acoplado al rodillo móvil del laminador
- Motor acoplado al rodillo fijo del laminador

### 3.1.4 Etapa Cuatro: Secado y preparación final del producto

Finalizado el proceso de laminado del grano en hojuela, éste cae por gravedad al lecho ubicado en el primer nivel (Ver Fig. 16). El lecho desplaza la hojuela y la va secando por medio de la combinación de aire frío y caliente generado por turbinas. Posteriormente, la hojuela cae a una banda transportadora que la lleva a un cuarto y último elevador denominado elevador de hojuela.



**Fig. 16.** Lecho de secado de la hojuela. Fuente: Autor.

El elevador de hojuela, compuesto por una banda con cangilones, sube la hojuela al cuarto nivel, descargándola a la máquina seleccionadora de hojuela (Ver Fig. 17). Esta máquina funciona por trabajo vibratorio y está compuesta por mallas, las cuales separan la hojuela grande de la hojuela pequeña no apta para el empaque, siendo transportada hacia otros procesos para consumo animal. Finalmente, la salida de la hojuela apta es por gravedad y pasa a dos tolvas de almacenamiento (Ver Fig. 18), donde luego es transportada y empacada en costales y/o big-bag.



**Fig. 17.** Máquina seleccionadora de hojuela, ubicada en el cuarto nivel. Fuente: Autor.



**Fig. 18.** Tolvas de almacenamiento de hojuela. Fuente: Autor.

De esta cuarta y última etapa se tomaron en cuenta los siguientes equipos para el diseño de automatización:

- Turbina de generación de aire frío
- Turbina de generación de aire caliente
- Motor acoplado a la banda transportadora de hojuela
- Motorreductor del elevador de hojuela

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

- Motor de la máquina seleccionadora de hojuela

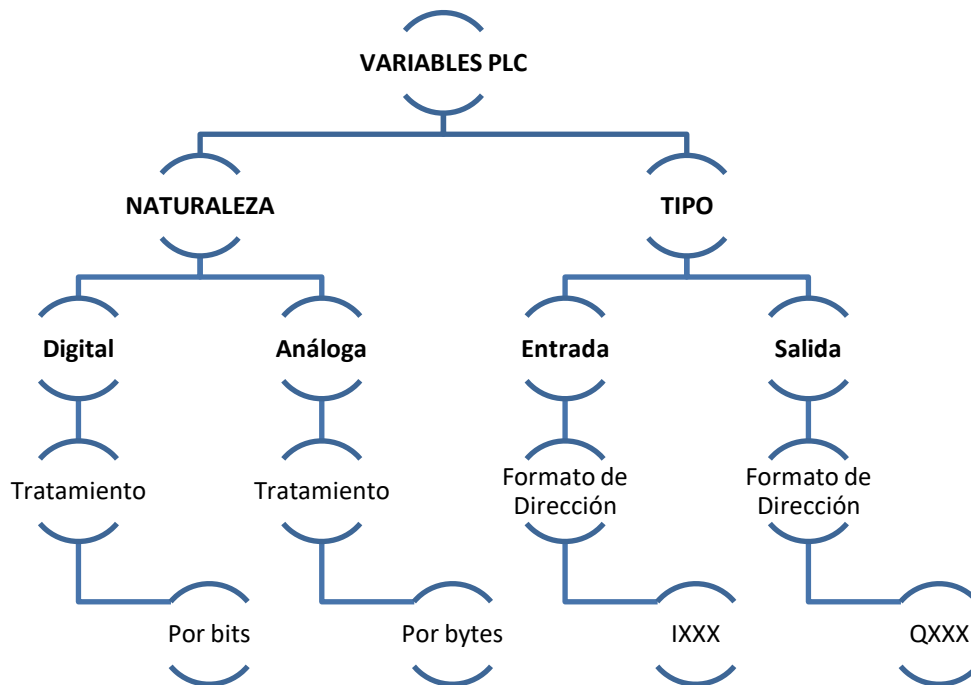
Estas son las etapas que se cumplen en cada jornada en la torre de cocción de la Industria Procesadora Nacional de Cereales S.A. En la sección 3.2 se amplía la información relacionada a las variables que maneja el PLC y su naturaleza digital o analógica.

### 3.2 Descripción general de las variables del PLC para la torre de cocción de grano

En todo proyecto de programación con PLC resulta útil clasificar las variables según su naturaleza: digital o analógica, y según el tipo de señal: entrada o salida. En este sentido, es necesario ordenar y clasificar las variables con un doble propósito:

- Ofrecer una estructura lógica y ordenada del programa de automatización
- Facilitar el desarrollo y comprensión de los esquemas eléctricos para el PLC

En la Fig. 19 puede observarse el modo en que se organizan y clasifican las variables del PLC.



**Fig. 19.** Clasificación de las variables en el PLC. Fuente: Autor.



 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

### 3.2.1 Declaración de variables para el PLC

Cumpliendo con el primer propósito, en la Tabla 2 se muestran todas las entradas digitales y analógicas que requirió el programa de automatización.

**Tabla 2.** Entradas digitales y analógicas del sistema.

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
Arroz	Bool	%I124.0	Pulsador para activar el proceso de cocción del arroz.
Avena	Bool	%I124.1	Pulsador para activar el proceso de cocción de la avena.
Cebada	Bool	%I124.2	Pulsador para activar el proceso de cocción de la cebada.
Granolera	Bool	%I124.3	Pulsador para activar el proceso de cocción de la granolera.
Maíz	Bool	%I124.4	Pulsador para activar el proceso de cocción del maíz.
Trigo	Bool	%I124.5	Pulsador para activar el proceso de cocción del trigo.
Marcha	Bool	%I124.6	Pulsador de inicio del elevador de cangilones
Stop	Bool	%I124.7	Pulsador de parada
Térmico Cangilones	Bool	%I125.0	Relé térmico de protección del motorreductor del elevador de cangilones.
Emergencia Cangilones	Bool	%I125.1	Pulsador de parada de emergencia para el motorreductor de cangilones
Sensor nivel Silo 1	Bool	%I125.2	Detectar el nivel máximo de uno de los silos.
Sensor nivel Silo 2	Bool	%I125.3	Detectar el nivel máximo de uno de los silos.
Térmico Zaranda	Bool	%I125.4	Relé térmico de protección del motorreductor de la máquina zaranda.
Térmico Dechinadora	Bool	%I125.5	Relé térmico de protección del motorreductor de la máquina dechinadora.
Térmico Frotadora	Bool	%I125.6	Relé térmico de protección del motorreductor de la máquina frotadora.
Térmico motor laminador fijo	Bool	%I125.7	Relé térmico de protección del motorreductor del motor laminador fijo.
Térmico motor laminador móvil	Bool	%I126.0	Relé térmico de protección del motorreductor del motor laminador móvil.
Emergencia zaranda	Bool	%I126.1	Pulsador de parada de emergencia para el motorreductor de la zaranda.
Emergencia dechinadora	Bool	%I126.2	Pulsador de parada de emergencia para el motorreductor de la dechinadora.
Emergencia frotadora	Bool	%I126.3	Pulsador de parada de emergencia para el motorreductor de la frotadora.
Emergencia motor laminador fijo	Bool	%I126.4	Pulsador de parada de emergencia para el motorreductor del motor laminador fijo.
Emergencia motor laminador móvil	Bool	%I126.5	Pulsador de parada de emergencia para el motorreductor del motor laminador móvil.
Térmico Elevador G. sucio	Bool	%I126.6	Relé de protección térmica para el motor del elevador de grano sucio
Emergencia E. Grano Sucio	Bool	%I126.7	Pulsador de emergencia para el elevador de grano sucio
Térmico Elevador G. Limpio	Bool	%I127.0	Relé de protección térmica para el elevador de grano limpio
Emergencia E.G. limpio	Bool	%I127.1	Pulsador de emergencia para el elevador de grano limpio
Sensor Silo_1 OPEN	Bool	%I127.2	Final de carrera para el motorreductor de la compuerta Silo 1
Sensor Silo 2 OPEN	Bool	%I127.3	Final de carrera para el motorreductor del Silo 2
Sensor Silo_1 CLOSE	Bool	%I127.4	Final de carrera compuerta cierra Silo 1
Sensor silo_2 CLOSE	Bool	%I127.5	Final de carrera compuerta cierra Silo 2
Sensor N. Alto S1	Bool	%I127.6	Sensor de nivel alto S1
Sensor N. Alto S2	Bool	%I127.7	Sensor de nivel alto S2
Sensor marmita OPEN	Bool	%I128.0	Final de carrera para el motorreductor de marmita OPEN
Sensor marmita CLOSE	Bool	%I128.1	Final de carrera para el motorreductor de marmita CLOSE

Nivel Bajo marmita	Bool	%I128.2	Sensor de nivel bajo en la marmita
Nivel Alto marmita	Bool	%I128.3	Sensor de nivel alto en la marmita
Entrada P. S1	Int	%IW752	Entrada analógica para la celda de carga del silo 1
Entrada P. S2	Int	%IW754	Entrada analógica para la celda de carga del silo 2
Entrada P. Marmita	Int	%IW756	Entrada analógica para la celda de carga de la marmita
Termocupla	Int	%IW760	Entrada analógica para la termocupla

De igual modo, en la Tabla 3 se registran las salidas digitales y analógicas que requirió el programa de automatización junto con sus direcciones asignadas en el PLC.

**Tabla 3.** Salidas digitales y analógicas del sistema.

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
LED Arroz	Bool	%Q124.0	Indicador de activación del arroz
LED Avena	Bool	%Q124.1	Indicador de activación de la avena
LED Cebada	Bool	%Q124.2	Indicador de activación de la cebada
LED Granolera	Bool	%Q124.3	Indicador de activación de la granolera
LED Maíz	Bool	%Q124.4	Indicador de activación del maíz
LED Trigo	Bool	%Q124.5	Indicador de activación del trigo
Motorreductor Cangilones	Bool	%Q124.6	Motorreductor del elevador de cangilones
Electroválvula Silos	Bool	%Q124.7	Electroválvula que conmuta el cambio entre silos
Compuerta Silo 1 OPEN	Bool	%Q125.0	Motor de giro izquierda para el silo 1
Compuerta Silo 2 OPEN	Bool	%Q125.1	Motor de giro izquierda para el silo 2
Compuerta Silo 1 CLOSE	Bool	%Q125.2	Motor de giro derecha para el silo 1
Compuerta silo 2 CLOSE	Bool	%Q125.3	Motor de giro derecha para el silo 2
Tornillo sinfín 1	Bool	%Q125.4	Tornillo para la descarga del grano desde los silos
Tornillo sinfín 2	Bool	%Q125.5	Tornillo para la descarga del grano desde los silos
Elevador de grano sucio	Bool	%Q125.6	Motor de elevador de grano sucio
LED Elevador de cangilones	Bool	%Q125.7	Indicador de activación del motor del elevador de cangilones
LED Electroválvula	Bool	%Q126.0	Indicador de activación de la electroválvula silos
LED compuerta Silo 1	Bool	%Q126.1	Indicador de compuerta silo 1 abierta
LED compuerta Silo 2	Bool	%Q126.2	Indicador de compuerta silo 2 abierta
LED Tornillo sinfín 1	Bool	%Q126.3	Indicador de activación del tornillo sinfín 1
LED Tornillo sinfín 2	Bool	%Q126.4	Indicador de activación del tornillo sinfín 2
LED Elevador de grano sucio	Bool	%Q126.5	Indicador de activación del motor elevador de grano sucio
LED Térmico cangilones	Bool	%Q126.6	Indicador rojo de disparo relé térmico de cangilones
Zaranda	Bool	%Q126.7	Motor de la máquina zaranda
Dechinadora	Bool	%Q127.0	Motor de la máquina dechinadora
LED Zaranda	Bool	%Q127.1	Indicador de activación de la zaranda
LED Dechinadora	Bool	%Q127.2	Indicador de activación de la dechinadora
LED Sensor nivel Silo 1	Bool	%Q127.3	Indicador de nivel silo 1

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

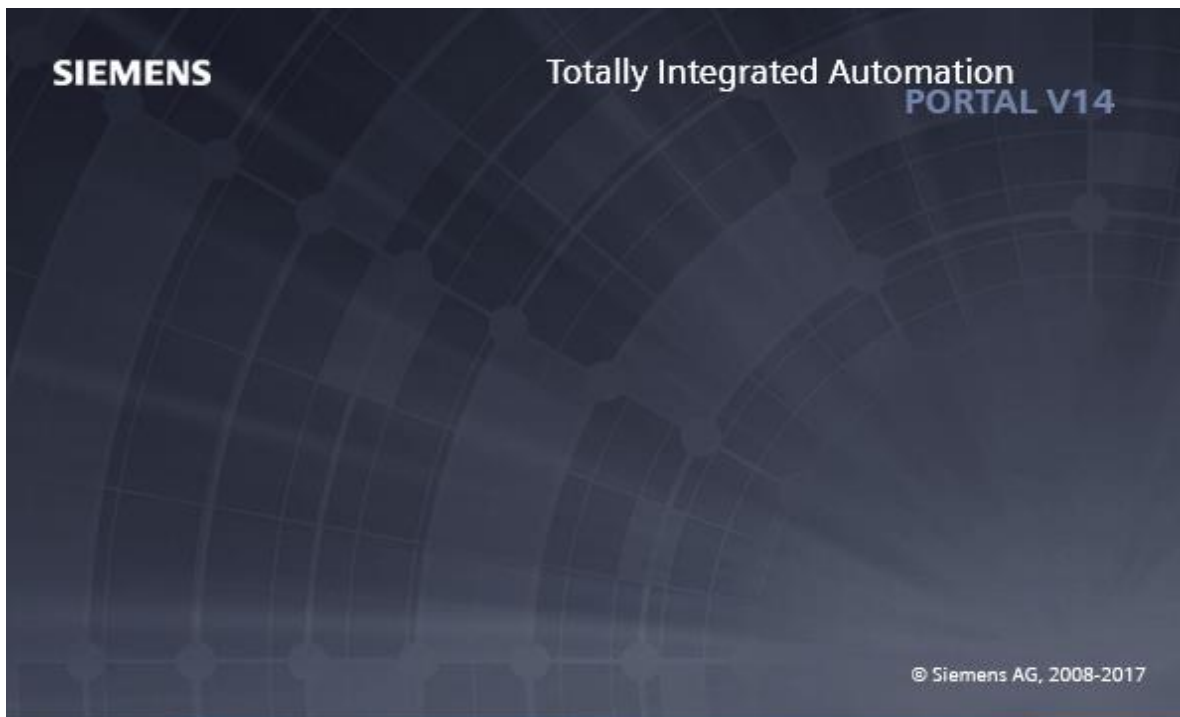
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
LED Sensor nivel Silo 2	Bool	%Q127.4	Indicador de nivel silo 2
Turbina material particulado	Bool	%Q127.5	Turbina para aspirar impurezas y material particulado
Frotadora	Bool	%Q127.6	Motor de la máquina frotadora
Caldera	Bool	%Q127.7	Caldera que alimenta de vapor saturado a la marmita
Motor laminador fijo	Bool	%Q128.0	Motor acoplado al rodillo laminador fijo
Motor laminador móvil	Bool	%Q128.1	Motor acoplado al rodillo laminador móvil
Dosificador	Bool	%Q128.2	Motor acoplado al dosificador
LED caldera	Bool	%Q128.3	Indicador de activación de la caldera
LED dosificador	Bool	%Q128.4	Indicador de activación del dosificador
LED motor fijo	Bool	%Q128.5	Indicador de activación del motor-rodillo fijo
LED motor móvil	Bool	%Q128.6	Indicador de activación del motor-rodillo móvil
LED frotadora	Bool	%Q128.7	Indicador de activación de la frotadora
LED turbina material particulador	Bool	%Q129.0	Indicador de activación de la turbina material particulado
LED Térmico zaranda	Bool	%Q129.1	Indicador rojo disparo relé térmico de la zaranda
LED Térmico dechinadora	Bool	%Q129.2	Indicador rojo disparo relé térmico de la dechinadora
LED Térmico frotadora	Bool	%Q129.3	Indicador rojo disparo relé térmico de la frotadora
LED Térmico motor fijo	Bool	%Q129.4	Indicador rojo disparo relé térmico motor-rodillo fijo
LED Térmico motor móvil	Bool	%Q129.5	Indicador rojo disparo relé térmico motor-rodillo móvil
LED compuerta S1 Close	Bool	%Q129.6	Indicador compuerta silo 1 cerrada
LED compuerta S2 Close	Bool	%Q129.7	Indicador compuerta silo 2 cerrada
Elevador de grano limpio	Bool	%Q130.0	Motor del elevador de grano limpio
LED Elevador de grano limpio	Bool	%Q130.1	Indicador de activación del motor del elevador de grano limpio
LED Térmico E. G. sucio	Bool	%Q130.2	Indicador rojo disparo relé térmico elevador de grano sucio
LED Térmico E.G. limpio	Bool	%Q130.3	Indicador rojo disparo relé térmico elevador de grano limpio
Marmita OPEN	Bool	%Q130.4	Motor giro izquierda para abrir compuerta en marmita
Marmita CLOSE	Bool	%Q130.5	Motor giro derecha para cerrar compuerta en marmita
LED marmita OPEN	Bool	%Q130.6	Indicador de compuerta abierta en marmita
LED marmita CLOSE	Bool	%Q130.7	Indicador de compuerta cerrada en marmita
Temperatura marmita	Bool	%Q131.0	Termocupla para temperatura en marmita
Presión marmita	Bool	%Q131.1	Presión en marmita
LED Temperatura marmita	Bool	%Q131.2	Indicador de lectura de temperatura en marmita
LED Presión marmita	Bool	%Q131.3	Indicador de lectura de presión en marmita
Actuador hidráulico	Bool	%Q131.4	Actuador hidráulico
LED Actuador hidráulico	Bool	%Q131.5	Indicador de activación del actuador hidráulico
Bomba Hidráulica	Bool	%Q131.6	Bomba hidráulica
LED bomba hidráulica	Bool	%Q131.7	Indicador de activación de bomba hidráulica
Turbina aire frio	Bool	%Q132.0	Turbina de aire frio para la hojuela
Turbina aire caliente	Bool	%Q132.1	Turbina de aire caliente para la hojuela
Banda Transportadora Hojuela	Bool	%Q132.2	Motor para banda transportadora de hojuela

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
Elevador de Hojuela	Bool	%Q132.3	Motor del elevador de hojuela
Máquina seleccionadora	Bool	%Q132.4	Motor de máquina seleccionadora de hojuela
LED turbina aire frio	Bool	%Q132.5	Indicador de activación turbina aire frio
LED turbina aire caliente	Bool	%Q132.6	Indicador de activación turbina aire caliente
LED banda transportadora	Bool	%Q132.7	Indicador de activación banda transportadora
LED elevador de hojuela	Bool	%Q133.0	Indicador de activación del elevador de hojuela
LED maquina seleccionadora	Bool	%Q133.1	Indicador de activación de la máquina seleccionadora
Peso marmita	Int	%QW256	Salida analógica del peso en marmita
Electroválvula de alivio	int	%QW258	Salida analógica para la electroválvula de alivio
Peso S1	Int	%QW752	Salida analógica para el peso en silo 1
Peso S2	Int	%QW754	Salida analógica para el peso en silo 2

### 3.3 Configuración general de dispositivos

Para el diseño de automatización de la torre de cocción se utilizó el software TIA Portal V14 de SIEMENS (Ver Fig. 20).

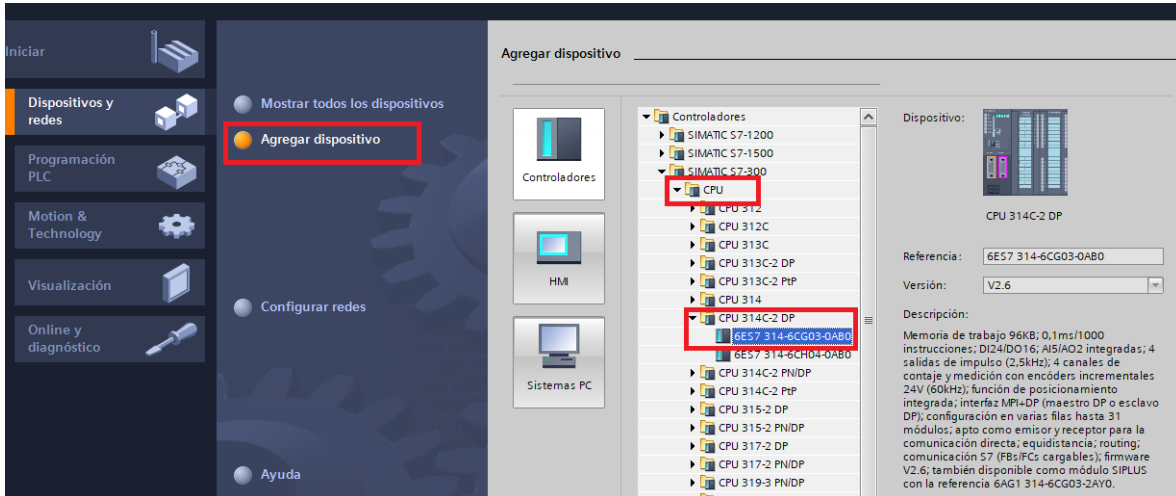


**Fig. 20.** Software de automatización TIA Portal V14. Fuente: SIEMENS.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

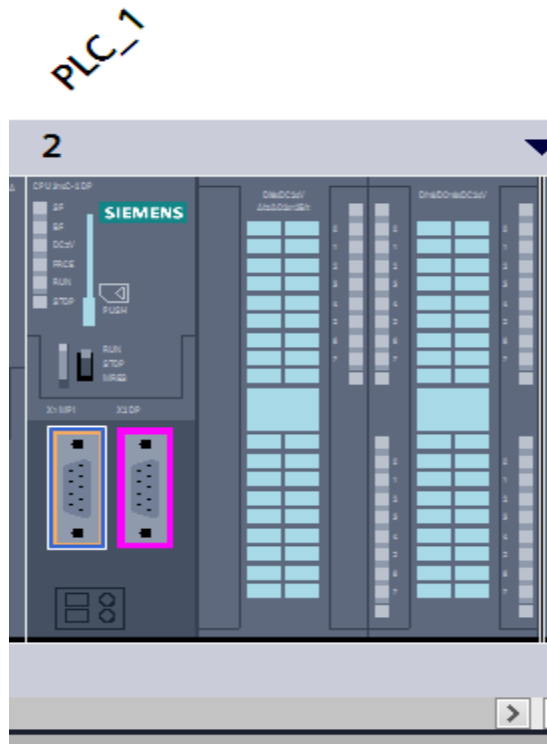
### 3.3.1 Configuración del PLC

Para el presente trabajo se seleccionó el controlador SIMATIC de la gama S7-300 con una CPU 314C-2DP (Ver Fig. 21). Este dispositivo cuenta con un módulo de 24 entradas y 16 salidas digitales (DI24/DO16). Por otra parte, cuenta con un módulo de 5 entradas y 2 salidas analógicas (AI5/AO2), además de una interfaz MPI+DP.



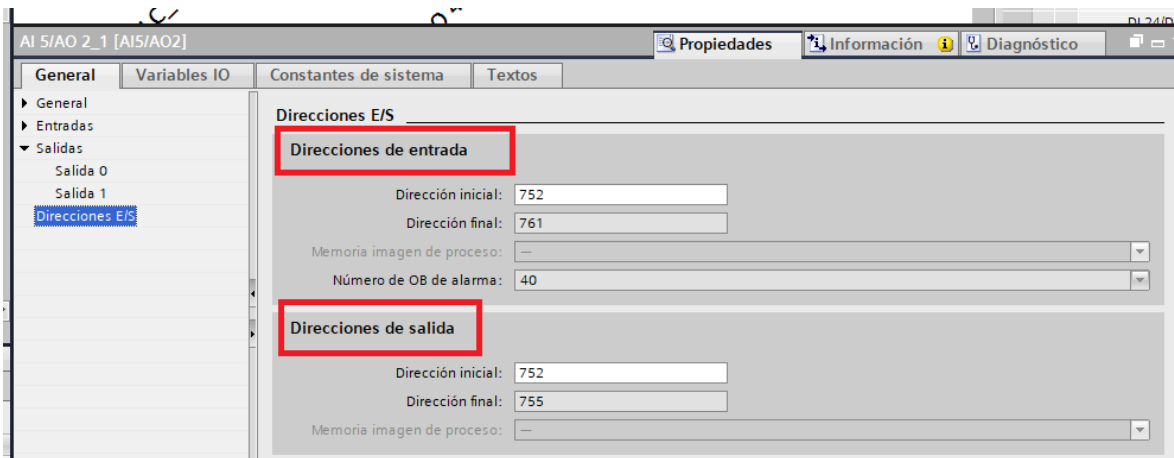
**Fig. 21.** Selección del controlador. Fuente: Autor.

La Fig. 22 ofrece una vista general del PLC seleccionado con sus módulos de DI/DO y AI/AO junto con la interfaz MPI+DP. Para este proyecto, la interfaz MPI sirvió de comunicación con la pantalla táctil HMI.



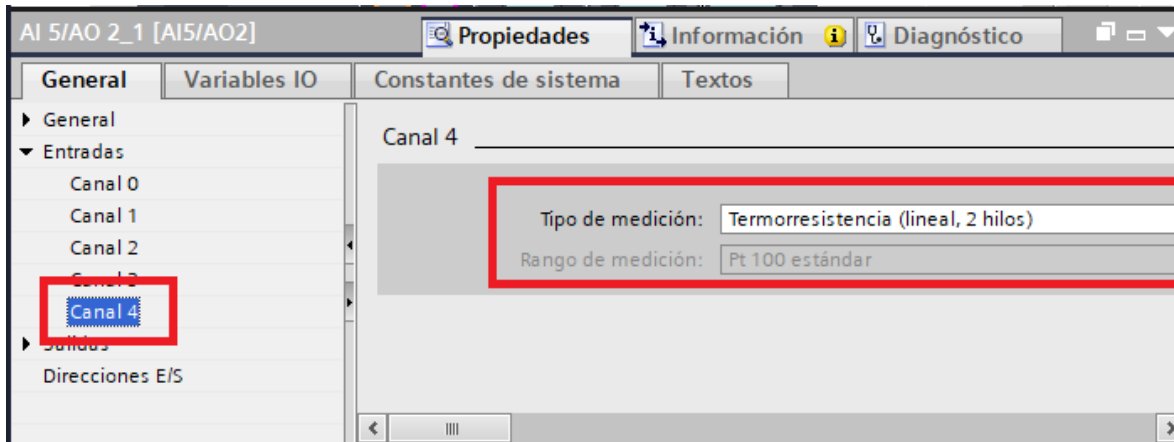
**Fig. 22.** Vista del PLC en TIA Portal. Fuente: Autor.

El módulo de entradas y salidas analógicas vienen con direcciones asignadas por defecto. En este sentido, las entradas analógicas van desde la dirección 752 hasta la 761, mientras las salidas se comprenden desde la 752 hasta la 755 (Ver Fig. 23).



**Fig. 23.** Direcciones asignadas por defecto para las E/S analógicas. Fuente: Autor.

Del módulo de entradas analógicas se seleccionó el canal 4 (Dirección 760) y se configuró el tipo de medición como una termorresistencia lineal de 2 hilos (Ver Fig. 24). Este canal se usará para la medición de temperatura por medio de un sensor que convierte los cambios de temperatura en señales eléctricas.



**Fig.24.** Configuración del canal 4 de entradas analógicas como una termorresistencia lineal de 2 hilos. Fuente: Autor.

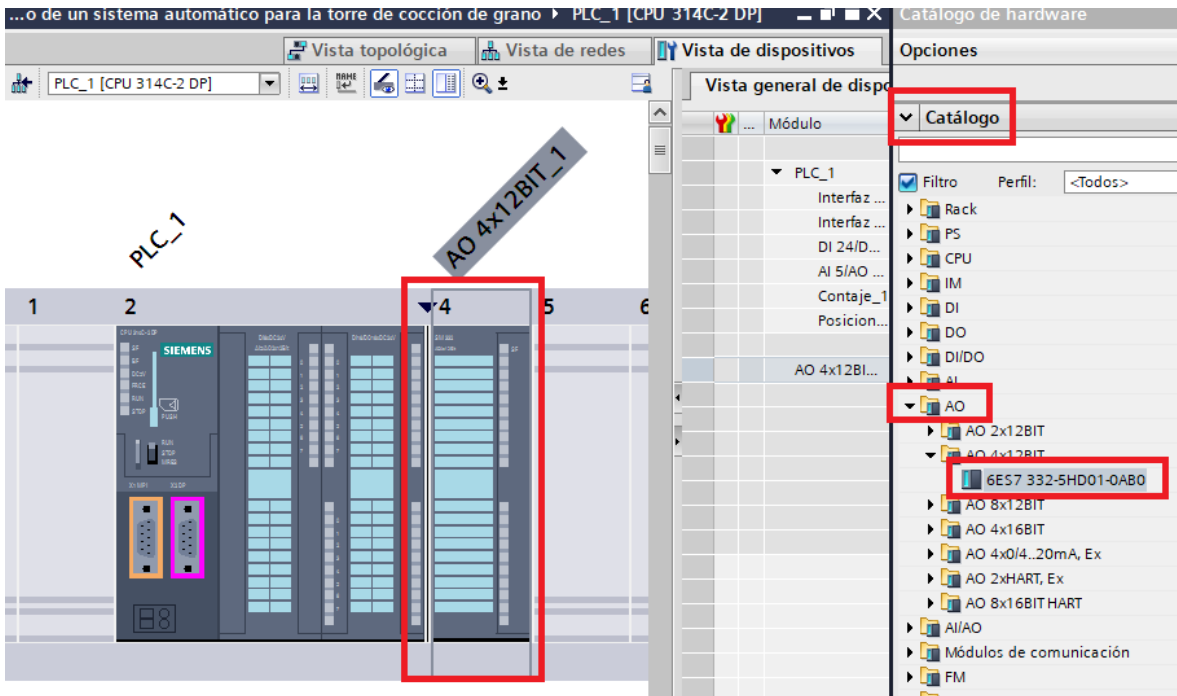
Resulta conveniente agregar un nuevo módulo de salidas analógicas AO al PLC, dado que en el programa se manejaron más de 2 salidas analógicas. Dentro del catálogo del TIA Portal existen varios módulos que resultan útiles según lo requiera el proyecto. Para el presente trabajo se seleccionó un módulo AO de referencia 6ES7 332-SHD01-0AB0 (Ver Fig. 25). Con el módulo extra, el proyecto gana un total de 6 salidas analógicas. Las direcciones asignadas por defecto van desde la 256 hasta la 263. La Tabla 4 especifica la dirección que recibe cada tipo de señal en el PLC y los bytes con los que trabaja.

**Tabla 4.** Disposición y tratamiento de las señales analógicas.

<b>Tipo</b>	<b>Dirección</b>	<b>Bytes</b>
<b>Entradas</b>	IW752	752 y 753
	IW754	754 y 755
	IW756	756 y 757
	IW758	758 y 759
	IW760	760 y 761
	QW752	752 y 753

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

<b>Salidas</b>	QW754	754 y 755
	QW256	256 y 257
	QW259	258 y 259
	QW261	260 y 261
	QW263	262 y 263



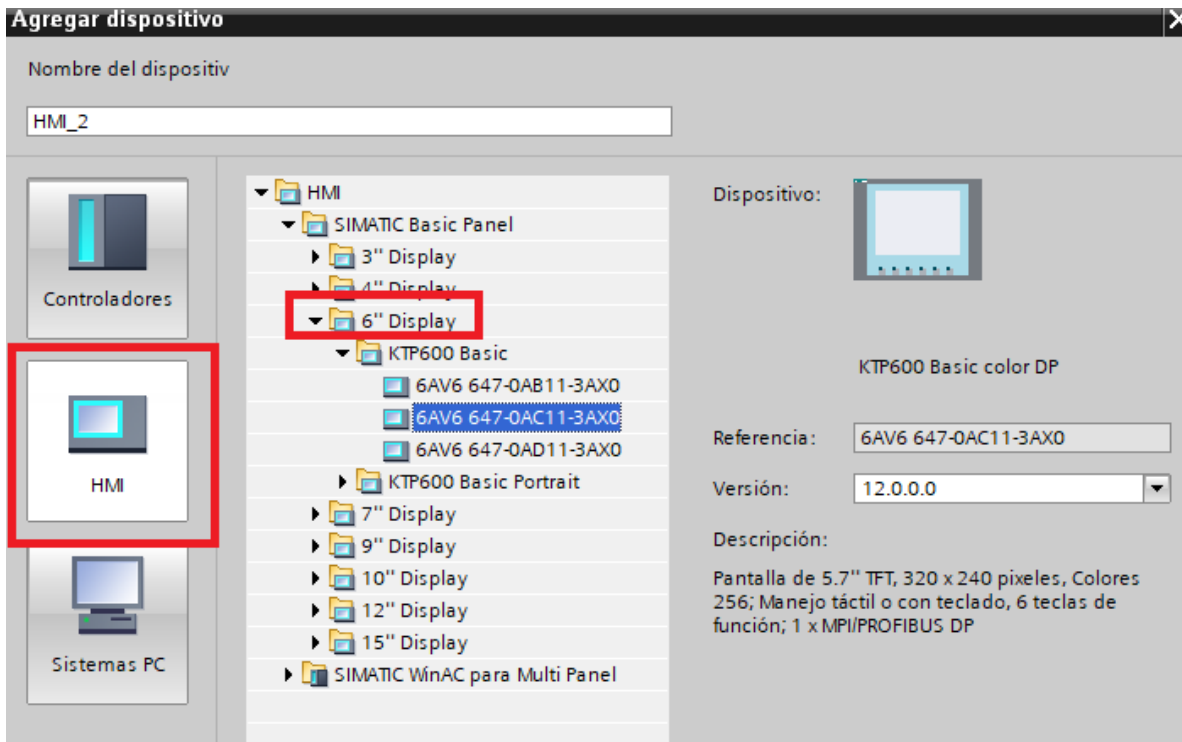
**Fig. 25.** Módulo extra de salidas analógicas. Fuente: Autor.

De la Tabla 4, la asignación W indica que el formato que recibe la señal es de tipo 'WORD' (Palabra). En este sentido, a cada entrada o salida le corresponde un paquete de 16 bits (2 bytes).

### 3.3.2 Configuración de la pantalla HMI

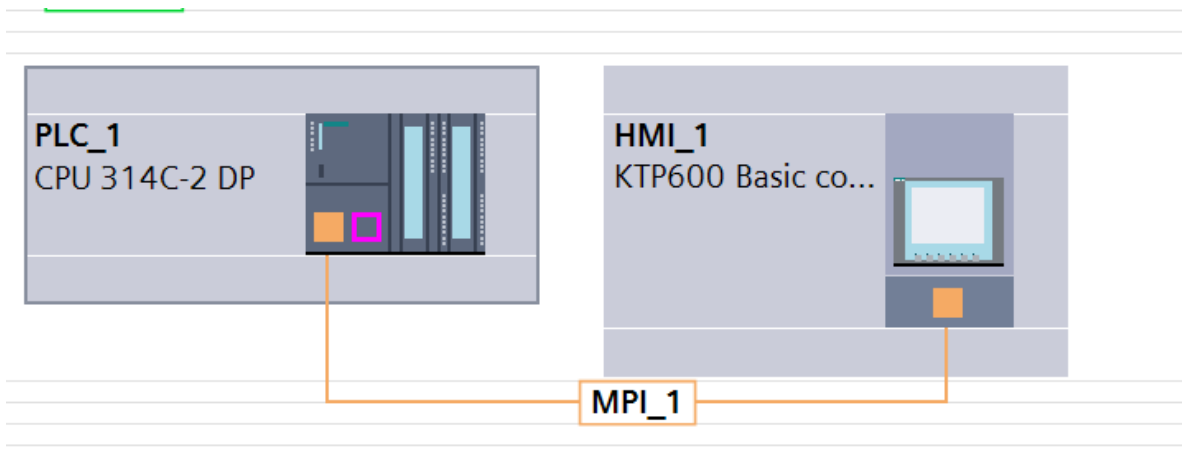
Se seleccionó una pantalla táctil con un display de seis pulgadas (6") de referencia 6AV6 647-0AC11-3AXO (Ver Fig. 26).





**Fig. 26.** Pantalla táctil HMI de seis pulgadas. Fuente: Autor.

El panel seleccionado tiene la opción de comunicarse con el autómata a través de la interfaz MPI. Esta comunicación se realizó en el TIA Portal en vista de dispositivos y redes de comunicación (Ver Fig. 27).



