



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PROYECTO TÉCNICO:  
“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL MAESTRO-  
ESCLAVO, PARA REPOTENCIAR UN MÓDULO DE PRÁCTICAS EN EL  
LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE GUAYAQUIL, BASADO EN LA RED  
INDUSTRIAL PROFIBUS.”**

**AUTORES:  
GABRIEL FERNANDO CALERO ORDOÑEZ  
CARLOS ALBERTO ROMERO CLEMENTE**

**TUTOR:  
ING BYRON LIMA, MSC.  
GUAYAQUIL-ECUADOR**

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Nosotros, Gabriel Fernando Calero Ordoñez y Carlos Alberto Romero Clemente, con C.I 0803260439 y C.I 0926550336 respectivamente, estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana, declaramos que el trabajo descrito aquí ha sido desarrollado respetando los derechos intelectuales de terceros cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Los análisis realizados y conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, junio del 2020



Gabriel Fernando Calero Ordóñez

C.I: 0803260439



Carlos Alberto Romero Clemente

C.I: 0926550336

# CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

A través del presente certificado, se ceden los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica salesiana, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual y por su normatividad institucional vigente.

Guayaquil, junio del 2020



Gabriel Fernando Calero Ordóñez  
C.I.: 0803260439



Carlos Alberto Romero Clemente  
C.I.: 0926550336

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Por medio de la presente constancia que los Sres. Gabriel Fernando Calero Ordóñez y Carlos Romero Clemente han desarrollado y elaborado satisfactoriamente el proyecto final de titulación, que se ajusta a las normas establecidas por la Universidad Politécnica Salesiana, por tanto, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Byron Lima', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with a large initial 'B' and 'L'.

---

Ing. Byron Lima MSc.  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## AGRADECIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento para todas las autoridades y personal que hacen la Universidad Politécnica Salesiana, a toda la facultad de ingeniería electrónica en especial al Ing. Byron Lima MSc. quien con su dirección y valiosos conocimientos lograron que pueda crecer día a día profesionalmente.

No ha sido sencillo como se logró completar el desarrollo de esta tesis, pero lo que sí puedo asegurar es que, durante todo este tiempo, mis amigos siempre estuvieron ahí, puedo decir que se debió a como me comporte en la vida, que de las cosas y actos que realice serán los mismos que harán conmigo a lo cual puedo llegar a decir de las verdaderas y sinceras amistades que llegues a tener permitirá disfrutar de ellas.

Carlos Alberto Romero Clemente.

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, a mi familia y a mi abuela materna por no solo haberme ayudado y guiado en esta etapa de mi vida, sino también de ser mi motivación para culminar de manera satisfactoria mi carrera.

Agradecer también a mis amigos, conocidos y hasta personas que no conocía pero que por referencias o por amistades familiares me ayudaron en muchas cosas que necesité y que me respaldaban para poder continuar en mi preparación, agradecer también al personal deportivo, de aseo y encargado de los laboratorios que fueron de mucha ayuda durante toda mi carrera y con quienes hice fuertes lazos y, por último, pero no menos importantes a mi tutor el MSc. Ing. Byron Lima por su asesoría y conocimientos para poder desarrollar un buen proyecto de titulación y a la mayoría del personal docente y administrativo de la Universidad Politécnica Salesiana.

Gabriel Fernando Calero Ordoñez.

## **DEDICATORIAS**

Dedico esta tesis a mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme y solo querían guiarme, aun sin importar las muchas veces que no ponía atención en clase, a ellos quienes nunca se prohibieron a dar una explicación o mencionar un tiempo en que tengan disponibilidad para de esta manera aclarar nuestras dudas.

Carlos Alberto Romero Clemente.

Dedico esta tesis a mis padres, mis hermanos y mi abuela materna quienes no solo ahora en la universidad sino a lo largo de mi vida me han ayudado a alcanzar mis logros y me han apoyado para conseguirlos, son el soporte para siempre querer hacer algo nuevo y mejor en mi vida.

Gabriel Fernando Calero Ordoñez

## RESUMEN

Año	Alumnos	Tutor de Proyecto de Titulación	Proyecto de Titulación
2020	Gabriel F. Calero O. Carlos Romero C.	Ing. Byron Lima MSc.	Diseño e implementación de un sistema de control Maestro-Esclavo, para repotenciar un módulo de prácticas en el laboratorio de automatización industrial de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, basado en la red industrial PROFIBUS.

El siguiente proyecto técnico de titulación, tiene como objetivo principal, la repotenciación de un módulo didáctico del laboratorio de automatización de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Campus Centenario con el fin de que los estudiantes puedan realizar prácticas de comunicación PROFIBUS entre 2 o más autómatas y las múltiples aplicaciones que estos pueden brindar. Los elementos principales de este módulo son: un Controlador Lógico Programable (PLC) Siemens Simatic s7-1200 CPU 1214C DC/AC/RLY, una fuente de poder Siemens PM 1207, un Switch Siemens CSM 1277 Simatic Net, un Touch Panel Siemens KTP600 Basic Color PN, un Signal Board SB 1232 AQ, un módulo de comunicación Maestro PROFIBUS DP, dos puertos exteriores RJ45, un router TP-LINK y un panel frontal para simular entradas y salidas digitales y analógicas.

El objetivo fundamental de este proyecto de titulación es que el alumno se adapte a los distintos tipos de comunicación industrial en este caso comunicación PROFIBUS, la misma que se realiza por medio del módulo maestro y esclavo PROFIBUS DP, aparte del manejo de las múltiples herramientas que posee el programa TIA PORTAL V15 y que pueden utilizarse para el desarrollo de prácticas como el control de presión en neumáticos, control de temperatura en horno, control de procesos alimenticios y muchos casos más que involucre la comunicación entre autómatas.

## ABSTRACT

<b>Year</b>	<b>Students</b>	<b>Degree Project Tutor</b>	<b>Technical degree Project</b>
2020	Gabriel F. Calero O. Carlos Romero C.	Eng. Byron Lima MSc.	Design and implementation of a Master-Slave control system, to repower a practical module in the industrial automation laboratory of the Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, based on the PROFIBUS industrial network.

The following technical degree project, has as its main objective, the repowering of a didactic module of the automation laboratory of the Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, centennial campus in order that students can perform PROFIBUS communication practices between 2 or more automata and Multiple applications that these can provide. The main elements of this module are: a Siemens Simatic s7-1200 CPU 1214C DC / AC / RLY Programmable Logic Controller (PLC), a Siemens PM 1207 power source, a Siemens CSM 1277 Simatic Net Switch, a Touch Panel Siemens KTP600 Basic Color PN, a Signal Board SB 1232 AQ, a Master PROFIBUS DP communication module, two RJ45 external ports, a TP-LINK router and a front panel to simulate digital and analog inputs and outputs.

The fundamental objective of this degree project is that the student adapts to the different types of industrial communication, in this case PROFIBUS communication, the same that is carried out by means of the PROFIBUS DP master and slave module, apart from the use of the multiple tools that It has the TIA PORTAL V15 program and it can be used for the development of practices such as tire pressure control, oven temperature control, food process control and many more cases involving communication between automata.

# ÍNDICE

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA .....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	IV
AGRADECIMIENTOS .....	V
DEDICATORIAS.....	VI
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	- 1 -
1. EL PROBLEMA.....	- 2 -
1.1 Importancia y alcance .....	- 2 -
1.2 DELIMITACIÓN.....	- 3 -
1.2.1 Delimitación temporal.....	- 3 -
1.2.2 Delimitación espacial.....	- 3 -
1.2.3 Delimitación académica .....	- 3 -
1.3 Objetivos .....	- 3 -
1.3.1 Objetivo general .....	- 3 -
1.3.2 Objetivos específicos.....	- 3 -
2. ESTADO DEL ARTE .....	- 4 -
2.1 Redes de comunicación industrial.....	- 4 -
2.1.1 Topología de redes industriales.....	- 4 -
2.2 Redes de comunicación industrial PROFIBUS .....	- 5 -
2.2.1 Ventajas y objetivos de PROFIBUS .....	- 5 -
2.2.2 Tipos de PROFIBUS .....	- 5 -
2.2.3 Funcionamiento de una red PROFIBUS.....	- 6 -
2.3 Cableado para una red PROFIBUS .....	- 7 -
2.4 Proceso para el secado del cacao.....	- 8 -
2.4.1 Tipos de secado para el cacao.....	- 8 -
2.5 Proceso para llenado de llantas.....	- 9 -
3. MARCO METODOLÓGICO.....	- 11 -
3.1 Diseño del módulo didáctico.....	- 11 -
3.2 El cuerpo del módulo didáctico.....	- 12 -
3.3 Autómata programable.....	- 13 -

3.4	Signal board de salidas analógicas.....	- 14 -
3.5	Switch CSM 1277.....	- 14 -
3.6	Fuente de alimentación PM 1207.....	- 14 -
3.7	Relés.....	- 15 -
3.8	Router TP-LINK Wr-840n.....	- 15 -
3.9	KTP600 Basic PN.....	- 16 -
3.10	Pulsadores.....	- 16 -
3.11	Selectores.....	- 16 -
3.12	Luces pilotos.....	- 16 -
3.13	Potenciómetros.....	- 17 -
3.14	Voltímetro digital.....	- 17 -
3.15	Conectores banana hembra.....	- 17 -
3.16	Software de programación: TIA PORTAL V15.....	- 18 -
3.17	Diagrama de conexiones.....	- 18 -
3.18	Controlador PID.....	- 20 -
3.19	Diagramas P&ID.....	- 22 -
3.19	Instrumentos.....	- 23 -
4.	PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....	- 25 -
4.1	Práctica #1.....	- 25 -
4.2	Práctica #2.....	- 27 -
4.3	Práctica #3.....	- 30 -
4.4	Práctica #4.....	- 33 -
4.5	Práctica #5.....	- 36 -
5.	RESULTADOS.....	- 40 -
5.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	- 44 -
	CONCLUSIONES.....	- 52 -
	RECOMENDACIONES.....	- 53 -
	BIBLIOGRAFÍA.....	- 54 -
	ANEXOS.....	- 56 -

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pirámide de niveles de red industrial .....	- 4 -
Figura 2. Topología de redes industriales.....	- 5 -
Figura 3. Familia PROFIBUS .....	- 6 -
Figura 4. Método maestro-esclavo .....	- 7 -
Figura 5. Método multimaestro .....	- 7 -
Figura 6. Resistencia para cable PROFIBUS DP .....	- 7 -
Figura 7. Ejemplo de una red de un Maestro PROFIBUS con dos estaciones remotas esclavas. ....	- 8 -
Figura 8. Ejemplo de una red Maestro PROFIBUS DP con tres estaciones remotas esclavas. ....	- 8 -
Figura 9. Secado de cacao en horno. [9] .....	- 9 -
Figura 10. Tabla de presión para neumáticos de 15” de diámetro. [11].....	- 9 -
Figura 11. Tabla de presión para neumáticos de camión. [12].....	- 10 -
Figura12. Módulo didáctico antiguo .....	- 11 -
Figura 13. Diagrama de bloques del módulo didáctico .....	- 11 -
Figura 14. Parte frontal del módulo de prácticas.....	- 12 -
Figura 15. Parte interna del módulo de prácticas .....	- 12 -
Figura 16. Cableado interno del módulo de prácticas.....	- 13 -
Figura 17. Elementos de la parte frontal del módulo de prácticas.....	- 13 -
Figura 18. PLC S7-1200.....	- 13 -
Figura 19. Signal board de salidas analógicas.....	- 14 -
Figura 20. Switch CSM 1277.....	- 14 -
Figura 21. Fuente de alimentación PM 1207.....	- 15 -
Figura 22. Relé Siemens.....	- 15 -
Figura 23. Router TP-LINK Wr-840n.....	- 15 -
Figura 24. Pulsadores.....	- 16 -
Figura 25. Selectores.....	- 16 -
Figura 26. Luces piloto.....	- 16 -
Figura 27. Potenciómetros.....	- 17 -
Figura 28. Voltímetro Digital.....	- 17 -
Figura 29. Borneras.....	- 17 -
Figura 30. Diagrama de conexiones de Entradas digitales .....	- 18 -
Figura 31. Diagrama de conexiones de Salidas digitales .....	- 19 -
Figura 32. Diagrama de conexiones para entradas y salidas analógicas .....	- 19 -
Figura 33. Diagrama de bloque usado en el bloque PID del software TIA PORTAL V15 [21].....	- 20 -

Figura 34. Parámetros PID de la práctica #2.....	- 21 -
Figura 35. Parámetros PID de la práctica #3.....	- 21 -
Figura 36. P&ID Práctica #2.....	- 22 -
Figura 37. P&ID Práctica #3.....	- 22 -
Figura 38. P&ID Práctica #4.....	- 23 -
Figura 39. Transmisor de presión HR-PTM300.....	- 23 -
Figura 40. Transmisor de temperatura THD-R-C.....	- 24 -
Figura 41. Conexiones del PLC.....	- 25 -
Figura 42. Pantalla HMI de la práctica #1.....	- 26 -
Figura 43. Conexiones del PLC.....	- 28 -
Figura 44. Sistema neumático.....	- 28 -
Figura 45. Conexiones del PLC.....	- 30 -
Figura 46. Sistema térmico.....	- 31 -
Figura 47. Conexiones del PLC.....	- 34 -
Figura 48. Pantalla HMI Maestro PROFIBUS 2.....	- 34 -
Figura 49. Pantalla HMI Maestro PROFIBUS 3.....	- 34 -
Figura 50. Conexiones del PLC.....	- 36 -
Figura 51. Pantalla sobre el proceso neumático para inflar llantas.....	- 37 -
Figura 52. Pantalla sobre el proceso térmico para secar las semillas del cacao.....	- 37 -
Figura 53. Módulo antiguo de automatización industrial.....	- 40 -
Figura 54. Elementos del módulo antiguo.....	- 41 -
Figura 55. Carcasa del módulo didáctico.....	- 41 -
Figura 56. Colocación de luces piloto, pulsadores y selectores para el módulo didáctico.....	- 42 -
Figura 57. Cableado de los elementos que componen la tapa superior del módulo didáctico.....	- 42 -
Figura 58. Módulo didáctico finalizado.....	- 43 -
Figura 59. Implementación del módulo CM 1243-5 Maestro PROFIBUS.....	- 43 -
Figura 60. Cableado interno del módulo didáctico.....	- 44 -
Figura 61. Simulación de la práctica #1.....	- 45 -
Figura 62. Simulación de la práctica #2.....	- 45 -
Figura 63. Simulación de la práctica #3.....	- 46 -
Figura 64. Simulación de la perturbación en la práctica #3.....	- 46 -
Figura 65. Simulación del llenado de tanques de agua y tomate licuado de la práctica #4.....	- 47 -
Figura 66. Simulación del vaciado de tanques de agua y tomate licuado.....	- 47 -
Figura 67. Envío de agua caliente para limpieza del tanque de tomate licuado.....	- 47 -
Figura 68. Simulación de la mezcla entre el agua y el tomate licuado.....	- 48 -
Figura 69. Simulación del proceso de embotellamiento de la salsa de tomate.....	- 48 -
Figura 70. Limpieza del tanque de salsa de tomate.....	- 48 -