**Fig. 27.** Comunicación entre el autómata y la pantalla HMI. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

### 3.4 Cálculo de las celdas de carga

El siguiente cálculo está basado en la guía de selección de una celda de carga para tanques y silos de UTILCELL, recomendada para sistemas totalmente apoyados sobre celdas de carga y sistemas con cargas uniformemente distribuidas. La guía tiene como objetivo estimar la carga real sobre cada punto de apoyo en todas las circunstancias de funcionamiento y vida del sistema de pesaje, y escoger la celda de carga de capacidad adecuada con unos márgenes de seguridad.

Para determinar la capacidad de una celda de carga, se deben considerar las siguientes variables:

- **Peso muerto:** Es el peso muerto en vacío de los dos silos presentes en la torre de cocción.
- **Peso del producto:** Es el peso del producto, en este caso, el peso del grano.
- **Peso Bruto:** Es la suma del peso muerto y del peso del producto.
- **Número de apoyos (N):** Número de apoyos sobre los que se sujeta la estructura, normalmente de 3 a 6 apoyos.

Inicialmente se debe conocer la carga teórica por apoyo a partir de la *Ec. 1*

$$C_T = \frac{PB}{N} \quad (1)$$

Donde:

$C_T$ : Carga teórica

$PB$ : Peso Bruto

$N$ : número de apoyos

La capacidad máxima de los silos es de 6000 *kg* cada uno. A continuación, se calcula la carga teórica por apoyo para los silos a partir de la *Ec. 1*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

Peso muerto de cada silo: 441 kg

$$PB = (441 + 6000)kg$$

$$\therefore PB = 6441 kg$$

Por tanto, la carga teórica por apoyo con  $N = 4$  será:

$$C_T = \frac{6441kg}{4}$$

$$\therefore C_T = 1610kg \text{ (Para los silos)}$$

Finalmente, se debe seleccionar una celda de carga con capacidad nominal superior a la carga teórica por apoyo de acuerdo con la *Ec. 2*

$$C_{p_{nominal}} \geq \frac{k \cdot PB}{N} \quad (2)$$

Donde:

$C_{p_{nominal}}$ : Capacidad nominal de la celda

$k$ : coeficiente de seguridad

De acuerdo con la guía de selección de celdas de carga para tanques y silos de la compañía UTILCELL, se recomienda utilizar los siguientes coeficientes de seguridad:

- Para  $N = 3$ ;  $k = 1,3$
- Para  $N = 4$ ;  $k = 1,5$
- Para sistemas de más de 4 apoyos ( $N = 5,6, \dots$ );  $k = 1,7$

Para un coeficiente de seguridad  $k = 1,5$ , la capacidad nominal de las celdas para los silos es:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

$$Cp_{nominal} = \frac{1,5 \cdot 6441 \text{ kg}}{4}$$

$$\therefore Cp_{nominal} = 2415 \text{ kg}$$

Al ser 4 apoyos, significa que la capacidad nominal de la celda debe ser de 9661 *kg*, y rodeando a un valor comercial, se busca una celda de carga con capacidad nominal de **10.000 *kg* = 10 t (para cada silo)**.

### 3.5 Especificaciones técnicas de los equipos

En este apartado se detallan cada uno de los equipos e instrumentos que forman parte del cuerpo complementario para conseguir el mayor grado de control automático de la torre de cocción. Por otra parte, también se describen los datos técnicos de las máquinas que actualmente se encuentran en operación.

#### 3.5.1 Válvula de guillotina de boca cuadrada ORBINOX

También denominada válvula de compuerta de cuchilla, de compuerta deslizante o de compuerta de cuña. Este tipo de válvula ofrece un rendimiento probado en diferentes aplicaciones. Para el presente diseño se propuso una válvula de guillotina de la marca ORBINOX modelo BC, consistente en un cuerpo rectangular (Ver Fig. 28). Utilizada para fluidos altamente cargados con sólidos en suspensión o sólidos (Casaval, 2018). Idealizada principalmente para el manejo de sólidos y salidas de silo, en sectores como:

- Químico
- Energético
- Agroalimentario
- Tratamiento de aguas
- Minero
- Otros



**Fig. 28.** Válvula de guillotina de boca cuadrada modelo BC. Fuente:

<https://www.casaval.net>

La Tabla 5 ofrece la lista de componentes estándar relacionados con la Fig. 29.



**Fig. 29.** Partes de la válvula de guillotina estándar modelo BC. Fuente:

<https://www.casaval.net>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

**Tabla 5.** Lista de componentes estándar. Fuente: <https://www.casaval.net>

Componente	Material	
1- Cuerpo	Acero al carbono	AISI 316
2- Tajadera	AISI 304	AISI 316
3- Asiento	Metal/Metal o EPDM	
4- Empaquetadura	ST	
5- Prensaestopas	Acero al carbono	AISI 316
6- Soporte-Junta	Acero al carbono	AISI 316
7- Soporte-Guía	Acero al carbono o AISI 316 +Nylon o Teflón	
8- Puente	Acero al carbono con recubrimiento de EPOXY	
9- Husillo	AISI 430	
10- Tuerca husillo	Latón	
11- Arandela fricción	Latón	
12- Volante	GJS400 (GGG40)	
13- Caperuza	Acero al carbono con recubrimiento de EPOXY	
14- Tapón	Plástico	
15- Tuerca de sujeción	Acero al carbono galvanizado	

### 3.5.1.1 Tipos de accionamiento

En su versión estándar, la válvula de guillotina ORBINOX posee un accionamiento manual, mediante el volante (husillo ascendente y no ascendente). Sin embargo, para este mismo modelo existe la opción de integrar otros equipos para accionamiento automático, ya sea mediante un actuador eléctrico o con cilindros neumáticos o hidráulicos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

### 3.5.1.2 Accionamiento eléctrico

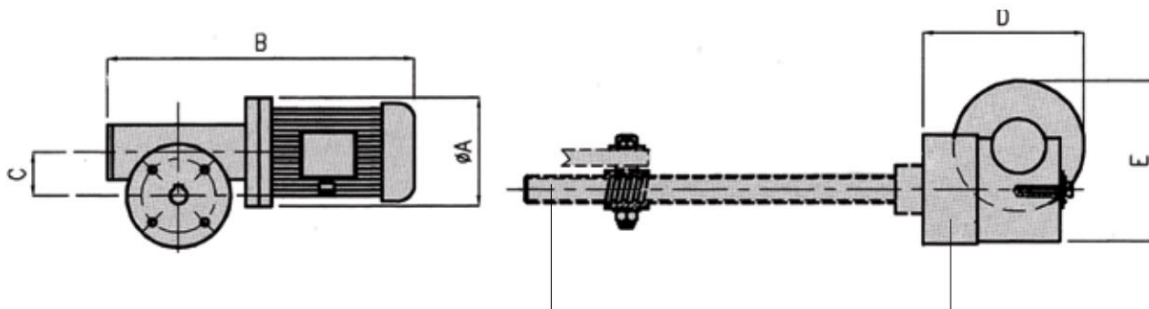
Dado que en el proyecto se propuso automatizar el cierre y apertura de la válvula en los silos, es importante disponer de un actuador eléctrico encargado de la apertura y cierre de la válvula previamente descrita. En este sentido, y siguiendo el manual de instalación, operación y mantenimiento de la válvula de guillotina, se seleccionó un actuador eléctrico tipo CRG de la marca WAMGROUP (Ver Fig. 30) adecuado para el modelo propuesto.



**Fig. 30.** Actuador eléctrico para válvula de guillotina modelo CRG. Fuente:

<https://wamgroup.com.ar>

La Fig. 31. corresponde a las vistas lateral y frontal del actuador eléctrico CRG, mientras la Tabla 6 ofrece los tiempos de apertura según el tipo de actuador y en la Tabla 7 se recogen datos como las dimensiones, peso, voltaje y frecuencia para cada tipo.



**Fig. 31.** Vistas lateral y frontal del actuador eléctrico CRG. Fuente:

<https://wamgroup.com.ar>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

**Tabla 6.** Tiempo de apertura del actuador eléctrico CRG según el tipo. Fuente: <https://wamgroup.com.ar>

Tipo	Tiempo de apertura (segundos)
150	13
200	17
250	21
300	25
350	25
400	28

**Tabla 7.** Dimensiones, peso y voltaje de operación para la familia de actuadores eléctricos CRG. Fuente: <https://wamgroup.com.ar>

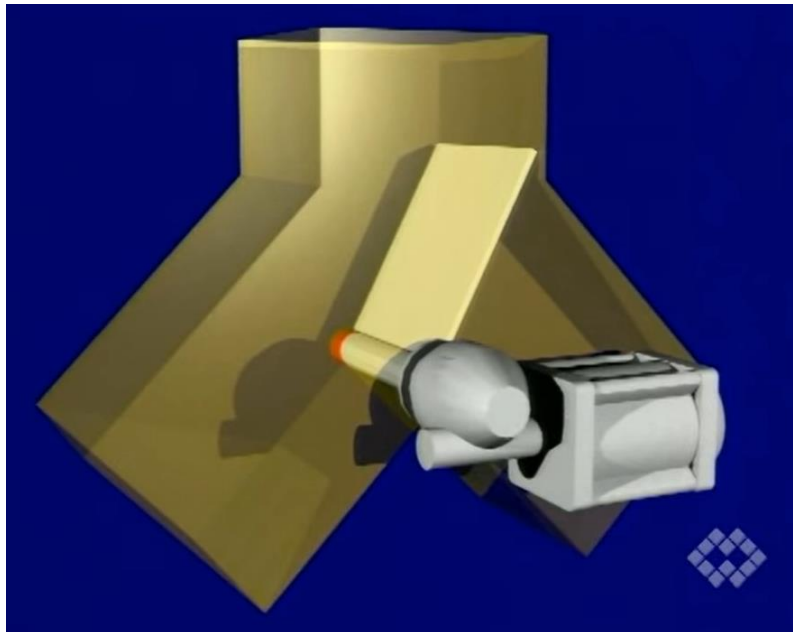
Tipo	∅A	B	C	D	E	Nm	kW	Volt	Hz	kg
<b>CRG 010 A 0150</b>	105	340	40	144	143	16	0.25	220/440	60	16
<b>CRG 010 B 0200</b>										19
<b>0250</b>	105	340	40	144	143	21	0.37	220/440	60	20
<b>0300</b>										21
<b>CRG 010 B 0350</b>										22
<b>0400</b>	105	340	40	144	143	21	0.37	220/440	60	23

El equipo integrado por la válvula de guillotina y el actuador eléctrico debe instalarse en la zona superior de los silos, en el punto donde ambos comparten la descarga del grano proveniente del elevador de cangilones (Ver Fig. 32). La Fig. 33 muestra un diseño simplificado sobre el montaje de este equipo en el campo.





**Fig. 32.** Vista superior de los silos en la torre. Fuente: Autor.



**Fig. 33.** Diseño de ejemplo para el montaje de la válvula de guillotina en los silos. Fuente:

<https://wamgroup.com.ar>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

### 3.5.2 Celdas de carga tipo botella SLC611

En el apartado 3.4 se calculó la capacidad nominal de las celdas de carga para los silos y se estimó esta cantidad en 10.000 kg. Para el presente diseño se propone como sensores de medición de pesaje, las celdas de carga tipo botella SLC611 de METTLER TOLEDO (Ver Fig. 34).



**Fig. 34.** Celda de carga tipo botella SLC611. Fuente: <https://www.mt.com>

Este tipo de celdas están diseñadas y fabricadas especialmente para el pesaje de tanques. Su alcance de capacidad se encuentra de 7.5 t a 22 t. Permite pesar depósitos y silos de tamaño medio con facilidad. Por otra parte, su diseño en acero inoxidable, sellado hermético y protección IP68/IP69K proporciona la máxima fiabilidad en aplicaciones de pesaje de tanques (Toledo, 2018). La Tabla 8 ofrece alguna de las especificaciones técnicas más relevantes de la célula de carga SLC611.

**Tabla 8.** Especificaciones de la celda de carga SLC611. Fuente: <https://www.mt.com>

Parámetros	Unidades de medida	Especificación		
Modelo N°		SLC611		
Carga nominal (Ln)	t (klb, nominal)	7.5 (16.5)	15 (33)	22.5 (49.6)
Sensibilidad nominal	mV/V @ Ln	2±0.1%		
Salida a carga nula	%Ln	≤ 1		
Error combinado	%Ln	≤ 0.018		

<b>Error repetibilidad</b>		%La	$\leq 0.01$
<b>Excitación</b>	Recomendada	V ca/cc	5~15
	Máx.		20
<b>Resistencia</b>	Excitación	$\Omega$	$1150 \pm 50$
	Salida		$1000 \pm 2$
<b>Rango temperatura</b>	Compensado	$^{\circ}\text{C}$ ( $^{\circ}\text{F}$ )	-10~ + 40(-14~ + 104)
	Operativo		-40~ + 65(-40~ + 149)
	Almacenaje		-40~ + 80(-40~ + 176)

### 3.5.3 Amplificador de celdas de carga DOUBLE E

Para acondicionar las señales de peso provenientes de las celdas de carga, se propone utilizar un amplificador de peso con salida 4 – 20 mA conectado directamente al módulo de entradas analógicas del PLC. Para el presente diseño, se propuso el amplificador de celda de carga de la marca DOUBLE E (Ver Fig. 35).

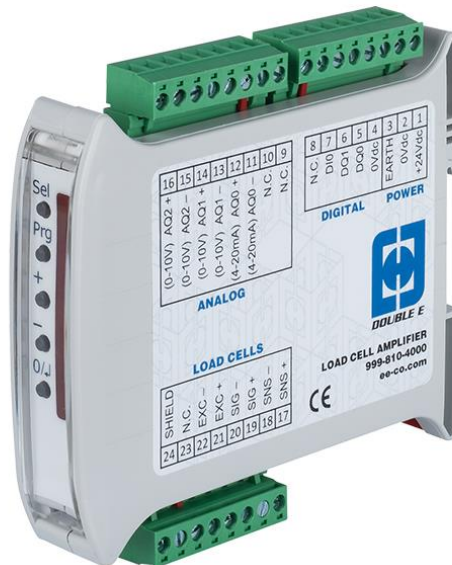


Fig. 35. Amplificador de peso marca DOUBLE E. Fuente: <https://www.ee-co.com>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

El amplificador de celda de carga DOUBLE E es un acondicionador de señal amplificada de  $0 - 10 V$  ó  $4 - 20 mA$  para uso con pantallas, controladores o PLC. Algunas de sus características más destacadas son:

- Caja compacta para riel DIN
- Salidas seleccionables:  $0 - 10 V$ ,  $4 - 20 mA$  en un solo dispositivo
- Útil para una amplia gama de celdas de carga con sensibilidad  $mV/V$
- Compatible con la mayoría de las celdas de carga en el mercado
- Fácil comunicación con el controlador, variador o PLC

#### 3.5.4 Compuertas para tolvas DUPLEX

El modelo de compuerta que se propone a continuación para descarga del grano en los silos debe repotenciarse con la integración de un servomotor. El modelo DUPLEX de la marca Sweet, son un tipo de compuertas equilibradas para abrirse y cerrarse fácilmente, con accesorios y piezas reemplazables (Ver Fig. 36). La Fig. 37 ofrece una vista frontal de este modelo.



**Fig. 36.** Compuerta para tolvas y silos. Fuente: <https://www.sweetmfg.com>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24



**Fig. 37.** Vista frontal del modelo DUPLEX. Fuente: <https://www.sweetmfg.com>

#### 3.5.4.1 Servomotores compactos Kinetix TL-Series

El servomotor compacto Kinetix TL-Series de Allen-Bradley (Ver Fig. 38) es un tipo de motor compacto ideal para diseñadores de máquinas.



**Fig. 38.** Servomotor Kinetix TL-Series. Fuente: <https://ab.rockwellautomation.com>

#### Características destacables del servomotor TL-Series:

- Control de posición con resolución de 17 bits
- Retroalimentación de alta resolución
- La memoria incorporada conserva la identidad del motor
- Opción de freno de 24 V integral

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

### 3.5.5 Termorresistencia tipo TR10-B

Las termorresistencias están dotadas de sensores de platino que varían la resistencia eléctrica en función del cambio de temperatura. Para el presente proyecto se propuso la termorresistencia tipo TR10-B (Ver Fig. 39) de Instrumentos WIKA Colombia, la cual resulta ideal para instalaciones industriales, depósitos, plantas energéticas, industria química, industria alimentaria, calefacción, climatización y aplicaciones sanitarias.



**Fig. 39.** Termorresistencia TR10-B. Fuente: <https://www.wika.co>

#### Características del modelo TR10-B

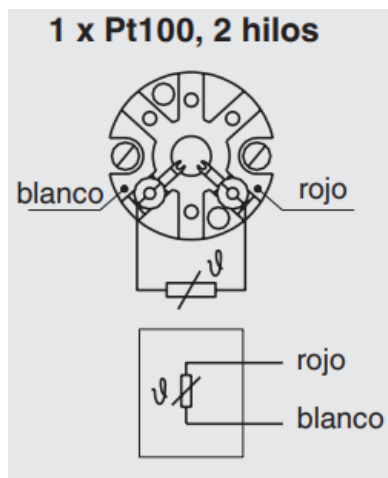
- Rangos de sensado: de  $-196 \dots + 600^{\circ}\text{C}$  ( $-320 \dots + 1.112^{\circ}\text{F}$ )
- Unidad de medida extraíble amortiguada (intercambiable)
- Sensores Pt100 o Pt1000
- Versiones con protección antiexplosiva

En la Tabla 9 se muestran los tipos de conexionado existentes para el elemento sensible (Pt100 o Pt1000)

**Tabla 9.** Tipos de conexionado para el modelo TR10-B. Fuente: <https://www.wika.co>

Tipo de conexionado	
<b>Elementos simples</b>	1 x 2 hilos 1 x 3 hilos 1x 4 hilos
<b>Elementos dobles</b>	2 x 2 hilos 2 x 3 hilos 2 x 4 hilos

Existen numerosas combinaciones de sensores Pt100 o Pt1000, cabezal, longitud de montaje, longitud de cuello, etc., según lo requiera la aplicación. La Fig. 40 muestra la conexión eléctrica del sensor para 2 hilos, la cual corresponde con el tipo de termorresistencia configurada en el módulo de entradas analógicas del PLC.

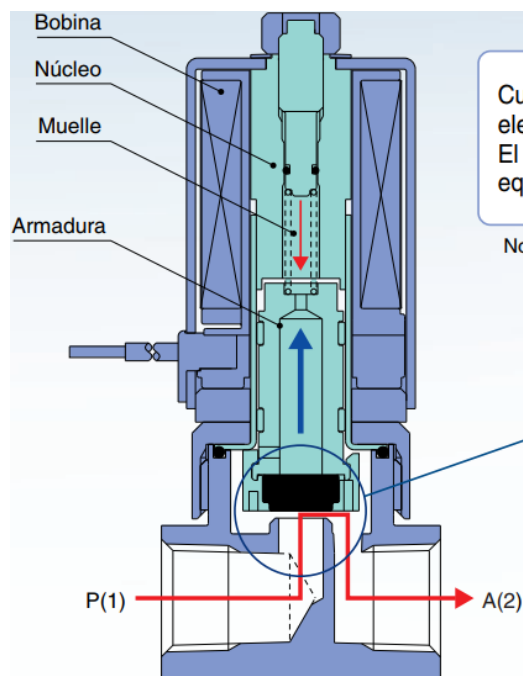


**Fig. 40.** Conexión eléctrica según IEC/EN 60751. Fuente: <https://www.wika.co>

### 3.5.6 Electroválvula proporcional compacta Serie PVQ

Con la electroválvula proporcional se consigue variar el volumen de vapor ingresado a la marmita. Su funcionamiento consiste en activar una bobina la cual crea una fuerza electromagnética que atrae la armadura hacia el interior del tubo. De esta forma, si la corriente varía, la fuerza de atracción variará en proporción a ésta (Ver Fig. 41).

Este tipo de electroválvula resulta ideal para fluidos como aire y gases inertes. La Tabla 10 ofrece los rangos de caudal con los que opera las series PVQ10 y PVQ30 de SMC Corporation.



**Fig. 41.** Vista interior de la electroválvula proporcional PVQ. Fuente:

<http://content2.smcetech.com>



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

**Tabla 10** Rangos de operación de caudal. Fuente: <http://content2.smcetech.com>

Fluido	Rango de control de caudal	Serie
Aire, gases inertes	0 a 6 l/min	PVQ10
	0 a 100 l/min	PVQ30

Características importantes de la electroválvula serie PVQ:

- Material del cuerpo: Latón (C36) para PVQ10; Latón (37) o acero inoxidable para PVQ30
- Material de sellado: FKM (PVQ10, PVQ30)
- La válvula vuelve a la posición cerrada cuando se desconecta el suministro eléctrico
- Cantidad de fugas: 5 cm<sup>3</sup>/min o menos en OFF

### 3.5.7 Sensor de nivel para productos a granel Mononivo MN4020

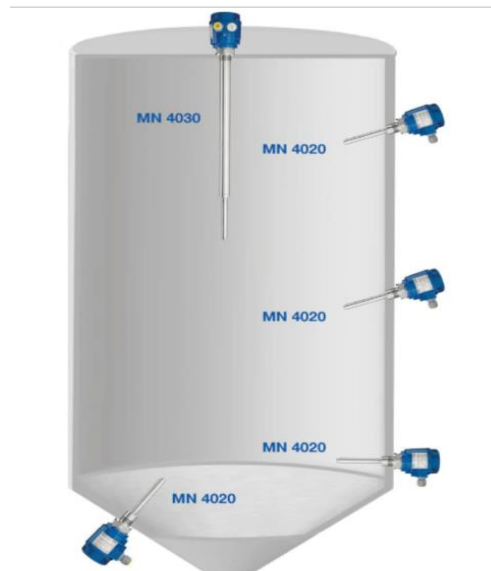
De la marca UWT, se trata de un detector de nivel puntual, ideal para ser utilizado en silos y tanques de almacenamiento (Ver Fig. 42). El sensor consta de varias piezas estimuladas electrónicamente que inducen en la sonda de varilla un movimiento vibratorio. Cuando el material cubre el sensor, se detiene la vibración y se produce un cambio de tensión dentro de los elementos piezoeléctricos.



**Fig. 42** Sensor de nivel Mononivo MN4020. Fuente: <https://www.uwt.de>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

De acuerdo con el tipo de aplicación que requiera el sistema, los sensores pueden ser instalados en diferentes partes del silo o tanque, tal como se muestra en la Fig. 43.



**Fig. 43.** Vista de montura de los sensores de nivel. Fuente: <https://www.uwt.de>

**Características destacables del sensor de nivel Mononivo MN4020:**

- Especialmente adecuado para su uso en materiales de grano fino y en polvo
- Principio de medición fiable, sencillo y sin mantenimiento
- Diseño muy compacto, ideal para la instalación en recipientes con espacio muy limitado, por ejemplo, en tubos y recipientes de procesos pequeños
- Carcasa robusta de aluminio fundido a presión con protección IP67
- Piezas de contacto de acero inoxidable
- Aprobado para aplicaciones en áreas peligrosas

La Tabla 11 recoge los principales datos técnicos referentes al sensor de nivel Mononivo MN4020.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

**Tabla 11.** Ficha técnica del sensor de nivel Mononivo MN4020. Fuente: <https://www.uwt.de>

Dato	Especificación
<b>Alojamiento</b>	Aluminio IP67, NEMA Tipo 4X
<b>Aprobaciones</b>	ATEX, IECEX, FM, TR-CU
<b>Rango de temperatura de proceso</b>	-40°C a + 150°C
<b>Rango de presión</b>	-1bar a + 16bar
<b>Sensibilidad</b>	desde 20 g / l - ajustable en 4 configuraciones
<b>Proceso de conexión</b>	G1 "G1¼" G1½ "NPT 1" NPT 1¼ ", NPT1½" Triclamp 2 ", brida DN100 PN16, otras bridas disponibles
<b>Proceso de material de conexión / eje.</b>	Acero inoxidable 1.4301 (304) /1.4541 (321) o 1.4404 (316L)
<b>Electrónica</b>	Relé DPDT 19-230V CA y 19-40V CC; PNP 18-50V DC
<b>Circuito de seguridad</b>	FSH / FSL integrado con todos los componentes electrónicos.

La información que se anexa a continuación corresponde a las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos y máquinas que actualmente están en funcionamiento en la torre de cocción.

### 3.5.8 Especificaciones técnicas de las máquinas operativas en la torre de cocción

Varias de estas máquinas funcionan con el mismo tipo de motor o motorreductor. A continuación, se condensa toda la información relacionada con la marca, referencia, potencia, velocidad y par con los que trabajan cada uno de estos equipos.

#### 3.5.8.1 Motorreductores coaxiales serie INT

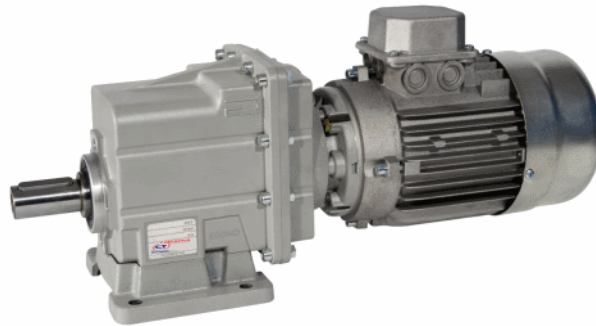
Las siguientes son las máquinas que operan con este tipo de motorreductor:

- Elevador de cangilones
- Elevador de grano sucio

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

- Elevador de grano limpio
- Elevador de hojuela
- Tornillos sinfín

El alto grado de modularidad es una característica de diseño de los motorreductores coaxiales serie INT (Ver Fig. 44). Es posible configurar la versión requerida mediante bridas o patas.



**Fig. 44.** Motorreductor coaxial serie INT. Fuente: <https://www.cotransa.net>

Las principales características de la gama INT son:

- Carcasa y brida norma IEC en fundición de aluminio
- Patas y bridas en hierro fundido
- Engranajes helicoidales rectificadas
- Lubricación permanente con aceite sintético

En la Tabla 12 se anexan las principales especificaciones técnicas del motorreductor.

**Tabla 12.** Especificaciones técnicas motorreductor serie INT. Fuente:

<https://www.cotransa.net>

Potencia	De 0.75 kW hasta 7.5 kW
Par	<121 daNm
Velocidad	4.7 a 2.80 rpm
Designación	U, P, F, P/F

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

Lubricación	Lubricante sintético de viscosidad 320
-------------	--

### 3.5.8.2 Motor vibrador Saideep

Los motores vibradores se pueden utilizar como elementos auxiliares de tolvas o silos para mejorar la descarga de material, o como impulsoras en máquinas vibradoras para varios propósitos (Ver Fig. 45).

Las máquinas que operan con este tipo de motor son:

- Frotadora
- Dechinadora
- Zaranda
- Máquina seleccionadora de hojuela



**Fig. 45.** Vibro motor Saideep. Fuente: <http://www.saideeponline.com>

#### Características destacables del vibro motor Saideep:

- Fuerza centrífuga: 20~26,000 kg
- Bobinas impregnadas al vacío con materiales aislantes Clase F
- Rodamientos de primera calidad

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

- Diseños IP 55 e IP66
- Certificación ISO 9001:2008
- Vibraciones ajustables
- Mantenimiento altamente eficiente y bajo

La Tabla 13 ofrece las especificaciones técnicas de motor vibrador Saideep

**Tabla 13.** Especificaciones técnicas motor vibrador Saideep. Fuente:

<http://saideeponline.com>

Modelo	Especificaciones eléctricas		Especificaciones mecánicas			Dimensiones (mm)				
	HP	Corriente	RPM	Fuerza	Peso	A	B	C	D	E
<b>SM 30</b>	0.5	1 A	1440	4000 N	25 kg	230	175	360	195	14

### 3.5.8.3 Motor trifásico Siemens 1LA4

Las máquinas que operan con este tipo de motor son:

- Máquina laminadora fija
- Máquina laminadora móvil

La Tabla 14 recoge las especificaciones técnicas principales del motor Siemens 1LA4 de referencia 1LA4 206-2YC80 (Ver Fig. 46).

**Tabla 14** Especificaciones técnicas motor trifásico LA4 206. Fuente:

<https://cache.industry.siemens.com>

Tipo	Potencia		F, S	In		Eficiencia h %	Cos f	Velocidad nominal
	HP	kW		220V	440V			
1LA4 206-2YC80	50	37,30	1,15	124,00	52,00	90	0,88	3530 rpm



**Fig. 46.** Motor trifásico de inducción Siemens. Fuente: <https://cache.industry.siemens.com>

#### 3.5.8.4 Motor Trifásico SIMOTICS serie 1LEO14 de Siemens

La máquina que opera con este tipo de motor es la turbina de material particulado. La referencia del motor corresponde a la 1LEO141-2AA26-4AA4Z (Ver Fig. 47). En la Tabla 15 se especifican la potencia, factor de servicio, corriente y velocidad de operación.

**Tabla 15.** Especificaciones técnicas motor trifásico 1LEO141. Fuente:

<https://cache.industry.siemens.com>

Tipo	Potencia	FS	Corriente			Velocidad rpm
			220V	380V	440V	
1LEO141-2AA26-4AA4Z	60.0 Hp (44,5 kW)	1,15	143.0	83.0	72.0	3.600



**Fig. 47.** Motor trifásico SIMOTICS serie 1LEO14. Fuente:

<https://www.industry.siemens.com>

### 3.5.8.5 Motor trifásico de inducción Siemens serie 1LA4

La máquina que opera con este tipo de motor es la turbina de aire caliente. La referencia del motor corresponde a la 1LA4 207-4YC80 (Ver Fig. 48). La Tabla 16 recoge las especificaciones técnicas de este motor.

**Tabla 16.** Especificaciones técnicas motor trifásico 1LA4 207. Fuente:

<https://cache.industry.siemens.com>

Tipo	Potencia		F, S	In		Eficiencia h %	Cos f	Velocidad nominal
	HP	kW		220V	440V			
1LA4 207-4YC80	50	37,30	1,15	126	63	91,3	0,84	1760 rpm





**Fig. 48.** Motor trifásico de inducción Siemens. Fuente: <https://cache.industry.siemens.com>

### 3.5.8.6 Motor trifásico de inducción Siemens serie 1LA7

La máquina que opera con este tipo de motor es la turbina de aire frío. La referencia del motor corresponde a la 1LA7 164-4YA70. La Tabla 17 recoge las especificaciones técnicas de este motor.

**Tabla 17.** Especificaciones técnicas motor trifásico 1LA7 164. Fuente:

<https://cache.industry.siemens.com>

Tipo	Potencia		F, S	In		Eficiencia h %	Cos f	Velocidad nominal
	HP	kW		220V	440V			
1LA7 164-4YA70	20	14,92	1,15	56,8	28,40	85	0,85	1760 rpm

### 3.5.8.7 Motorreductor MOTOX sinfín-corona de Siemens

Este motorreductor se halla acoplado a la banda transportadora de hojuela (Ver Fig. 49). La Tabla 18 presenta los rangos de reducción y el torque máximo nominal del reductor.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

**Tabla 18.** Resumen de tecnología motorreductor MOTOX sinfín-corona. Fuente:

<https://w5.siemens.com>

Designación de reductor	No. de etapas	Rango de reducción	Torque máximo nominal del reductor
S 08	1- etapa	5 – 80	28 Nm
S 18	1-etapa	5 – 80	44 Nm
S 28	1-etapa	5 – 100	80 Nm



**Fig. 49.** Motorreductor MOTOX sinfín-corona. Fuente: <https://w5.siemens.com>

Hasta el momento se han definido las variables del programa del PLC y configurado los dispositivos necesarios para la automatización. También se hizo una descripción general del funcionamiento de cada una de las etapas para la cocción del grano en la torre. La próxima sección presenta el desarrollo del programa de automatización en lenguaje de contactos (KOP) y con ello se da por finalizado el capítulo 3 del presente Proyecto.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

### **3.6 Desarrollo del programa de automatización en KOP**

A excepción del control PID, todo el programa de automatización se desarrolló en el bloque de organización principal OB1 del TIA Portal. Dada la magnitud del programa, se ha procurado exponer las etapas más relevantes del proceso. Muchas de las rutinas programadas se repiten según el caso, éstas se podrán consultar en los apéndices del A al E del presente documento.

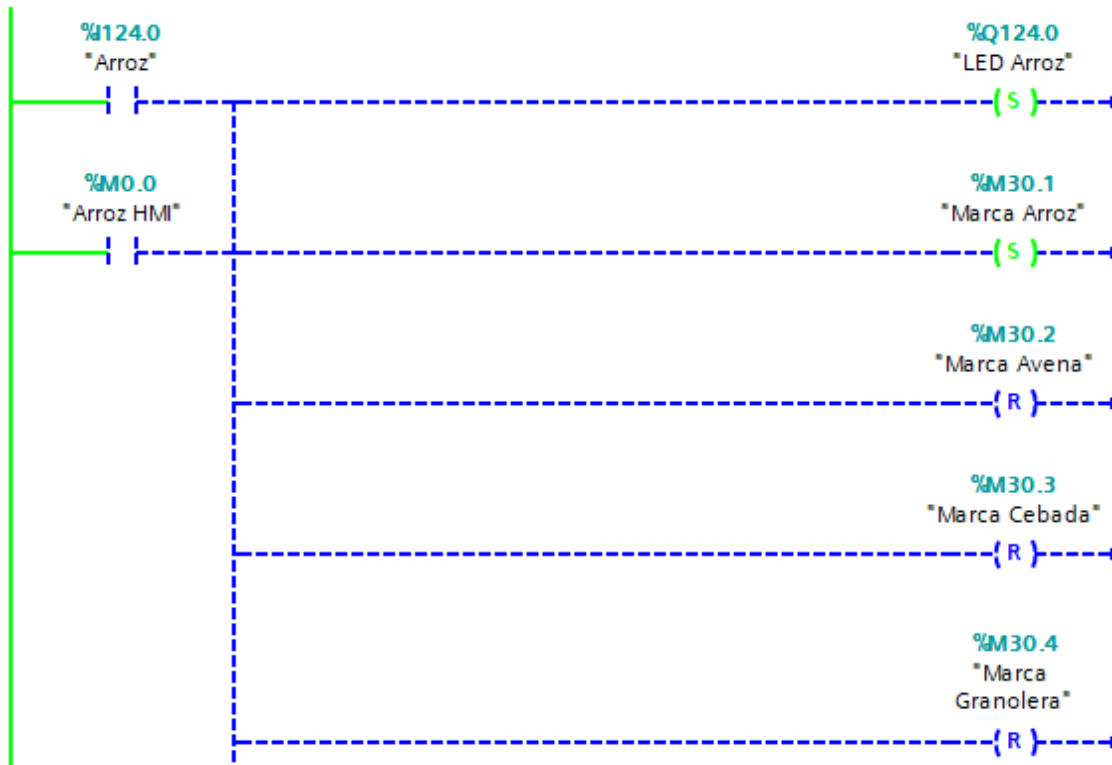
A continuación, se presentan los resultados del programa realizado en lenguaje KOP dividido en sus respectivos segmentos.

#### **Segmento 1: Selección del grano a procesar**

La primera etapa de la automatización consiste en seleccionar el tipo de grano a procesar: Arroz, Avena, Cebada, Granolera, Maíz o Trigo. Para el primer segmento se ha seleccionado el arroz a partir de la entrada digital I124.0 que activa la salida Q124.0 la cual corresponde a un LED como indicador de este grano seleccionado (Ver Fig. 50). Este mismo procedimiento se repite para cada uno de los productos. Véase el apéndice A para consultar el resto de las líneas de programación para los demás tipos de grano (Segmentos 2, 3, 4, 5 y 6).

▼ **Segmento 1:** Indicador de proceso activo en arroz.