Figura 71. Simulación del proceso industrial de la práctica #2 en un SCADA.....	- 49 -
Figura 72. Gráfica Setpoint vs Presión.....	- 49 -
Figura 73. Simulación del proceso industrial de la práctica #3 en un SCADA.....	- 50 -
Figura 74. Simulación de la perturbación de la práctica #3 en un SCADA .....	- 50 -
Figura 75. Gráfica Setpoint vs Temperatura .....	- 51 -
Figura 76. Ventana inicial del software TIA PORTAL v15.....	- 56 -
Figura 77. Red Maestro-Esclavo PROFIBUS .....	- 56 -
Figura 78. Red Maestro-Esclavo PROFIBUS más conexión de pantalla HMI.....	- 57 -
Figura 79. Dirección PROFIBUS del PLC Maestro PROFIBUS .....	- 57 -
Figura 80. Dirección PROFIBUS del PLC Esclavo PROFIBUS .....	- 57 -
Figura 81. Ventana “Agregar nuevo bloque” .....	- 58 -
Figura 82. Area de transferencia del PLC Esclavo PROFIBUS.....	- 58 -
Figura 83. Segmento del circuito básico de marcha y paro.....	- 59 -
Figura 84. Segmento para el envío de datos de maestro a esclavo PROFIBUS.....	- 59 -
Figura 85. Segmento para la recepción de datos desde el maestro al esclavo PROFIBUS.....	- 59 -
Figura 86. Segmento con el bloque de datos de “Práctica_1” más el contacto de condición para el HMI. ....	- 60 -
Figura 87. Pantalla “Menú de prácticas” .....	- 60 -
Figura 88. Cuadros de configuración para los botones de la práctica 1. ....	- 61 -
Figura 89. Pantalla “Práctica_1” .....	- 61 -
Figura 90. Tabla de variables para “Práctica_1” .....	- 62 -
Figura 91. Configuración para colocar imágenes en los botones. ....	- 62 -
Figura 92. Configuración de eventos para los botones I0.0 a I0.7 .....	- 63 -
Figura 93. Librería de luces piloto .....	- 63 -
Figura 94. Configuración para las luces pilotos Q0.0 hasta Q0.7 .....	- 64 -
Figura 95. Configuración de eventos para los botones de marcha y paro .....	- 64 -
Figura 96. Configuración de eventos para el botón “Menú de prácticas” .....	- 65 -
Figura 97. Pantalla de carga del PLC Maestro .....	- 65 -
Figura 98. Arranque del módulo y finalización de carga del PLC Maestro .....	- 66 -
Figura 99. Circuito básico de marcha y paro.....	- 67 -
Figura 100. Normalización y escalado del dato analogico del transmisor de presión.....	- 67 -
Figura 101. Ventana de “Agregar nuevo bloque” para ciclo interrumpido .....	- 68 -
Figura 102. Circuito de activación del controlador PID.....	- 69 -
Figura 103. Bloque de funcion con la funcion de transferencia del sistema. ....	- 69 -
Figura 104. Código SCL del bloque “Simulación_presión” con la función de transferencia del sistema. ....	- 71 -
Figura 105. Segmento de animaciones para la práctica #2.....	- 72 -

Figura 106. Código SCL para el bloque de función encargado de mostrar el mensaje de “presión estabilizada” .....	73 -
Figura 107. Circuito para la elección del modo de funcionamiento del proceso neumático .....	73 -
Figura 108. Circuito para el llenado del tanque pulmón en el proceso neumático modo manual .....	74 -
Figura 109. Condiciones para el funcionamiento del proceso neumático en modo manual .....	74 -
Figura 110. Circuito para la pérdida de presión en el tanque pulmón con cada neumático .....	75 -
Figura 111. Condiciones para la pérdida de presión en el tanque pulmón #1 .....	76 -
Figura 112. Condiciones para la pérdida de presión en el tanque pulmón #2 .....	76 -
Figura 113. Condiciones para la pérdida de presión en el tanque pulmón #3 .....	77 -
Figura 114. Condiciones para la pérdida de presión en el tanque pulmón #4 .....	77 -
Figura 115. Figura 110. Condiciones para la pérdida de presión en el tanque pulmón #5.....	77 -
Figura 116. Circuito para el llenado del tanque pulmón en el proceso neumático modo automático. -	78 -
-	
Figura 117. Circuito de pérdida de presión en tanque pulmón para el modo automático .....	78 -
Figura 118. Segmento del circuito para el contador de llantas del sistema.....	79 -
Figura 119. Circuito para mostrar el tiempo de estabilización del proceso parte 1.....	80 -
Figura 120. Circuito para mostrar el tiempo de estabilización del proceso parte 1.....	80 -
Figura 121. Imagen de pantalla “Práctica_2”.....	81 -
Figura 122. Configuración de eventos para botones de marcha y paro.....	81 -
Figura 123. Configuración para campo E/S del Setpoint. ....	82 -
Figura 124. Configuración para campo E/S del número de llantas. ....	82 -
Figura 125. Configuración de la barra dentro del tanque. ....	82 -
Figura 126. Configuración para campo E/S de la válvula.....	83 -
Figura 127. Configuración de eventos para botón “Cambio_de_llanta”.....	83 -
Figura 128. Configuración para campo E/S del contador de llantas. ....	83 -
Figura 129. Configuración de animación para las llantas del proceso.....	84 -
Figura 130. Configuración del botón dentro del tanque.....	84 -
Figura 131. Configuración de eventos para el botón dentro del tanque que muestra la gráfica Setpoint vs Presión .....	84 -
Figura 132. Configuración de eventos para el botón de la válvula. ....	85 -
Figura 133. Imagen para las gráficas de la práctica #3 .....	85 -
Figura 134. Configuración del visor de curvas y el botón de retorno al sistema. ....	86 -
Figura 135. Configuración de animaciones para los mensajes “El sistema ha iniciado” y “Presión estabilizada” .....	86 -
Figura 136. Configuración de botones para modo automático y manual .....	87 -
Figura 137. Configuración de Campo E/S para mostrar la presión inicial de las llantas .....	87 -
Figura 138. Circuito de marcha y paro para la práctica #3.....	88 -
Figura 139. Normalizar y escalar de la señal analógica enviada por el sensor .....	88 -
Figura 140. Bloque para el rango de medición del valor digitalizado.....	89 -

Figura 141. Bloque de normalizacion y escalado para la conversión del dato de salida del controlador PID a PWM .....	89 -
Figura 142. Segmento de funcionamiento del bloque PID_Temperatura .....	90 -
Figura 143. Código SCL para el bloque que contiene la Funcion de transferencia del sistema. ....	91 -
Figura 144. Segmento con el bloque de funcion que contiene la función de transferencia del sistema... -	92 -
Figura 145. Segmento de la perturbación del sistema. ....	92 -
Figura 146. Codigo SCL para el mensaje “Temperatura estabilizada” .....	93 -
Figura 147. Circuito para mostrar los mensajes de “Refrigeracion” y “Temperatura estabilizada” .-	93 -
Figura 148. Circuito para mostrar el mensaje “El sistema ha iniciado” .....	94 -
Figura 149. Circuito para el reset de valores en la temperatura .....	94 -
Figura 150. Circuito para mostrar el tiempo de estabilización del proceso.....	95 -
Figura 151. Conversión de datos para mostrar el tiempo en minutos y segundos .....	95 -
Figura 152. Imagen de la “Práctica_3” .....	96 -
Figura 153. Configuración de la barra dentro del horno. ....	96 -
Figura 154. Configuración de eventos para el boton de marcha y paro. ....	97 -
Figura 155. Configuración del campo de E/S para el setpoint del sistema. ....	97 -
Figura 156. Configuración del campo de E/S para mostrar los valores de ganancia proporcional, tiempo derivativo e integral.....	97 -
Figura 158. Configuración de mensajes para la práctica #3.....	98 -
Figura 159. Red de conexión PROFIBUS entre Maestros PROFIBUS con sus respectivos HMI. -	100 -
Figura 160. Dirección PROFIBUS PLC Maestro 2 .....	100 -
Figura 161. Activación de marcas de ciclo del Maestro 2.....	101 -
Figura 162. Bloque PUT para la transferencia de datos.....	101 -
Figura 163. Parámetros de conexión del Maestro 2. ....	102 -
Figura 164. Parámetros del bloque del Maestro 2.....	102 -
Figura 165. Bloque GET para la recepción de datos.....	102 -
Figura 166. Circuito para el envío de datos entre el Maestro 1 y el Maestro 2.....	103 -
Figura 167. Segmento con la programación para la marcha, paro y llenado de los tanques de Agua y Tomate licuado.....	104 -
Figura 168. Condición para que el maestro 1 no inicie el proceso de marcha una vez esté lleno el tanque del Maestro 2 .....	104 -
Figura 169. Segmento con la programación para el vaciado de los tanques de Agua y Tomate licuado, además del paro de emergencia.....	105 -
Figura 170. Envío de datos del Maestro 1 al Maestro 2 mediante la activación o desactivación de la variable “EV” .....	106 -
Figura 171. Segmento para la activación de indicadores de nivel alto y bajo.....	106 -
Figura 172. Circuito para el inicio de la limpieza en el tanque de salsa de tomate .....	107 -
Figura 173. Circuito para el vaciado de la limpieza en el tanque de salsa de tomate.....	108 -
Figura 174. Circuito para el paro de emergencia .....	108 -

Figura 175. Imagen de la planta con el proceso creado para el Maestro PROFIBUS 2.....	- 109 -
Figura 176. Configuración de eventos para los botones Marcha, Paro e Inversión de giro. ....	- 109 -
Figura 177. Configuración de eventos para el botón de paro de emergencia.....	- 110 -
Figura 178. Configuración de propiedades para las luces piloto indicando el nivel alto y bajo. ....	- 110 -
Figura 179. Configuración de propiedades para las luces piloto para indicar el proceso de limpieza y tanque de salsa de tomate.....	- 111 -
Figura 180. Configuración de animaciones.....	- 111 -
Figura 181. Configuración de animaciones.....	- 112 -
Figura 182. Configuración de animaciones.....	- 112 -
Figura 183. Configuración de animaciones.....	- 112 -
Figura 184. Configuración de las propiedades de la barra de llenado y vaciado de la materia prima. ....	- 113 -
Figura 185. Configuración de las propiedades de la barra de llenado y vaciado en el proceso de limpieza. ....	- 113 -
Figura 186. Marcas de ciclo de Maestro PROFIBUS 3 .....	- 113 -
Figura 187. Circuito para el envío de recibimiento de datos del Maestro 1 al 2 y condiciones para iniciar el proceso .....	- 114 -
Figura 188. Circuito de llenado del tanque de salsa de tomate .....	- 115 -
Figura 189. Circuito del vaciado del tanque de salsa de tomate.....	- 115 -
Figura 190. Circuito para el movimiento de las botellas por medio de la banda transportadora. ....	- 116 -
Figura 191. Circuito para el contador de botellas y reset de valores.....	- 117 -
Figura 192. Circuito para el reset de valores y envío de datos del maestro 2 al maestro 1 .....	- 118 -
Figura 193. Bloque de función “Limpieza” .....	- 118 -
Figura 194. Circuito para el inicio del proceso de limpieza.....	- 119 -
Figura 195. Circuito para el vaciado del proceso de limpieza.....	- 120 -
Figura 196. Pantalla HMI del proceso en el PLC Maestro PROFIBUS 3.....	- 120 -
Figura 197. Configuración de la barra dentro del tanque de salsa de tomate. ....	- 121 -
Figura 198. Configuración del botón de paro.....	- 121 -
Figura 199. Configuración del campo E/S “Número de botellas”. ....	- 121 -
Figura 200. Configuración de luces piloto de “Vaciado” y “Limpieza” .....	- 122 -
Figura 201. Configuración de animación para el movimiento de las botellas.....	- 122 -
Figura 202. Configuración de animación para mostrar las botellas .....	- 123 -
Figura 203. Configuración de animación para las tapas en la botella .....	- 123 -
Figura 204. Ventana para creación de SCADA.....	- 124 -
Figura 205. Red PROFIBUS-PROFINET, conexión del SCADA al PLC Maestro PROFIBUS ...	- 124 -
Figura 206. Menú principal del SCADA.....	- 125 -
Figura 207. Configuración de botones .....	- 125 -
Figura 208. Pantalla HMI_RT de la práctica #3.....	- 126 -
Figura 209. Configuración del botón de marcha.....	- 126 -

Figura 210. Configuración del botón de paro.....	- 126 -
Figura 211. Configuración del botón “Cambio de scada”.....	- 127 -
Figura 212. Configuración del botón “Refrigeración” .....	- 127 -
Figura 213. Configuración del botón “Gráficas” .....	- 127 -
Figura 214. Configuración del Campo E/S para el Setpoint. ....	- 128 -
Figura 215. Configuración del slide para el tiempo de secado.....	- 128 -
Figura 216. Configuración de las luces piloto “Encendido” y “Apagado” .....	- 129 -
Figura 217. Circuito para las animaciones de los granos de cacao .....	- 130 -
Figura 218. Circuito para el contador de los granos de cacao.....	- 130 -
Figura 219. Circuito de mensajes y activación de imágenes.....	- 131 -
Figura 220. Configuración para los sacos de almacenamiento del cacao .....	- 132 -
Figura 221. Configuración de la animación para los granos de cacao. ....	- 132 -
Figura 222. Configuración para la imagen inicial dentro del horno.....	- 133 -
Figura 223. Configuración para la imagen del cacao secado. ....	- 133 -
Figura 224. Configuración de los tubos que dirigen el cacao a los sacos .....	- 133 -
Figura 225. Configuración para los sacos donde se almacenan los granos de cacao seco. ....	- 133 -
Figura 226. Pantalla HMI_RT de la práctica #2 en el SCADA .....	- 134 -
Figura 227. Configuración del botón de marcha .....	- 134 -
Figura 228. Configuración del botón de paro.....	- 135 -
Figura 229. Configuración del botón “cambio de scada”.....	- 135 -
Figura 230. Configuración del botón de gráficas .....	- 135 -
Figura 231. Configuración del botón de “Cambio de llanta”.....	- 135 -
Figura 232. Configuración del botón para el modo “manual” .....	- 135 -
Figura 233. Configuración del botón para el modo automático .....	- 135 -
Figura 234. Configuración de las luces “Encendido” y “Apagado”.....	- 136 -
Figura 235. Configuración del manómetro. ....	- 136 -
Figura 236. Pantalla HMI_RT para las gráficas de las prácticas #2 y #3.....	- 137 -
Figura 237. Configuración del visor de curva para la práctica #3.....	- 137 -
Figura 238. Configuración del visor de curva para la práctica #2.....	- 137 -
Figura 239. Configuración de los botones “cambio de scada” para las prácticas #2 y #3 .....	- 138 -

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de costos de materiales usados para el proyecto .....	- 10 -
Tabla 2. Tabla de datos técnicos transmisor de presión .....	- 24 -
Tabla 3. Tabla de datos técnicos transmisor de temperatura.....	- 24 -
Tabla 4. Variables de la práctica 1 .....	- 26 -
Tabla 5. Variables de la práctica 2 .....	- 29 -
Tabla 6. Variables de la práctica 3 .....	- 32 -
Tabla 7. Variables de la práctica 4(1).....	- 35 -
Tabla 8. Variables de la práctica 4(2).....	- 35 -
Tabla 9. Variables de la práctica 5(1).....	- 38 -
Tabla 10. Variables de la práctica 5(2).....	- 39 -

# INTRODUCCIÓN

Las metodologías de comunicación industrial fundamentan su manejo en la correspondencia de datos entre los equipos, uno de estos métodos es la comunicación industrial PROFIBUS DP.

Hoy en día la implementación de la comunicación industrial PROFIBUS DP es uno de los principales requisitos para incrementar la eficacia, rendimiento y reducir los gastos de instalación, este tipo de comunicación ofrece distintos recursos para las soluciones de automatización fuertemente flexibles, por lo que brinda aplicaciones en distintos campos industriales.

El proyecto está dirigido a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Campus Centenario, para que logren realizar sus prácticas en las asignaturas de Automatización industrial II, especialmente en la asignatura de Redes de computadoras III; conectando a los PLC's con comunicación PROFIBUS DP.

Además, este proyecto está establecido en PLC y HMI de la marca Siemens en todos y cada uno de los módulos, dados por la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, campus Centenario y la inclusión de 5 prácticas simuladas distintas.

Consta de 5 secciones, siendo la primera el problema que se va a tratar en este proyecto, su importancia, alcance, delimitaciones y objetivos a cumplir.

En la segunda sección (Estado del arte) se trata más los temas en los cuales se ha basado el proyecto para realizar las prácticas del mismo.

En la tercera sección (Marco metodológico) abarca el trabajo realizado para la repotenciación del módulo y sobre los métodos de control para la realización de las prácticas.

Para la cuarta sección (Prácticas) se resumen el planteamiento de las diferentes prácticas que se formularon para este proyecto.

Y la quinta y última sección (Resultados) conlleva los resultados obtenidos y análisis de los mismos durante todo el proceso del proyecto.

# 1. EL PROBLEMA

Previo a la realización de este proyecto, el laboratorio de automatización industrial de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil cuenta con muy pocos módulos (PLC Siemens S7 1200) que tengan equipos de comunicación PROFIBUS, lo que impide brindar una mejor cátedra en materias como Redes Industriales III.

Esto provoca que los estudiantes tengan que armar grupos exageradamente grandes para poder utilizar los módulos, haciendo complicado el entender acerca de los sistemas de redes industriales en la parte práctica, sobre todo.

## 1.1 Importancia y alcance

El siguiente proyecto tiene la finalidad de repotenciar un antiguo módulo del Laboratorio de Automatización de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil Campus Centenario para desarrollar de mejor manera materias tales como: Automatización industrial I, II y Redes de computadoras III, esta materia en específico se verá más beneficiada por la implementación de módulos de comunicación PROFIBUS DP.

Existen muy pocos módulos de prácticas con módulos de comunicación PROFIBUS DP, con esta repotenciación se podrá ayudar a dar una mejor experiencia de estudio para los estudiantes por las amplias aplicaciones que tiene este tipo de comunicación en el campo de las redes industriales.

Mediante el uso del software TIA PORTAL V15 se programó la comunicación por red PROFIBUS primero en una red clásica PROFIBUS DP y luego junto a otro con módulos de comunicación PROFIBUS DP maestro conocida también como comunicación multimaestro, también sirvió para el control de 2 plantas, una de ellas de presión mientras que la otra es de temperatura, ambas simuladas y por último para poder dar una aplicación más robusta se diseñó un sistema SCADA con ayuda del software WinCC RT Advanced, programa complementario de TIA PORTAL V15, esta última práctica aprovecha dos distintos tipos de comunicación(en este caso PROFIBUS y PROFINET) para poder relacionarlos y controlar procesos industriales.

A continuación, se detallan las prácticas anteriormente mencionadas:

1. Configuración del módulo CM 1243-5 y CM 1242-5 como esclavo y maestro PROFIBUS para la comunicación entre dos PLC Siemens S7-1200.
2. Sistema neumático para el llenado de llantas de automóvil aplicado en una red Maestro-Esclavo PROFIBUS.
3. Sistema térmico para el secado de las semillas presentes en el cacao aplicado en una red Maestro-Esclavo PROFIBUS.
4. Comunicación multi-maestro (PROFIBUS FMS)
5. Red industrial PROFIBUS-PROFINET para el control de los procesos de las prácticas 2 y 3.

## **1.2 DELIMITACIÓN**

### **1.2.1 Delimitación temporal**

El proyecto técnico efectuado tuvo una duración de 15 meses a partir de la fecha de aprobación del mismo.

### **1.2.2 Delimitación espacial**

El proyecto fue realizado en el laboratorio de automatización industrial de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, campus Centenario.

### **1.2.3 Delimitación académica**

El proyecto radica en la repotenciación de un módulo didáctico implementando un módulo PROFIBUS DP maestro y otro esclavo para la comunicación PROFIBUS DP. Además, se contener el desarrollo de las 5 prácticas simuladas resueltas.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Repotenciar un módulo del laboratorio de automatización industrial de la Universidad Politécnica Salesiana mediante la implementación de un sistema de control para dispositivos Maestro – Esclavo basados en la Red Industrial PROFIBUS.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Exponer las ventajas de los equipos PROFIBUS sobre las demás redes industriales.
- Diseñar un sistema de control para dispositivos Maestro – Esclavo basados en la Red Industrial PROFIBUS.
- Repotenciar el módulo actual mediante la implementación de una Red PROFIBUS en el PLC Siemens S7-1200
- Elaborar un banco de 5 prácticas para mostrar las diferentes aplicaciones de la red industrial PROFIBUS y una de ellas aplicando dos tipos diferentes de comunicaciones (PROFIBUS-PROFINET).

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Redes de comunicación industrial.

Las redes de comunicaciones industriales adquieren su origen a la fundación FIELDBUS (Redes de campo). La fundación FIELDBUS creó un innovador protocolo de comunicación para la medición y control donde los instrumentos puedan comunicarse en una misma red.

Las comunicaciones entre los instrumentos del proceso y el sistema de control se fundamentan básicamente en señales analógicas. Pero ya hay instrumentos digitales con la capacidad de manejar grandes cantidades de datos y almacenarlos históricamente; su exactitud es diez veces mayor que la señal clásica de 4-20mA. Transmiten en secuencia las variables a través de un cable de comunicación denominado bus. [1]



Figura 1. Pirámide de niveles de red industrial [1]

#### 2.1.1 Topología de redes industriales

La topología de redes representa el modo en que múltiples dispositivos en una red son interconectados. Hay muchas topologías que difieren por medio de tres criterios: disponibilidad, redundancia o expansibilidad, siendo las más básicas los arreglos de estrella, anillo y bus.

Estructura en estrella: La información es recibida mediante un nodo central. Cada dispositivo es utilizado por su correcta conexión. Su gran ventaja radica en que, si una de las líneas está unida a interferencias, solo el dispositivo conectado a este es afectado.

Estructura en anillo: La información es traspasada de un dispositivo a otro, no existe un control central en el anillo y cada dispositivo adquiere el rol de controlador a intervalos autorizados.

Estructura en bus: Todos y cada uno de los dispositivos son conectados a una línea de datos general, denominada bus, mediante la cual es pasada la información. La información termina en el receptor sin necesidad de ningún otro dispositivo, contrario a una estructura en anillo. [2]

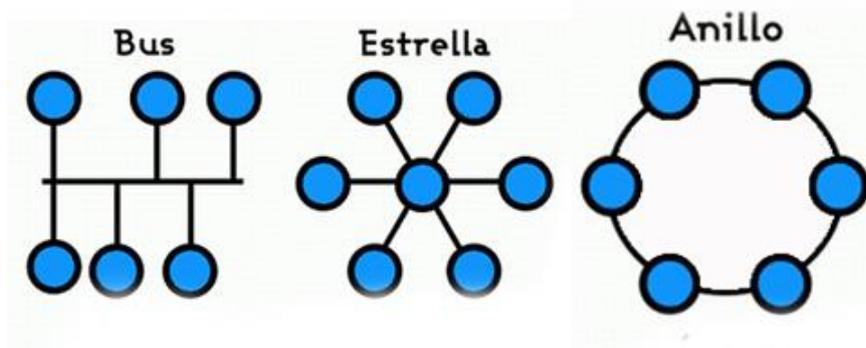


Figura 2. Topología de redes industriales [3]

## 2.2 Redes de comunicación industrial PROFIBUS

PROFIBUS es una red de campo abierto e independiente de proveedores, en el cual la interfaz admite enorme aplicación en fabricación, automatización y procesos. Empezó como un proyecto de 21 empresas e institutos de investigaciones alemanas. Tiene el estándar europeo EN 50170 e internacionalmente IEC 61158.

Puede ser usado para transmisión crítica en el tiempo de datos, usando una alta velocidad y también para tareas de comunicación amplias y difíciles. [4]

### 2.2.1 Ventajas y objetivos de PROFIBUS

El objetivo dado por PROFIBUS es: Interconexión de dispositivos digitales de campo como sensores, actuadores, transmisores, etc. O de sistemas de baja o media prestación mediante un PLC, controlador, PC, HMI, etc.

Las ventajas que proporciona PROFIBUS son:

- Transmisión de mínimas cantidades de datos.
- Abarca necesidades de tiempo real.
- Contiene un número pequeño de estaciones.
- Sencilla configuración.
- Costos de conexión y cableado muy bajos.
- Integración de dispositivos menos inteligentes.
- Protocolos simples y definidos. [4]

### 2.2.2 Tipos de PROFIBUS

La estructura del PROFIBUS se centra en tres tipos fundamentales:

#### **PROFIBUS DP (Periferia descentralizada):**

- Perfeccionado para altas velocidades y de costo bajo.
- Intercambio de datos cíclicos.
- Traspaso de pequeñas cantidades de datos.
- Plug & Play
- Creado para la comunicación entre sistemas de control automatizados y entradas/salidas distribuidas en procesos industriales. [5]

## PROFIBUS PA (Automatización de Procesos)

- Se puede tomar como una ampliación de PROFIBUS DP con una tecnología idónea para zonas peligrosas y de riesgo explosivo.
- Permite conectar sensores y actuadores a una línea de bus usual en área estrictamente protegidas.
- Comunicación de energía y datos en el bus por medio del uso de 2 conductores.
- Predestinado a sustituir la tecnología en lazo de 4 a 20mA en instrumentación y control. [5]

## PROFIBUS FMS (FIELDBUS Messages Specifications)

- Creado para un alto número de aplicaciones y comunicaciones a nivel de célula, donde los PLC's y PC's se comunican entre ellos.
- Comunicación de intención frecuente, supervisión y configuración.
- Transmisión de enormes cantidades de datos.
- Intercambio acíclico de datos con tiempos no críticos, entre estaciones inteligentes. [5]

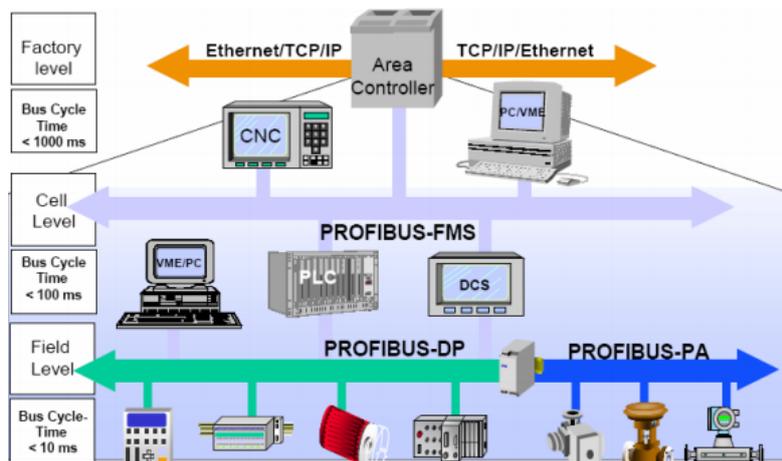


Figura 3. Familia PROFIBUS [5]

### 2.2.3 Funcionamiento de una red PROFIBUS

Existen dos tipos de dispositivos característicos de PROFIBUS: dispositivos Maestros y dispositivos Esclavos, conocidos también como dispositivos activos y pasivos.

Los dispositivos maestros logran enviar y solicitar datos a las demás estaciones, siempre que conserven el derecho de acceso al bus. Los dispositivos esclavos solo logran enviar datos cuando el dispositivo maestro se los solicite.

Los dispositivos esclavos pueden ser dispositivos de entrada/salida, transductores y demás equipos de campo mientras que los dispositivos maestros deben ser equipos inteligentes como lo son autómatas programables o computadoras. PROFIBUS utiliza el método del tipo maestro-esclavo para la comunicación entre estaciones maestras y esclavas. El método maestro-esclavo admite que la estación maestra que tiene los derechos de transmitir logre comunicarse con las estaciones esclavas. Cada estación maestra tiene el control exclusivo para enviar y solicitar datos a todas las estaciones esclavas que este controle.

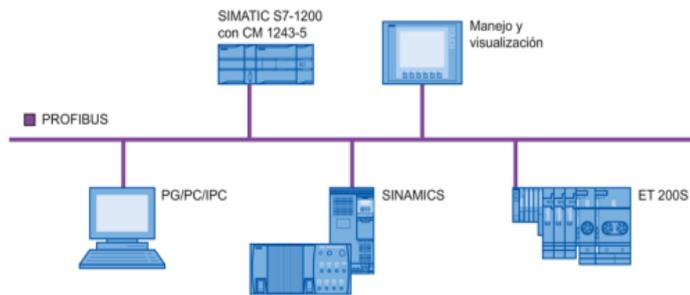


Figura 4. Método maestro-esclavo [5]

Por otro lado, también existe el método multimaestro donde se permite la operación en conjunto de varios sistemas de automatización, se denominan así porque el maestro DP de otro sistema maestro DP de la misma subred física PROFIBUS logra leer directamente los datos de entrada de los esclavos inteligentes o simples. [5]

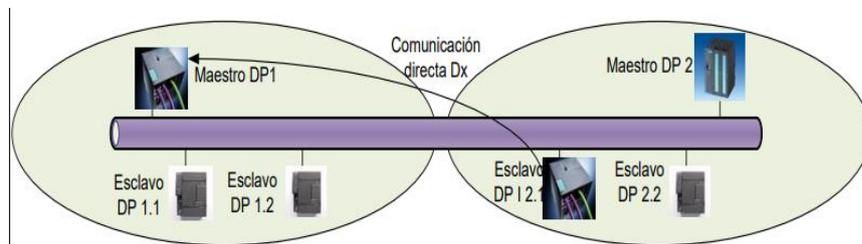


Figura 5. Método multimaestro [5]

### 2.3 Cableado para una red PROFIBUS

Para el trabajo sin disturbios en una red PROFIBUS-DP, el cable del bus tiene que ser finalizado en ambos lados con unas resistencias de finalización. Desde la primera estación hasta la última estación el cable del bus tiene que ser tratado como un único cable de la red.