Comentario



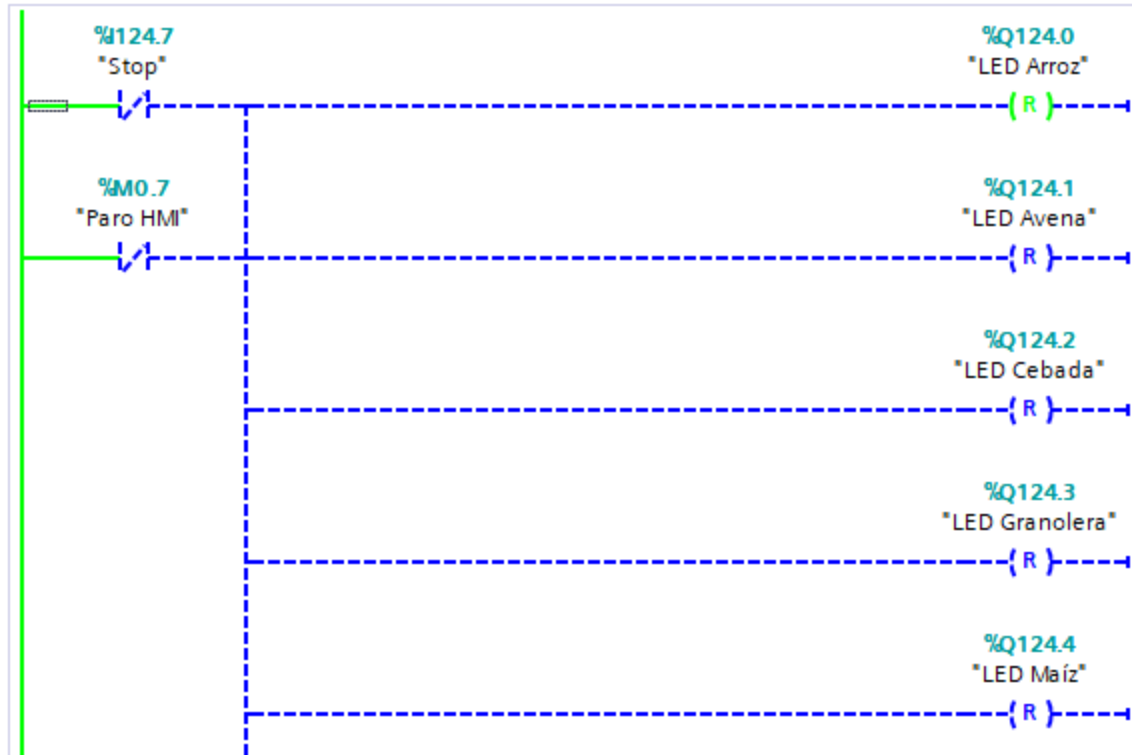
**Fig. 50.** Línea de programación para el Arroz. Fuente: Autor.

**Segmento 7: Línea de programación para el Stop.**

La siguiente línea de programación corresponde a la parada del sistema mediante la entrada digital I124.7, la cual desactiva todas las salidas, tales como motores, motorreductores e indicadores LED (Ver Fig. 51).

▼ **Segmento 7: Parada del sistema**

Comentario



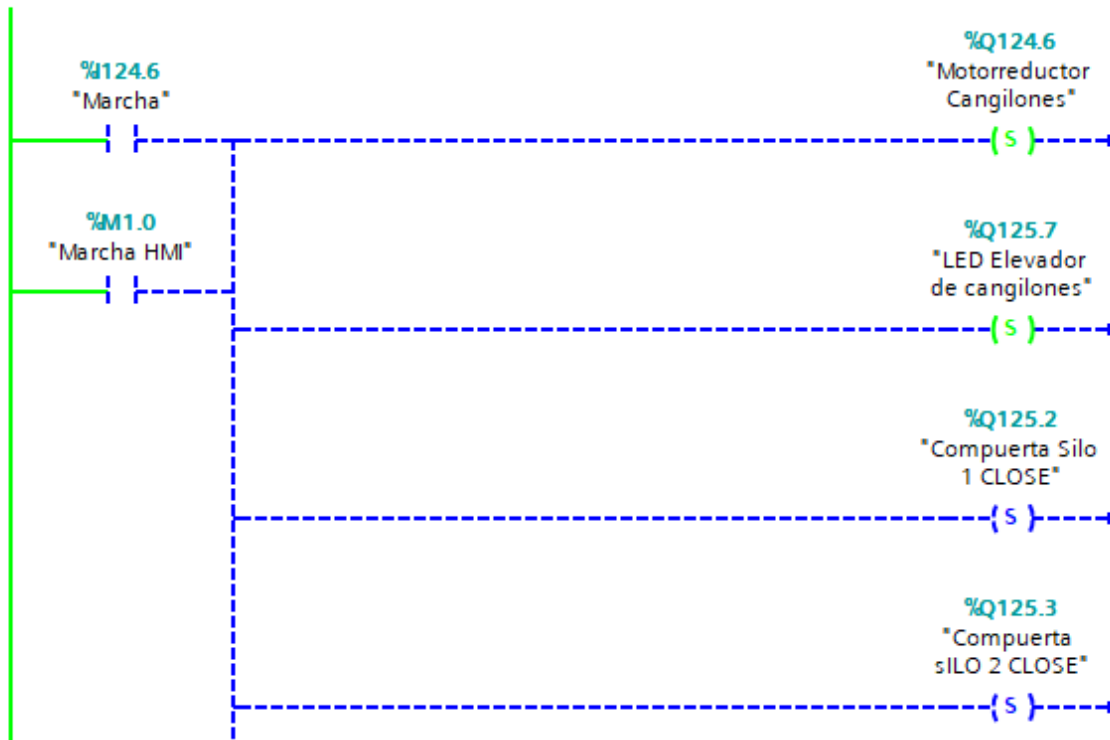
**Fig. 51.** Línea de programación para la detección del sistema. Fuente: Autor.

**Segmento 8: Pulsador de marcha y activación del elevador de cangilones**

Mediante la entrada digital I124.6 se pone en funcionamiento la salida Q124.6 correspondiente al motorreductor del elevador de cangilones. Por otra parte, se activan los motores para cierre de las compuertas de los silos 1 y 2 (Ver Fig. 52).

▼ **Segmento 8:** Transportar el grano desde la tolva de carga hasta los silos de 6 toneladas.

Comentario



**Fig. 52.** Activación del elevador de cangilones. Fuente: Autor.

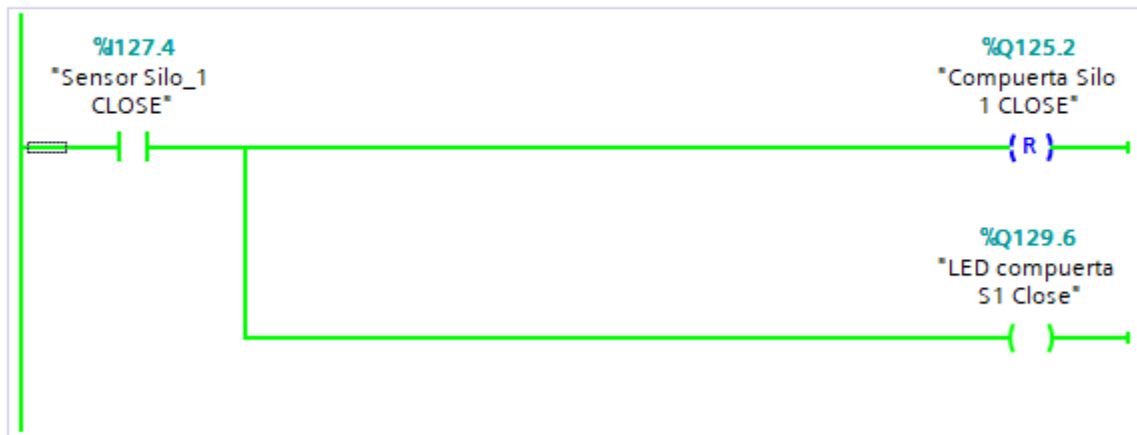
**Segmento 9: Línea de programación para el final de carrera Silo\_1 Cerrado**

Mediante la entrada digital I124.4 se activa o desactiva la salida Q129.6 correspondiente al indicador LED de compuerta Silo\_1 cerrada (Ver Fig. 53). Este sensor (I124.4), desactiva la salida del motor para cierre de compuerta (Q125.2). Este mismo procedimiento se repite para la compuerta del Silo\_2 y de la compuerta de la Marmita. Véase el apéndice B para consultar las líneas de programa respectivas (Segmentos 10, 11, 12, 13 y 14).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

▼ **Segmento 9:** Final de carrera Silo\_1 Close activo

Comentario



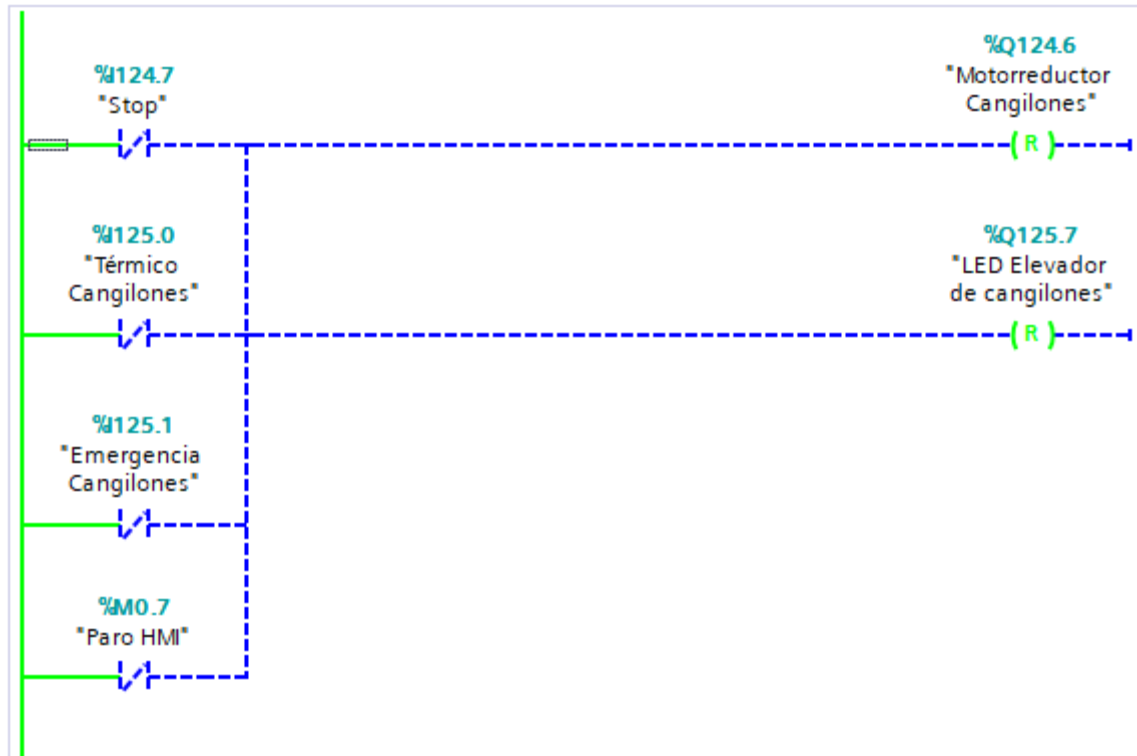
**Fig. 53.** Línea de programación para el final de carrera del Silo\_1. Fuente: Autor.

**Segmento 15: Seguridad para el elevador de cangilones**

Dentro del diseño se tuvo en cuenta las condiciones de seguridad que deben tener cada uno de los motores y motorreductores. En efecto, cada motor debe contar con un relé térmico en caso de presentarse sobrecargas. La siguiente línea de programa hace alusión a la protección del motorreductor del elevador de cangilones. Además del relé térmico, cuenta con dos paros de emergencia, uno desde la pantalla HMI y otro físico (Ver Fig. 54). Este mismo procedimiento se repite para el resto de los motores con los que funcionan las máquinas depuradoras y motorreductores de los elevadores. Véase el apéndice C para comprobar las líneas de programa respectivas (segmentos 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23).

▼ **Segmento 15:** Seguridad para el elevador de cangilones

Comentario



**Fig. 54.** Seguridad para el motorreductor del elevador de cangilones. Fuente: Autor.

**Segmento 24: Activación de la alarma de disparo de relé térmico**

En caso de disparo del relé térmico de alguno de los motores, se activa una alarma de indicador LED. La siguiente línea de programa hace referencia a la activación de la salida Q126.6 correspondiente al LED térmico del elevador de cangilones por medio de la entrada digital I125.0 (Ver Fig. 55). Este mismo procedimiento se repite para cada una de las máquinas que cuentan con factores de seguridad. Véase el apéndice D para consultar las líneas de programa respectivas (segmentos 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 32).



**Segmento 24:** LED indicador rojo cuando se dispara el relé térmico del elevador de cangilones

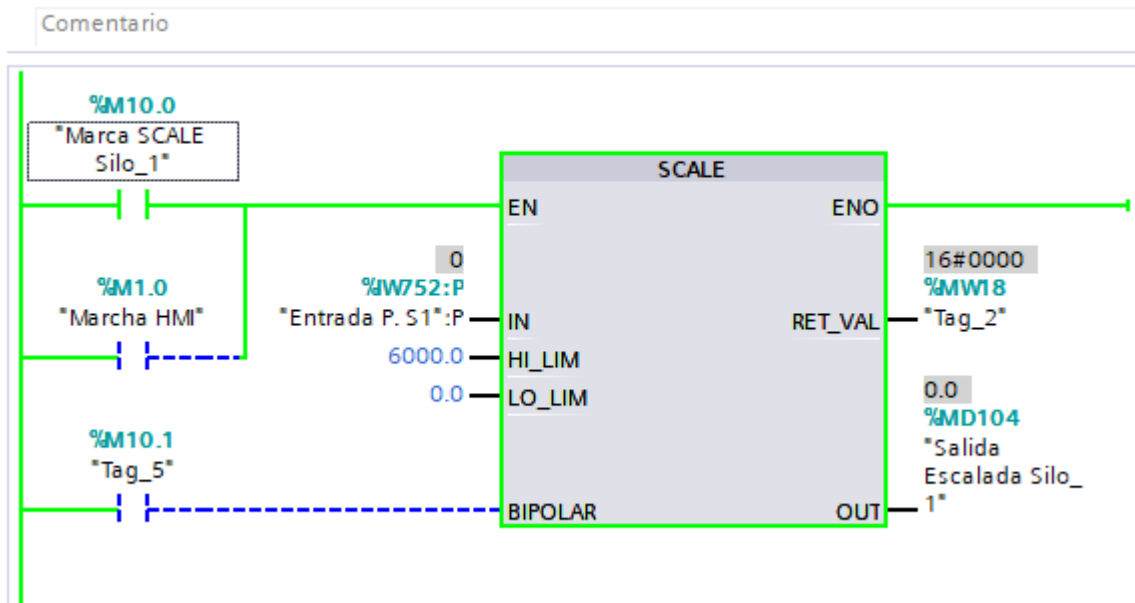


**Fig. 55.** Activación de la alarma para el elevador de cangilones. Fuente: Autor.

**Segmento 33: Función de escalización (SCALE) para el Silo\_1**

La entrada analógica IW752 ofrece el valor numérico para el peso medido por una celda de carga. Este valor numérico está definido entre un límite inferior y superior de 0 a 6000 kg. Este valor representa el parámetro a medir. El resultado dado por la instrucción SCALE se devuelve en el parámetro OUT (Salida escalada Silo\_1) (Ver Fig. 56).

**Segmento 33:** Función de escalización para el Silo 1



**Fig. 56.** Escalización del peso medido en el Silo\_1. Fuente: Autor.

### Segmento 34: Función de desescalización para el Silo\_1

La instrucción UNSCALE calcula el valor de la variable en la salida mediante la marca MW204. Este valor se mueve a la marca MW4 tipo entero como valor medido de peso del Silo\_1 (Ver Fig. 57).

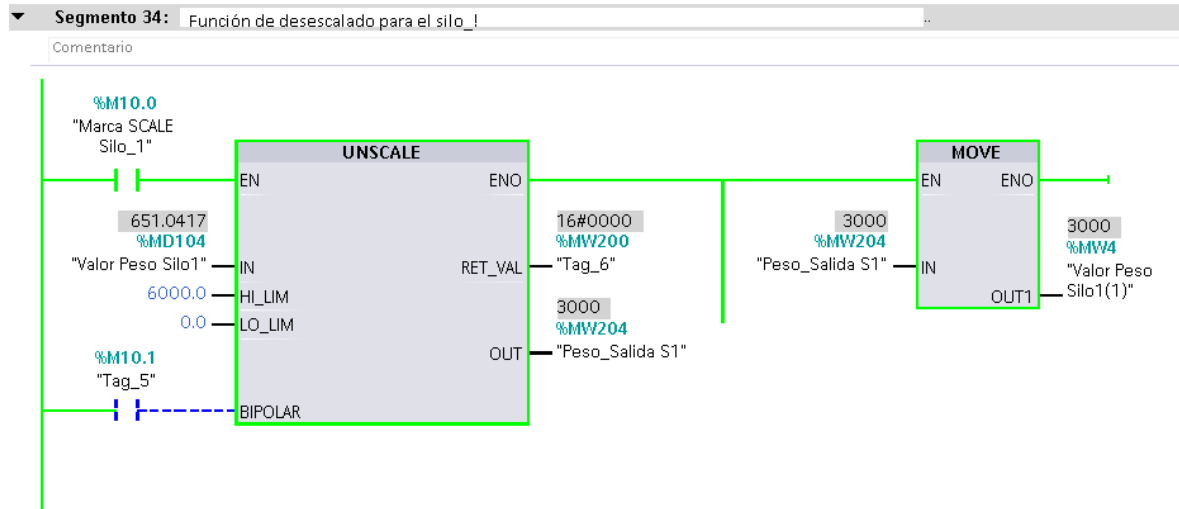
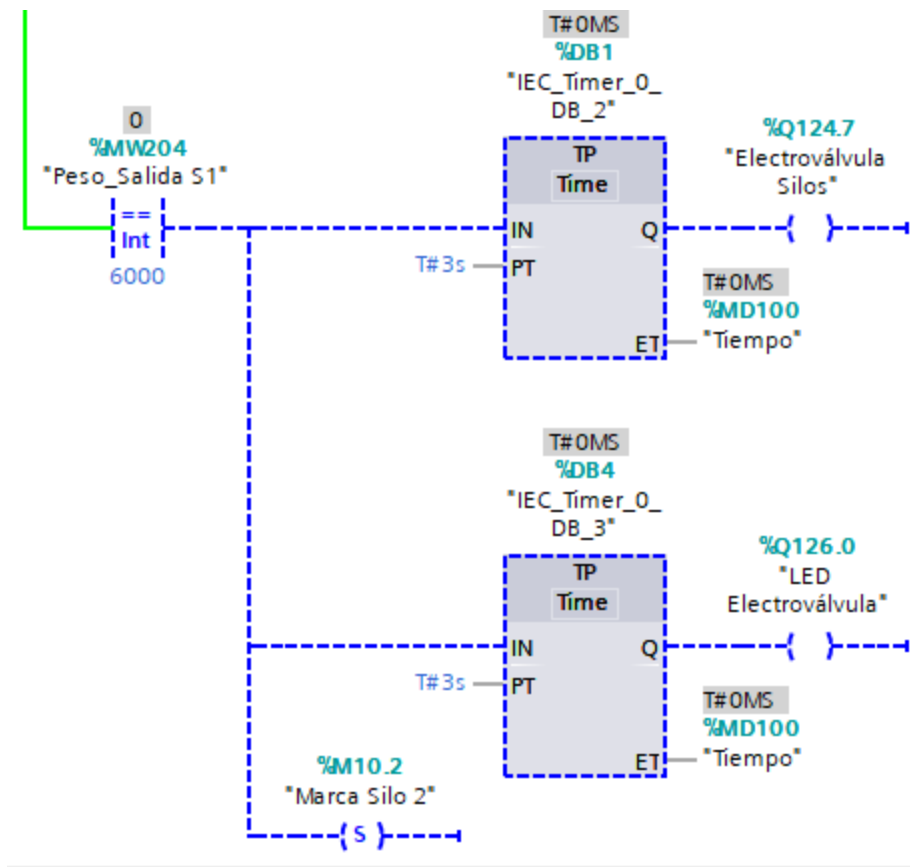


Fig. 57. Instrucción de desescalización para el Silo\_1. Fuente: Autor.

Tanto la función de SCALE como UNSCALE se repite igual para el Silo\_2, dado que ambos silos cumplen con la función de carga del grano. Véase el apéndice E para comprobar las líneas de programa respectivas (Segmentos 35 y 36).

### Complemento del segmento 34: Activación de la electroválvula en los Silos

La carga de los silos se realiza por separado, comenzando con el Silo\_1 y luego con el Silo\_2. La siguiente línea de programa contiene un comparador de igualdad, el cual establece que, cuando la carga en el Silo\_1 sea igual a 6000 kg, activa a continuación una electroválvula que cierra el paso del grano hacia el Silo\_1 y lo desvía hacia el Silo\_2 para su posterior llenado (Ver Fig. 58).



**Fig. 58.** Instrucción de carga en Silo\_1 y activación de la electroválvula. Fuente: Autor.

En la Fig. 59 se muestra la línea de programa corresponde a la instrucción de carga para el Silo\_2. Con un comparador de igualdad se establece que, cuando la carga en el Silo\_2 sea igual a 6000 kg, activa consecuentemente una serie de salidas como son los tornillos sinfín encargados de transportar el producto hacia el elevador de grano sucio y las máquinas depuradoras. Sin embargo, antes de este paso debe activarse la compuerta de alguno de los silos que permita la descarga del grano (Ver segmentos 37 y 38).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

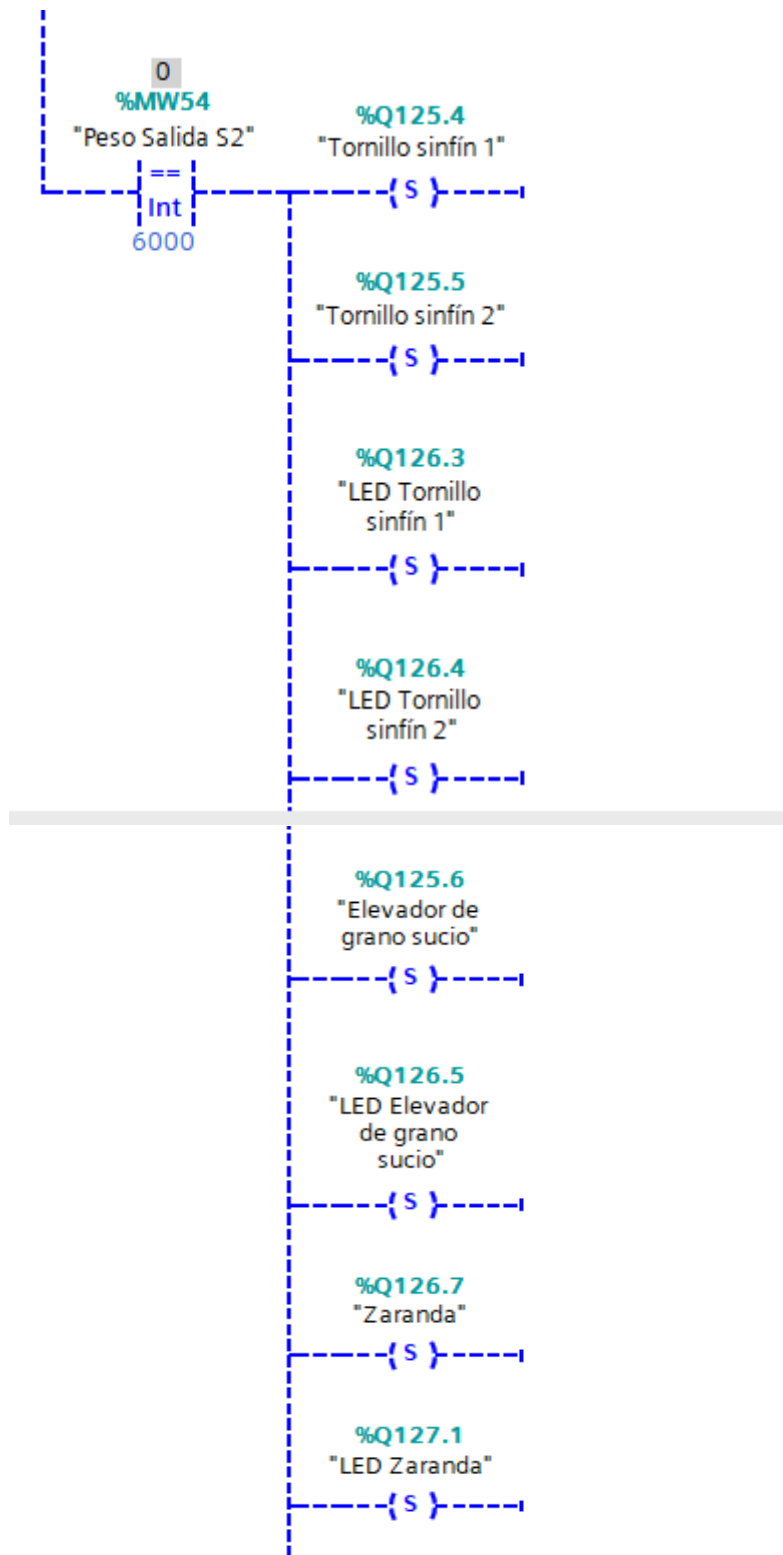
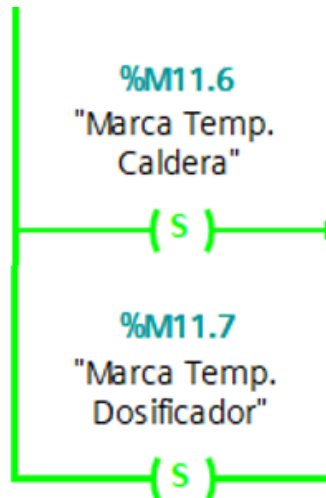


Fig. 59. Instrucción de carga en Silo\_2. Fuente: Autor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

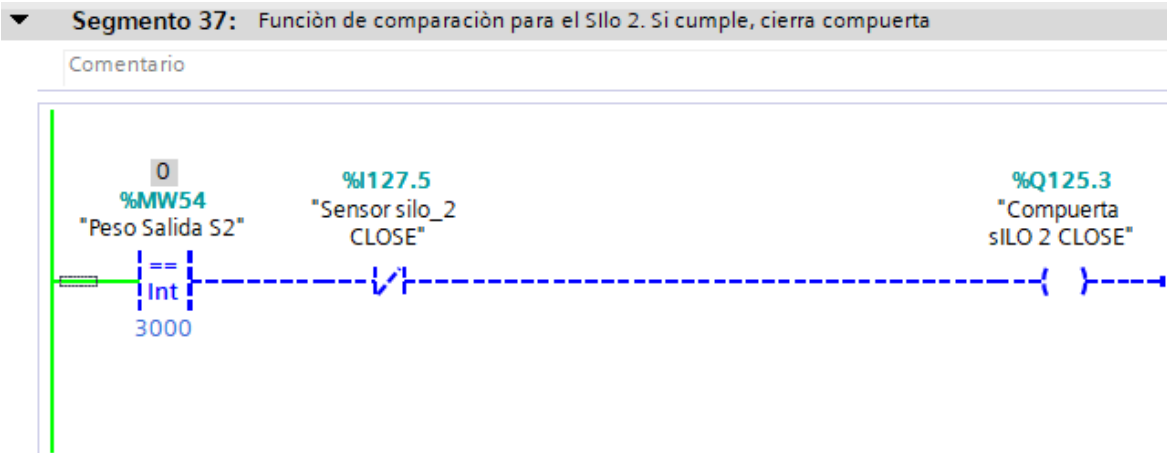
En la Fig. 60 se muestra la línea de programa que es un complemento de la instrucción dada en la Fig. 59. Se tratan de dos marcas necesarias para la ejecución de varias tareas posteriores en el proceso. Las marcas M11.6 y M11.7 (Ver Fig. 60) que corresponden a la activación de la caldera y del dosificador por medio de temporizadores (Ver segmentos 39 y 41).



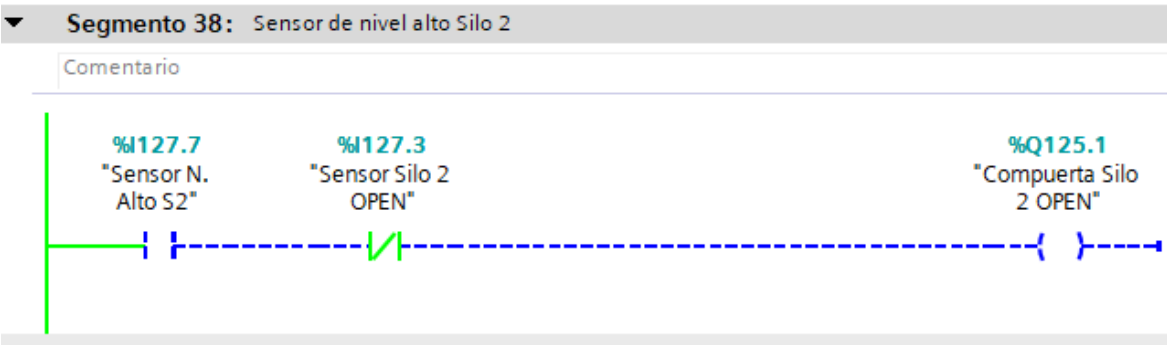
**Fig. 60.** Instrucción para la activación de la caldera y del dosificador. Fuente: Autor.

### Segmentos 37 y 38: Instrucción de descarga del grano del Silo\_2

La descarga del grano de los silos debe realizarse por turnos, dado que la marmita solo admite una capacidad de 3000 *kg*. El segmento 38 de la Fig. 62 ejecuta la instrucción de apertura de la compuerta del Silo\_2 por medio del sensor de nivel alto (Mononivo MN4020), de esta forma se consigue descargar el grano. El segmento 37 de la Fig. 61 ejecuta una instrucción de comparación, de tal forma que, cuando la carga del Silo\_2 sea igual a 3000 *kg*, activa de nuevo la compuerta para cierre en este silo.



**Fig. 61.** Instrucción para cierre de compuerta en el Silo\_2. Fuente: Autor.



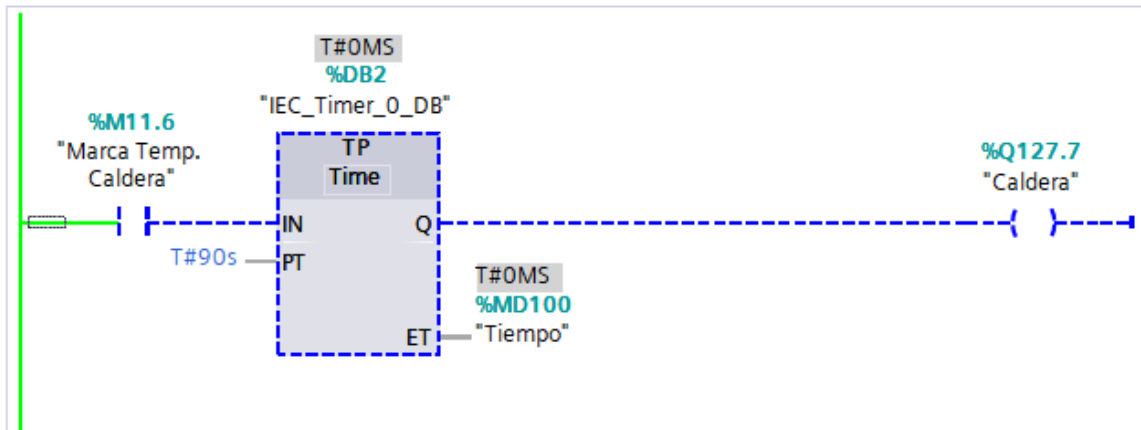
**Fig. 62.** Instrucción para apertura de compuerta en el Silo\_2. Fuente: Autor.

### Segmento 39: Activación de caldera para la producción de vapor saturado

La activación de la caldera se realiza a través de un temporizador por impulso (TP), lo que significa que se activa con el primer impulso dado en la instrucción de la Fig. 59. El parámetro PT consigna el valor del tiempo programado. Ya en la sección 3 de la metodología se explicó que el tiempo de cocción del grano dentro de la marmita es de 90 minutos. Sin embargo, para efectos prácticos del presente proyecto, se ha consignado un valor  $PT = 90$  segundos (Ver Fig. 63).

▼ **Segmento 39: Caldera para la producción de vapor saturado**

Comentario



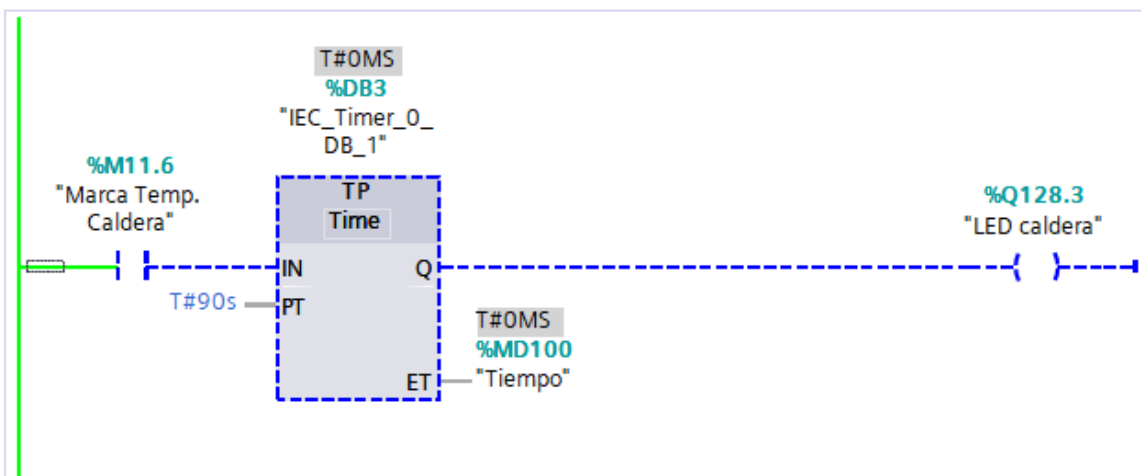
**Fig. 63.** Instrucción de activación de la caldera con temporizador TP. Fuente: Autor.

**Segmento 40: Activación de indicador caldera**

Cumpliendo con la misma instrucción dada en la Fig. 63, solo que en la salida activa un indicador LED de caldera en funcionamiento (Ver Fig. 64).

▼ **Segmento 40: LED indicador de caldera activa**

Comentario



**Fig. 64.** Instrucción para activación de indicador LED caldera. Fuente: Autor.

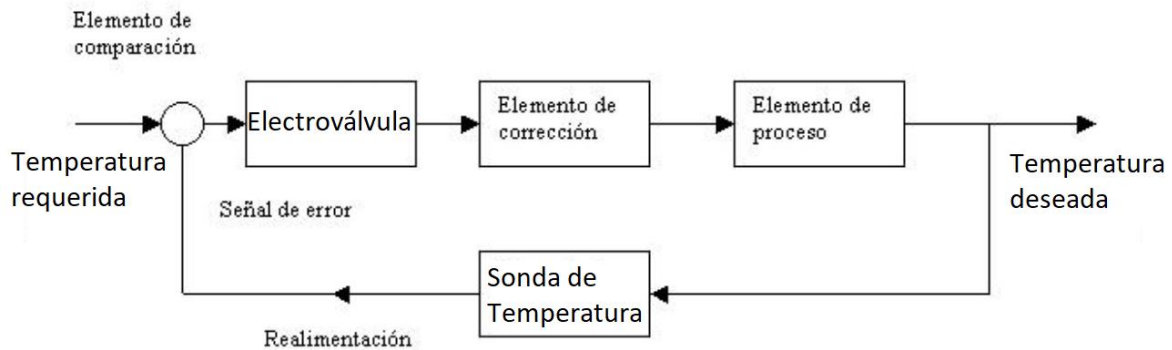
### Control PID para la temperatura

El control PID para la temperatura se ejecuta en el bloque de organización OB35. Antes resulta necesario crear los Datos PID que requerirá el programa para su ejecución. En la Fig. 65 se muestran los datos creados a partir de un bloque de datos DB de TIA Portal.

Datos_PID							
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Remanen...	Visible en ..	Valor de
1	Static				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Nivel Temperatura	Real	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Sp_Temperatura	Real	4.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Out_Electroválvula	Real	8.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Man_Temperatura	Real	12.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Auto_PID	Bool	16.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Up_PID	Bool	16.1	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Dw_PID	Bool	16.2	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Fig. 65.** Datos PID para el control de temperatura. Fuente: Autor.

Este control obedece a un sistema de control realimentado como se muestra en la Fig. 66. Se alimenta al controlador la señal de error de actuación por medio de una electroválvula. Esta señal de error es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de realimentación, es decir, la diferencia entre el valor medido de temperatura y el valor de temperatura deseado. Por este motivo, el uso de un lazo de control realimentado implica la acción de control para reducir el error del sistema.



**Fig. 66.** Sistema de control realimentado para el control de temperatura. Fuente: Autor.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

### **Segmento 1 del bloque de organización OB35**

Esta etapa del proceso consiste en la regulación de temperatura por medio de un regulador PID. Con la instrucción “CONT\_C “de la Fig. 67 se consigue regular este proceso, ya que la temperatura representa una magnitud continua y variable, por lo que se requiere un método de control que mantenga esta magnitud constante. La entrada analógica encargada de realizar lecturas constantes de temperatura se encuentra como un periférico en el parámetro PV\_PER (IW760), mientras la salida analógica encargada de realizar la acción de control se encuentra configurada dentro del parámetro LMN\_PER (QW258) (Ver Fig. 67).

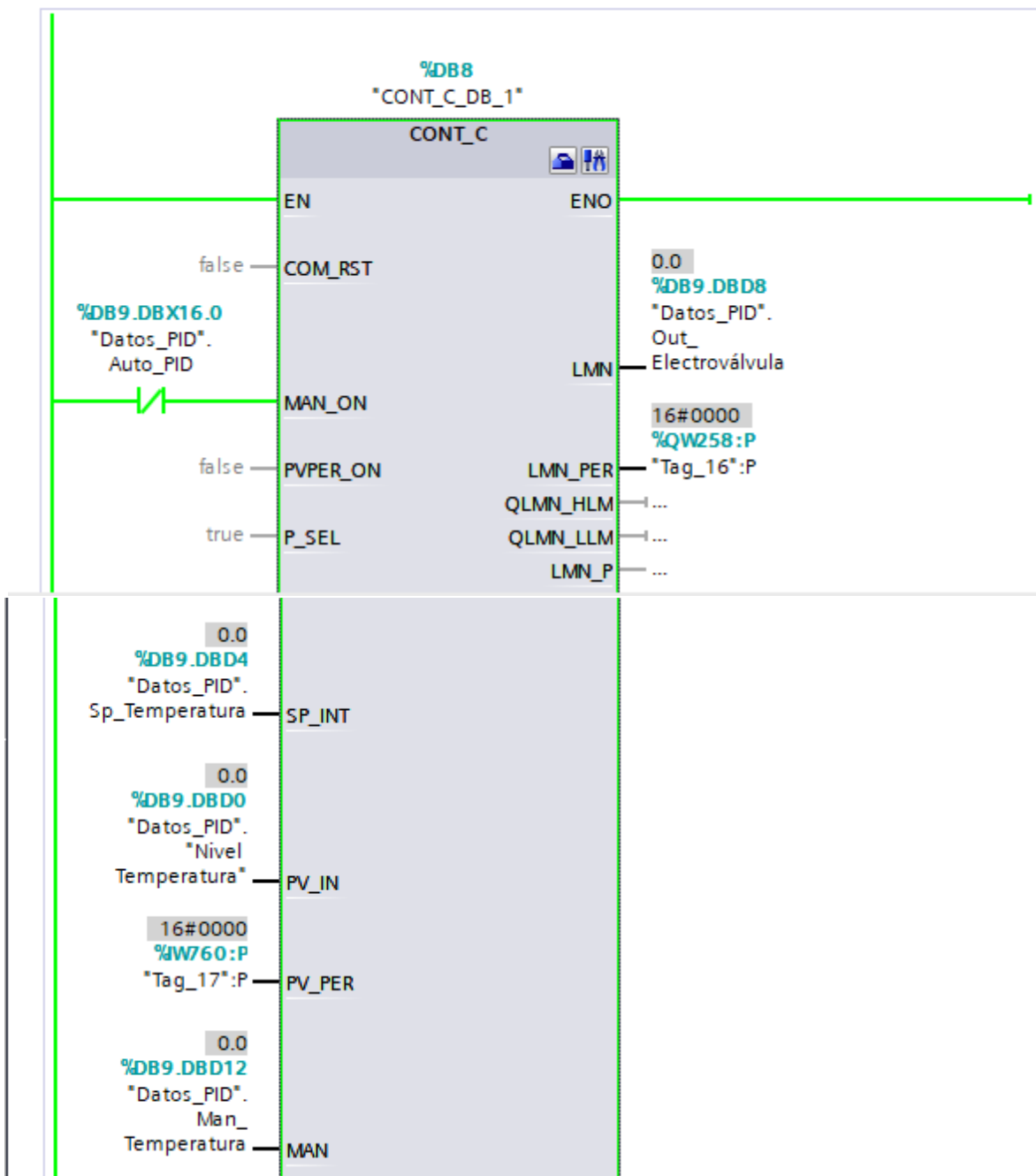
La entrada analógica conectada en el periférico IW760 corresponde a la termorresistencia tipo TR10-B. Por otro lado, el instrumento de control conectado en el periférico QW258 corresponde a la electroválvula proporcional PVQ.

La consigna se indica en la entrada SP\_INT y con ella se genera una acción de control en caso de que la temperatura sobrepase dicho límite. En este caso, la acción de control viene dada por una electroválvula que regulará proporcionalmente la entrada de vapor saturado proveniente de la caldera.

Para consultar el funcionamiento del control de temperatura en la marmita, véase el apartado 4.2 (Prueba de funcionamiento mediante el simulador S7-PLCSIM y la pantalla HMI).

▼ **Segmento 1:** Control PID para la temperatura en la marmita

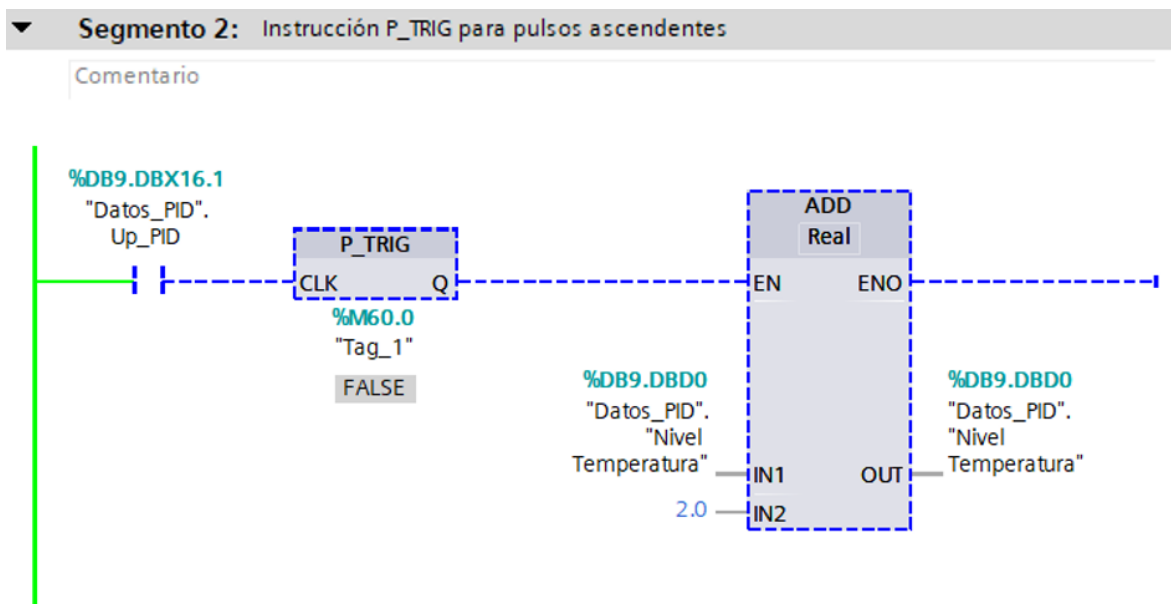
Control PID para la temperatura dentro de la marmita



**Fig. 67.** Regulador PID para la temperatura. Fuente: Autor.

### Segmento 2 del OB35: Pulso ascendente para valores de temperatura

Con el fin de verificar la acción de control de temperatura a partir de la instrucción de CONT\_C, se dispone de un variador manual denominado Up PID el cual incrementa o decrementa el valor de temperatura presente en el sistema. La instrucción P\_TRIG (Positive Trigger), consulta en cada momento cada pulso a través de Up PID; 0 para FALSE y 1 para TRUE (Ver Fig. 68). Por otro lado, la instrucción ADD determina la cantidad en que se debe incrementar el valor de temperatura, para este caso está definido en un valor porcentual para cada 2%.



**Fig. 68.** Instrucción P\_TRIG para pulsos ascendentes de temperatura. Fuente: Autor.

### Segmento 3 del OB35: Pulso descendente para valores de temperatura

La instrucción P\_TRIG (Positive Trigger), consulta en cada momento cada pulso a través de Up PID; 0 para FALSE y 1 para TRUE (Ver Fig. 69). Por otro lado, la instrucción SUB determina la cantidad en que se debe decrementar el valor de temperatura, para este caso está definido en un valor porcentual para cada 2%.

▼ **Segmento 3:** Instrucción P\_TRIG para pulsos descendentes

Comentario

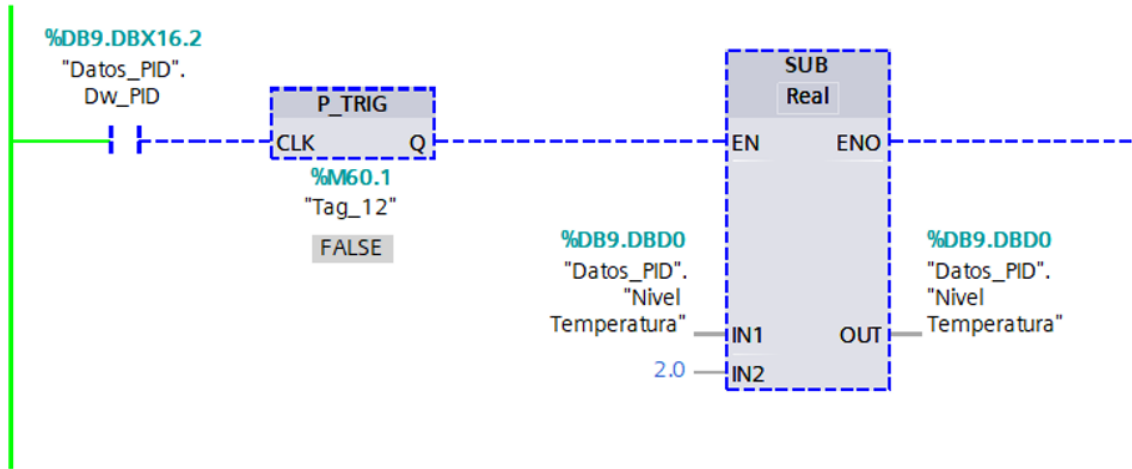


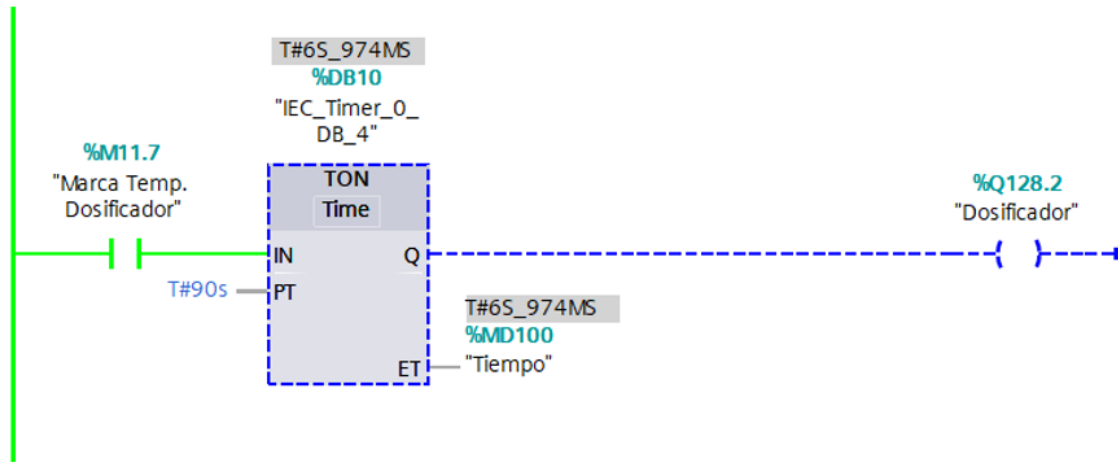
Fig. 69. Instrucción P\_TRIG para pulsos descendentes de temperatura. Fuente: Autor.

**Segmento 41: Instrucción para activar el dosificador**

La máquina dosificadora entra en funcionamiento una vez finalizado el proceso de cocción dentro de la marmita. La línea de programa que se muestra en la Fig. 70 activa la marca M11.7, pone en marcha un temporizador con retardo a la conexión (TON), es decir, activa la salida del dosificador Q128.2 después del tiempo programado PT. La consigna del parámetro  $PT = 90 \text{ segundos}$  coincide exactamente con el tiempo programado para la cocción de grano.

▼ **Segmento 41:** Motorreductor cierra compuerta marmita

Comentario



**Fig. 70.** Instrucción para activar el dosificador. Fuente: Autor.

**Segmento 43: Instrucción para activar la etapa final del programa**

Paralelamente a la activación del dosificador, en las Figs. 71 a 73 se presentan las líneas de programación que da la instrucción para activar los equipos que conforman la etapa final del proceso: máquina laminadora, banda transportadora, turbinas de aire frío y caliente, elevador de hojuela y la máquina seleccionadora de hojuela (Ver Figs. 71, 72 y 73).

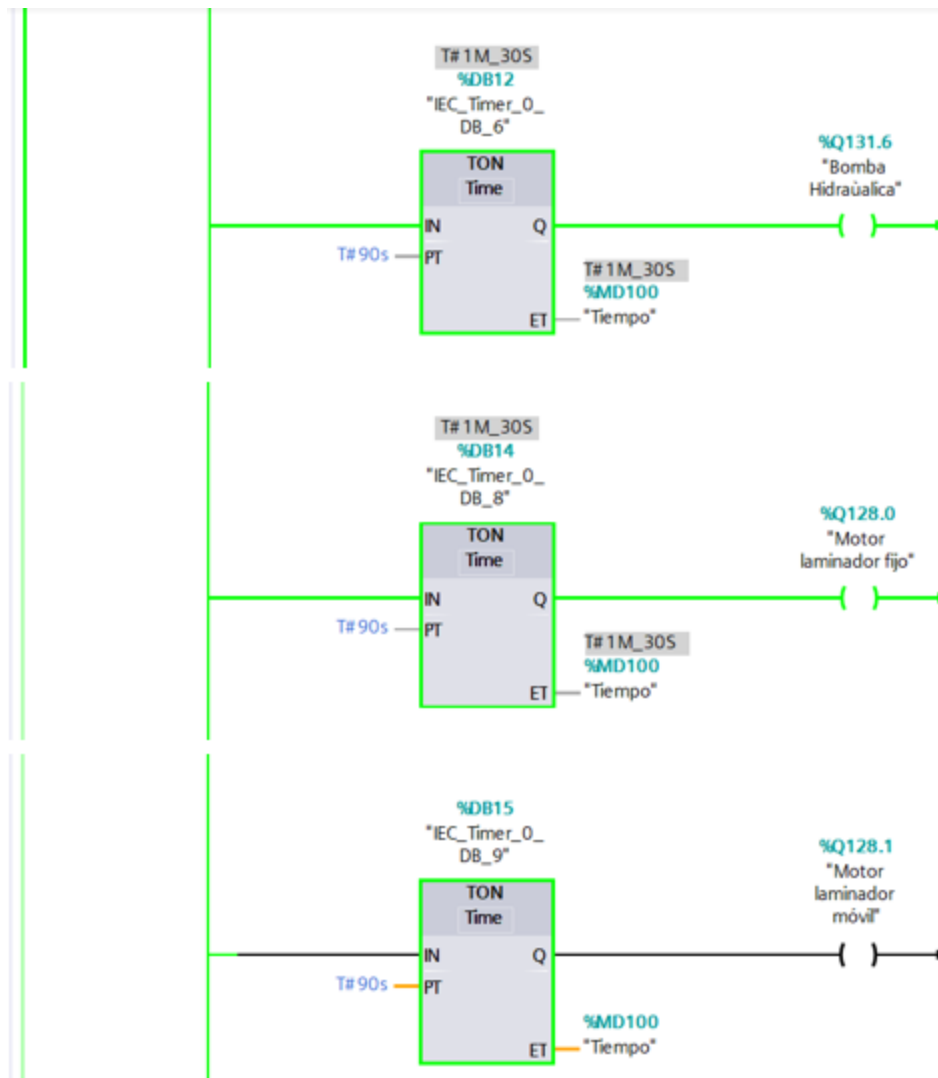
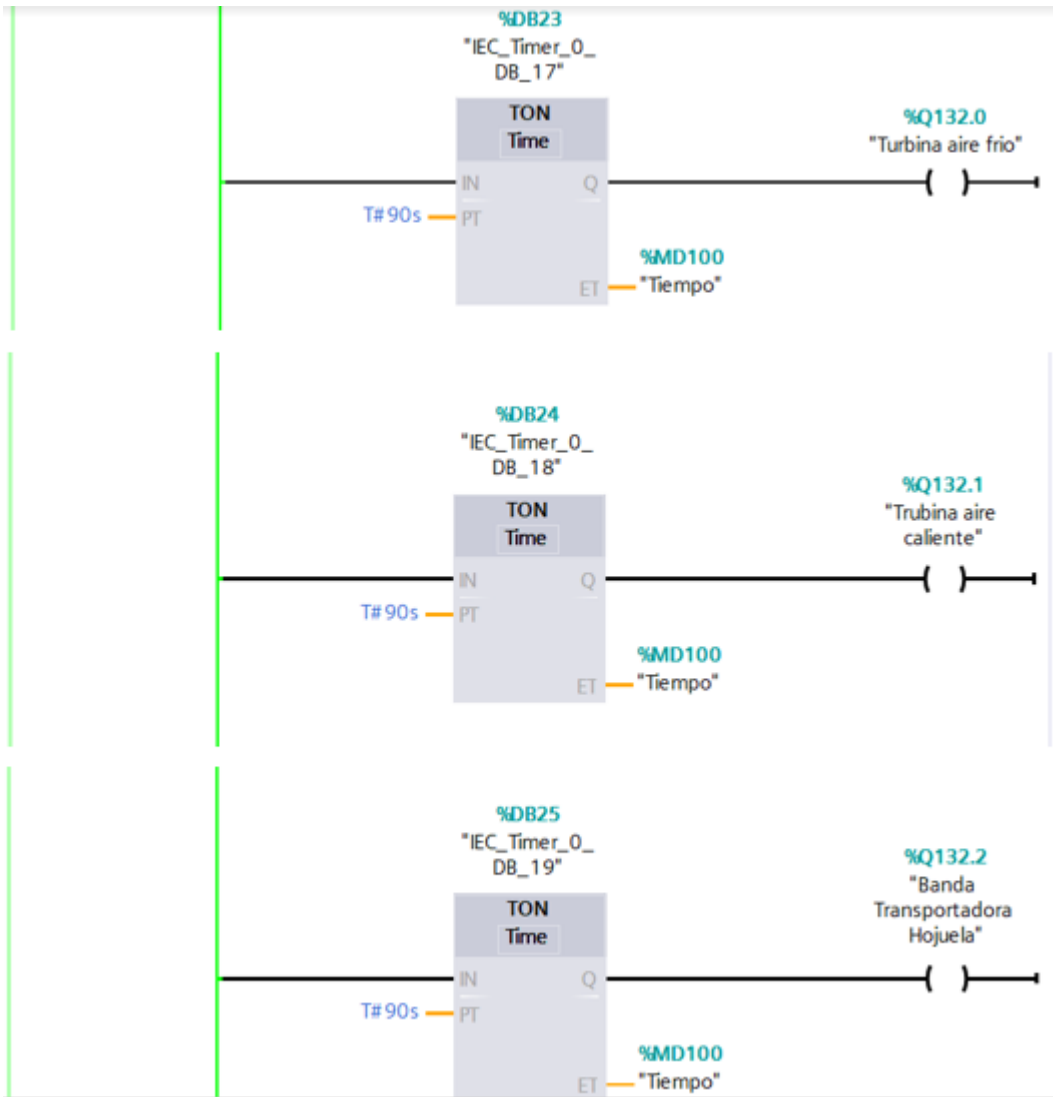


Fig. 71. Instrucción para activación de bomba y motores de laminación fijo y móvil.

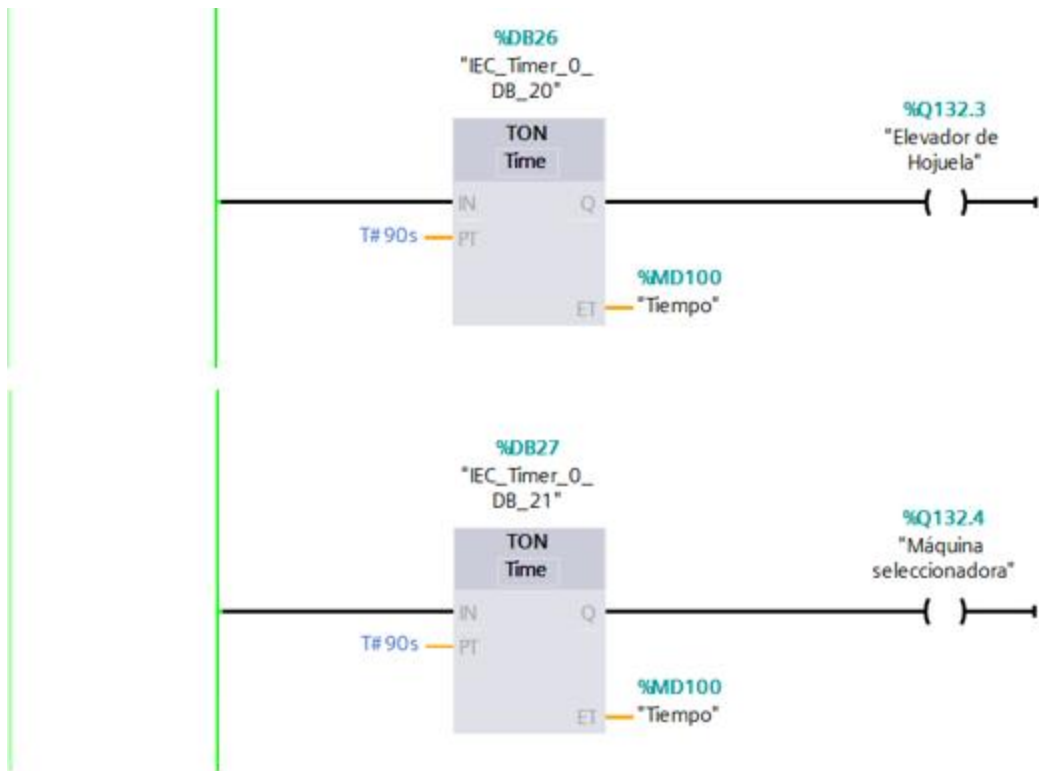
Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24



**Fig. 72.** Instrucción para activar turbinas de aire frio-caliente y banda transportadora.

Fuente: Autor.



**Fig. 73.** Instrucción para activar elevador de hojuela y maquina seleccionadora. Fuente: Autor.

El próximo capítulo abarca el diseño del sistema de supervisión de datos derivado de las líneas de código programadas previamente y las pruebas de simulación del programa.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Esta sección presenta los resultados del diseño para la interfaz de supervisión de datos (HMI) desarrollado en el software de programación TIA Portal V14. Ya en el capítulo 3 se explicó la metodología del funcionamiento del programa propuesto para la Industria Procesadora Nacional de Cereales y la configuración previa de los dispositivos requeridos para este propósito. Igualmente, se hizo una descripción general de cada uno de los equipos e instrumentos para terminar con la programación del sistema automático en lenguaje de contactos (KOP). El presente capítulo se ajusta a los resultados obtenidos de la programación y está dividido en los siguientes apartados:

El numeral 4.1 hace una presentación general de cada una de las imágenes que integran la pantalla HMI junto con una descripción de su funcionamiento. En el apartado 4.2 se incluye una prueba de simulación del programa utilizando para esto la herramienta S7-PLCSIM V14 en conjunto con la interfaz HMI. Más adelante, en el 4.3 se incluyen los planos de conexión eléctrica del PLC y, para terminar, el apartado 4.4 presenta el informe financiero con los costos de implementación del presente diseño.

### 4.1 Diseño de las imágenes para la pantalla HMI

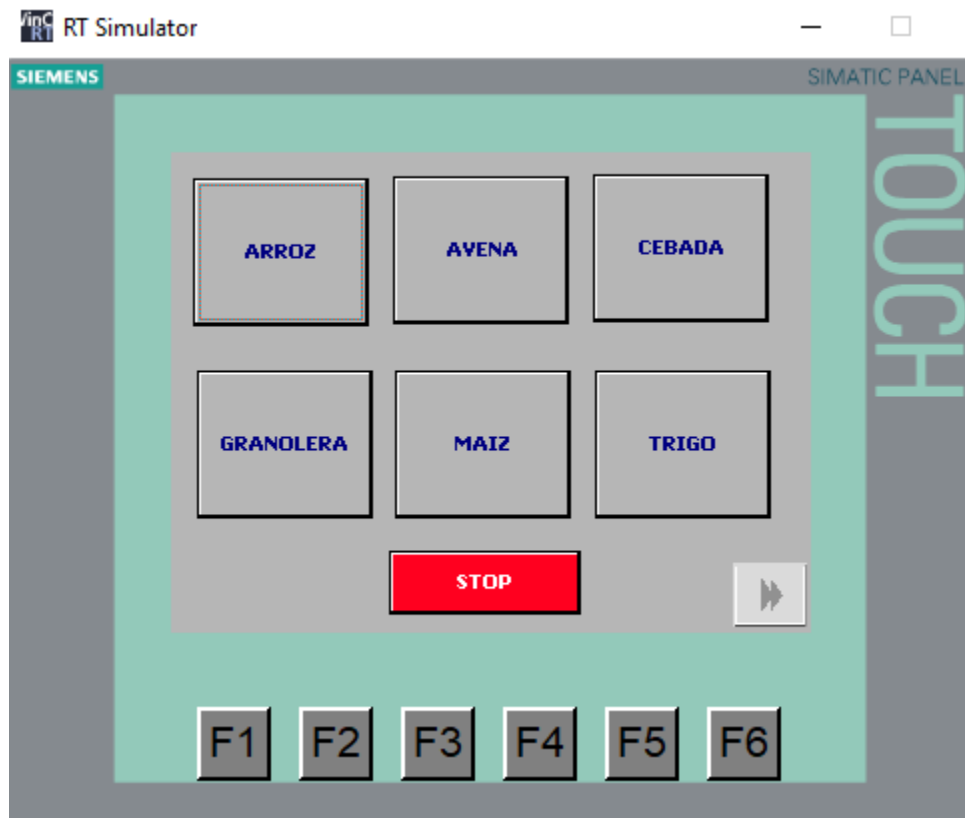
En este apartado se presentan las imágenes para la pantalla HMI referentes al programa de automatización propuesto. En efecto, éstas corresponden a las imágenes con las que el operador controlaría y consultaría en tiempo real las condiciones de operación de cada una de las máquinas. Las imágenes se han diseñado de la forma más simple y comprensible, respetando el orden en que se ejecutan cada una de las tareas dentro del proceso de cocción del grano.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

A continuación, se detallan y enumeran cada una de las imágenes diseñadas para el programa de automatización.

**Imagen 1: Selección del grano**

Corresponde a la primera etapa del proceso, el cual consiste en seleccionar el tipo de grano que se desea procesar (Ver Fig. 74).

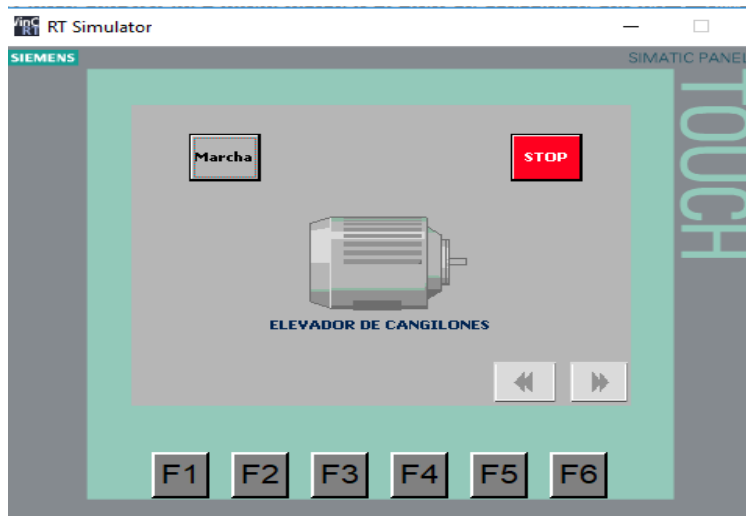


**Fig. 74.** Pantalla para selección del grano. Fuente: Autor.

**Imagen 2: Estado del elevador de cangilones**

En esta imagen puede observarse el estado del motorreductor para el elevador de cangilones (Ver Fig. 75).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24



**Fig. 75.** Pantalla para comprobar el estado del motorreductor del elevador de cangilones.

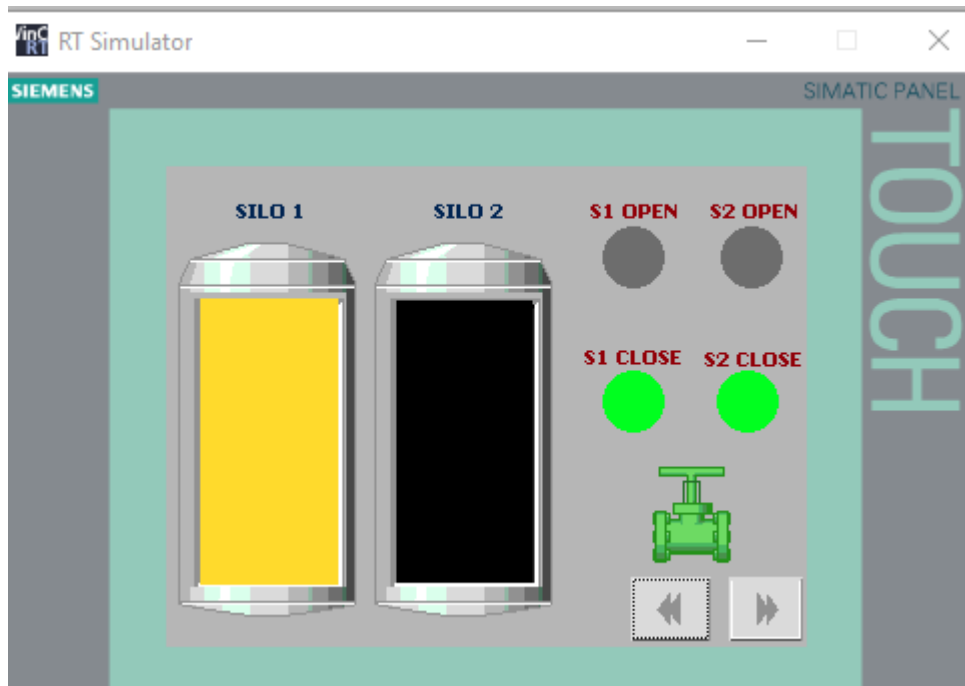
Fuente: Autor.

### Imagen 3: Estado de los silos

Esta pantalla muestra el estado de los silos junto con cuatro LED's indicadores del estado de las compuertas de cada uno de estos: abierta o cerrada (Ver Fig. 76); además de la electroválvula que se activa solo cuando el Silo\_1 completa su carga (Ver Fig. 77).



**Fig. 76.** Pantalla para comprobar el estado de los silos. Fuente: Autor.

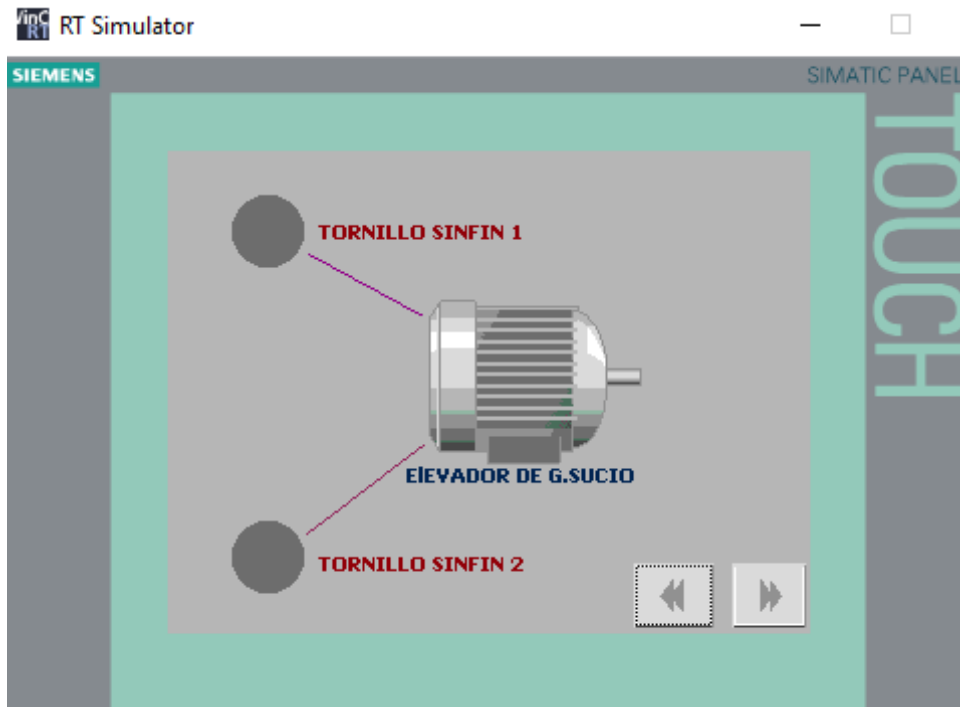


**Fig. 77.** Pantalla para comprobar el estado de los silos. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

**Imagen 4: Estado de los tornillos sinfín y del elevador de grano sucio**

Esta pantalla muestra el estado de los tornillos sinfín a través de dos indicadores LED, mientras el elevador de grano sucio se representa por medio de un motor (Ver Fig. 78).

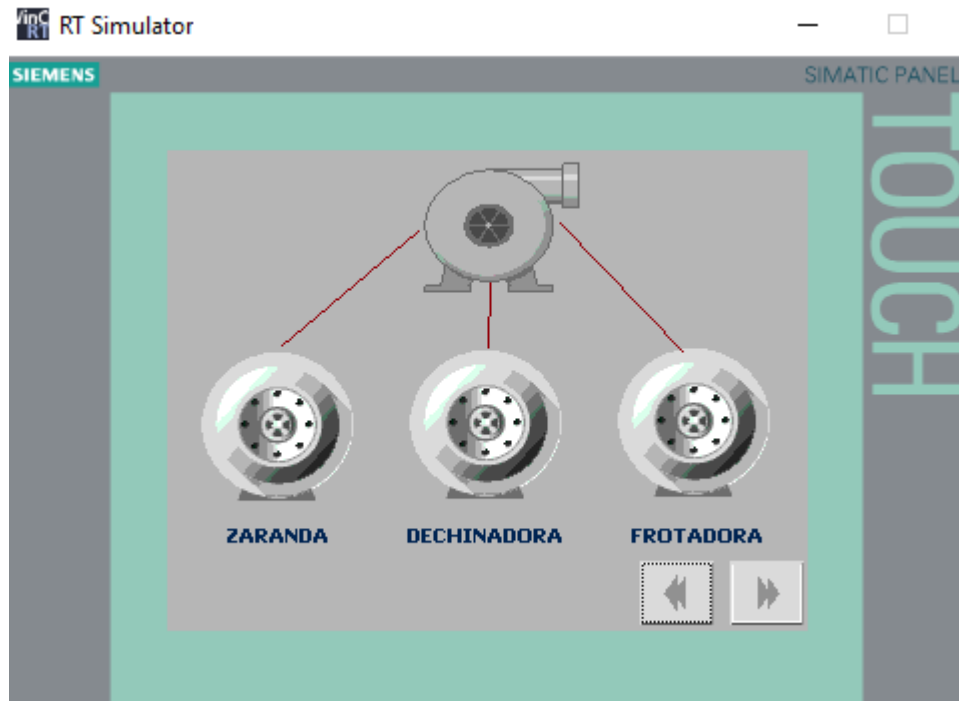


**Fig. 78.** Pantalla para comprobar el estado de los tornillos sinfín y del elevador de grano sucio. Fuente: Autor.

**Imagen 5: Estado de las máquinas depuradoras**

Esta pantalla presenta el estado de las máquinas depuradoras: zaranda, dechinadora y frotadora; además de la turbina de material particulado (Ver Fig. 79).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

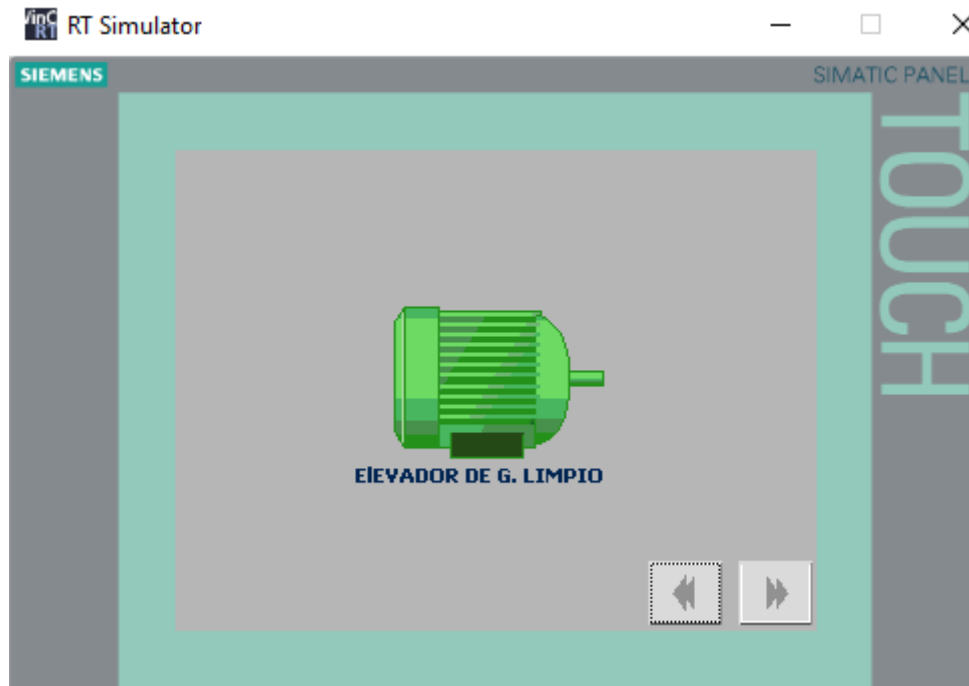


**Fig. 79.** Pantalla para comprobar el estado de las máquinas depuradas y de la turbina de material particulado. Fuente: Autor.