Los finalizadores del bus tienen que conectarse en la primera y última estación, en otras palabras, lo que se hace es salir del PLC con el cable e ir conectando entre todas las estaciones remotas o esclavas, haciendo una serie entre ellas. [6]

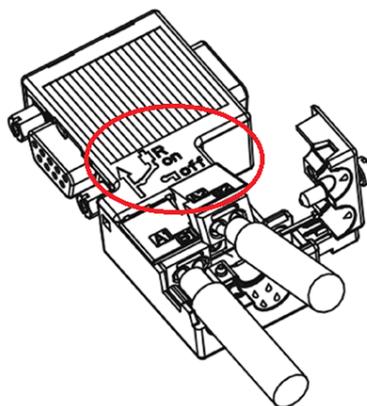


Figura 6. Resistencia para cable PROFIBUS DP

Como se observa en la figura, en el conector hay un apartado ON/OFF, estos apartados sirven para la conexión o desconexión de la resistencia de finalización del bus, por lo que a los extremos de la red (PLC Maestro y PLC Esclavo) se coloca el selector en ON.

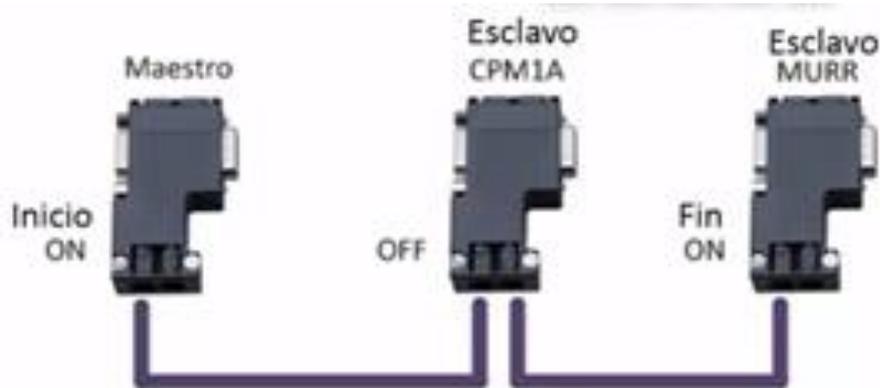


Figura 7. Ejemplo de una red de un Maestro PROFIBUS con dos estaciones remotas esclavas.

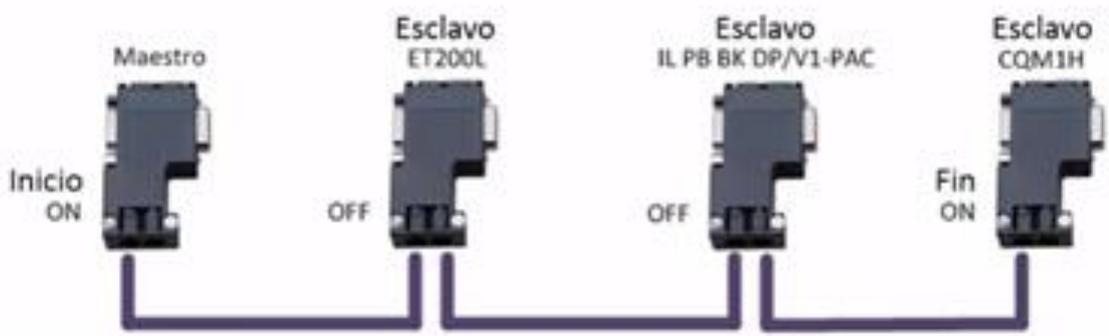


Figura 8. Ejemplo de una red Maestro PROFIBUS DP con tres estaciones remotas esclavas.

## 2.4 Proceso para el secado del cacao.

Después de la fermentación las semillas de cacao pasan al secado. Cuando llega el secado las semillas de cacao tienen una humedad del 55%, esta misma humedad debe reducirse a un 6 u 8%, con el cual el cacao se almacena y se comercializa. Durante este proceso continúa la fermentación, ahí es cuando las semillas terminan los cambios que le dan el sabor y aroma al chocolate y los granos contienen un sabor menos amargo o ácido. [7]

Si durante el secado este proceso queda incompleto, los granos de cacao pueden desarrollar moho, pero si se seca demasiado la cascara y los granos se vuelven bastante quebradizos.

### 2.4.1 Tipos de secado para el cacao.

Existen 2 tipos de secado para el cacao los cuales son: Secado natural y secado artificial. Para este proceso se usa el secado artificial el cual consiste en el uso de un horno con resistencias eléctrica, este proceso debe mantener una temperatura de entre 50°C a 90°C e irlo removiendo constantemente durante este proceso que tiene una duración de entre 2 horas a 3 horas, dependiendo la humedad que haya especificado el cliente. [8]



Figura 9. Secado de cacao en horno. [9]

## 2.5 Proceso para llenado de llantas.

Otro de los procesos usados en este proyecto es el llenado de llantas normalmente se cree que las llantas son las que cargan con el peso del vehículo, pero es la presión del aire dentro de ellas las que soportan todo el peso, es por eso que la presión de inflado es un aspecto importante al momento de darle mantenimiento a una llanta, con la presión correcta las llantas duran más tiempo, se ahorra gasolina e impiden accidentes. [10]

Las presiones recomendadas para las llantas se encuentran especificadas en las llantas, esta presión es la presión necesaria antes de que se empiece a conducir algunos kilómetros. Al ser un gas este se expande cuando está caliente y se contrae cuando hace frío.

Diámetro de la Rueda 15 "									
185 / 60R15C Agilis <sup>®</sup> CrossClimate <sup>®</sup> C-Metric									
PSI		30	35	40	45	50	Máxima carga y presión en la pared lateral		
kPa		210	240	280	310	340			
LBS	Soltero	1960	2180	2460	2680	2880	S	1475 LBS a 54 PSI	
	Doble						D	N / A	
KG	Soltero	890	990	1120	1220	1310	S	670 KG a 375 kPa	
	Doble						D	N / A	

205 / 65R15C Agilis <sup>®</sup> CrossClimate <sup>®</sup> C-Metric									
PSI		30	35	40	45	50	Máxima carga y presión en la pared lateral		
kPa		210	240	280	310	340			
LBS	Soltero	2350	2620	2970	3210	3460	S	1875 LBS a 54 PSI	
	Doble	4430	4930	5570	6060	6520	D	1765 LBS a 54 PSI	
KG	Soltero	1070	1190	1350	1460	1570	S	850 KG a 375 kPa	
	Doble	2010	2240	2530	2750	2960	D	800 KG a 375 kPa	

S = Configuración individual, o 2 neumáticos por eje.  
D = Configuración dual, o 4 neumáticos por eje.

Figura 10. Tabla de presión para neumáticos de 15" de diámetro. [11]

kpa	bar	lb/in <sup>2</sup> (p.s.i.)	kg/cm <sup>2</sup>
100	1.0	15	1.0
150	1.5	22	1.5
200	2.0	29	2.0
250	2.5	36	2.6
300	3.0	44	3.1
350	3.5	51	3.6
400	4.0	58	4.1
450	4.5	65	4.6
500	5.0	73	5.1
550	5.5	80	5.6
600	6.0	87	6.1
650	6.5	94	6.6
700	7.0	102	7.1
750	7.5	109	7.7
800	8.0	116	8.2
850	8.5	123	8.7
900	9.0	131	9.2
950	9.5	138	9.7
1000	10.0	145	10.2
1050	10.5	152	10.7

Figura 11. Tabla de presión para neumáticos de camión. [12]

## 2.6 Tabla de precios generados.

<b>MATERIAL</b>	<b>PRECIO</b>
Módulo Maestro Profibus CM 1243-5	\$643.00
Módulo Esclavo Profibus CM 1242-5	\$485.00
Resistencia Profibus	\$75.00
Cable de conexión Profibus	\$20.00
Transmisor de presión	\$185.00
Transmisor de temperatura THD-R	\$138.00
Electroválvula	\$60.00
Carcasa Horno eléctrico	\$40.00
Resistencias eléctricas	\$25.00
Relé de estado sólido	\$15.00
Tanque de aire	\$20.00
Válvula de control proporcional	\$675.00
Neumático de 15psi	\$10.00
Carcasa para módulo didáctico	\$243.00
Pulsadores	\$12.00
Luces piloto	\$18.00
Selectores de 2 vías	\$23.00
Selector de 3 vías	\$12.00
Voltímetro digital	\$8.00
Potenciómetros de precisión	\$45.00
Borneras	\$14.00
Relés	\$45.00
Riel din	\$4.00
Clemas de tornillo	\$7.00
<b>VALOR TOTAL</b>	<b>\$2820.0</b>

Tabla 1. Tabla de costos de materiales usados para el proyecto

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Diseño del módulo didáctico.

En el desarrollo de la repotenciación del módulo didáctico, para las prácticas de comunicación industrial PROFIBUS, se usan autómatas programables de la marca Siemens, al igual que el panel táctil y los relés, selectores, pulsadores, luces piloto, potenciómetros, voltímetro digital, fuente de voltaje. Conjuntamente, conectores banana hembra, puertos DB25 y DB9.



Figura12. Módulo didáctico antiguo

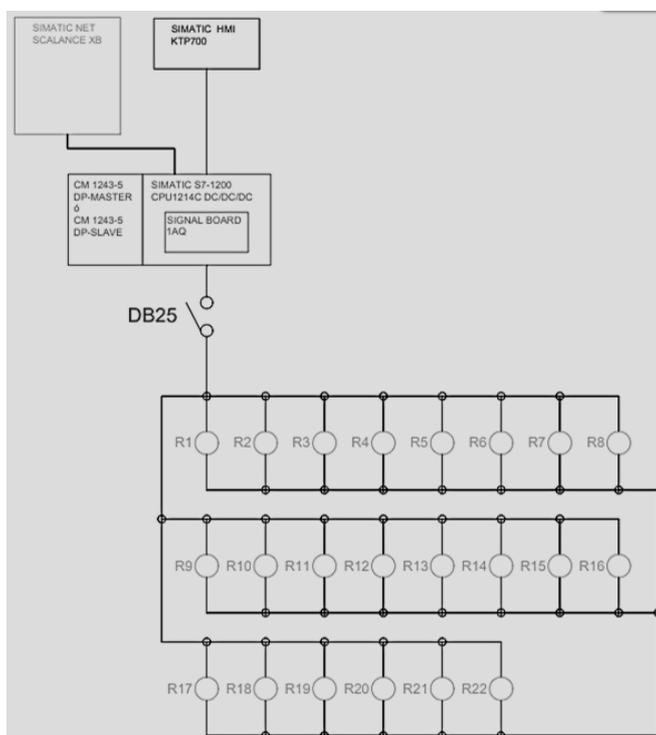


Figura 13. Diagrama de bloques del módulo didáctico

### 3.2 El cuerpo del módulo didáctico.

La estructura del módulo didáctico está formada por metal y fue creado de forma cerrada, con una tapa en la parte frontal donde irá todos los elementos antes mencionados a la vista de los estudiantes para su fácil manipulación.



Figura 14. Parte frontal del módulo de prácticas



Figura 15. Parte interna del módulo de prácticas

Por dentro del módulo está colocado el PLC, switch, relés, fuente de poder de 24VDC, módulo maestro PROFIBUS, router TP-LINK Wr-840n y las interconexiones eléctricas que logran el funcionamiento del módulo



Figura 16. Cableado interno del módulo de prácticas



Figura 17. Elementos de la parte frontal del módulo de prácticas.

### 3.3 Autómata programable

El controlador Simatic s7-1200 es la opción ideal cuando se trata de realizar tareas de automatización de manera flexible y eficiente en el rango de rendimiento medio a bajo. Cuentan con una amplia gama de funciones tecnológicas e IO integradas, así como un diseño especialmente compacto y que ahorra espacio.

El CPU que se usa para este proyecto es el 1214C AC/DC/RLY (6ES7214-1BE30-0XB0), que tiene una memoria de trabajo de 50KB, alimentada por una corriente alterna de entre 120V a 240V, con una frecuencia de línea de 47Hz a 63Hz.

El controlador cuenta con la capacidad de 14 entradas digitales a 24VDC, 6 de ellas de tipo digital pueden ser usadas para funciones tecnológicas, tienen 10 salidas digitales tipo relé, con carga resistiva máxima hasta 2A, posee 2 entradas analógicas de entre 0-10VDC. [13]



Figura 18. PLC S7-1200

### 3.4 Signal board de salidas analógicas.

El signal board SB 1232 AQ de salidas analógicas, es un módulo de expansión de autómatas programables para el controlador Siemens s7-1200, la cual se conecta a la CPU.

Este módulo tiene 1 salida analógica, con rangos de salida entre los -10V a 10V y rangos de salida de corriente de 0 a 20mA. [14]



Figura 19. Signal board de salidas analógicas

### 3.5 Switch CSM 1277.

Para la comunicación Ethernet entre los dispositivos PLC s7-1200, touch panel y PC se usará el switch CSM 1277, el cual cuenta con cuatro conectores hembra RJ45. [15]



Figura 20. Switch CSM 1277

### 3.6 Fuente de alimentación PM 1207.

La fuente de alimentación PM 1207 es un dispositivo que tiene como función proveer al módulo del voltaje nominal de 24VDC a una corriente de 5A para su funcionamiento.

El voltaje nominal de alimentación puede ser de dos tipos: monofásica (120VAC) o bifásica (230VAC) a 50/60Hz. [16]



Figura 21. Fuente de alimentación PM 1207.

### 3.7 Relés

Los relés utilizados en este proyecto son de tipo electromagnético de la marca Siemens, su voltaje nominal es monofásico de 120VAC a 50/60Hz [17]



Figura 22. Relés Siemens

### 3.8 Router TP-LINK Wr-840n

Para la comunicación inalámbrica entre dispositivos se coloca también un router de la marca TP link cuya velocidad de transmisión es de 300Mbps, perfecto para tareas sensibles a banda ancha y trabajo básico.

Posee una fácil encriptación de seguridad con solo presionar el botón WPS, su control de banda ancha basada en IP permite que los administradores puedes escoger cuanta banda ancha está distribuida a cada PC. [18]



Figura 23. Router TP-LINK Wr-840n

### 3.9 KTP600 Basic PN

El KTP600 Basic PN es una pantalla de 6 pulgadas TFT, utilizada para una interfaz Ethernet RJ45 10/100Mbps, configurable desde WinCC Basic/Step7 Basic. Su tensión de alimentación es de 24 VDC a 50/60Hz, utiliza una configuración de contactos 4PDT, su voltaje nominal de alimentación es monofásica 120 VAC a 50/60 Hz. [19]

### 3.10 Pulsadores.

Para este proyecto se usan 6 pulsadores, interconectados para trabajar con las entradas digitales del PLC s7-1200.



Figura 24. Pulsadores

### 3.11 Selectores.

Para este proyecto se usan 6 selectores de dos posiciones, conectados internamente para las entradas digitales del PLC s7-1200.

Además de otro selector de dos posiciones para habilitar el DB25. Un selector de 2 posiciones en cada módulo, para habilitar una entrada analógica desde afuera del módulo, un selector de tres posiciones para visualizar en el voltímetro el valor que se encuentra en las entradas y salidas analógicas.



Figura 25. Selectores

### 3.12 Luces pilotos.

Para este proyecto se usan 8 luces pilotos, conectados internamente para trabajar con las salidas digitales del PLC s7-1200.

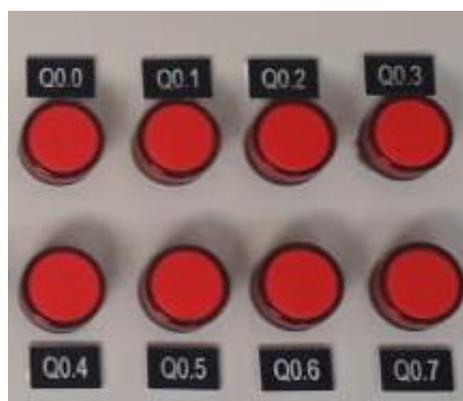


Figura 26. Luces piloto

### 3.13 Potenciómetros

Este proyecto cuenta con dos potenciómetros de precisión de 10Kw, conectados para trabajar con entradas analógicas del PLC s7-1200.



Figura 27. Potenciómetros

### 3.14 Voltímetro digital

Este módulo para su repotenciación se usa un voltímetro digital, que sirve para medir las señales analógicas, ya sean entradas o salidas.



Figura 28. Voltímetro digital

### 3.15 Conectores banana hembra

Para este proyecto se usan 14 conectores banana hembra, distribuidos de la siguiente forma:

- 3 conectores banana hembra usados para 24VDC.
- 3 conectores banana hembra usados para GND.
- 2 conectores banana hembra usados como entrada digital.
- 2 conectores banana hembra usados como salida digital.
- 1 conector banana hembra usado para entrada analógica positiva.
- 1 conector banana hembra usado para entrada analógica negativa.
- 1 conector banana hembra usado para salida analógica positiva.
- 1 conector banana hembra usado para salida analógica negativa.

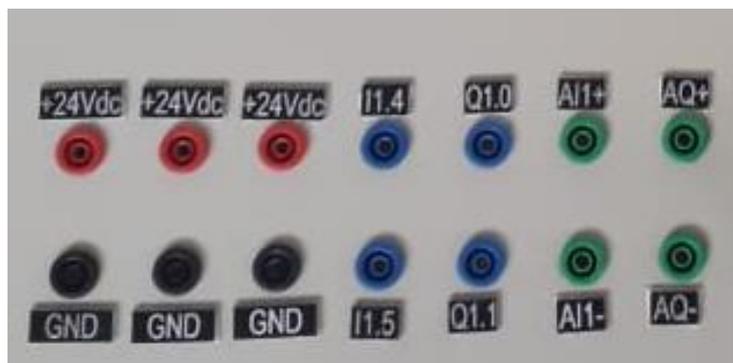


Figura 29. Borneras

### 3.16 Software de programación: TIA PORTAL V15.

El programa usado en la configuración de los dispositivos y programación del PLC para cada una de las prácticas es el TIA PORTAL (Totally Integrated Automation Portal), una diferentes productos SIMATIC en una aplicación de software que facilitan el aumento en el rendimiento y la eficacia del proceso.

Este programa es usado para el control, monitoreo y supervisión, viable para múltiples versiones de Windows.

El lenguaje de programación usado en este software es el KOP, un esquema de contactos, escalera o ladder fácil de entender. [20]

### 3.17 Diagrama de conexiones.

La fuente de alimentación PM 1207, PLC s7-1200 y relés trabajan a 120 VAC, el KTP600 Basic PN trabaja a 24VDC, el voltímetro será usado para medir el voltaje que se hallan las entradas y salidas analógicas que van desde 0 a 10VDC.

Las entradas y salidas digitales usan 24VDC conectadas directamente a la fuente de alimentación, las entradas y salidas analógicas usan 10VDC.

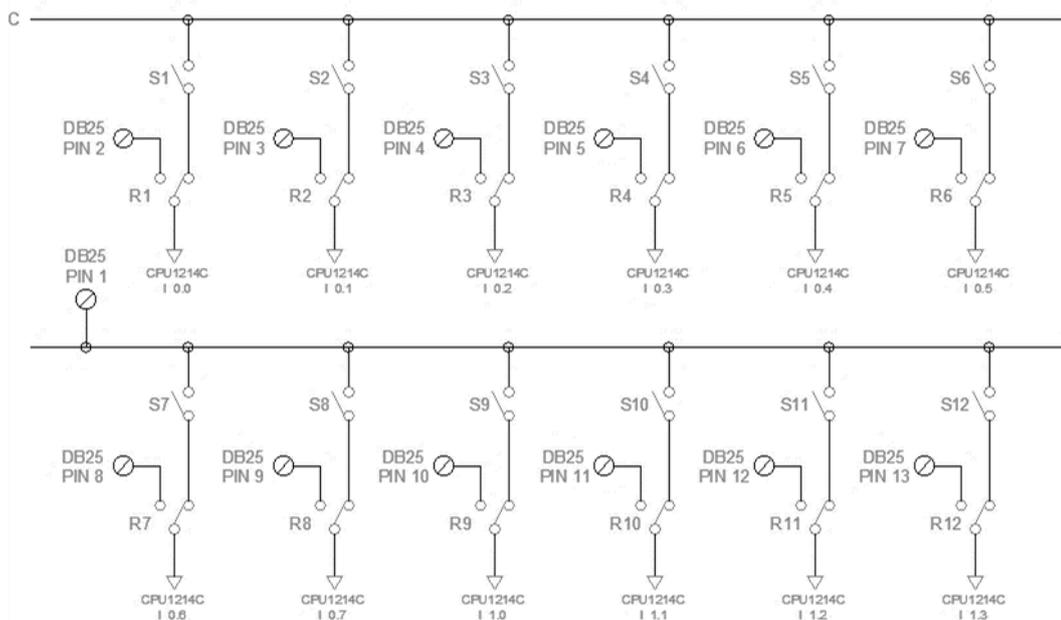


Figura 30. Diagrama de conexiones de Entradas digitales

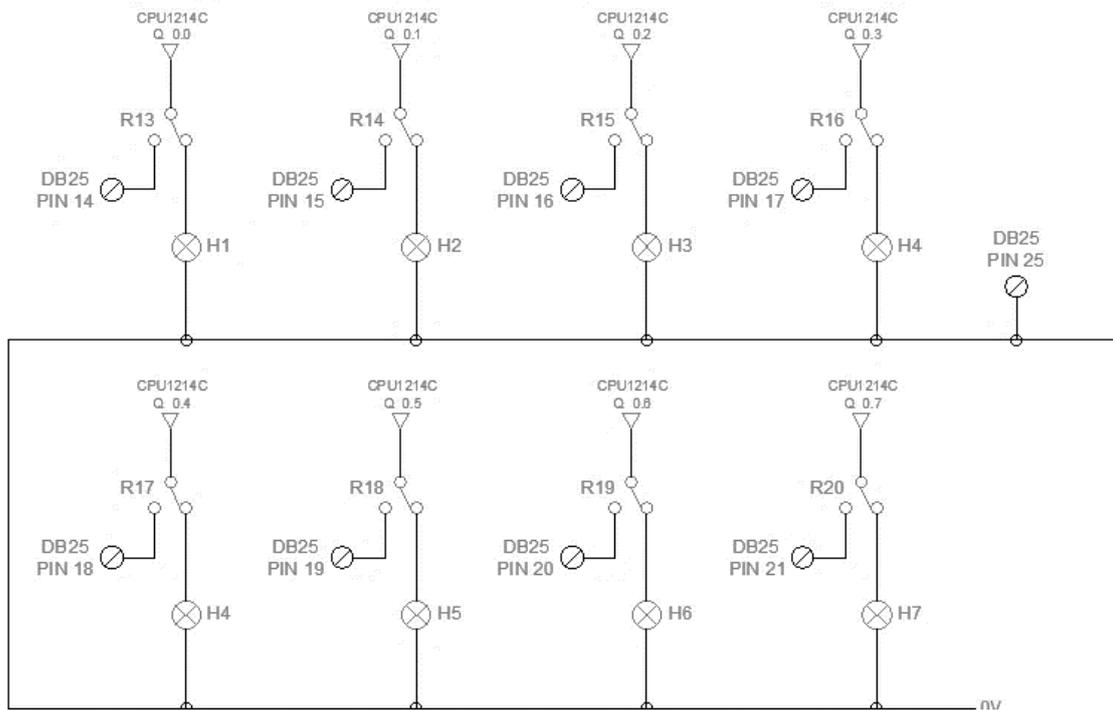


Figura 31. Diagrama de conexiones de Salidas digitales

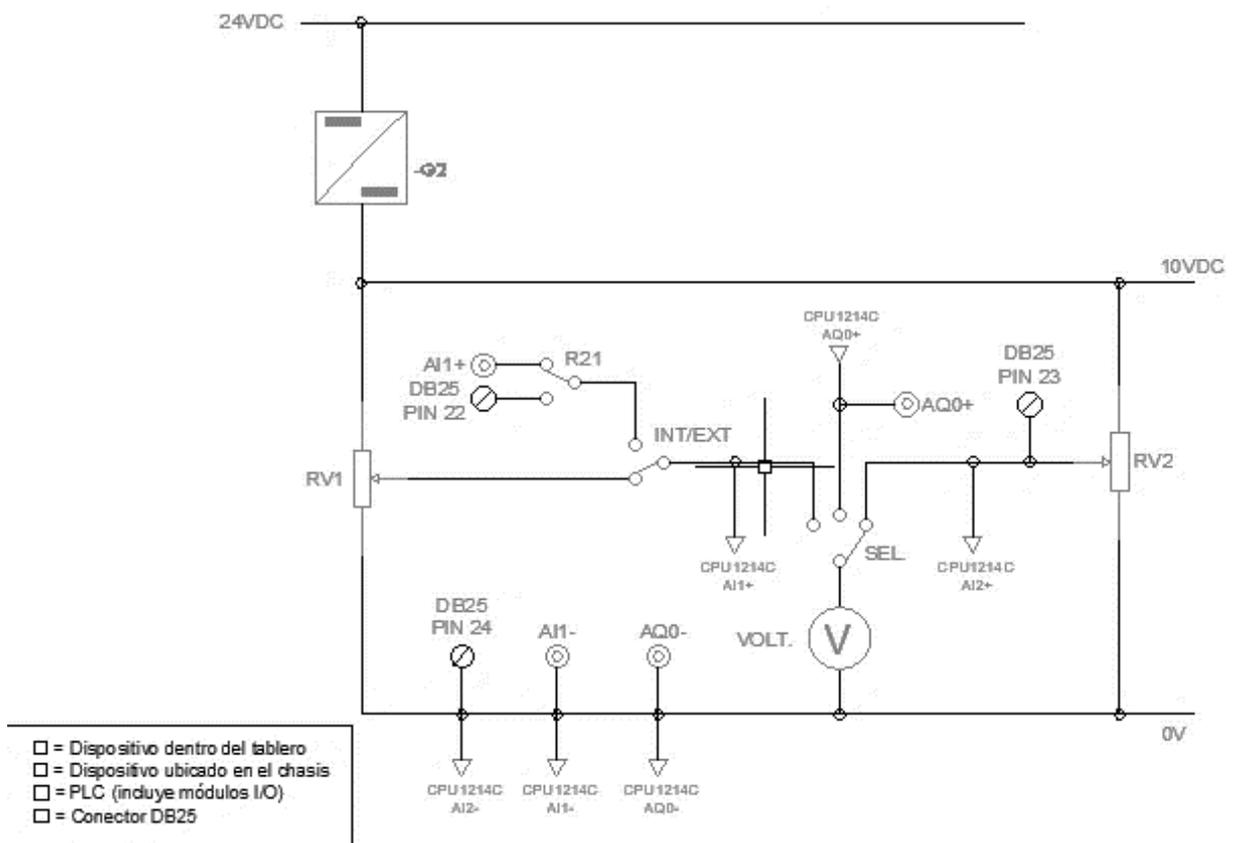


Figura 32. Diagrama de conexiones para entradas y salidas analógicas

### 3.18 Controlador PID

El controlador usado para 2 de las 5 prácticas en este proyecto es un controlador PID, el software TIA PORTAL V15 tiene un bloque designado para este tipo de controlador, que funciona bajo la siguiente formula:

$$y = Kp[(b * w - x) + \frac{1}{Ti * s} * (w - x) + \frac{Td * S}{a * Td * s + 1} * (c * w - x)]$$

Donde:

y: Valor de salida del algoritmo PID

Kp: Ganancia proporcional

s: Operador laplaciano

b: Ponderación de la acción P

w: Consigna

x: Valor real

Ti: Tiempo de integración

a: Coeficiente para el retardo de la acción derivada

Td: Tiempo derivativo

c: Ponderación de la acción D [21]

Estos parámetros entran en diagrama de bloques, mejor ilustrado en la siguiente imagen:

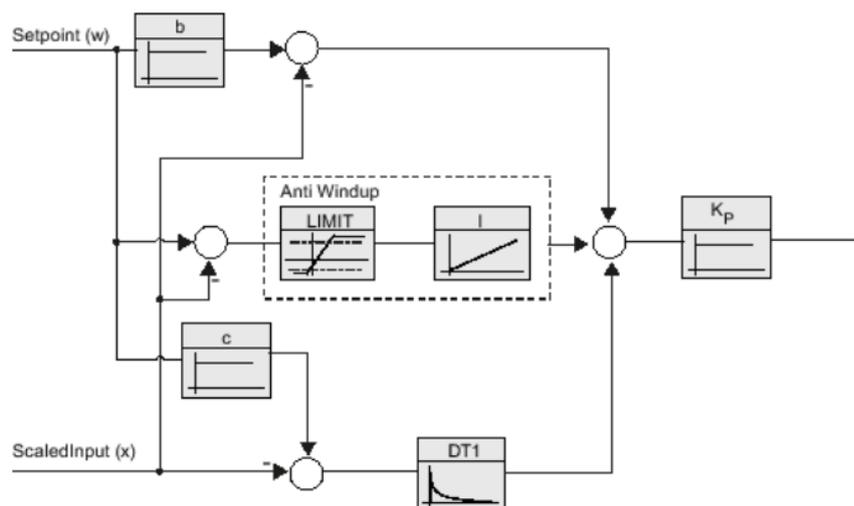


Figura 33. Diagrama de bloque usado en el bloque PID del software TIA PORTAL V15 [21]

Para lograr la estabilidad de cualquier sistema que se desee regular existen 2 tipos de reglas para la optimización. En la lista desplegable "Estructura del regulador" se selecciona si van a calcular los parámetros PI o PID.