### **Imagen 6: Estado del elevador de grano limpio**

La siguiente pantalla muestra el estado del elevador de grano limpio en modo encendido. (Ver Fig. 80).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24



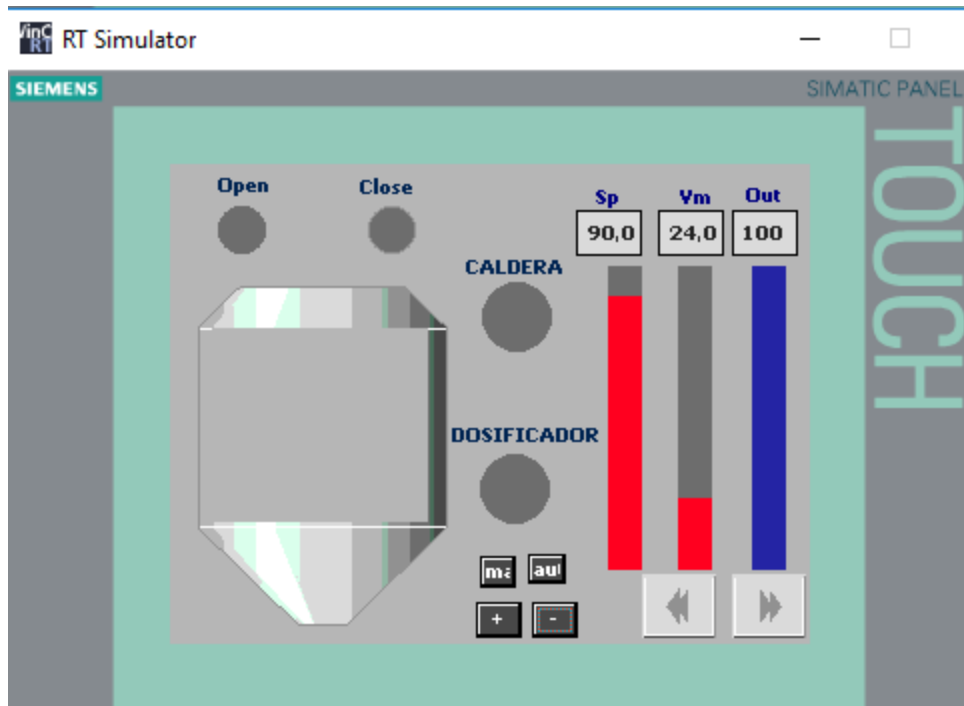
**Fig. 80.** Pantalla para comprobar el estado del elevador de grano limpio. Fuente: Autor.

### Imagen 7: Estado de la marmita

Esta pantalla (Fig. 80) muestra el estado de la marmita junto con los parámetros para el control de temperatura:

- El valor de temperatura deseado o set point ( $S_p$ )
- El valor de temperatura medido ( $V_m$ )
- La acción de control que viene dada por la regulación de la electroválvula proporcional ( $Out$ )

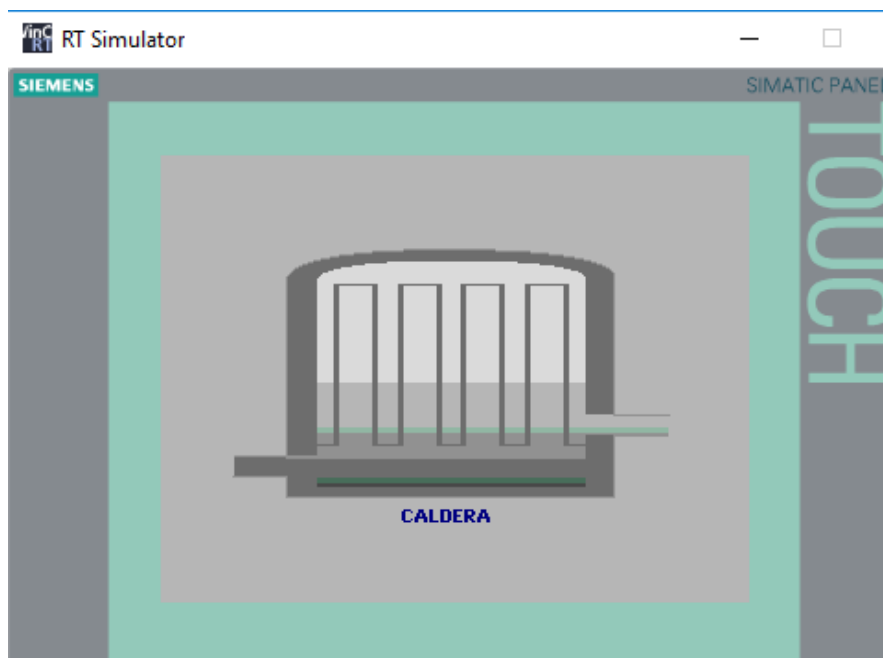
La pantalla muestra además los indicadores para la activación de la caldera y del dosificador (Ver Fig. 81).



**Fig. 81.** Pantalla para comprobar el estado de la marmita. Fuente: Autor.

### Imagen 8: Estado de la caldera

Esta pantalla corresponde al estado de la caldera (Ver Fig. 82).



**Fig. 82.** Pantalla para comprobar el estado de la caldera. Fuente: Autor.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

**Imagen 9: Etapa final del proceso**

La pantalla de la Fig. 83 corresponde al estado de la etapa final del proceso. La imagen comprende 6 motores y 2 turbinas.



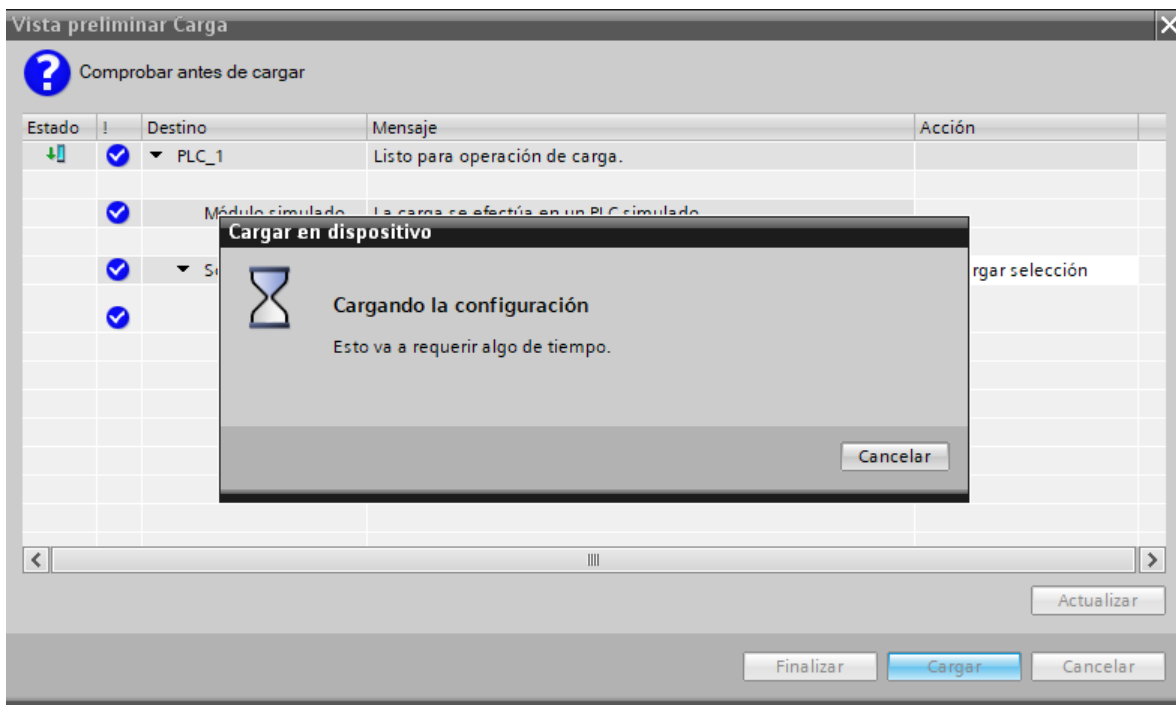
**Fig. 83.** Estado de la etapa final del proceso. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

#### 4.2 Prueba de funcionamiento mediante el simulador S7-PLCSIM y la pantalla HMI

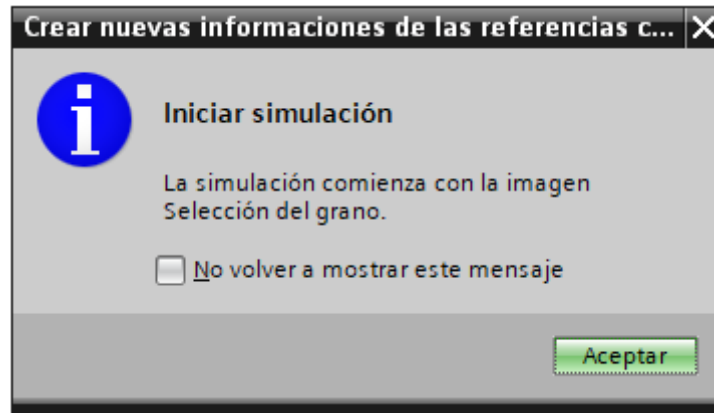
A continuación, se comprueba el correcto funcionamiento del sistema mediante la pantalla táctil diseñada en el apartado anterior. A su vez, se muestran los registros de cada operación en el simulador S7-PLCSIM V14.

Para la comprobación del programa, se efectúa la carga del bloque principal OB1 en un PLC virtual y posteriormente se inicia la simulación a través de la pantalla HMI desde la primera imagen del proceso. De esta forma, todo cambio o novedad que ocurra en la pantalla se verá también reflejado en el S7-PLCSIM. La Fig. 84 muestra el estado de carga del software, mientras la Fig. 85, el inicio de la simulación en la pantalla HMI.



**Fig. 84.** Carga del programa en un PLC simulado. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24



**Fig. 85.** Inicio de simulación a través de las imágenes HMI. Fuente: Autor.

A continuación, se arranca el simulador del S7-PLCSIM activando el modo RUN de la CPU virtual tal como se muestra en la Fig. 86.



**Fig. 86.** CPU virtual en modo RUN. Fuente: Autor.

### Selección del grano

En la pantalla de la Fig. 87 se ha seleccionado la avena como el grano a procesar. El estado de la dirección Q124.1 cambia de 0 a 1 una vez que se hubo seleccionado esta opción.

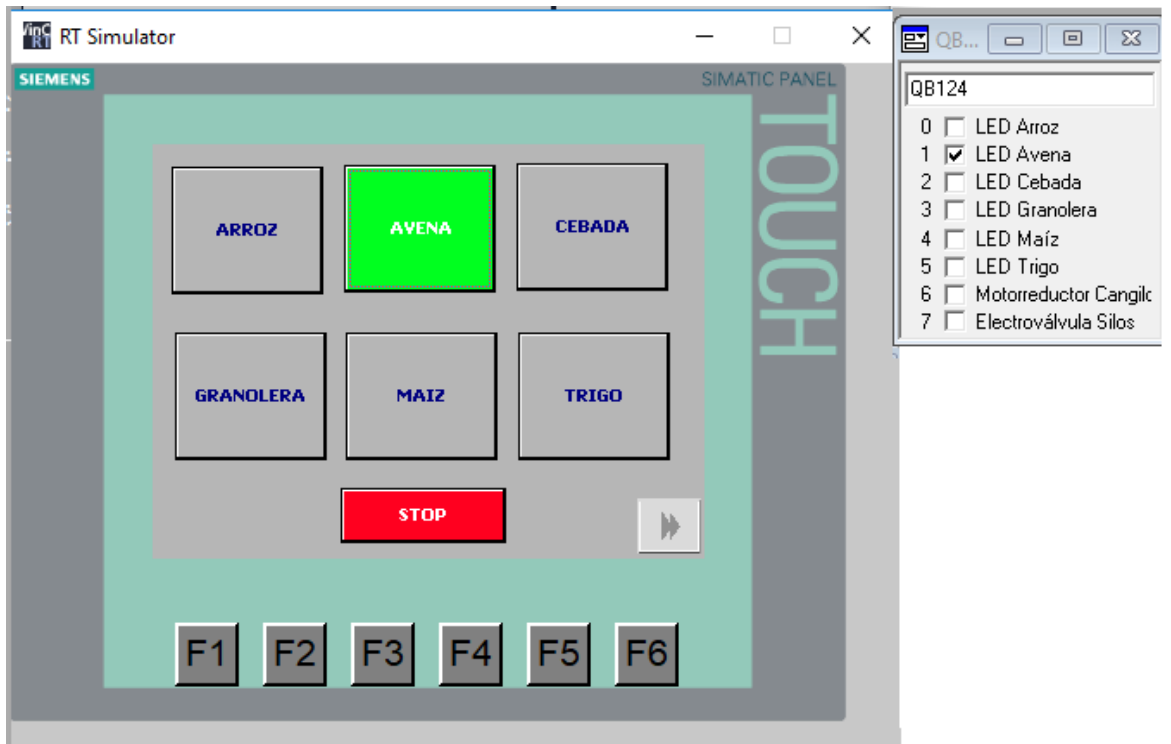
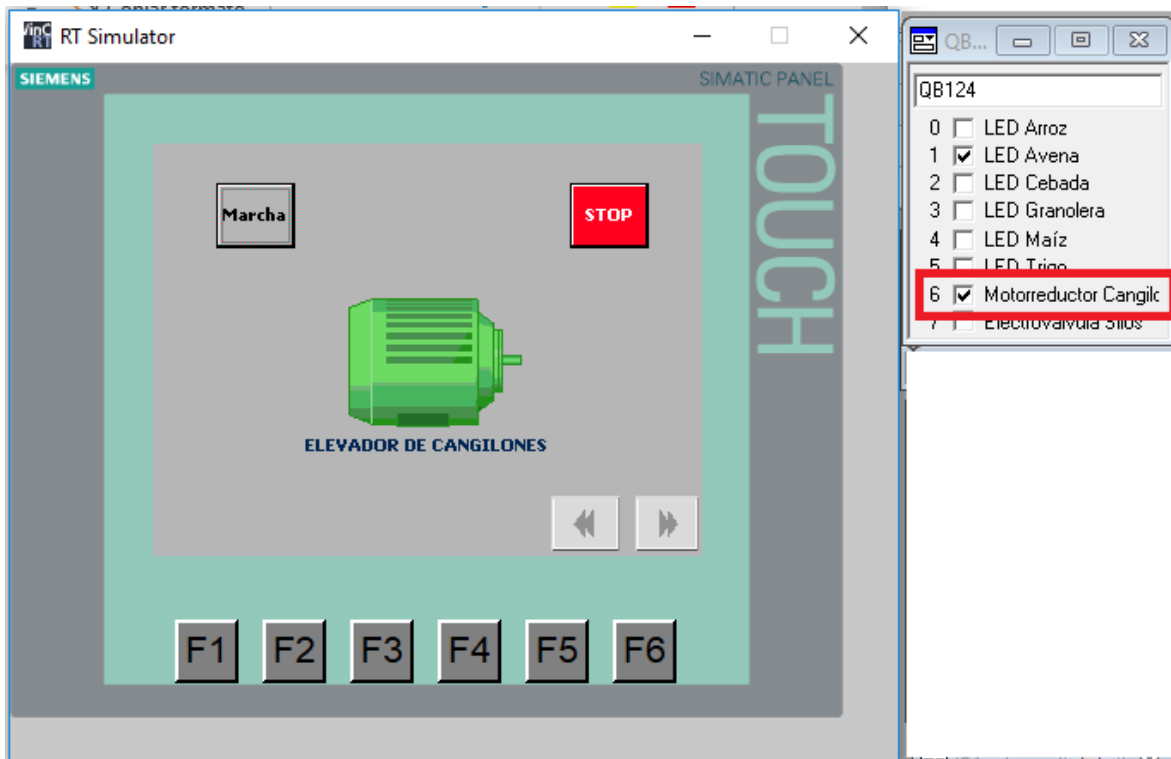


Fig. 87. Pantalla en modo de selección. Fuente: Autor.

### Activar elevador de cangilones

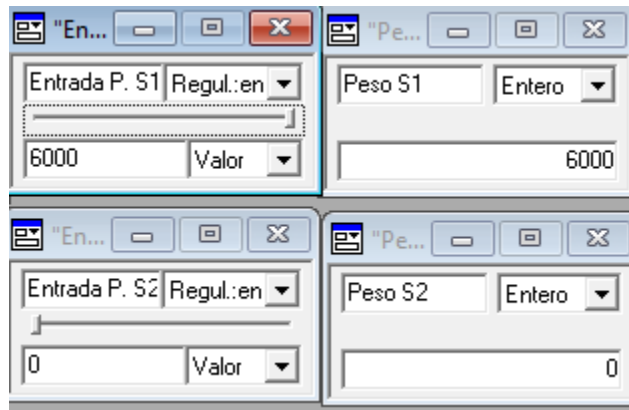
Desde la pantalla de la Fig. 88 se activa el primer elevador del proceso que corresponde al elevador de cangilones. Esta acción se puede comprobar en la activación del bit 6 del byte Q124.



**Fig. 88.** Puesta en marcha del elevador de cangilones. Fuente: Autor.

### Carga de los silos

Las entradas analógicas IW752 e IW754 corresponden a los dos sensores de carga programados en el apartado 4.1. Para comprobar su funcionamiento, se dispusieron de dos reguladores tipo slider (deslizador) con los valores máximo de carga que puede soportar cada silo, es decir, 6000 *kg*. En la Fig. 89 se ha deslizado al máximo valor la entrada analógica correspondiente al silo 1. Esta acción se ve reflejada en tiempo real en la pantalla HMI de la Fig. 90.



**Fig. 89.** Simulación de la lectura de carga en los silos. Fuente: Autor.

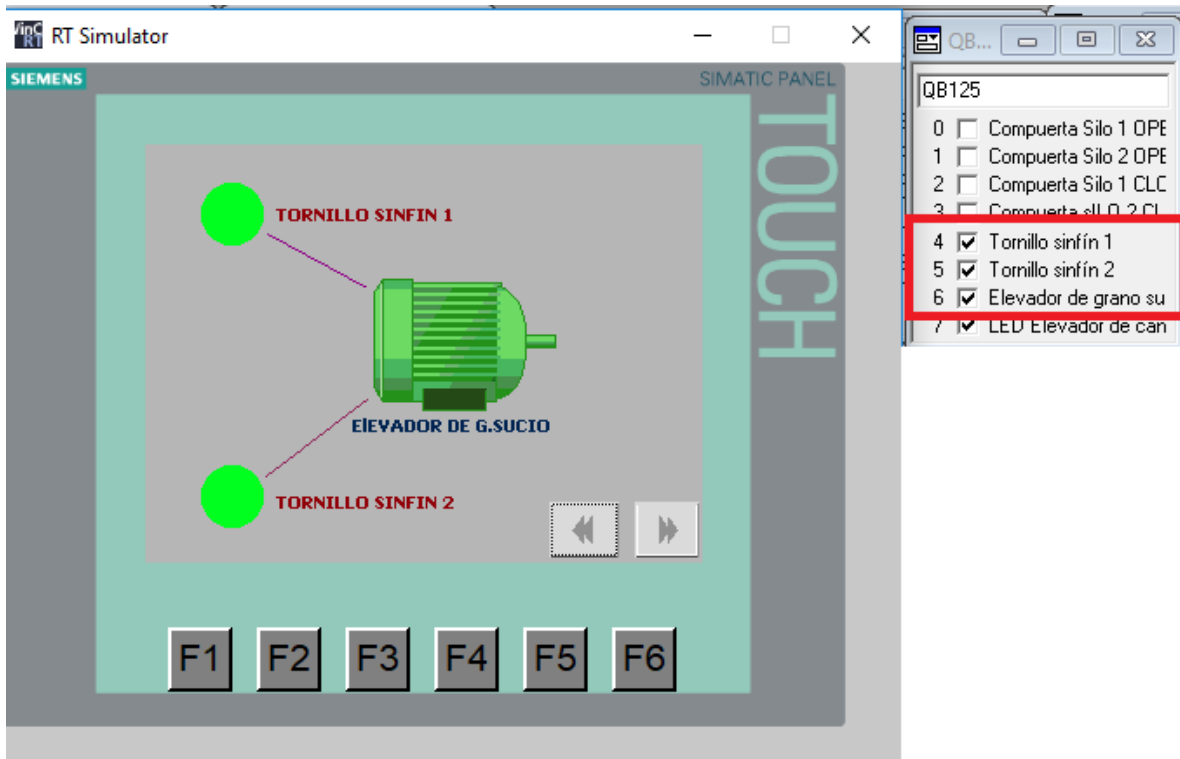


**Fig. 90.** Estado de carga en los silos. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

### Activar tornillos sinfín y elevador de grano sucio.

La pantalla de la Fig. 91 muestra la activación de los tornillos sinfín y del elevador de grano sucio. Por otra parte, se verifica en el S7-PLCSIM el cambio de estado de 0 a 1 de los respectivos bits de cada salida.



**Fig. 91.** Puesta en marcha de los tornillos sinfín y del elevador de grano sucio. Fuente:

Autor.

### Activar máquinas depuradoras y turbina de material particulado

La activación de las máquinas depuradoras se efectúa a la par de la puesta en marcha del elevador de grano sucio. La pantalla de la Fig. 92 muestra tanto el funcionamiento de cada máquina como la activación de cada bit en el simulador.

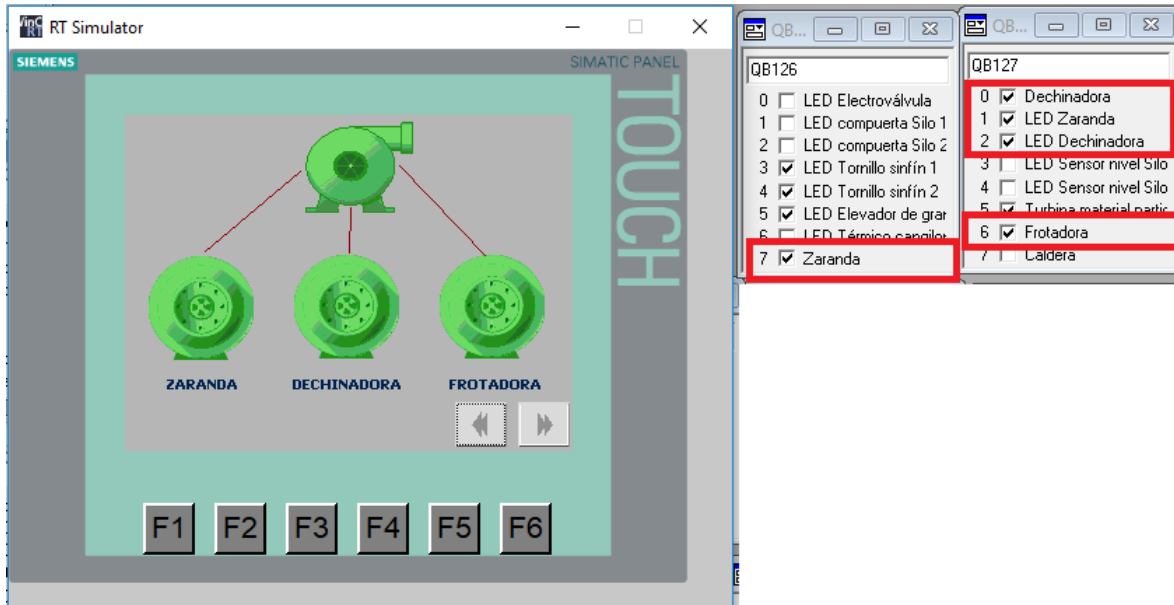


Fig. 92. Puesta en marcha de las máquinas depuradoras y turbina. Fuente: Autor.

### Prueba de disparo de relés térmicos

La siguiente pantalla ofrece un ejemplo de disparo de relé térmico. En este caso, se han desactivado los bits 4 y 6 del byte IB125, correspondientes a los motores de la zaranda y frotadora respectivamente (Ver Fig. 93).



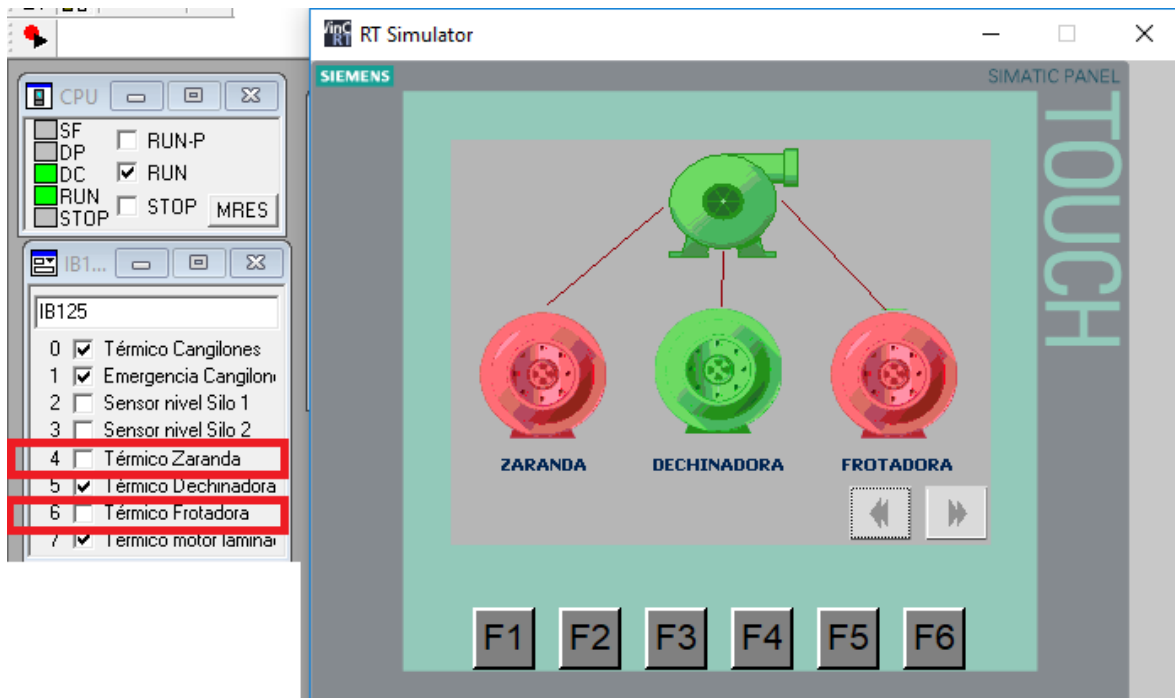
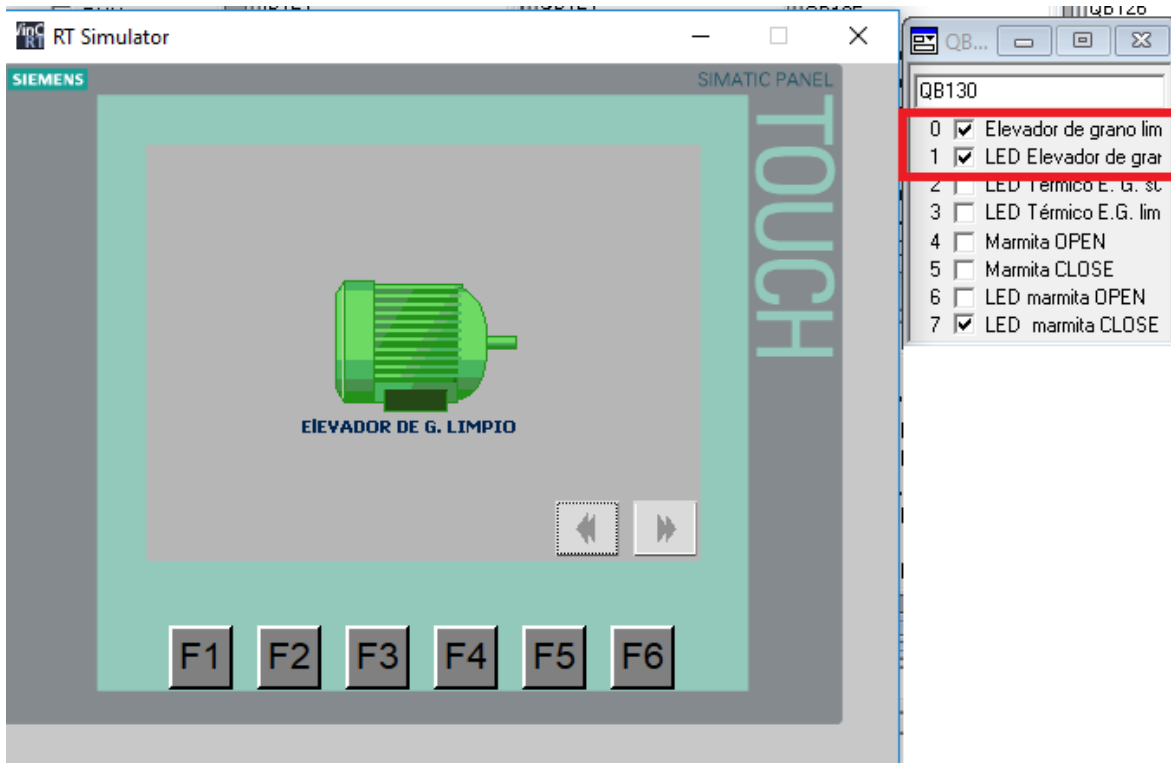


Fig. 93. Prueba de disparo de relés térmicos. Fuente: Autor.

### Activación del elevador de grano limpio

La puesta en marcha del elevador de grano limpio se efectúa a la par de la activación de las máquinas depuradoras (Ver Fig. 94).



**Fig. 94.** Puesta en marcha del elevador de grano limpio. Fuente: Autor.

### Activación de la caldera

En la pantalla de la Fig. 95 se verifica el funcionamiento de la caldera.

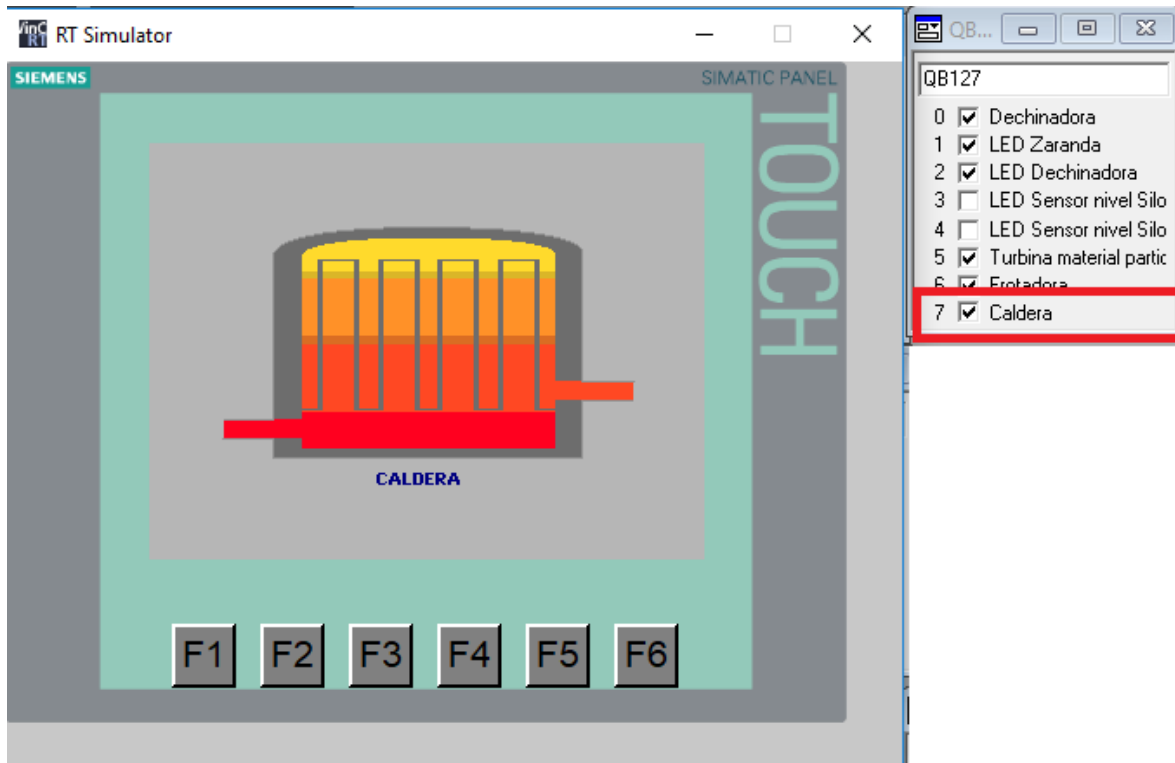


Fig. 95. Puesta en marcha de la caldera. Fuente: Autor.

**Prueba del control de temperatura en la marmita**

Para verificar el correcto funcionamiento del controlador PID mediante simulación, se hizo necesario activar la entrada de valor manual (MANUAL VALUE) de los parámetros de entrada del bloque CONT\_C (Ver Fig. 96). El funcionamiento de estos parámetros se consulta en la guía de regulación PID para autómatas S7-300 de SIEMENS. La Fig. 97 corresponde a una sección de la tabla “Parámetros de entrada CONT\_C” con una descripción del funcionamiento del parámetro MAN, fundamental para la prueba de simulación que se realizó a continuación.

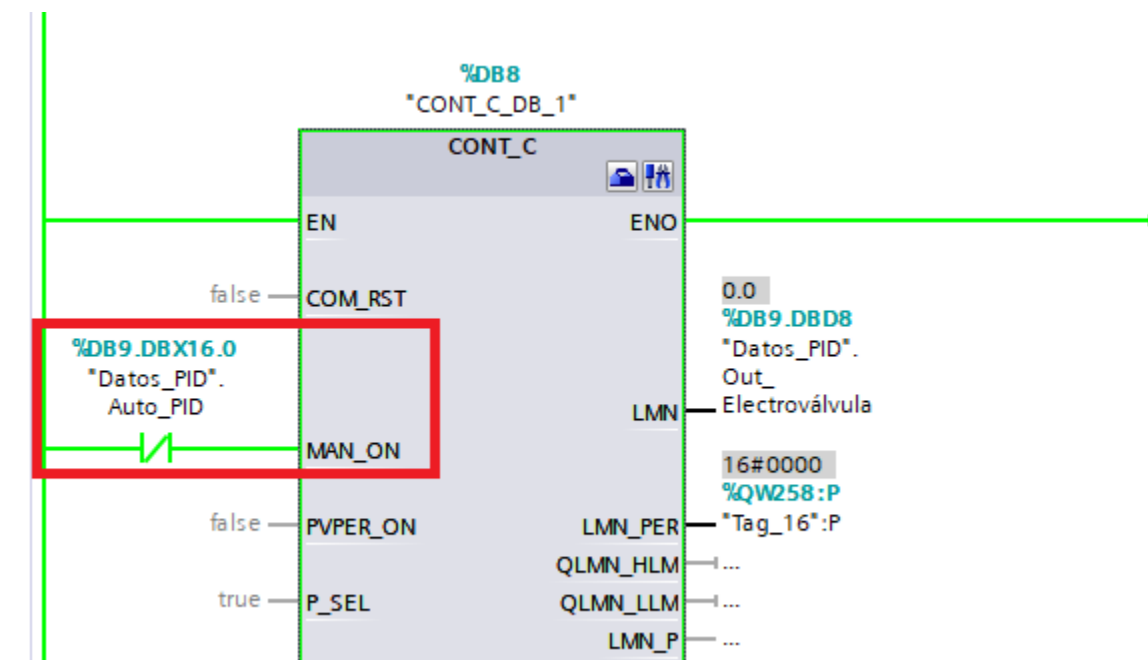


Fig. 96. Bloque CONT\_C para el control de temperatura. Fuente: Autor.