- **PID**

Se calcula durante la optimización inicial y la optimización fina del parámetro PID. [21]

- **PI**

Se calcula durante la optimización inicial y la optimización fina del parámetro PI. [21]

Para la ejecución de las prácticas 2 y 3 de este proyecto se utilizó parámetros PID. En la práctica #2 se ejecutaron tanto la optimización inicial como la optimización fina, dando mejores resultados la optimización fina para el control de este proceso.

The screenshot shows a window titled "Parámetros PID" with a checkbox for "Activar entrada manual" which is unchecked. Below this are several input fields for PID parameters: "Ganancia proporcional" (1.00745), "Tiempo de integración" (2.348986 s), "Tiempo derivativo" (5.942174E-1 s), "Coeficiente retardo derivativo" (0.1), "Ponderación de la acción P" (0.257816), "Ponderación de la acción D" (0.0), and "Tiempo muestreo algoritmo PID" (2.999952E-1 s). At the bottom, under "Regla para la optimización", the "Estructura del regulador" is set to "PID" via a dropdown menu.

Parámetro	Valor
Activar entrada manual	<input type="checkbox"/>
Ganancia proporcional	1.00745
Tiempo de integración	2.348986 s
Tiempo derivativo	5.942174E-1 s
Coeficiente retardo derivativo	0.1
Ponderación de la acción P	0.257816
Ponderación de la acción D	0.0
Tiempo muestreo algoritmo PID	2.999952E-1 s
Estructura del regulador	PID

Figura 34. Parámetros PID de la práctica #2

En la práctica #3 se ejecutaron tanto la optimización inicial como la optimización fina, dando mejores resultados la optimización inicial para el control de este proceso.

The screenshot shows a window titled "Parámetros PID" with a checkbox for "Activar entrada manual" which is unchecked. Below this are several input fields for PID parameters: "Ganancia proporcional" (29.76926), "Tiempo de integración" (1.242709 s), "Tiempo derivativo" (2.174741E-1 s), "Coeficiente retardo derivativo" (0.1), "Ponderación de la acción P" (0.8), "Ponderación de la acción D" (0.0), and "Tiempo muestreo algoritmo PID" (0.299999 s). At the bottom, under "Regla para la optimización", the "Estructura del regulador" is set to "PID" via a dropdown menu.

Parámetro	Valor
Activar entrada manual	<input type="checkbox"/>
Ganancia proporcional	29.76926
Tiempo de integración	1.242709 s
Tiempo derivativo	2.174741E-1 s
Coeficiente retardo derivativo	0.1
Ponderación de la acción P	0.8
Ponderación de la acción D	0.0
Tiempo muestreo algoritmo PID	0.299999 s
Estructura del regulador	PID

Figura 35. Parámetros PID de la práctica #3

### 3.19. Diagramas P&ID

Los diagramas P&ID son diagramas sobre tuberías e instrumentos que se usan durante algún proceso industrial, mostrando el flujo que sigue dicho proceso en las tuberías y también los equipos instalados para la misma.

Tres de las cinco prácticas propuestas para este proyecto, se basan en procesos industriales (Proceso térmico, Proceso neumático y Proceso de nivel), dichos procesos tienen su propio P&ID, el cual se mostrará a continuación:

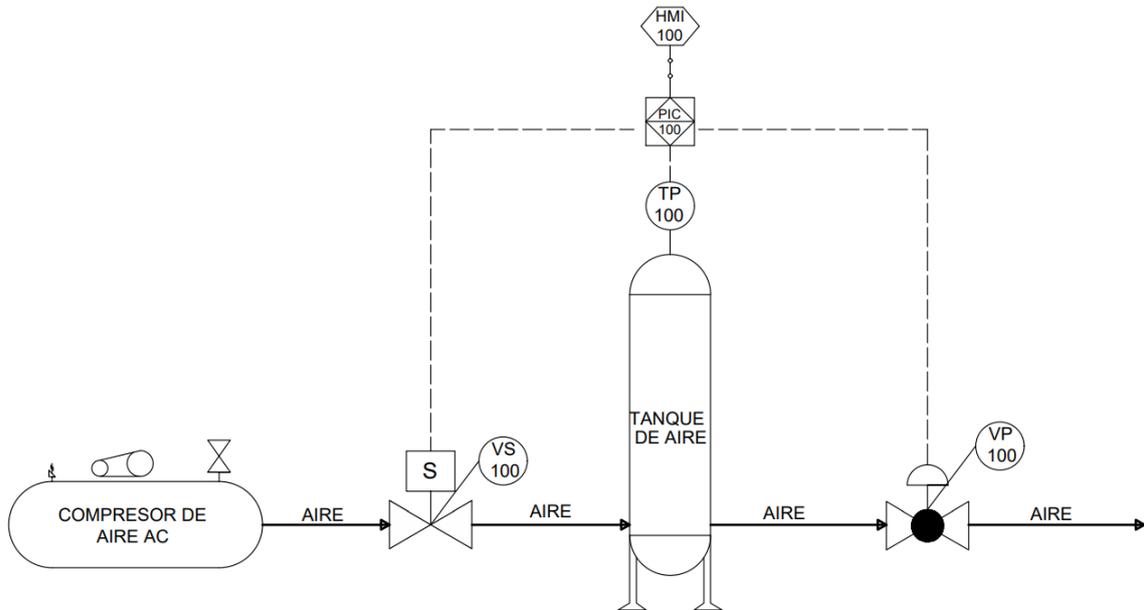


Figura 36. P&ID Práctica #2

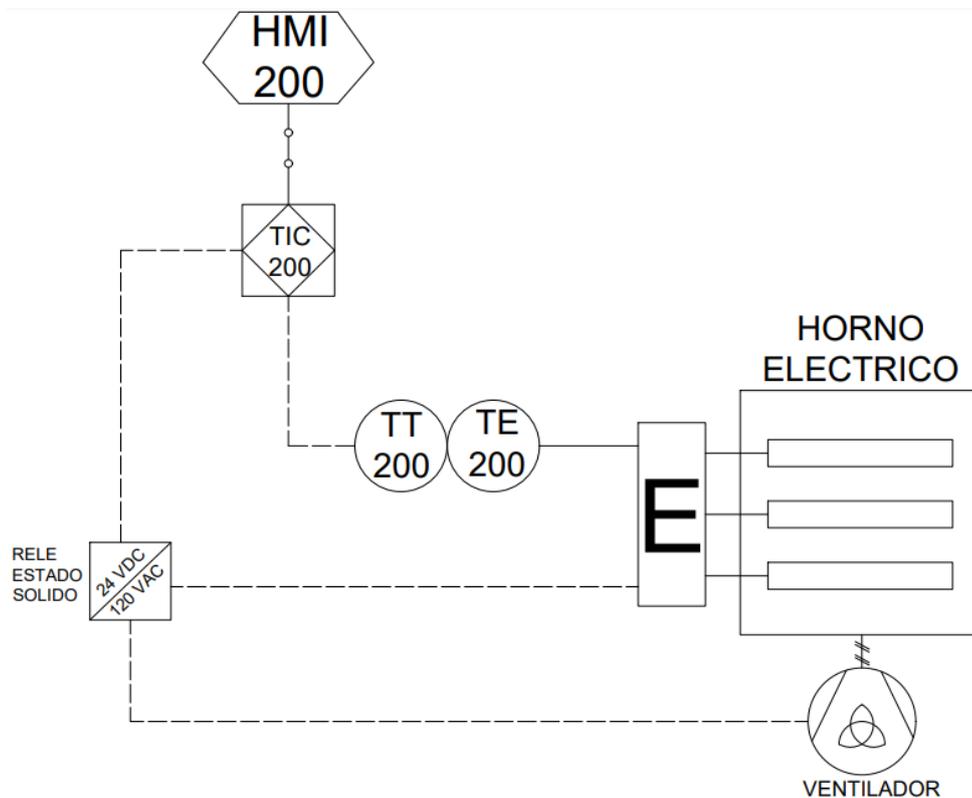


Figura 37. P&ID Práctica #3

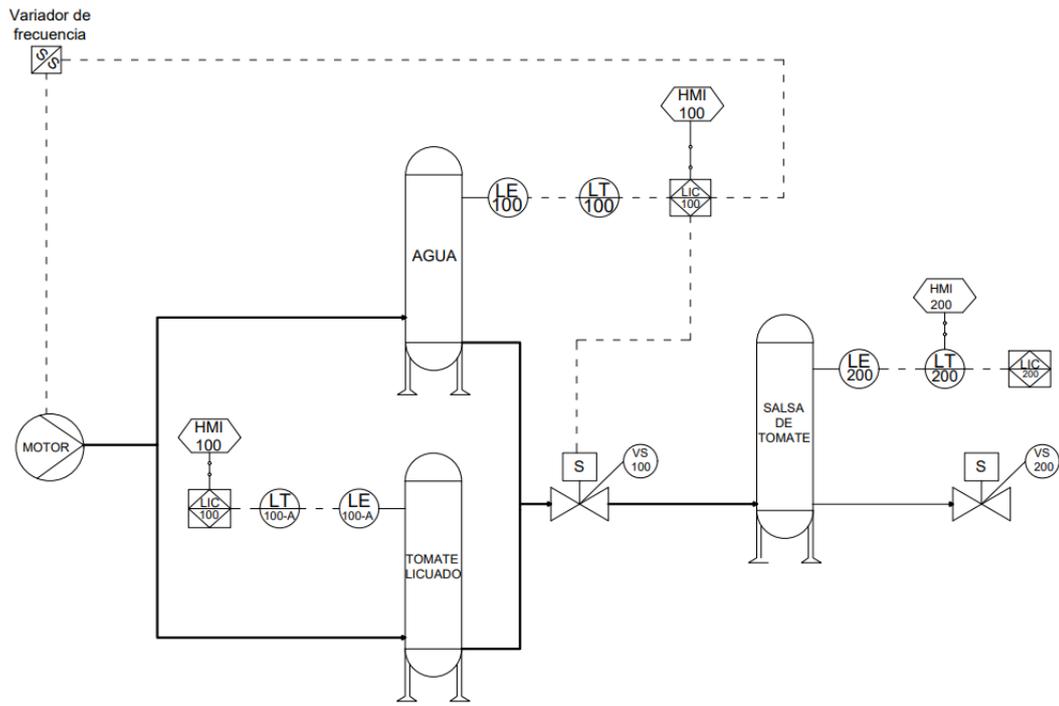


Figura 38. P&ID Práctica #4

### 3.19 Instrumentos

Los instrumentos sirven para ayudar al control de los procesos, ya que brindan datos lo más precisos posible sobre la variable que se vaya a medir. En dos de las tres prácticas planteadas en este proyecto se usaron instrumentos los cuales son: Transmisor de presión HR-PTM300 y Transmisor de temperatura THD-R-C. A continuación, se detallan los datos técnicos de cada uno de ellos:



Figura 39. Transmisor de presión HR-PTM300

<b>Transmisor de presión HR-PTM300</b>	
Rango de medición	0-50 Bar
Señal de salida	4-20mA
Voltaje de entrada	24 VDC
Exactitud	+/- 0.5 F.S
Peso	180g

Tabla 2. Tabla de datos técnicos transmisor de presión



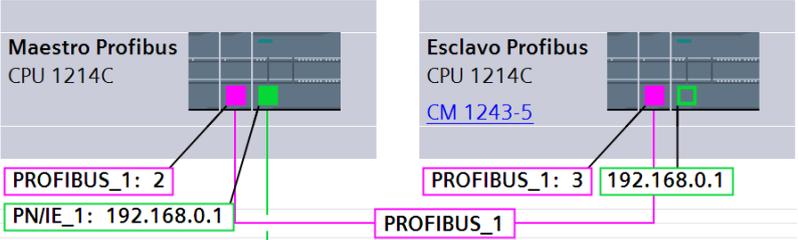
Figura 40. Transmisor de temperatura THD-R-C

<b>Transmisor de temperatura THD-R-C</b>	
Rango de medición	-19°C – 60 °C 0- 99.9 %RH
Señal de salida	4-20mA
Voltaje de entrada	24 VDC
Exactitud	+/- 3% RH – 30/70 RH +/- 0.5°C
Peso	55g
Sensor de temperatura	PT100

Tabla 3. Tabla de datos técnicos transmisor de temperatura

## 4. PRÁCTICAS DE LABORATORIO

### 4.1 Práctica #1

	<b>GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>
<b>CARRERA:</b> Ingeniería electrónica	<b>ASIGNATURA:</b> Redes de computadoras III
<b>NÚMERO DE PRÁCTICA: 1</b>	<b>TÍTULO DE PRÁCTICA:</b> “Configuración de los módulos CM 1242-5 y CM 1243-5 como esclavo y maestro PROFIBUS para la comunicación entre dos PLC S7-1200 AC/DC/RLY”
<b>OBJETIVOS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Diseñar una red PROFIBUS DP con el software TIA PORTAL v15.</li> <li>Configurar los módulos maestros 1243-5 y esclavo 1242-5 PROFIBUS.</li> <li>Comunicar dos PLC mediante el método maestro-esclavo PROFIBUS DP.</li> </ul>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:</b> <p>Esta práctica tiene como objetivo el desarrollo de la configuración de los módulos maestro y esclavo PROFIBUS DP, colocados en dos PLC Siemens S7 1200 1214c AC/DC/RLY, para el envío de datos desde el PLC Maestro hacia el PLC Esclavo. El medio físico usado para la comunicación entre ambos PLCs es un cable par trenzado de cobre estañado y apantallado, que en sus extremos posee terminales (resistencias) para la conexión entre ambos dispositivos.</p> <p>Ambas resistencias deben conectarse en “On” (Figura 7) y el envío de datos empieza desde el byte IB0 del maestro hacia el byte QB2 del esclavo, y del byte IB2 del esclavo hacia el byte QB0 del maestro, usando áreas de transferencia en el PLC Esclavo.</p> <p>Además, se creará una simulación para usarse en el HMI KTP700 Basic PN donde se observe también este envío de datos desde el maestro hacia el esclavo usando 8 botones y 8 luces piloto, contando también con botones de marcha y paro. Para más información dirigirse al Anexo 2.</p>	
<b>DIAGRAMA DE CONEXIONES:</b>	
	
Figura 41. Conexiones del PLC	

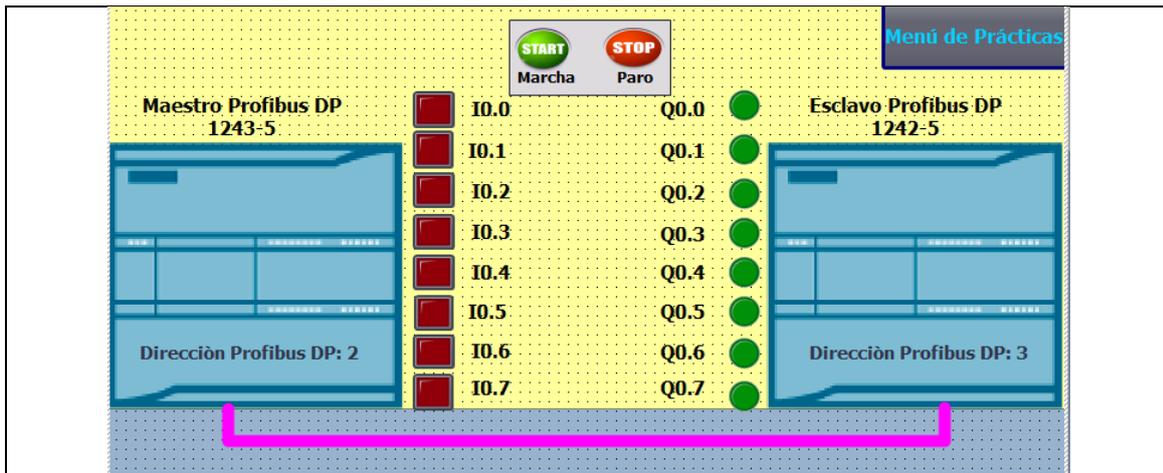


Figura 42. Pantalla HMI de la práctica #1.