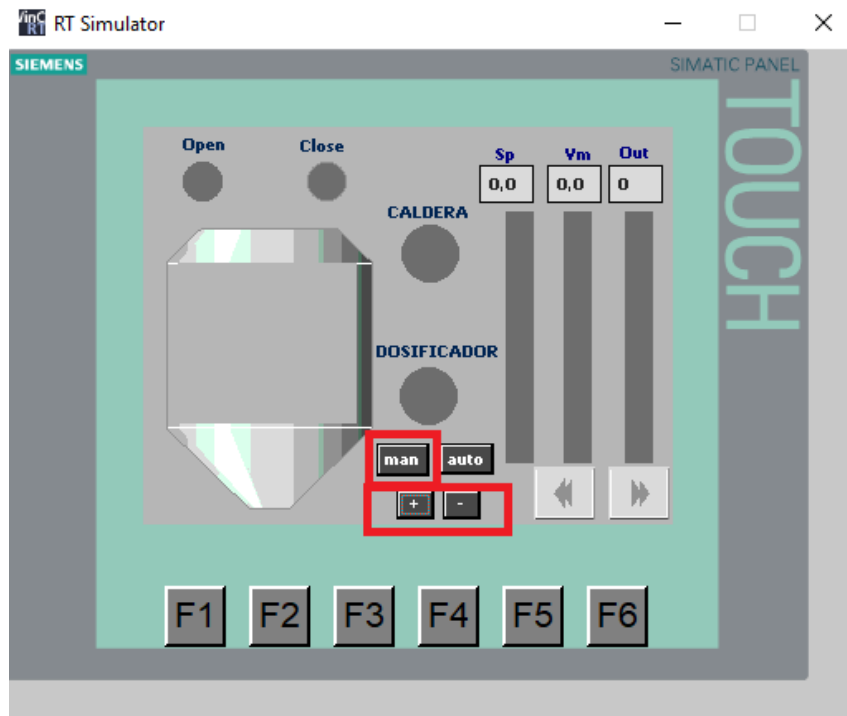
Parámetro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Descripción
PV_PER	WORD		W#16#0000	PROCESS VARIABLE PERIPHERY / Valor real de periferia El valor real en formato de periferia se aplica al regulador en la entrada "Valor real de periferia".
MAN	REAL	-100.0...100.0 (%) ó magnitud física 2)	0.0	MANUAL VALUE / Valor manual La entrada "Valor manual" sirve para establecer un valor manual mediante función de manejo/visualización (interface hombre máquina).
GAIN	REAL		2.0	PROPORTIONAL GAIN / Ganancia proporcional La entrada "Ganancia proporcional" indica la ganancia del regulador.
TI	TIME	>= CYCLE	T#20s	RESET TIME / Tiempo de acción integral La entrada "Tiempo de acción integral" determina el comportamiento temporal del integrador.
TD	TIME	>= CYCLE	T#10s	DERIVATIVE TIME / Tiempo de diferenciación (acción derivativa) La entrada "Tiempo de diferenciación" determina el comportamiento

Fig. 97. Parámetros de entrada para el bloque CONT\_C. Fuente:

<https://cache.industry.siemens.com>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

La Fig. 98 muestra los botones asociados al parámetro MAN y que servirán para establecer de forma manual valores de temperatura en la pantalla HMI. Los botones + y - están configurados como UP PID y DW PID respectivamente, los cuales incrementan o decrementan los valores de temperatura cada 2%.

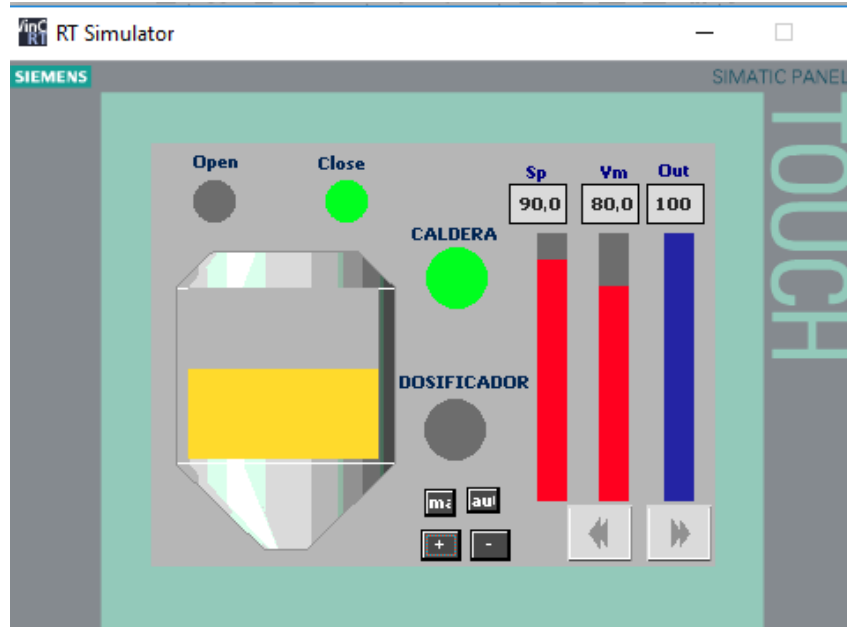


**Fig. 98.** Visualización de los botones UP\_PID y DW\_PID en la pantalla HMI. Fuente: Autor.

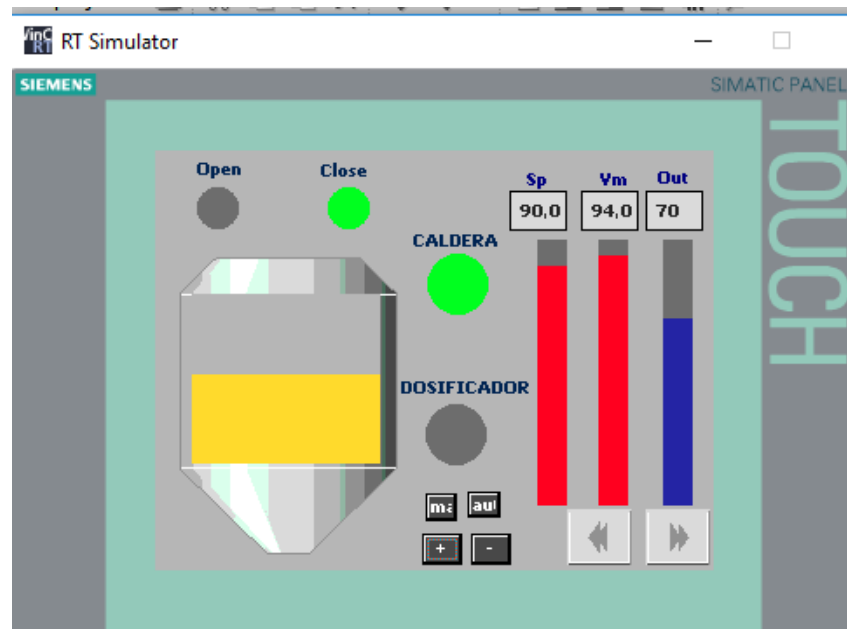
A continuación, se muestra un ejemplo de la acción de control de temperatura llevado a cabo por la función PID en la pantalla HMI. Para el ejemplo que sigue de la Fig. 99, se ha fijado una consigna  $Sp$  del 90% del valor de temperatura permitido. Como el valor medido  $Vm$  es del 80%, no hay necesidad de realizar ninguna acción de control, por lo tanto, la salida  $Out$  de la electroválvula mantiene su funcionamiento al 100%, dejando pasar la totalidad del vapor saturado desde la caldera hacia la marmita.

Para el ejemplo de la Fig. 100, se observa en cambio que el valor medido  $Vm = 94\%$ , superando el valor deseado de temperatura fijado en 90%. En este caso, la acción de control del PID regula de manera proporcional el parámetro  $Out$  de la electroválvula,

reduciendo la cantidad de vapor saturado que entra a la marmita (pasa de un 100% en la Fig.86 a un 70% en la Fig. 100).



**Fig. 99.** Pantalla para comprobar el valor de temperatura: sin acción de control. Fuente: Autor.

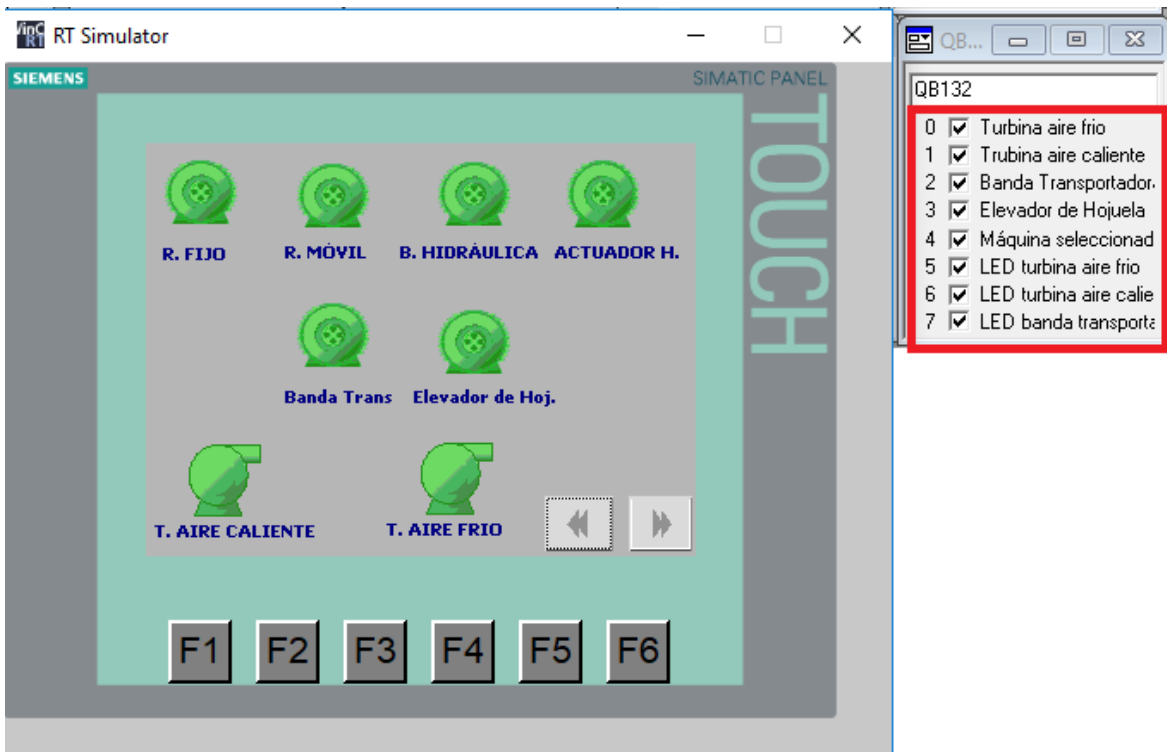


**Fig. 100.** Pantalla para comprobar el valor de temperatura: Con acción de control. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

### Activación de la etapa final del proceso

Se comprueba la activación de la etapa final del proceso en el byte 132 correspondiente a las diferentes máquinas encargadas de completar el proceso de transporte y selección de la hojuela (Ver Fig. 101).



**Fig. 101.** Activación de la etapa final del proceso. Fuente: Autor.

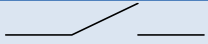

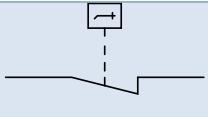
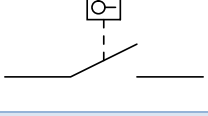
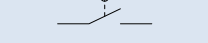



### 4.3 Planos de conexión para el PLC

En este apartado se incluyen los planos de conexión eléctrica para entradas y salidas digitales del PLC. Los planos de entrada muestran las conexiones que van desde el campo al autómata, como pulsadores, sensores y contactos. En los planos de salida se muestran las conexiones que van desde el autómata al campo, como luces LED y bobinas. La creación de los planos se realizó con el programa Automation Studio V5.2.

#### 4.3.1 Lista de símbolos de contactos y componentes de salida

En la Tabla 19 se recogen los símbolos utilizados en los diagramas de conexión eléctrica a los módulos de entradas y salidas del PLC.

**Tabla 19.** Lista de símbolos usados en los diagramas de conexión.

Símbolo	Comentario
	Contacto normalmente abierto
	Contacto normalmente cerrado
	Interruptor térmico normalmente cerrado
	Interruptor de nivel normalmente abierto
	Interruptor de posición mecánica normalmente abierto
	Indicador luminoso
	Relé
	Elemento de calefacción

#### 4.3.2 Lista representativa de componentes

A continuación, se ofrece una lista representativa para ayudar a identificar cada componente descrito en los diagramas de conexión del PLC (Ver Tabla 20).



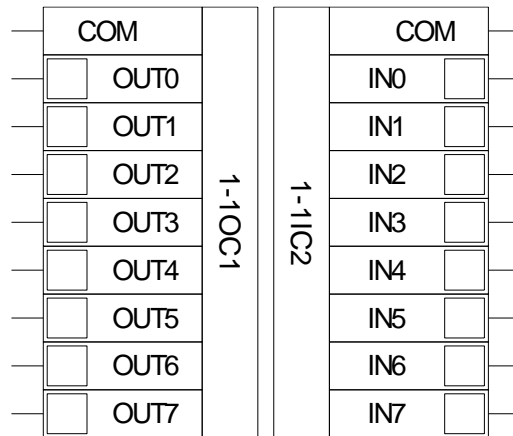
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

**Tabla 20.** Lista representativa de componentes.

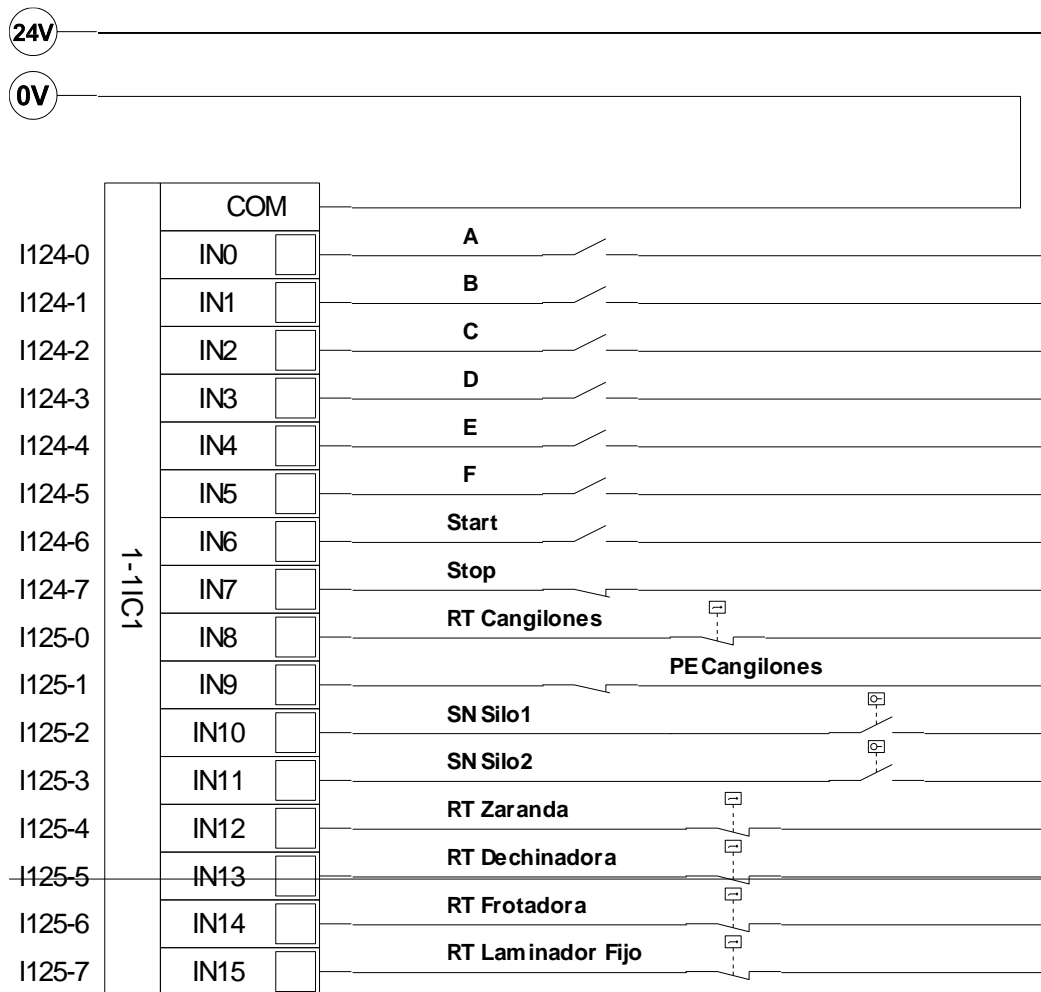
Representación	Comentario
<b>A</b>	Contacto para el Arroz
<b>B</b>	Contacto para la Avena
<b>C</b>	Contacto para la Cebada
<b>D</b>	Contacto para la Granolera
<b>E</b>	Contacto para el Maíz
<b>F</b>	Contacto para el Trigo
<b>RT</b>	Relé Térmico
<b>PE</b>	Pulsador de paro de Emergencia
<b>SN</b>	Sensor de Nivel
<b>FC</b>	Final de Carrera
<b>EV</b>	Electroválvula
<b>LED Tco</b>	LED Térmico

#### 4.3.3 Diagramas de conexión

Automation Studio ofrece por defecto dos tipos de tarjetas de PLC, una para entradas y otra para salidas (Ver Fig. 102). Se han tomado como base estas tarjetas para crear los diagramas de conexión del PLC. En las Figs. 103, 104 y 105 se ofrecen los diagramas de conexión para las entradas, por otra parte, de las Figs. 106 a la 110 se presentan los diagramas de conexión para las salidas.



**Fig. 102.** Tarjetas de E/S del PLC. Fuente: Autor.



**Fig. 103.** Esquema de conexión para entradas digitales. Fuente: Autor.

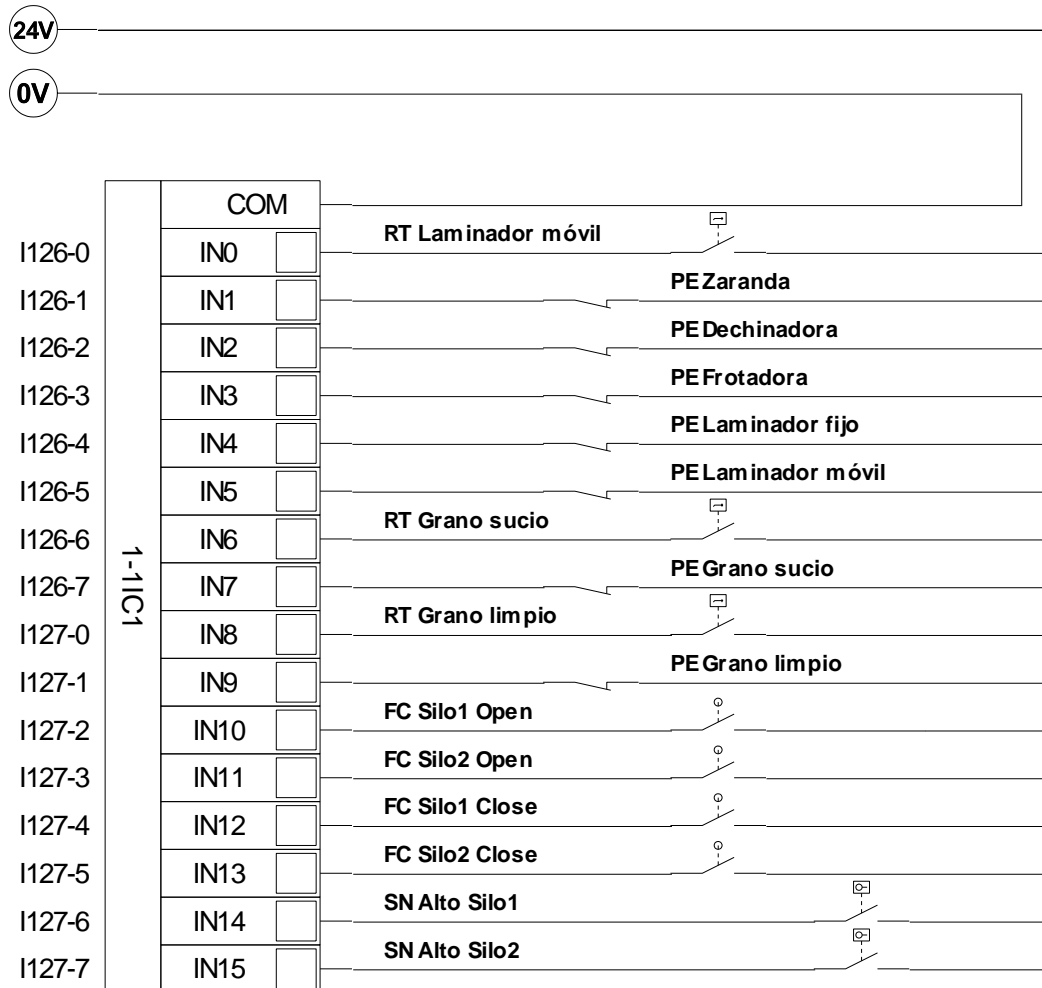
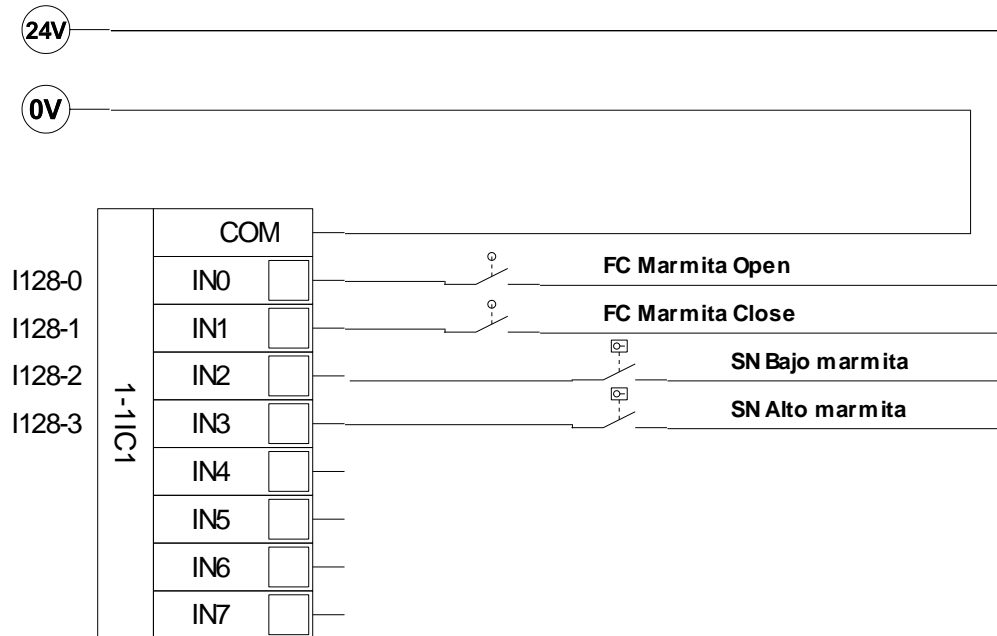
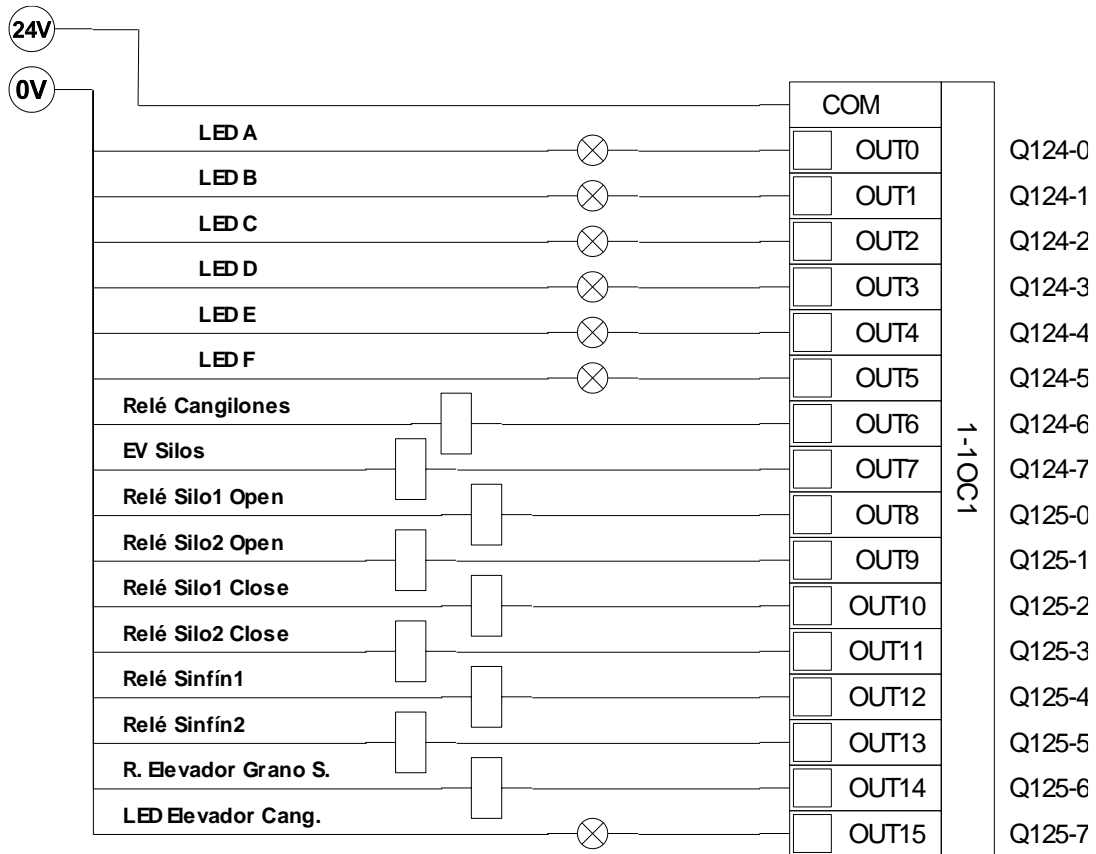


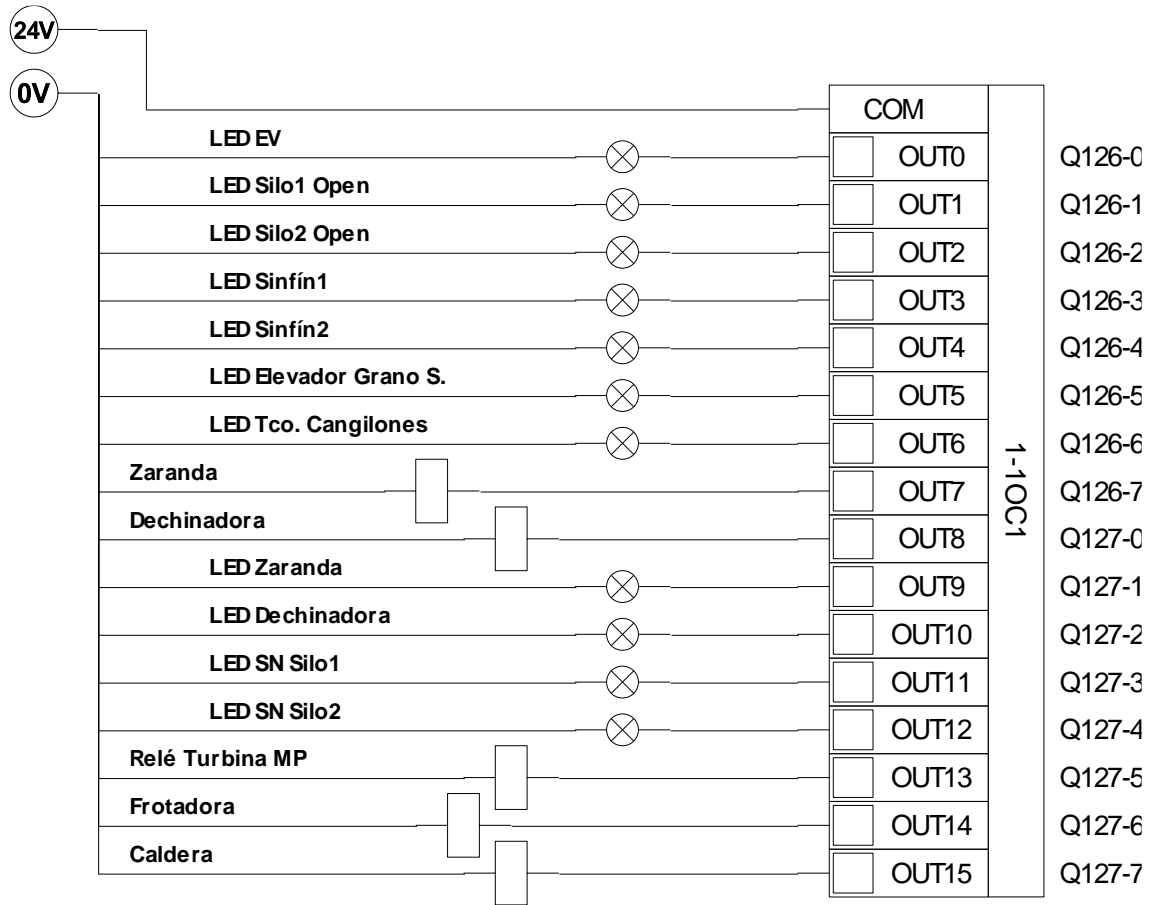
Fig. 104. Esquema de conexión para entradas digitales. Fuente: Autor.



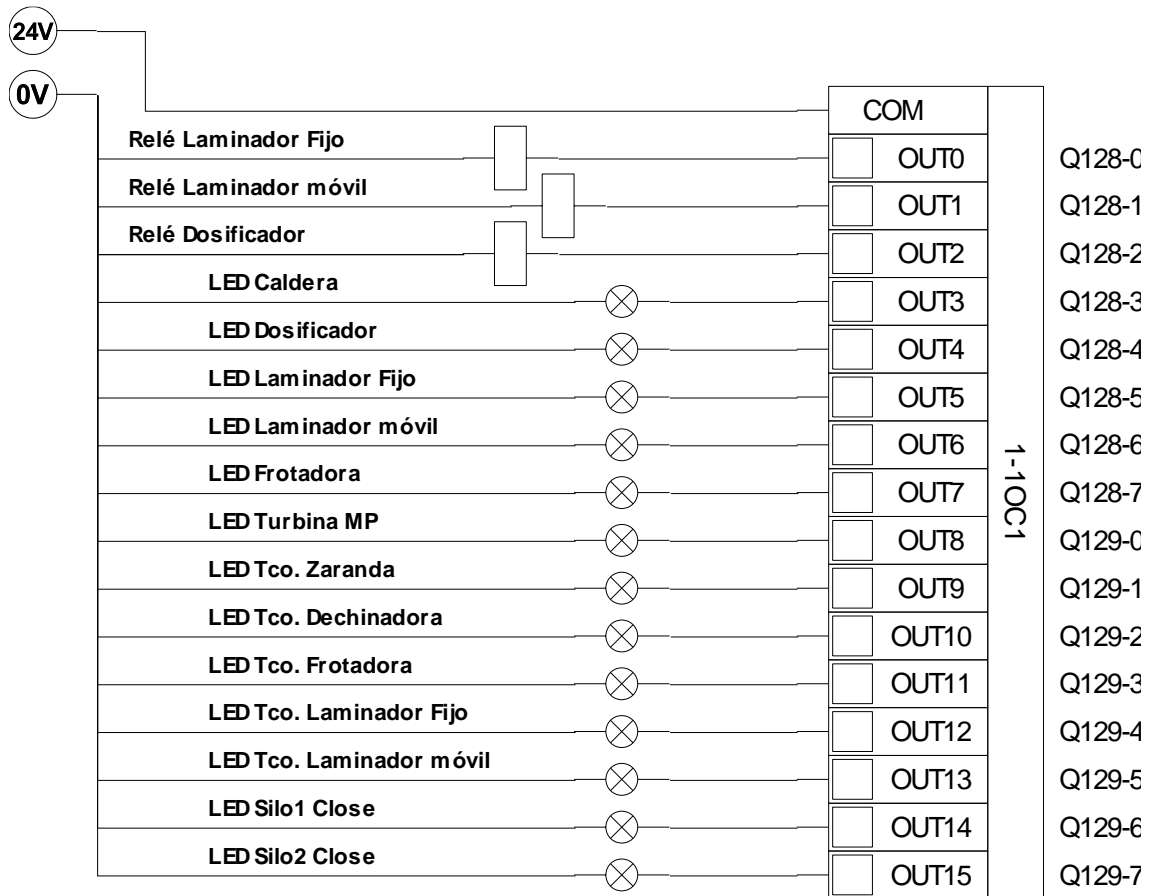
**Fig. 105.** Esquema de conexión para entradas digitales. Fuente: Autor.



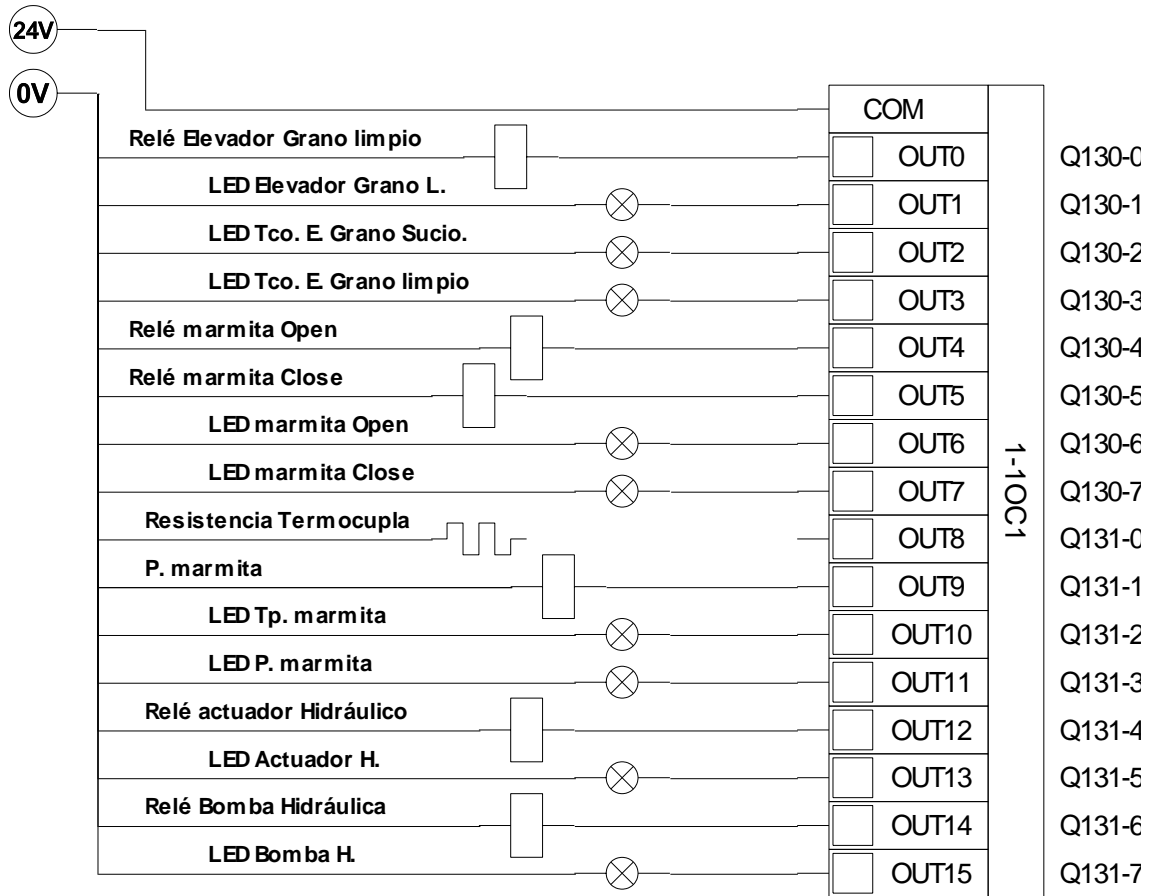
**Fig. 106.** Esquema de conexión para salidas digitales. Fuente: Autor.



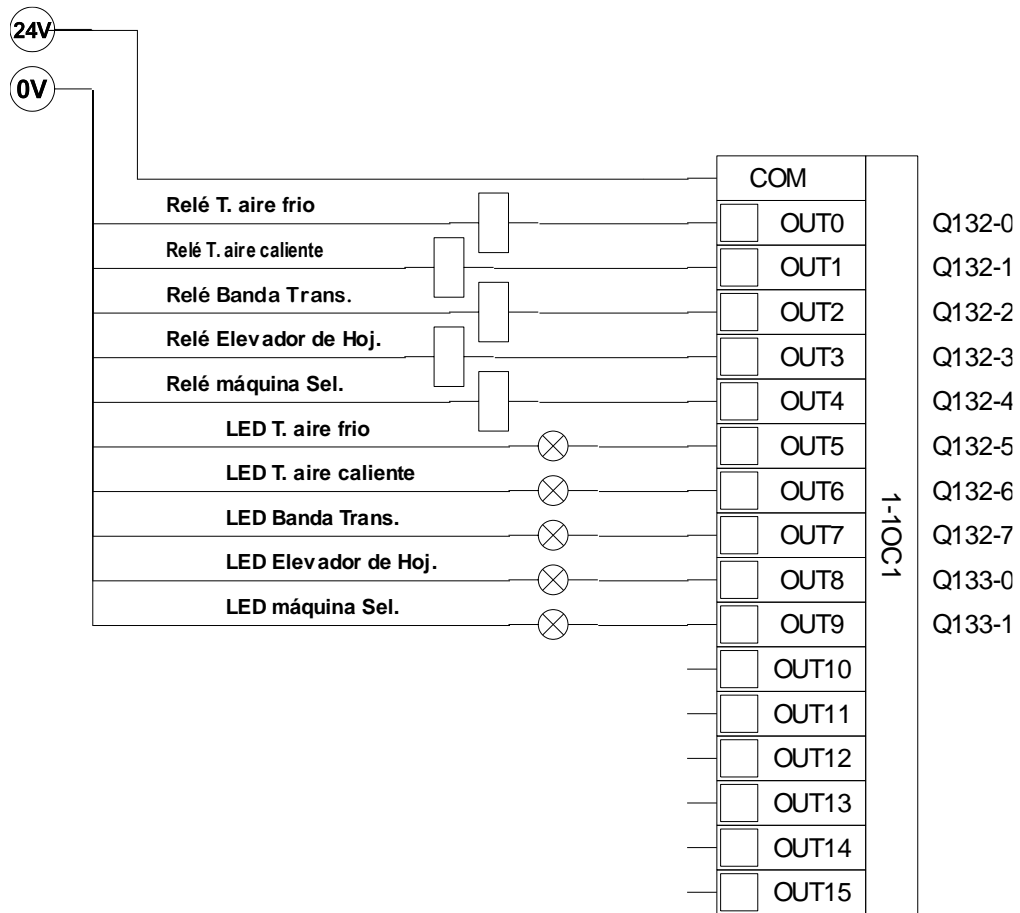
**Fig. 107.** Esquema de conexión para salidas digitales. Fuente: Autor.



**Fig. 108.** Esquema de conexión para salidas digitales. Fuente: Autor.



**Fig. 109.** Esquema de conexión para salidas digitales. Fuente: Autor.



**Fig. 110.** Esquema de conexión para salidas digitales. Fuente: Autor.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

- El diseño de un sistema automático para la torre de cocción de grano para la empresa Pronalce, representa una propuesta de mejoramiento de las operaciones técnicas y operativas que se efectúan actualmente en esta área de la industria. En efecto, el propósito de este busca reducir el riesgo eléctrico al que se enfrenta el operario encargado de la supervisión y control de cada una de las etapas del proceso de cocción. Por otra parte, el diseño implica un mejoramiento significativo del sistema al integrar tanto la parte de automatización como la verificación y control por medio de la interfaz gráfica HMI.
- El desarrollo del diseño requirió una comprensión verídica del proceso de cocción que se efectúa en cada jornada en la torre. Esto implica un grado de familiarización que solo sería posible con trabajo constante y directo con las máquinas. Sin embargo, gracias a las puntuales instrucciones del operario fue posible no solo entender el funcionamiento del proceso, sino también identificar las variables requeridas para el programa de automatización.
- Se evidencia un extenso trabajo en el código de programación del PLC, dada la magnitud del proceso y la cantidad de variables derivadas del mismo. Sin embargo, gran parte del algoritmo resulta relativamente sencillo puesto que un 98% de las señales son digitales. Esto facilita igualmente la comprensión de los diagramas de conexión del PLC, los cuales, si bien son extensos, su lectura es simple.
- Dado que el proyecto representa solo la parte del diseño, resulta fundamental comprobar el correcto funcionamiento del sistema mediante simulación. Esto, con

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

el fin de evitar cualquier incoherencia en la ejecución de cada etapa del proceso de cocción y validar su correcta operación.

- De implementarse el presente diseño, se espera trabajar en la programación y puesta en operación de variadores de velocidad MICROMASTER 420 de Siemens para cada uno de los elevadores y máquinas de la torre. Por otra parte, sería más útil utilizar módulos especializados para el pesaje del grano en los silos, tal es el caso del SIWAREX U de SIEMENS, con el cual la calibración y puesta en funcionamiento de las celdas de carga resulta más sencillo y eficiente.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

## REFERENCIAS

---

- Aguilera, P. (2002). *Programación de PLC's*. San Nicolás de los Garza: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Asociación Española de Fabricantes de Cereales . (2011). *Asociación cereales*. Obtenido de <http://www.asociacioncereales.es>
- Benito, J., Peñalvo, F., & Therón, R. (Mayo de 2019). Analyzing the software architectures supporting HCI/HMI processes through a systematic review of the literature. Salamanca, Salamanca, España.
- Benito, J., Peñalvo, F., & Therón, R. (Mayo de 2019). Analyzing the software architectures supporting HCI/HMI processes through a systematic review of the literature. Salamanca, Salamanca, España.
- Casaval S.A. (2018). *Casaval*. Obtenido de Válvulas Guillotina : <https://www.casaval.net>
- Cobo, R. (2008). *HMI*. El ABC de la automatización .
- Cotransa CT Group. (2019). *Cotransa* . Obtenido de [https://www.cotransa.net/catalogo/cb15\\_cotransa\\_catalogo\\_reductores\\_y\\_motor\\_reductores\\_bas.pdf](https://www.cotransa.net/catalogo/cb15_cotransa_catalogo_reductores_y_motor_reductores_bas.pdf)
- Delgado, Y., Jiménez, R., & Lapidó, M. (2017). *Eficiencia energética en el uso del vapor para la cocción dealimentos*. Santiago de Cali: El Hombre y la Máquina.
- Double E Company. (s.f.). *Double E Company. Excellence in Engineering*. Obtenido de <https://www.ee-co.com>
- Espinoza, C., & Quispe, M. (2013). *Mnaual de Tecnología de Cereales y Leguminosas*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Garcete, Á. (26 de Febrero de 2014). *color abc*. Obtenido de [www.abc.com](http://www.abc.com)
- García, M. (2005). *Tecnología de Cereales*. Granada: Universidad de Granada.
- Gómez, C. (2007). *Pan y Cereales* . Madrid: Dirección General de Salud Pública y Alimentación .

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

- Gomora, J., & Fragoso, F. (2015). *Cálculo y diseño mecánico de una celda de carga empleada en la medición de empuje para una turibna de gas*. Méxido D.F : Instituto Politécnico Nacional.
- Guerron, J. (2018). *Mejoramiento de la Productividad de la Línea de Producción de Snack de Quinoa de una Empresa Procesadora de Cereales*. Florencia : udla.
- Huacallo, L. (2019). *Conceptos del Proceso de Hojuelas*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Industria Sigrama. (s.f.). *Automatización de Planta Procesadora de Alimentos para Ganado*. Obtenido de <http://www.sigrama.com.mx>
- Instrumentos Wika Colombia . (2019). *Wika*. Obtenido de <https://www.wika.co>
- Interempresas. (19 de Abril de 2016). *Interempresas net*. Obtenido de [www.interempresas.net](http://www.interempresas.net)
- Jiménez, G. (2013). *Cereales*.
- Lifelong Learning. (2011). *Industrial Systems Engineering*. Performance-centered Adaptive Curriculum for Employment Needs.
- Masvoltaje. (s.f.). *Masvoltaje Tu tienda de electricidad*. Obtenido de <https://masvoltaje.com>
- Méndez, H., Morales, F., & Vásquez, M. (2011). *Gestión y Monitoreo de máquinas envasadoras de leche* . México D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Mettler Toledo . (25 de Enero de 2018). *Mettler Toledo*. Obtenido de <https://www.mt.com>
- Moreno, M. (s.f.). *Automatización Micromecánica s.a.i.c*. Obtenido de <http://www.micro.com.ar>
- My Electronic. (s.f.). *Controlador Lógico Programable PLC*. Obtenido de <http://myelectronic.mipropia.com>
- Parzanese, M. (s.f.). *Procesamiento de Legumbres: Etaps Poscosecha e Industrialización*. Alimentos Argentinos-Una elección Natural.
- PLC, C. (2019). *PLC City*. Obtenido de <https://www.plc-city.com>
- Prodar & FAO. (s.f.). *Procesados de cereales* .
- Rockwell Automation. (2019). *Allen-Bradley*. Obtenido de <https://ab.rockwellautomation.com>
- Roque, J. (2018). *Celdas de Carga*. Guadalajara: Logicbus SA de CV.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

- Saideep Technology that lays the foundation of your dreams. (2019). *Saideep*. Obtenido de <http://saideeponline.com/wp-content/uploads/2019/03/Vibratory-Motor-Saideep-New-Version-2019.pdf>
- Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). Metodología de la Investigación . En R. Sampieri, C. Fernández, & M. Baptista, *Metodología de la Investigación* . México: McGraw Hill Education.
- Sensovant Smart Sensing. (2014). *Sensovant*. Obtenido de <http://sensovant.com/productos/pdf/caudal-flujo-liquidos/nivel/solidos/SVT-LTI-datasheet-13-V1.pdf>
- SIEMENS. (Octubre de 2018). *Industry Support Siemens*. Obtenido de <https://cache.industry.siemens.com>
- Siemens. (2019.). *Siemens España* . Obtenido de <https://w5.siemens.com>
- SMC Corporation. (2019). *SMC*. Obtenido de [http://content2.smcetech.com/pdf/PVQ\\_ES.pdf](http://content2.smcetech.com/pdf/PVQ_ES.pdf)
- Tecno Merced . (s.f.). *Silos para Granos: Acopio y Automatización de Producción*. Obtenido de <http://tecnoimerced.com.ar>
- Universidad Nacional de Tucumán. (s.f.). *facet*. Obtenido de <https://www.facet.unt.edu.ar/>
- UWT GmbH. (2019). *UWT Level Control*. Obtenido de [https://www.uwt.de/en/products/point-level-measurement/mononivor-vibration-rod/mn-4000-series.html#technicaldata?utm\\_source=direct-industry&utm\\_medium=link-homepage&utm\\_campaign=product-image-link&utm\\_content=mononivo-mn4](https://www.uwt.de/en/products/point-level-measurement/mononivor-vibration-rod/mn-4000-series.html#technicaldata?utm_source=direct-industry&utm_medium=link-homepage&utm_campaign=product-image-link&utm_content=mononivo-mn4)
- Vargas, C. (2007). Transferencia de Tecnología para innovación de productos . *Tecnociencia Universitaria Bolivia* .
- Wam Group. (2018). *Wam*. Obtenido de <https://wamgroup.com.ar>

## APÉNDICE

En este apéndice se anexan algunas líneas de programación que complementan las instrucciones de varias etapas del programa.

### Apéndice A

Las siguientes líneas de programación corresponden a los segmentos 2, 3, 4, 5 y 6 relacionados a la selección del tipo de grano a procesar como complemento del segmento 1 (Explicado en la sección 4). En este sentido, las Figs. 111, 112, 113, 114 y 115 corresponden a las líneas de programación para la Avena, Cebada, Granolera, Maíz y Trigo respectivamente.

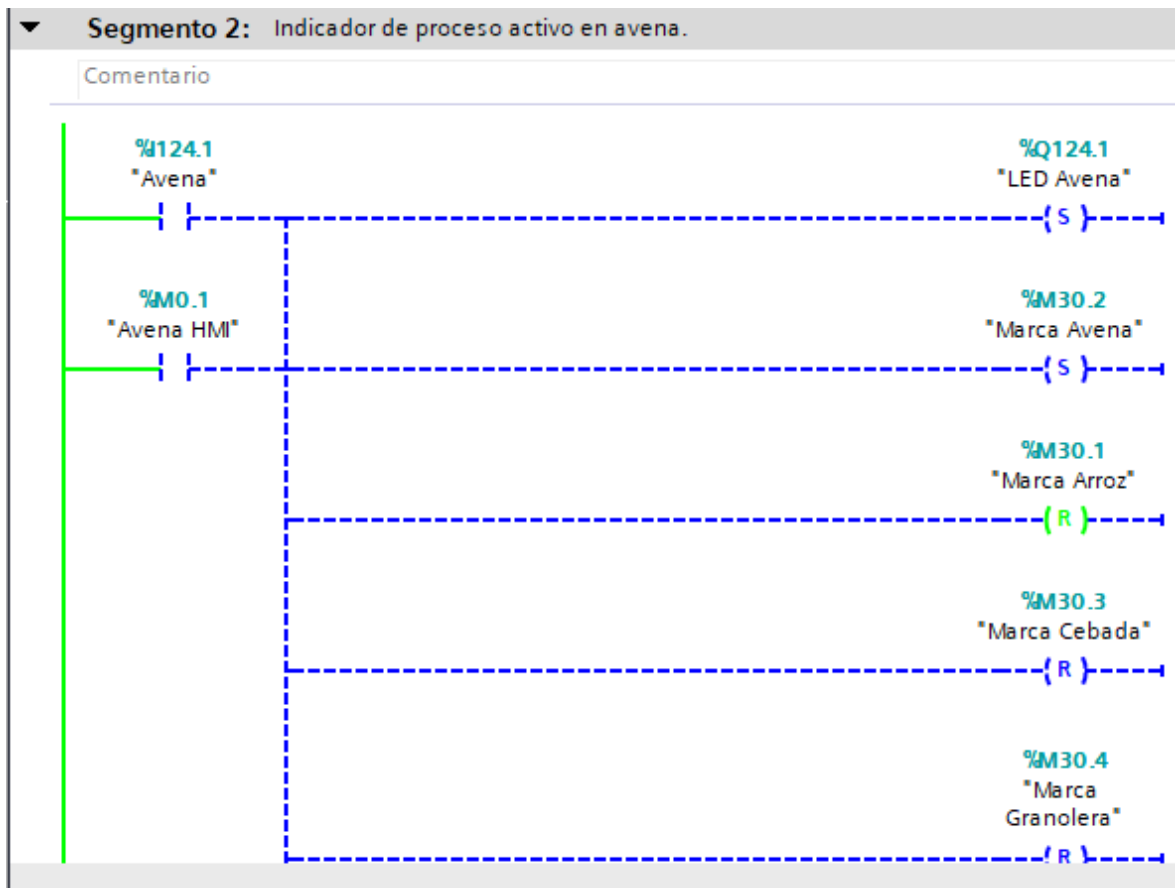


Fig. 111. Línea de programación para la Avena. Fuente: Autor.

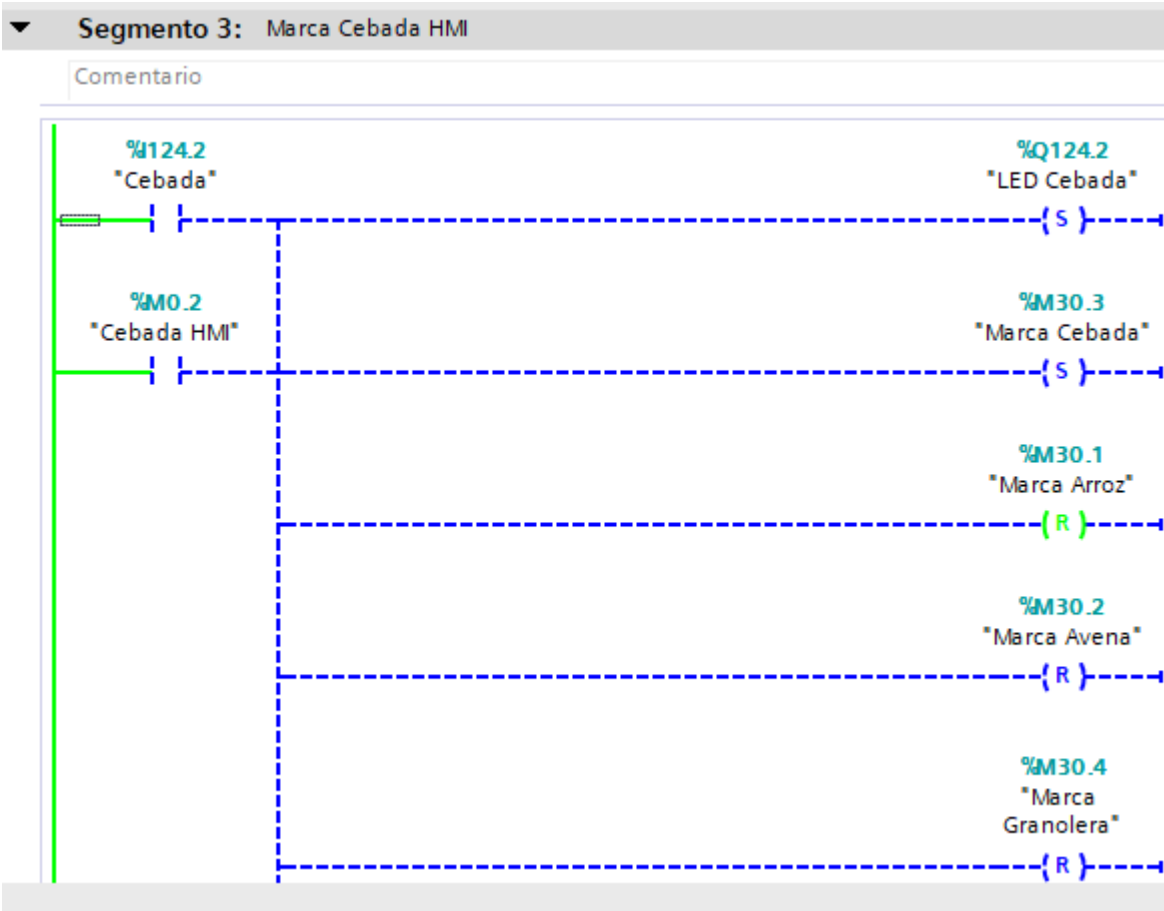
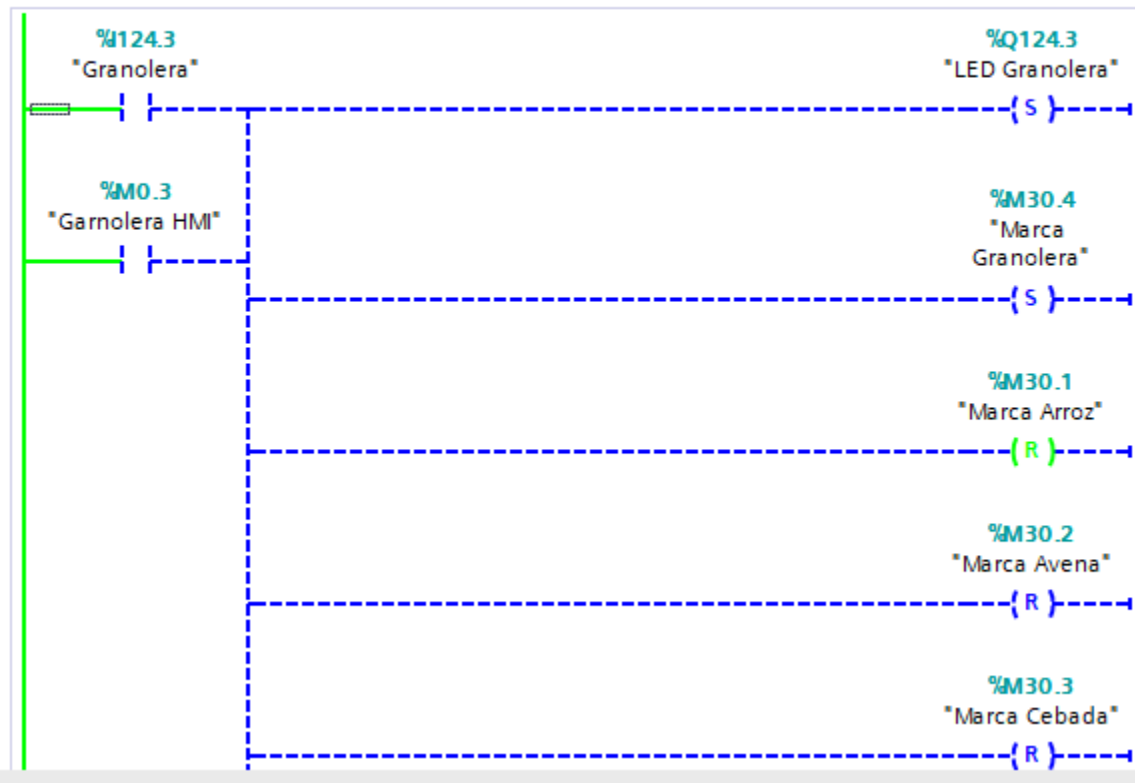


Fig. 112. Línea de programación para la Cebada. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

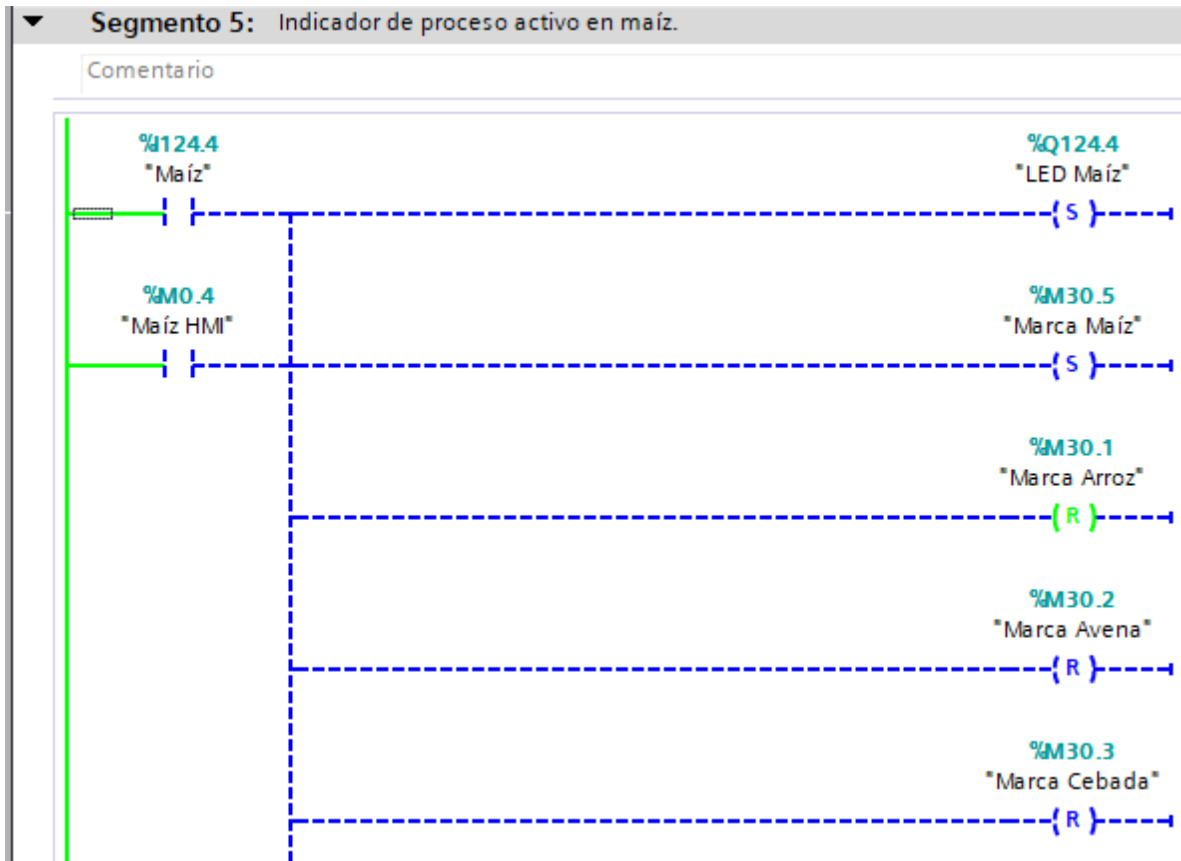
▼ **Segmento 4:** Indicador de proceso activo en granolera.

Comentario



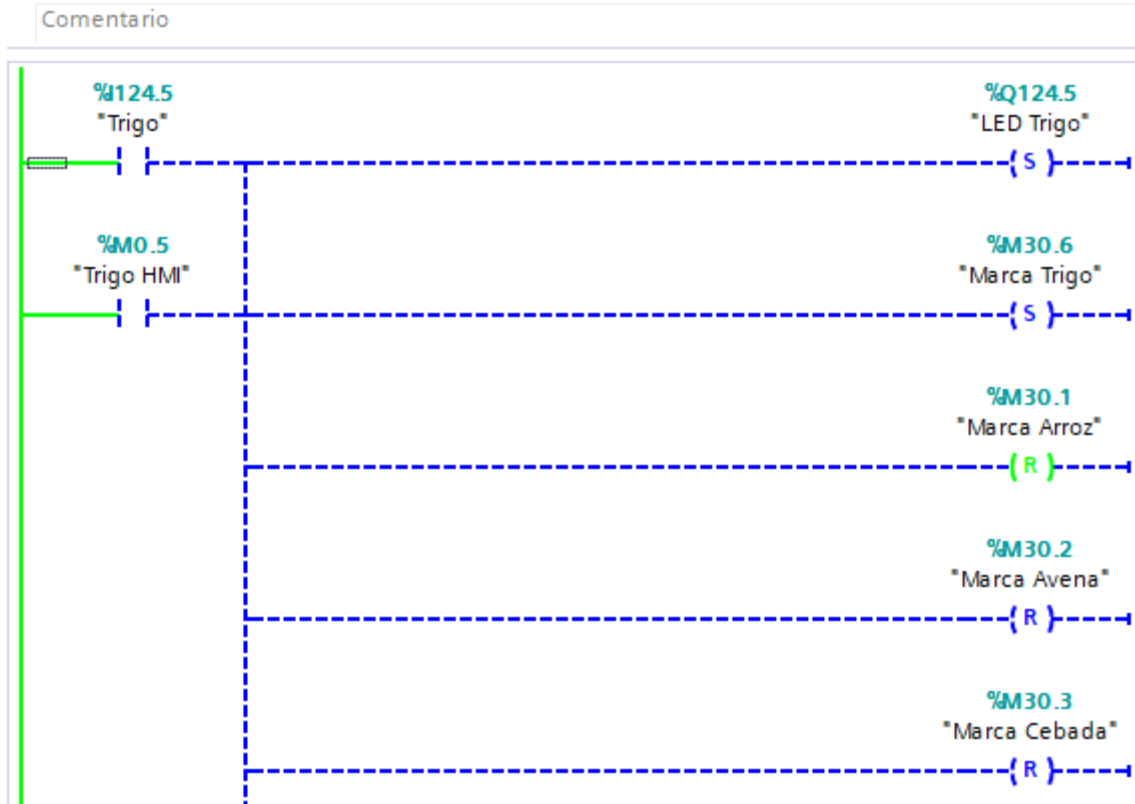
**Fig. 113.** Línea de programación para la Granolera. Fuente: Autor.





**Fig. 114.** Línea de programación para el Maíz. Fuente: Autor.

▼ **Segmento 6:** Indicador de proceso activo en trigo.

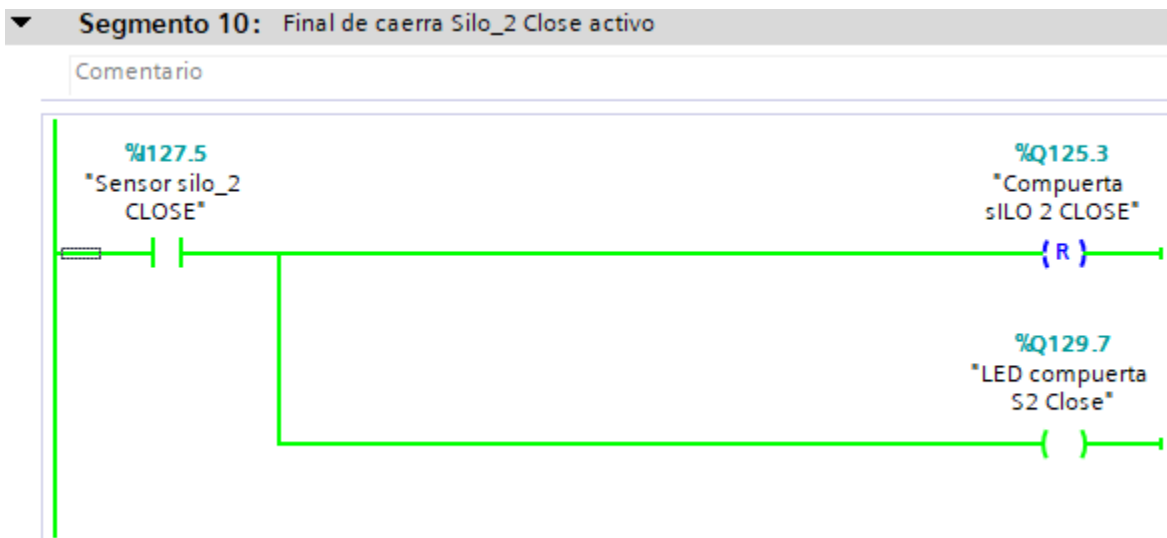


**Fig. 115.** Línea de programación para el Trigo. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

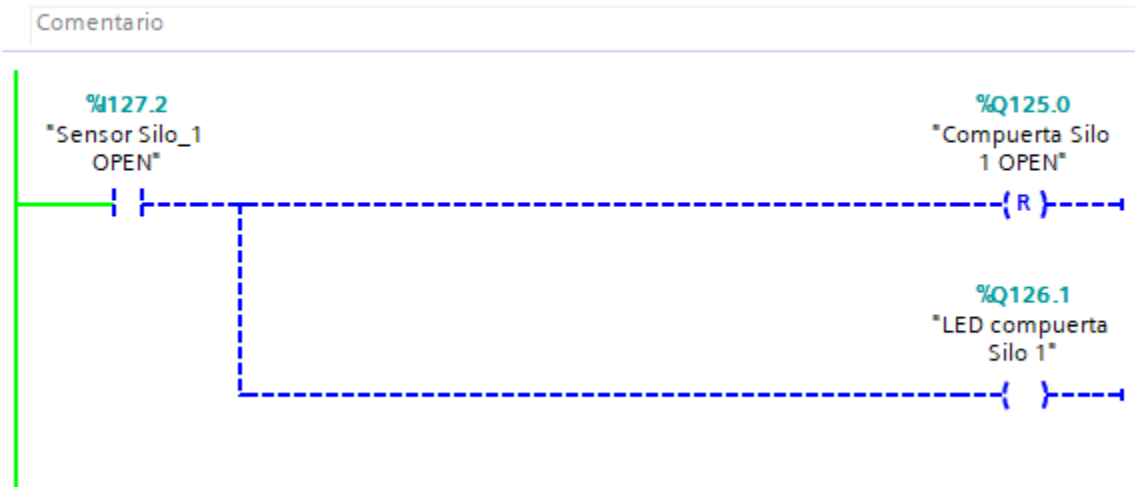
## Apéndice B

Líneas de programa para los finales de carrera en los Silos y en la Marmita. Las Figs. 116, 117 y 118 corresponden a los sensores de cierre y apertura de compuerta en los Silos 1 y 2. Mientras en las Figs. 119 y 120 se muestran las líneas de programa para los sensores de cierre y apertura en la Marmita.



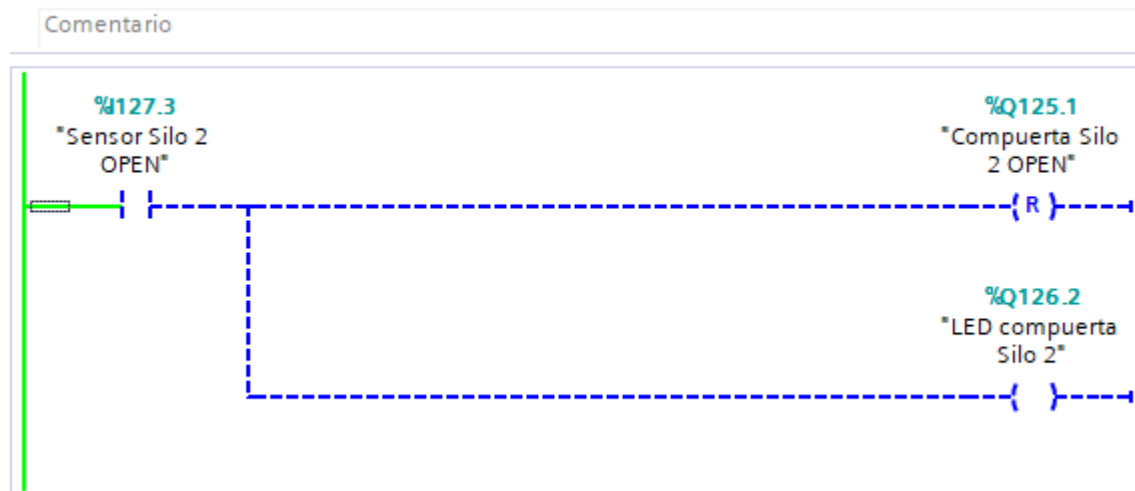
**Fig. 116.** Línea de programa para final de carrera Silo\_2 CLOSE. Fuente: Autor.