**TABLA DE VARIABLES:**

Nombre	Tipo de datos	Dirección
Marcha	Bool	M302.0
Paro	Bool	M302.1
Input_0	Bool	M300.0
Input_1	Bool	M300.1
Input_2	Bool	M300.2
Input_3	Bool	M300.3
Input_4	Bool	M300.4
Input_5	Bool	M300.5
Input_6	Bool	M300.6
Input_7	Bool	M300.7
Led_0	Bool	Q2.0
Led_1	Bool	Q2.1
Led_2	Bool	Q2.2
Led_3	Bool	Q2.3
Led_4	Bool	Q2.4
Led_5	Bool	Q2.5
Led_6	Bool	Q2.6
Led_7	Bool	Q2.7
Encendido	Bool	Q1.0
A	Byte	MB300
B	Byte	QB2

Tabla 4. Variables de la práctica 1

## 4.2 Práctica #2

	GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO
CARRERA: Ingeniería electrónica	ASIGNATURA: Redes de computadoras III
NÚMERO DE PRÁCTICA: 2	TÍTULO DE PRÁCTICA: “Sistema neumático para el llenado de llantas de automóvil aplicado en una red Maestro-Esclavo PROFIBUS.”
<b>OBJETIVOS:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Configurar los parámetros PROFIBUS DP para el módulo maestro y esclavo.</li><li>• Aplicar los conocimientos sobre instrumentación industrial mediante el transmisor de presión y su configuración para poder controlar el sistema.</li><li>• Elaborar un control PID para el control de la válvula proporcional</li></ul>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:</b> <p>El objetivo de esta práctica es poder controlar la abertura de una válvula proporcional mediante un controlador PID, para lograr inflar llantas de automóviles de acuerdo a la presión necesaria en el neumático, valiéndose de la señal emitida por un transmisor de presión ubicado en un tanque de aire.</p> <p>El proceso inicia encendiendo un compresor de aire que envía el producto hacia una electroválvula que se abre solamente cuando el tanque pulmón sea de 0 PSI o en 60PSI, como recién inicia se abre y empieza a llenar el tanque hasta que alcance una presión de 100 PSI, una vez alcanzada esta presión dentro del tanque, la electroválvula se cerrará cuando el tanque llega a tener una presión de 100 PSI, dependiendo del modo de ejecución (manual o automático) el sistema funcionará de las siguientes maneras:</p> <p>Modo manual: Cuando el tanque llega a tener una presión de 100 PSI, cada vez que se aplaste el botón “Cambio de llanta” empieza la válvula proporcional a abrirse y regularse hasta alcanzar la presión seteada con la cual se llenará el neumático y disminuye en 10 PSI la presión en el tanque y así cada vez que se aplaste este botón se repetirá el proceso y cuando la presión del tanque llega a 60 PSI, como se mencionó en el párrafo anterior se abre la electroválvula y el tanque empieza a llenarse hasta llegar a tener 100 PSI.</p> <p>Modo automático: Cuando el tanque llega a tener una presión de 100 PSI automáticamente empieza la válvula a abrirse hasta regularse la abertura necesaria para alcanzar la presión seteada con la cual se llenará el neumático y disminuye en 10 PSI la presión en el tanque y así sucesivamente hasta que se apague el sistema, al igual que el sistema pasado la presión del tanque cuando llegue a 60 PSI, la electroválvula se abrirá y el tanque empieza a llenarse hasta alcanzar la presión de 100 PSI.</p> <p>También se debe crear una simulación que será usada en un HMI KTP700 Basic PN donde se vea este proceso anteriormente descrito, mostrando además una gráfica donde se observe el comportamiento de la presión con respecto al valor seteado. Para más información dirigirse al Anexo 3.</p>	

**DIAGRAMA DE CONEXIONES:**

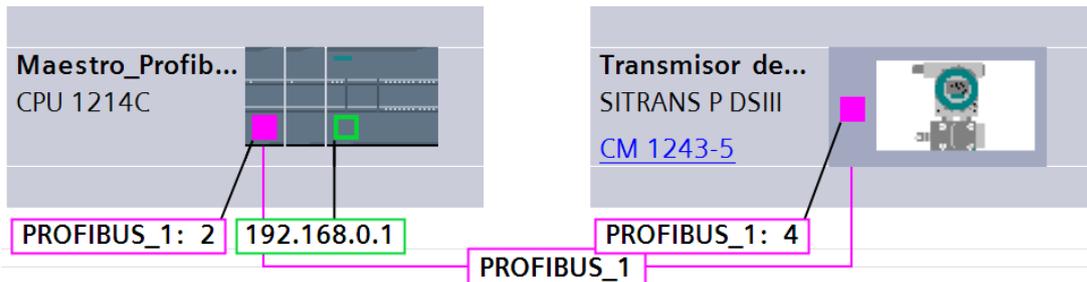


Figura 43. Conexiones del PLC

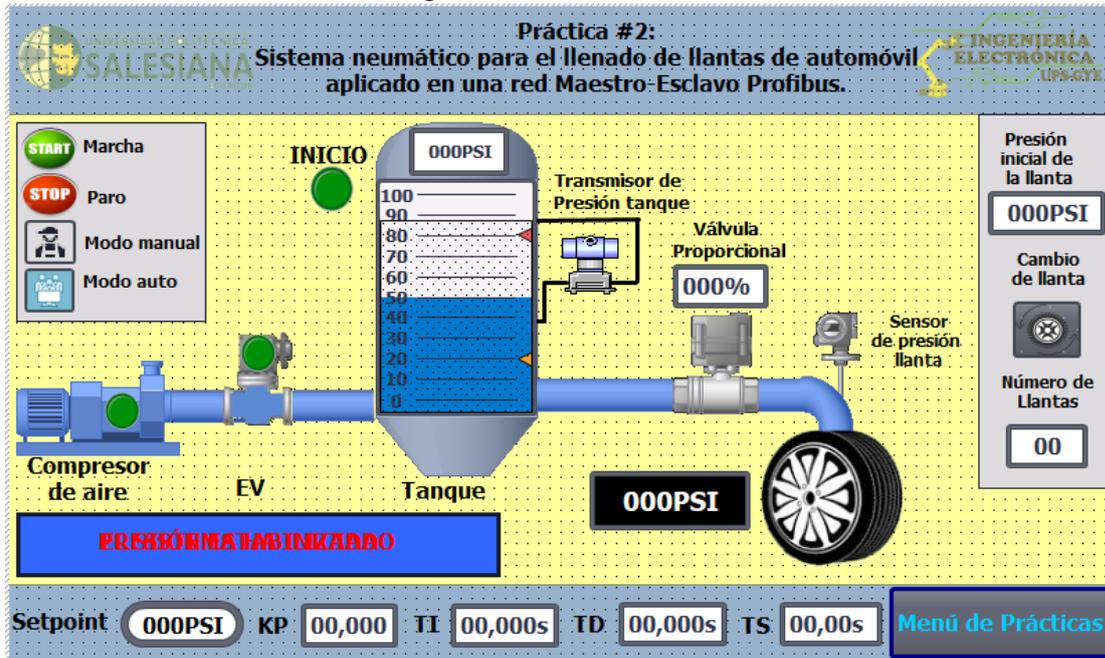


Figura 44. Sistema neumático

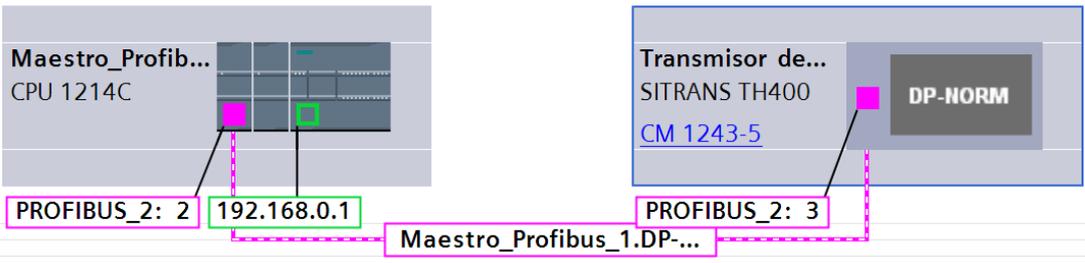
**TABLA DE VARIABLES:**

Nombre	Tipo de datos	Dirección
Marcha	Bool	M302.0
Paro	Bool	M302.1
Encendido	Bool	Q0.1
Salida_PID_Presion	Real	MD20
Entrada_presion	Word	IW24
Valor_normalizado	Real	MD100
Presion_medida	Real	MD104
Marcha_presion	Bool	M302.4
Paro_presion	Bool	M302.5
Encendido_nivel	Bool	M310.0
KP_press	Real	MD236
TD_press	Real	MD240
TI_press	Real	MD44
Presión_simulada	Real	MD112
Cambio_de_llanta	Bool	M301.2
Activacion_bienvenida	Bool	M500.4
Reinicio	Bool	M500.0
Aire_inicial	Bool	M303.1

Mensaje_presion_estabilizada	Bool	M500.1
Valor_press	Real	MD120
Llantas	Int	MW24
Reset_nivel	Bool	M0.5
Nivel_tanque	Real	MD304
Vaciado_1	Bool	M85.0
Act_Vaciado_1	Bool	M53.0
Vaciado_2	Bool	M48.0
Vaciado_3	Bool	M72.0
Vaciado_4	Bool	M78.0
Paro_vaciado_1	Bool	M40.2
Paro_vaciado_2	Bool	M70.1
Paro_vaciado_3	Bool	M75.0
Reset_contador	Bool	M40.1
Act_vaciado_3	Bool	M70.0
Act_vaciado_4	Bool	M77.0
Manual	Bool	M90.0
Aut_enclave	Bool	M111.0
Manual_enclave	Bool	M110.0
Automatico	Bool	M90.1
Segundos_press	Udint	MD162
Segundos_press_conv	Real	MD166
Segundos_conv_final	Real	MD170
Sensor_llanta	Bool	M320.0

Tabla 5. Variables de la práctica 2

### 4.3 Práctica #3

	<p style="text-align: center;">GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO</p>
<p>CARRERA: Ingeniería electrónica</p>	<p style="text-align: center;">ASIGNATURA: Redes de computadoras III</p>
<p><b>NÚMERO DE PRÁCTICA: 3</b></p>	<p><b>TÍTULO DE PRÁCTICA:</b> “Sistema térmico para el secado de las semillas presentes en el cacao aplicado en una red Maestro-Esclavo PROFIBUS”</p>
<p><b>OBJETIVOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configurar los parámetros PROFIBUS DP para el módulo maestro y esclavo.</li> <li>• Aplicar los conocimientos sobre instrumentación industrial mediante el transmisor de temperatura y su configuración para poder controlar el sistema.</li> <li>• Elaborar un controlador PID para el control de la temperatura del horno.</li> </ul>	
<p><b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:</b></p> <p>El objetivo de esta práctica consiste en controlar la temperatura dentro de un horno eléctrico para poder secar las semillas dentro de la mazorca de cacao, mediante un transmisor de temperatura, el cual estará conectado al horno.</p> <p>El proceso inicia encendiendo las resistencias eléctricas presentes en el horno, a medida que suba la temperatura, el transmisor de temperatura va enviando una señal (4-20mA) de acuerdo a la temperatura en la que se encuentre el horno, siendo 4 mA igual a 0°C y 20mA igual a 60°C, este dato va hacia el autómatas (Maestro PROFIBUS) que primero normaliza y escala esta señal analógica, para luego usar este dato digital en un controlador PID.</p> <p>La salida del controlador PID debe de ser una salida PWM para poder controlar por medio de ancho de pulsos el voltaje necesario para mantener la temperatura seteada en las resistencias durante un tiempo determinado. Al usar un PLC S7 1200 AC/DC/RLY es necesario convertir la salida del controlador PID a PWM, porque no existe un método integrado dentro del bloque PID que permita dicha operación.</p> <p>También se creará una simulación para un HMI KTP700 Basic PN donde se pueda apreciar este proceso, además de mostrar una gráfica de cómo se comporta la temperatura a medida que llega al valor seteado. Para más información dirigirse al Anexo 4.</p>	
<p><b>DIAGRAMA DE CONEXIONES:</b></p>  <p style="text-align: center;">Figura 45. Conexiones del PLC</p>	