▼ **Segmento 11:** Final de carrera para Silo\_1 open

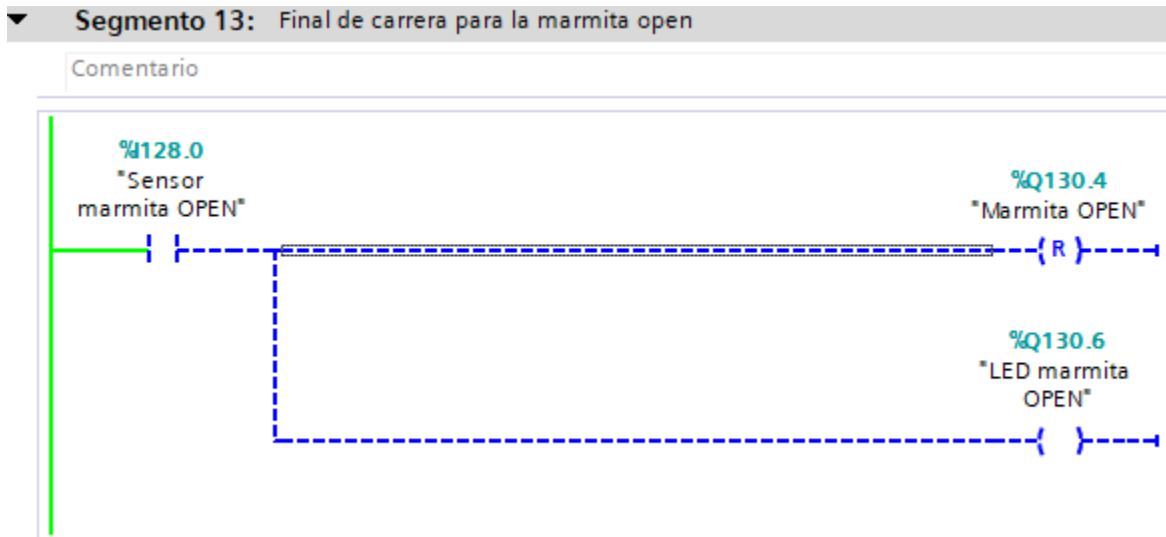


**Fig. 117.** Línea de programa para final de carrera Silo\_1 OPEN. Fuente: Autor.

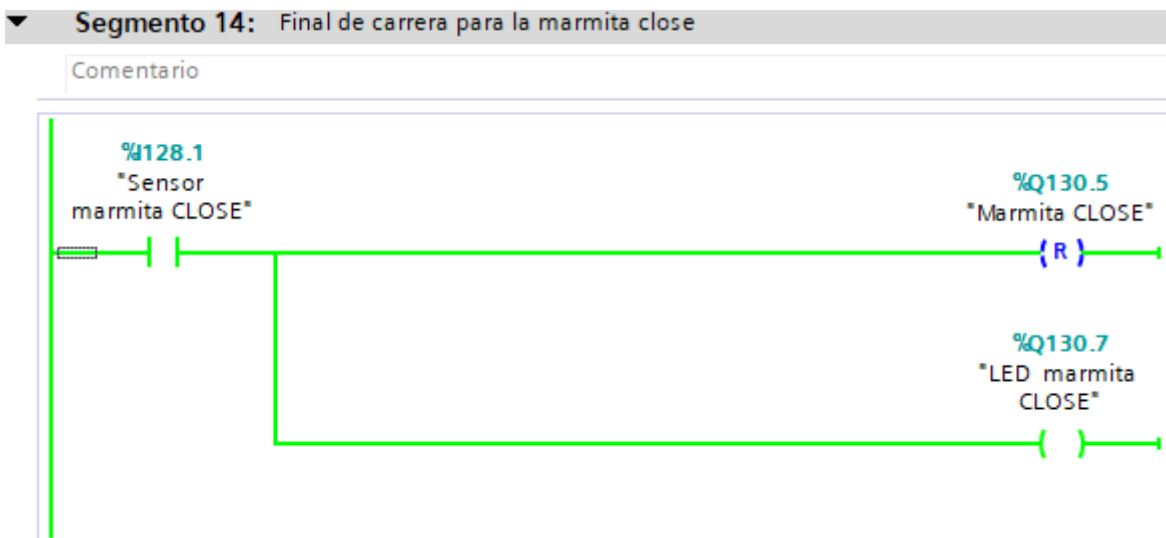
▼ **Segmento 12:** Final de carrera para Silo\_2 open



**Fig. 118.** Línea de programa para final de carrera Silo\_2 OPEN. Fuente: Autor.



**Fig. 119.** Línea de programa para final de carrera Marmita OPEN. Fuente: Autor.

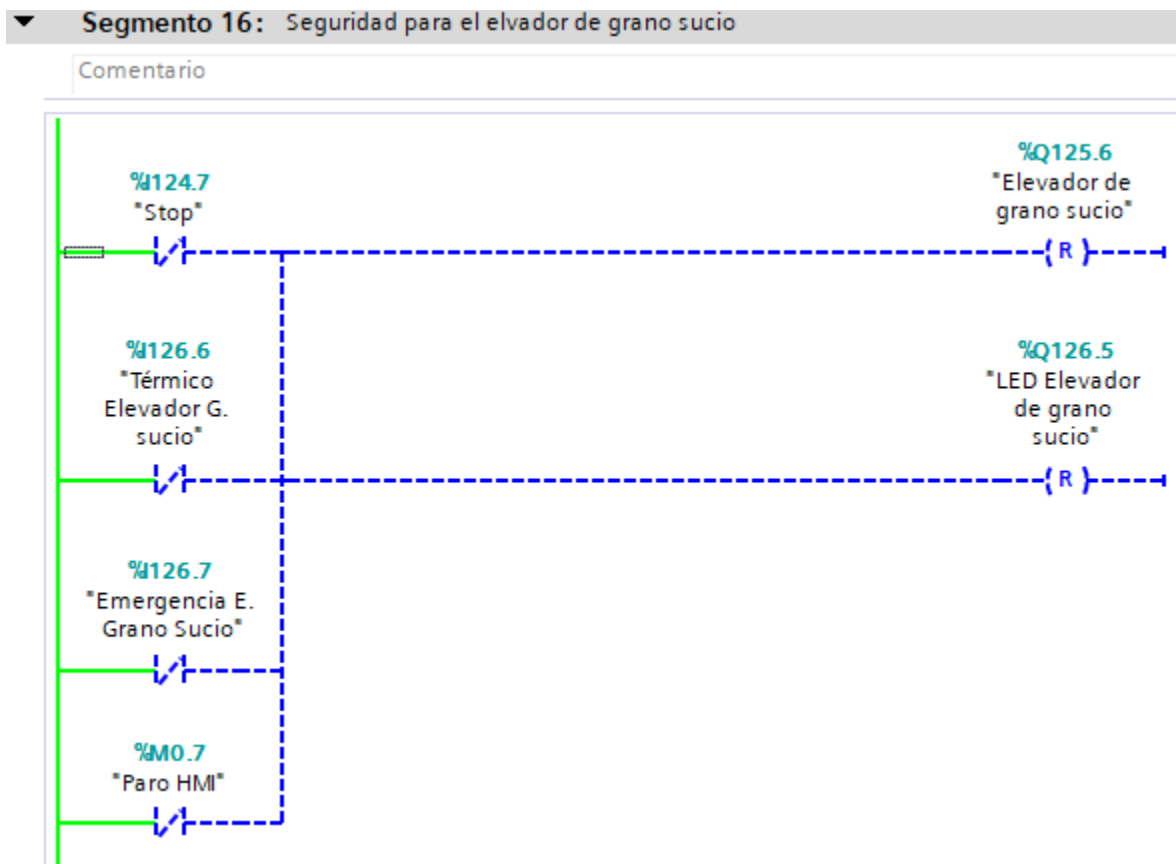


**Fig. 120.** Línea de programa para final de carrera Marmita CLOSE. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

### Apéndice C

Las siguientes líneas de programa corresponden a las condiciones de seguridad para los motorreductores y motores presentes en el sistema. Los segmentos 16 y 17 corresponden a las condiciones de seguridad para los elevadores de grano sucio y limpio (Ver Figs. 121 y 122). Los segmentos 18, 19 y 20 a las máquinas depuradoras (Ver Figs. 123, 124 y 125). Los segmentos 21 y 22 a los motores de la máquina laminadora (Ver Figs. 126 y 127). Y el segmento 23 a la turbina de material particulado (Ver Fig. 128).

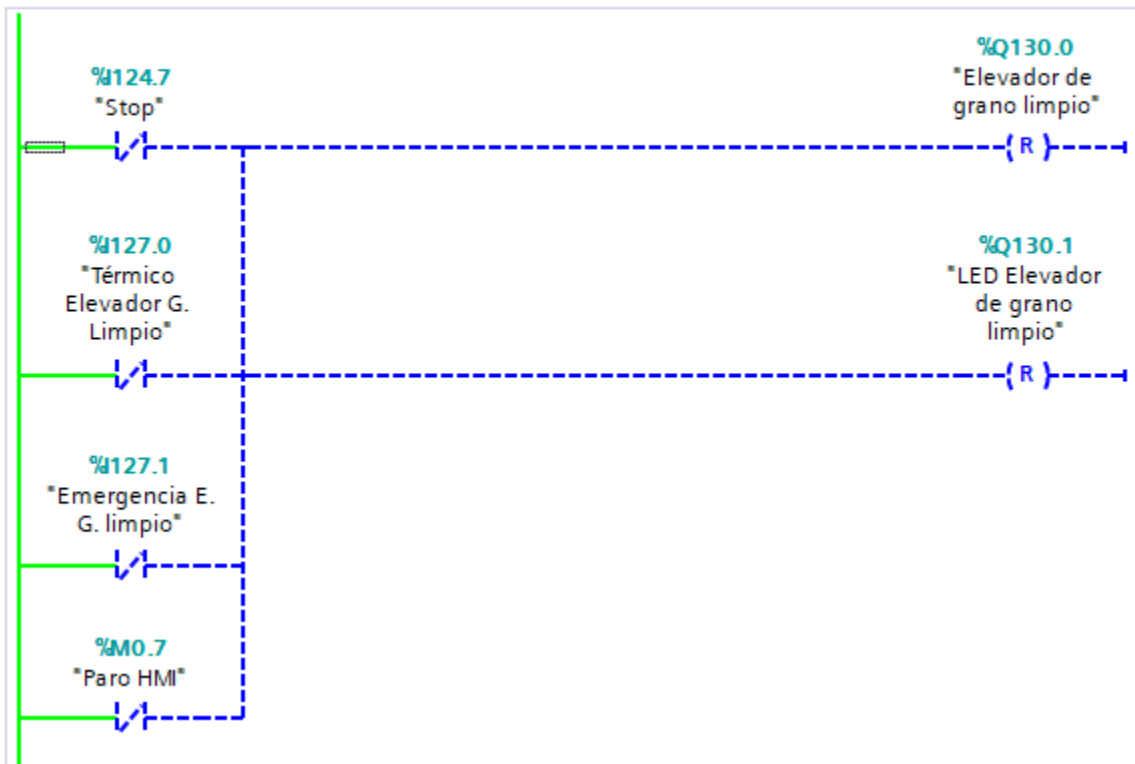


**Fig. 121.** Seguridad para el elevador de grano sucio. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

▼ **Segmento 17:** Seguridad para el elevador de grano limpio

Comentario

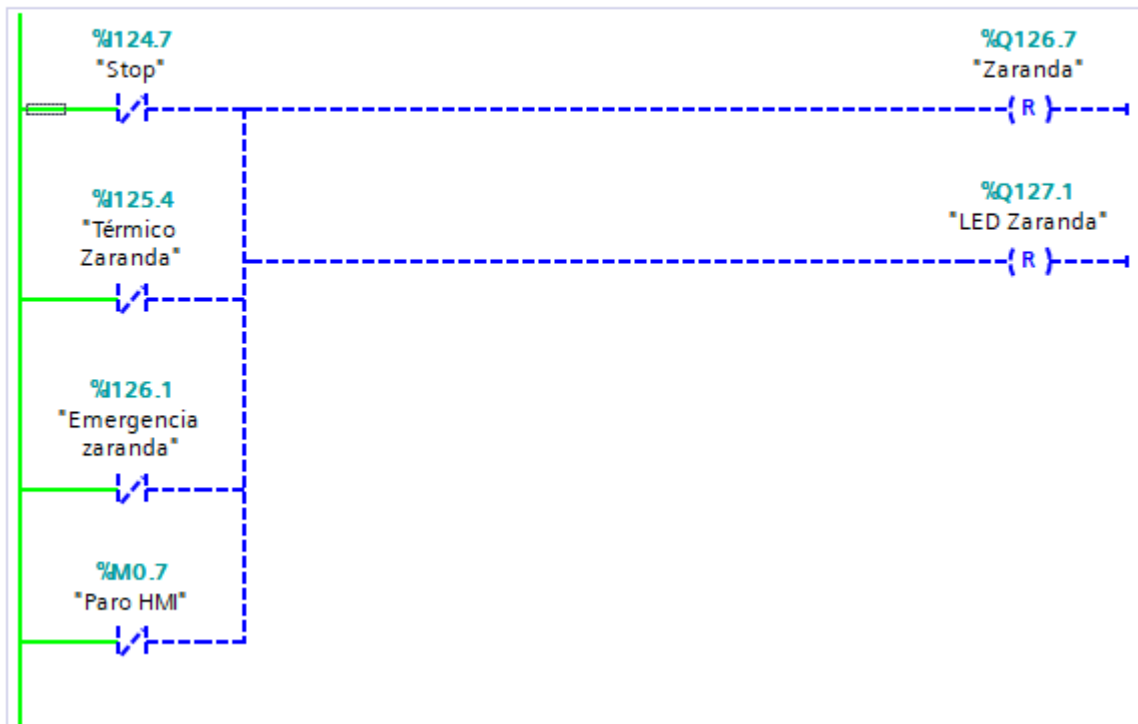


**Fig. 122.** Seguridad para el elevador de grano limpio. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

▼ **Segmento 18:** Seguridad para la máquina zaranda

Comentario

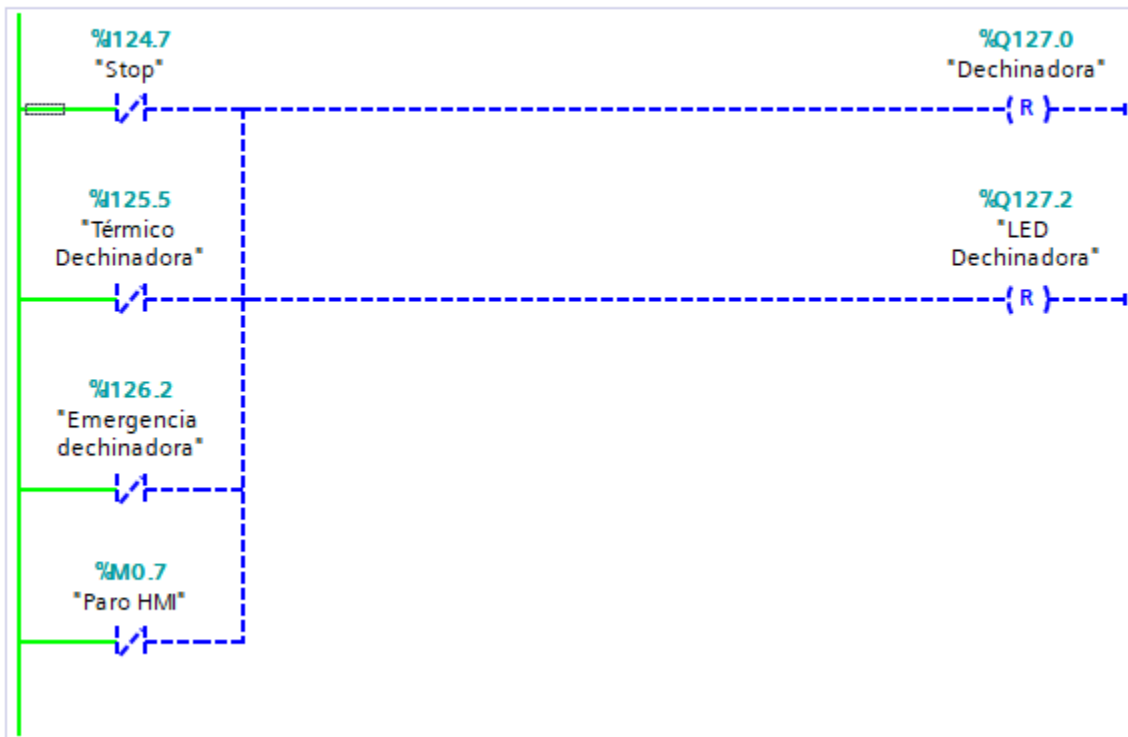


**Fig. 123.** Seguridad para la máquina zaranda. Fuente: Autor.



▼ **Segmento 19:** Seguridad para la máquina dechinadora

Comentario



**Fig. 124.** Seguridad para la máquina dechinadora. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

▼ Segmento 20: Seguridad para la máquina frotadora

Comentario

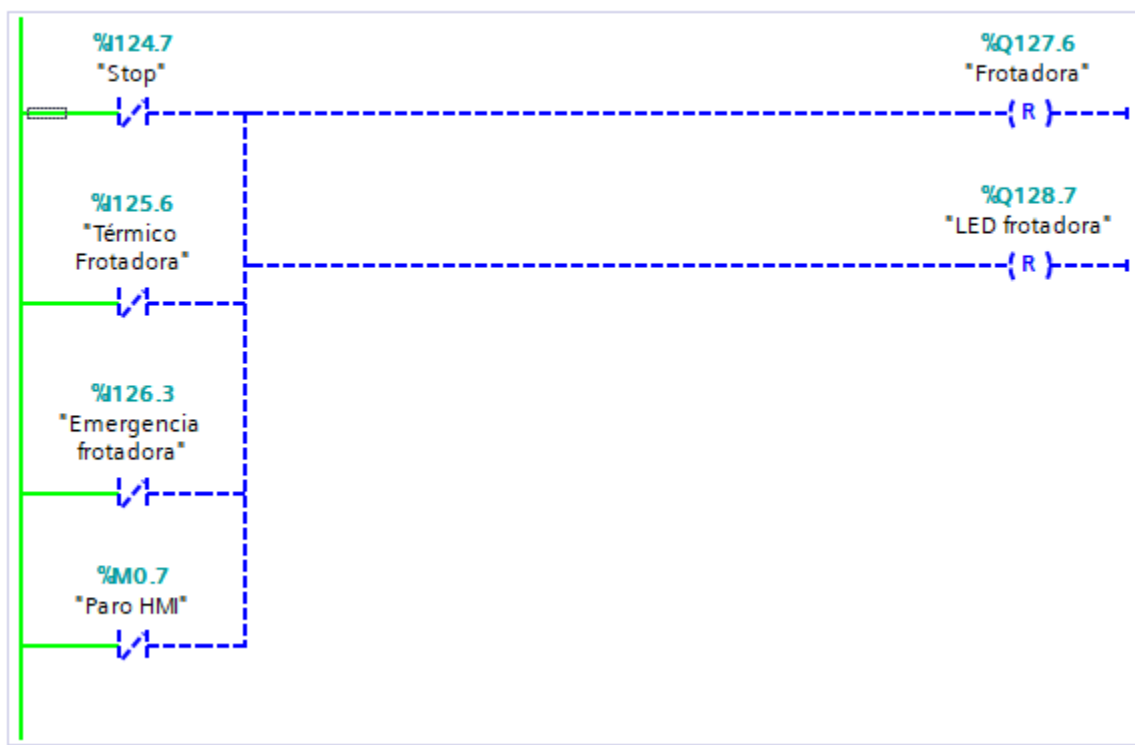
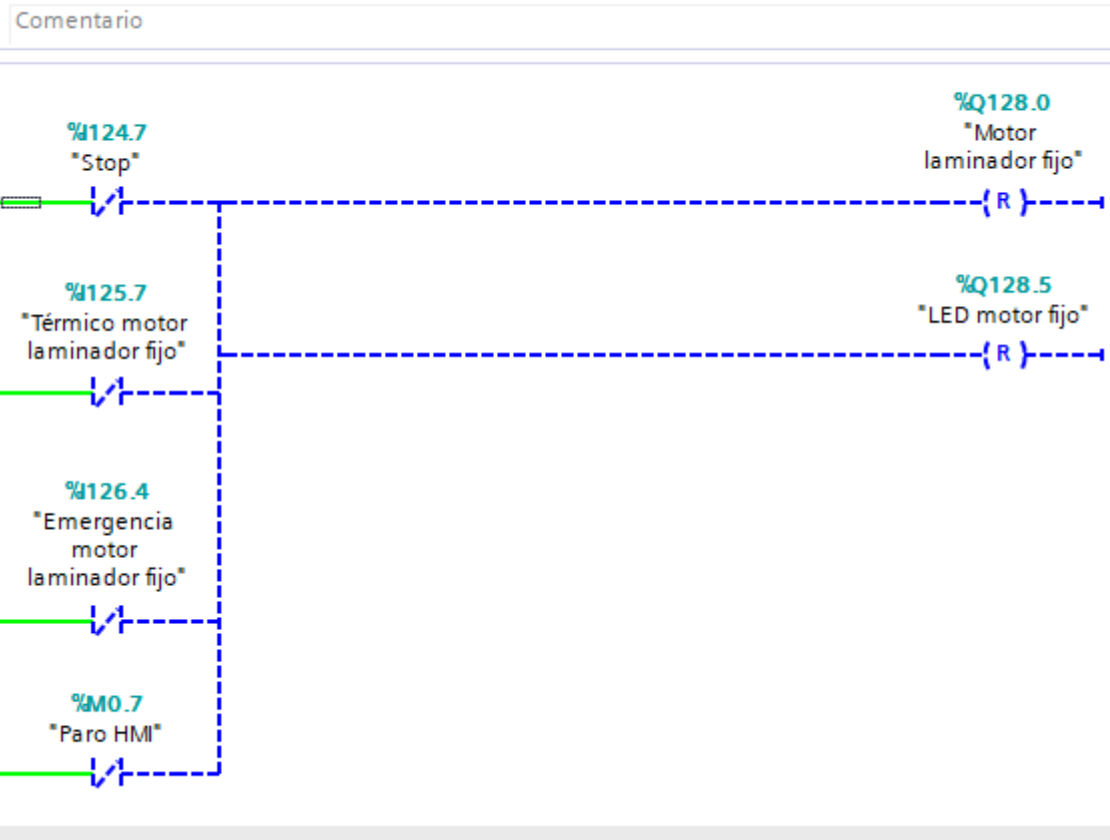


Fig. 125. Seguridad para la máquina Frotadora. Fuente: Autor.

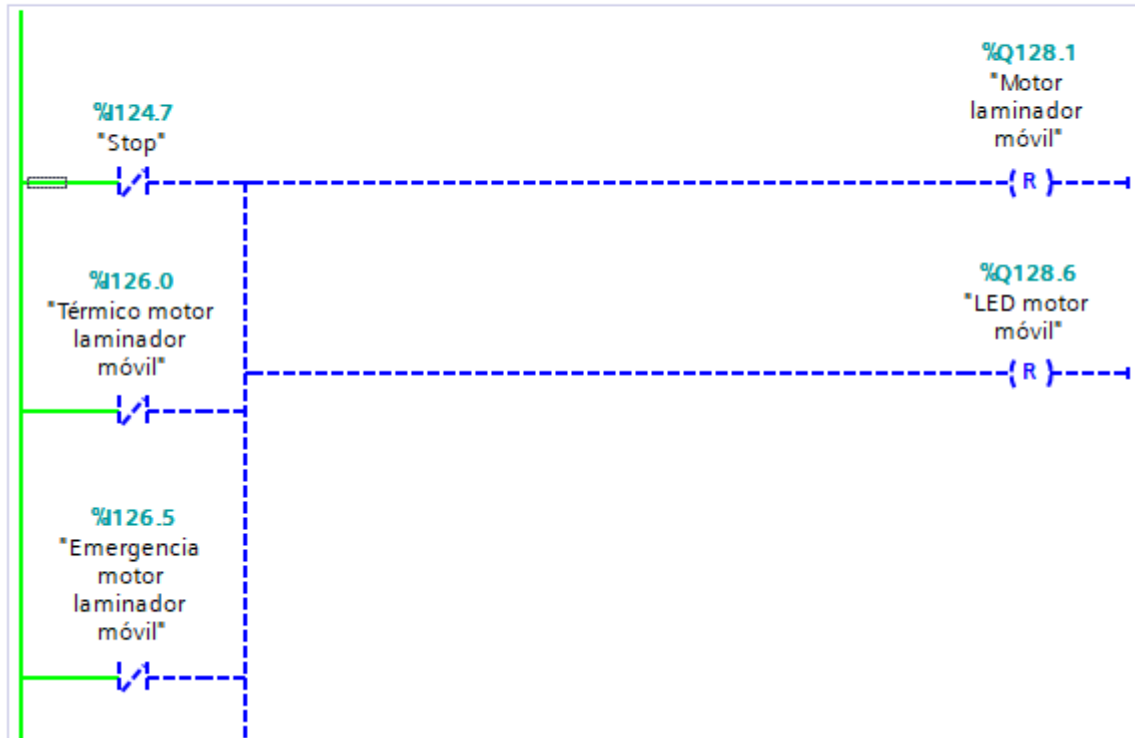
▼ **Segmento 21:** Seguridad para el motor laminador fijo



**Fig. 126.** Seguridad para el motor laminador fijo. Fuente: Autor.

▼ **Segmento 22:** Seguridad para el motor laminador móvil

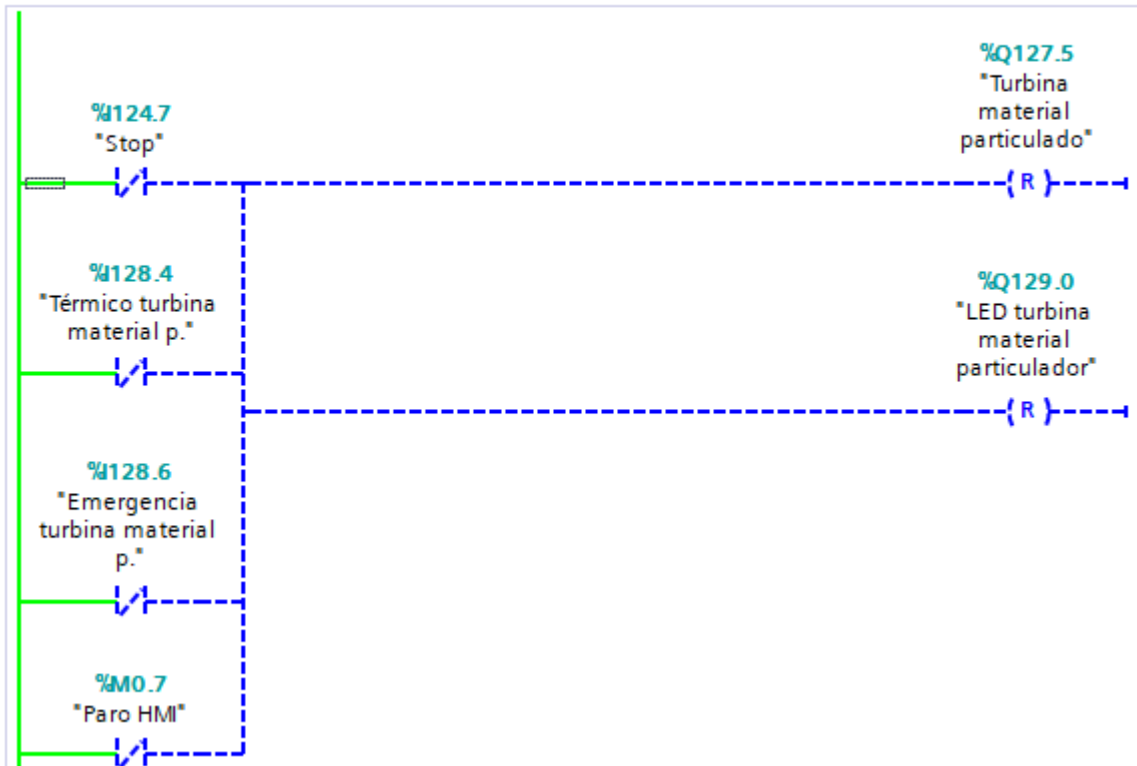
Comentario



**Fig. 127.** Seguridad para el motor laminador móvil. Fuente: Autor.

▼ **Segmento 23:** Seguridad para la turbina de material particulado

Comentario

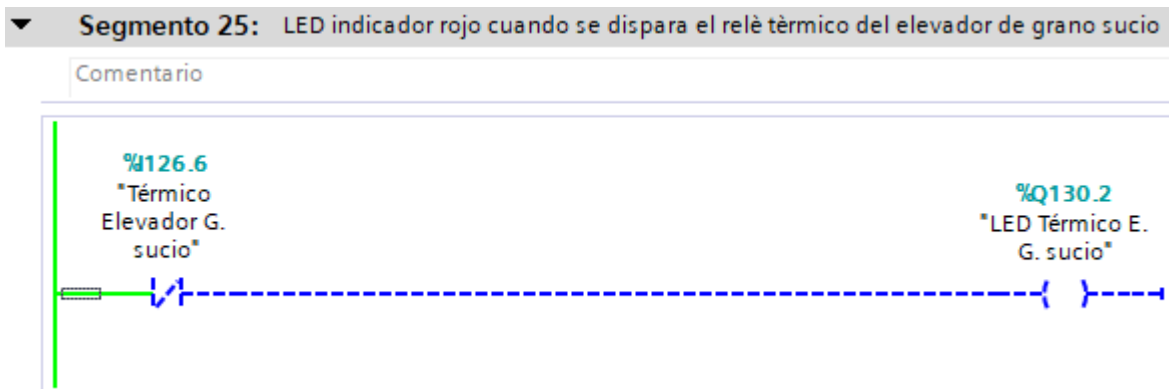


**Fig. 128.** Seguridad para la turbina de material particulado. Fuente: Autor.

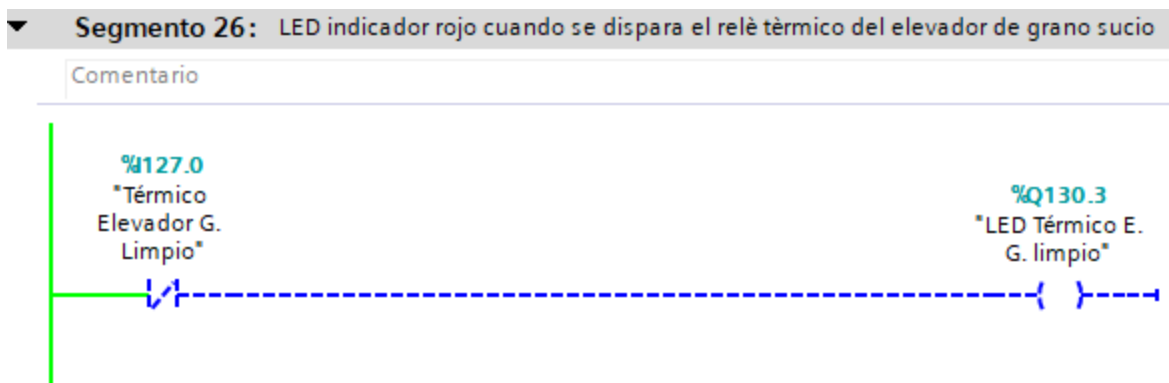
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

## Apéndice D

Toda vez que se dispare algún relé térmico, se activa una señal indicadora referenciando el nombre de la máquina correspondiente. De los segmentos 25 al 32 se presentan las líneas de programa para cada uno de los casos (Ver las Figs. 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135 y 136).



**Fig. 129.** Activación de la alarma para el elevador de grano sucio. Fuente: Autor.



**Fig. 130.** Activación de la alarma para el elevador de grano limpio. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

▼ **Segmento 27:** LED indicador rojo cuando se dispara el relé térmico de la máquina zaranda

Comentario



**Fig. 131.** Activación de la alarma para la máquina zaranda. Fuente: Autor.

▼ **Segmento 28:** LED indicador rojo cuando se dispara el relé térmico de la máquina dechinadora

Comentario



**Fig. 132.** Activación de la alarma para la máquina dechinadora. Fuente: Autor.

▼ **Segmento 29:** LED indicador rojo cuando se dispara el relé térmico del motorreductor de la máquina

Comentario



**Fig. 133.** Activación de la alarma para la máquina frotadora. Fuente: Autor.

▼ **Segmento 30:** LED indicador rojo cuando se dispara el relé térmico del motor laminador fijo

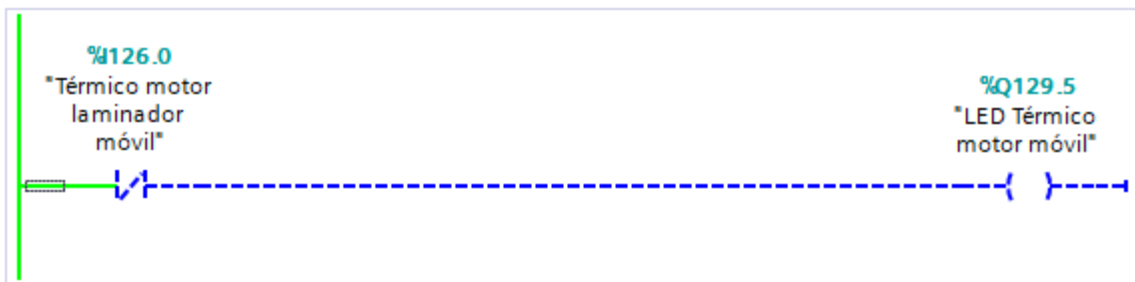
Comentario



**Fig. 134.** Activación de la alarma para el motor laminador fijo. Fuente: Autor.

▼ **Segmento 31:** LED indicador rojo cuando se dispara el relé térmico del motorreductor del motor l

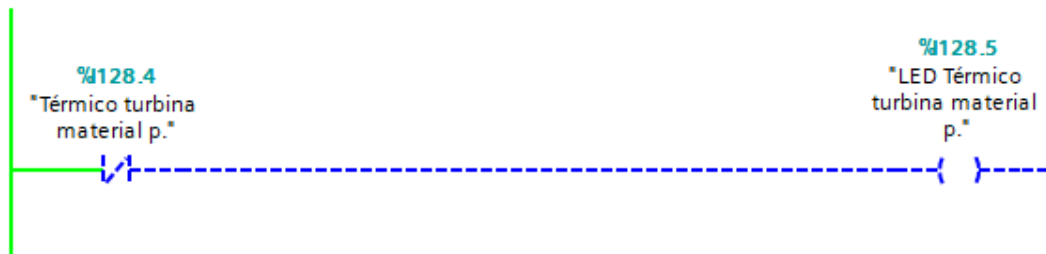
Comentario



**Fig. 135.** Activación de la alarma para el motor laminador móvil. Fuente: Autor.

▼ **Segmento 32:** LED indicador rojo cuando se dispara el relé térmico de la turbina de material particulado

Comentario

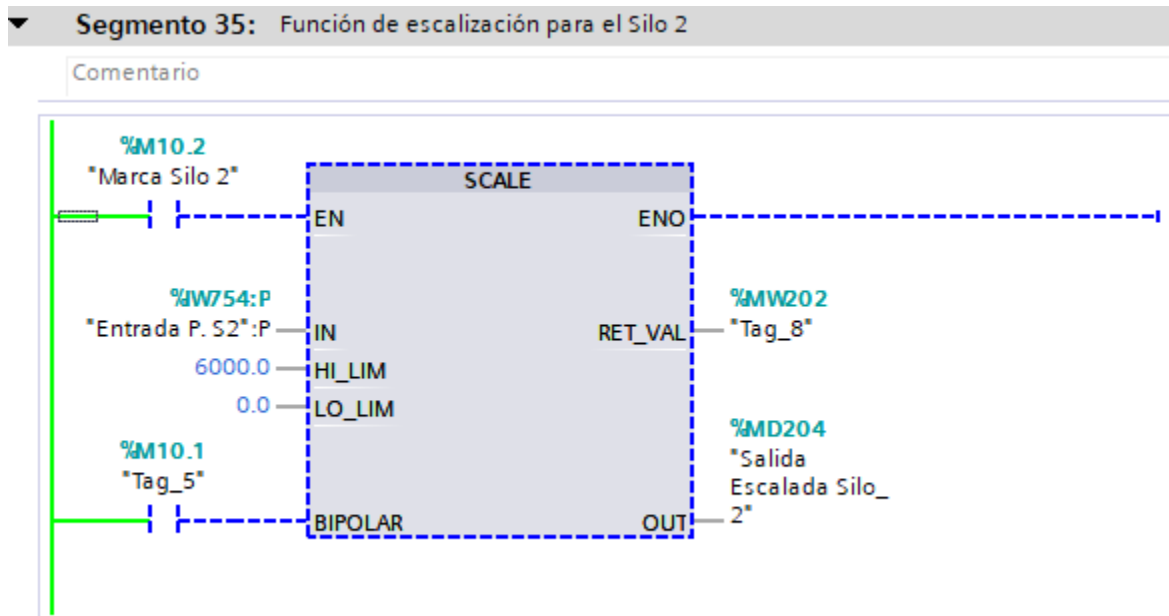


**Fig. 136.** Activación de la alarma para la turbina de material particulado. Fuente: Autor.

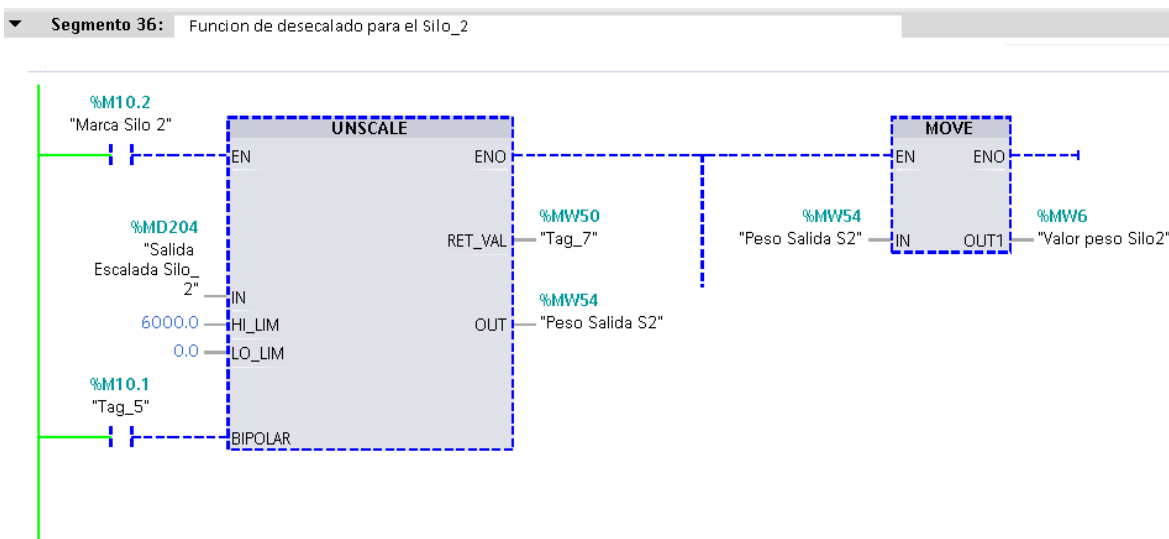


## Apéndice E


Las siguientes líneas de programa corresponden a la carga del grano en el Silo\_2 mediante las instrucciones de SCALE y UNSCALE (Ver Figs. 137 y 138).



**Fig. 137.** Función SCALE para el Silo\_2. Fuente: Autor.



**Fig. 138.** Función UNSCALE para el Silo\_2. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

FIRMA ESTUDIANTES HERNAN BALBIN

Se envia informe final  
para evaluación de Docentes

FIRMA ASESOR Manuel A. Ospina A.

Hora: 5:30pm FECHA ENTREGA: 18/07/2019

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_ ACEPTADO\_\_ ACEPTADO CON MODIFICACIONES\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2019-04-24

FIRMA ESTUDIANTES _____ _____ _____
FIRMA ASESOR _____
FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____
RECHAZADO __      ACEPTADO _____      ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____
ACTA NO. _____ FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____
ACTA NO. _____ FECHA ENTREGA: _____