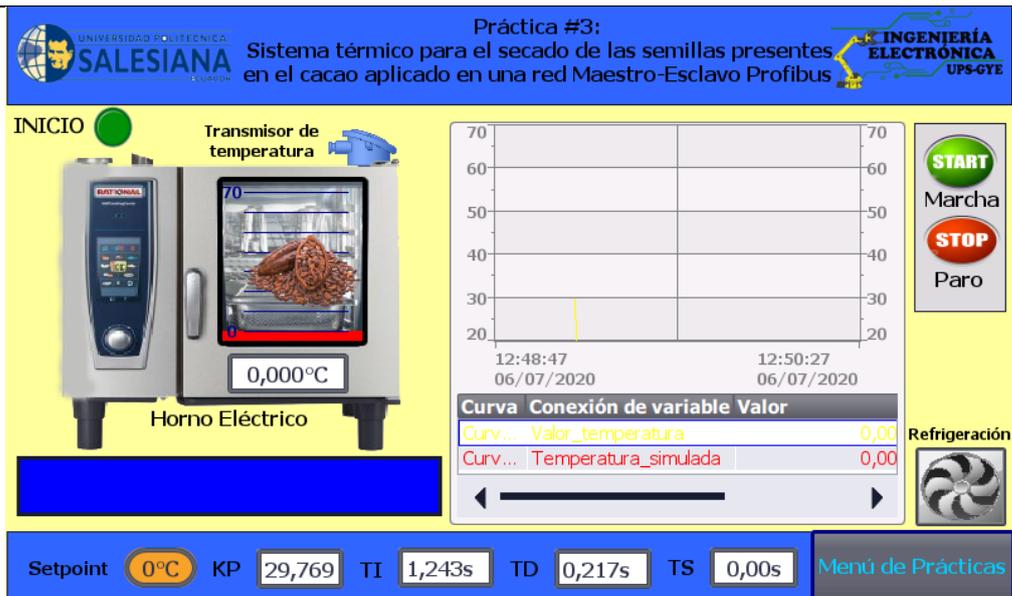


Figura 46. Sistema térmico

**TABLA DE VARIABLES:**

Nombre	Tipo de datos	Dirección
Marcha	Bool	M302.0
Paro	Bool	M302.1
Encendido	Bool	Q1.0
Salida_PID_temperatura	Real	MD18
Entrada_temperatura	Word	IW64
Pwm_1	Int	QW4
Salida_normalizada	Real	MD208
Temperatura_medida	Real	MD204
uPid	Real	MD18
On	Bool	
uPid_norm	Real	
uPid_ms	Dint	
Tpwm_et	Dint	
Periodo	Time	
Amplitud	Int	
Marcha_temperatura	Bool	M302.2
Paro_temperatura	Bool	M302.3
Encendido_temperatura	Bool	M303.0
Valor_temperatura	Real	MD220
Temperatura_simulada	Real	MD212
Activar_estado_PID	Bool	M104.4
KP_temp	Real	MD136
TD_temp	Real	MD140
TI_temp	Real	MD144
Refrigeración	Bool	M302.6
Refrigeracion_paro	Bool	M301.1
Refrigeracion_enclave	Bool	M301.0
Mensaje_refrigeracion	Bool	M405.1

Tiempo	Time	MD50
X	Real	MD32
Mensaje1	Bool	M405.0
Mensaje_encendido	Bool	M505.0
Mensaje_bienvenida	Bool	M505.1
Clock_5Hz	Bool	M100.1
Reinicio_temporizador	Bool	M500.2

Tabla 6. Variables de la práctica 3

#### 4.4 Práctica #4

	GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO
CARRERA: Ingeniería electrónica	ASIGNATURA: Redes de computadoras III
NÚMERO DE PRÁCTICA: 4	TÍTULO DE PRÁCTICA: “Comunicación multi-maestro”
<b>OBJETIVOS:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Conectar 2 módulos maestros 1243-5, mediante sus respectivas resistencias.</li><li>• Configurar ambos módulos maestros para lograr que se comuniquen.</li><li>• Realizar el proceso de salsa de tomate en ambos autómatas mediante pantallas HMI.</li><li>• Establecer diferencias entre el método maestro-esclavo y multi-maestro.</li></ul>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> <p>Esta práctica tiene como objetivo la comunicación entre 2 PLC S7 1200 AC/DC/RLY ambos siendo Maestros PROFIBUS DP (conocido como comunicación multi-maestro). A diferencia de la primera práctica esta se caracteriza porque el envío de datos se hace mediante los bloques Put&amp;Get y la activación de marcas de ciclos en ambos autómatas. El medio físico usado para esta práctica es el mismo usado en la primera práctica. Además, se creará una simulación entre una pantalla HMI KTP700 Basic PN de los autómatas y otra mediante un SCADA que comprende el proceso de la salsa de tomate, desde la materia prima hasta su embotellamiento y despacho.</p> <p>Para esto en cada HMI KTP700 Basic PN se muestra una parte del proceso, en el primer HMI el proceso inicia con la activación de un motor que envía la materia prima (Agua y tomate licuado) hacia 2 tanques, uno para el agua y el otro para el tomate licuado, estos tanques deben irse llenando a razón de 100ml por segundo hasta alcanzar la capacidad de 1000 ml, una vez llegue a esa cantidad se activa la electroválvula y empieza a descender el contenido a razón de 100ml por segundo hasta que quede totalmente vacío. Debe de existir también un botón de limpieza para que, cuando el tanque de salsa de tomate licuado esté vacío se active la bomba y se envíe agua caliente hacia el tanque, llenándose a razón también de 100ml por segundo y luego de llegar a los 1000ml debe de descender de 100ml en 100ml, este botón solo debe de funcionar cuando el nivel del tanque esté en 0ml, caso contrario no debe de funcionar la limpieza.</p> <p>Para la segunda parte del proceso se debe crear un SCADA mediante WinCC RT Advanced, debido a que no se pueden simular dos pantallas HMI al mismo tiempo, el proceso inicia llenando un tanque de 2000m3 que simboliza la mezcla de la materia prima del proceso anterior, una vez lleno deben pasar 6 segundos para que empiece a descender el producto a razón de 100ml dependiendo el número de botellas que se desean llenar, por ejemplo, si se desean 7 botellas, debe descender 7 veces el producto de 100 en 100ml por segundo y detenerse. El número de máximo de botellas que se pueden llenar es de 20, y así mismo como en el proceso anterior debe existir un botón para la limpieza del tanque que solo se activa cuando el tanque esté vacío. Para más información dirigirse al Anexo 5.</p>	

**DIAGRAMA DE CONEXIONES:**

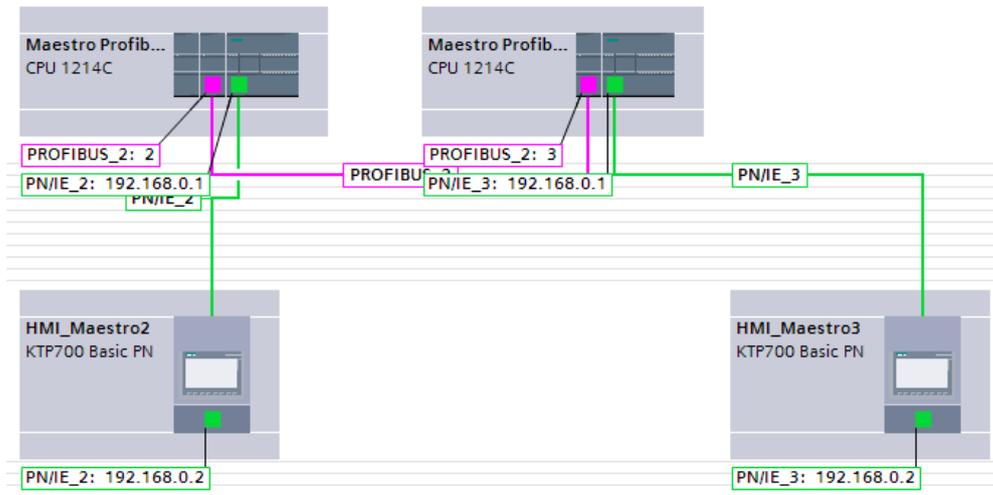


Figura 47. Conexiones del PLC

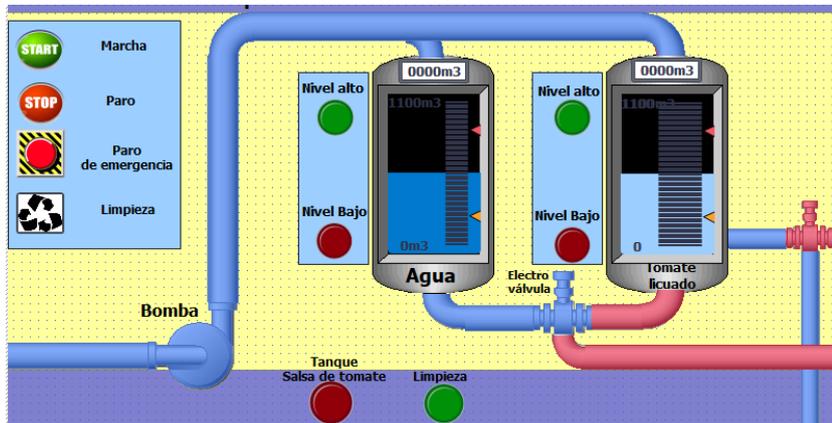


Figura 48. Pantalla HMI Maestro PROFIBUS 2

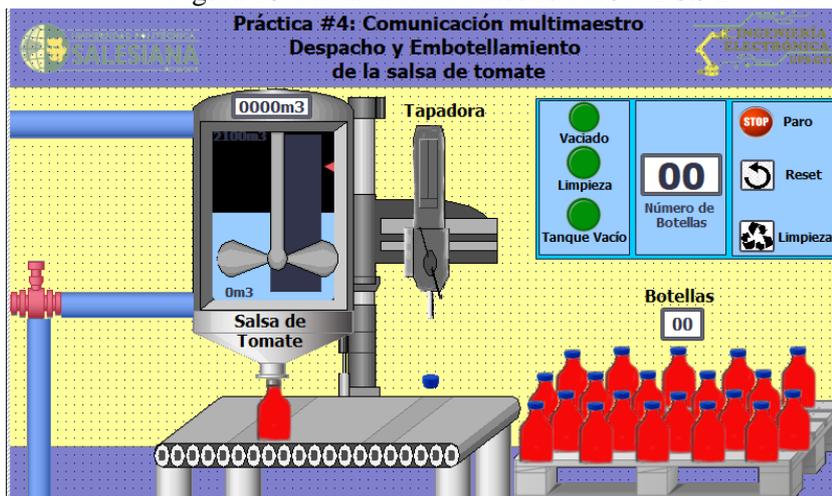


Figura 49. Pantalla HMI Maestro PROFIBUS 3

**TABLA DE VARIABLES PLC MAESTRO 1:**

Nombre	Tipos de datos	Dirección
Clock_10Hz	Bool	M100.0
Clock_5Hz	Bool	M100.1

Clock_2.5Hz	Bool	M100.2
Clock_2	Bool	M100.3
Clock_1.25Hz	Bool	M100.4
Clock_1Hz	Bool	M100.5
Clock_0.625Hz	Bool	M100.6
Clock_0.5_Hz	Bool	M100.7
Entrada	Byte	IB0
Salida	Byte	MB10
Marcha	Bool	M0.0
Paro	Bool	M0.1
Encendido	Bool	M3.3
Inicio_llenado	Bool	M0.4
Inv_giro	Bool	M0.3
EV	Bool	M1.0
Inicio_ev	Bool	M1.3
Nivel	Real	MD4
Nivel_alto	Bool	M2.0
Nivel_bajo	Bool	M2.1
Entrada_maestroP2	Byte	MB50
Salida_maestro2	Byte	QB2
Entrada_maestro3	Byte	MB52
Salida_Maestro_DP	Byte	QB4

Tabla 7. Variables de la práctica 4(1)

**TABLA DE VARIABLES PLC MAESTRO 2:**

Nombre	Tipo de datos	Dirección
Clock_10Hz	Bool	M100.0
Clock_5Hz	Bool	M100.1
Clock_2.5Hz	Bool	M100.2
Clock_2	Bool	M100.3
Clock_1.25Hz	Bool	M100.4
Clock_1Hz	Bool	M100.5
Clock_0.625Hz	Bool	M100.6
Clock_0.5_Hz	Bool	M100.7
Entrega	Byte	MB10
Recibo	Byte	QB0
Nivel_2	Real	MD4
EV2	Bool	M0.0
Paro	Bool	M0.1
Inicio2	Bool	M0.2
Vaciado	Bool	M1.4
Num_botellas	Int	MW28
Entrada_MaestroP2	Byte	MB50
Salida_MaestroP3	Byte	QB0

Tabla 8. Variables de la práctica 4(2)

#### 4.5 Práctica #5

	<b>GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>
<b>CARRERA:</b> Ingeniería electrónica	<b>ASIGNATURA:</b> Redes de computadoras III
<b>NÚMERO DE PRÁCTICA: 5</b>	<b>TÍTULO DE PRÁCTICA:</b> “Red industrial PROFIBUS-PROFINET para el control de los procesos de las prácticas 2 y 3 mediante un SCADA”
<b>OBJETIVOS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lograr crear una red PROFIBUS-PROFINET por medio de los módulos maestro-esclavos PROFIBUS y del maestro PROFIBUS crear un SCADA para controlar los procesos.</li> <li>• Crear pantallas individuales e interactivas para cada proceso.</li> </ul>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> <p>Esta práctica se enfoca más en controlar los procesos descritos en la segunda y tercera práctica mediante un SCADA conectado al autómata Maestro PROFIBUS. Para crear el SCADA debe de usarse WinCC RT Advanced, insertando una tarjeta “IE General” para que se puede conectar con el autómata.</p> <p>En el desarrollo de este SCADA se especifica más el proceso de secado de las semillas dentro de la mazorca de cacao y del llenado de las llantas. El proceso de secado debe de tener 12 cajas de madera, dentro de estas cajas de madera está el cacao que se va a secar, todo el cacao va a ser transportado por medio de una banda transportadora hacia el horno, el horno debe de tener el transmisor de temperatura y a su salida tuberías que se dirijan hacia los sacos donde se almacena el cacao seco, además de un slide para indicar el tiempo que tomará secar todo el cacao, para esto el slide debe de tener una escala de 0 a 10s, siendo 10s igual a 3 horas, el tiempo máximo de secado para el cacao.</p> <p>Este proceso inicia primero moviendo el slide para definir el tiempo de secado, luego con la marcha que enciende el horno y cuando la temperatura del horno alcance la temperatura seteada inmediatamente las cajas deben irse vaciando y el cacao moviéndose por medio de la banda transportadora hacia el horno, una vez estabilizado, el tiempo del slide empieza a correr y una vez culminado las tuberías se abren para enviar el producto hacia los sacos, cada saco debe llenarse cada 5s, también existe el botón de refrigeración que hace lo mismo que la práctica #3 y un botón para mostrar la gráfica de la temperatura con respecto el punto seteado.</p> <p>Para el proceso del llenado para las llantas de automóvil el proceso es el mismo hecho en la práctica #2, con los mismos botones y la gráfica de la presión con respecto al punto seteado. Para mayor información dirigirse al Anexo 6.</p>	
<b>DIAGRAMA DE CONEXIONES:</b>  <p style="text-align: center;">Figura 50. Conexiones del PLC</p>	



Figura 51. Pantalla sobre el proceso neumático para inflar llantas



Figura 52. Pantalla sobre el proceso térmico para secar las semillas del cacao

**TABLA DE VARIABLES:**

Nombre	Tipo de datos	Dirección
Marcha_temperatura	Bool	M302.2
Paro_temperatura	Bool	M302.3
Encendido_temperatura	Bool	M303.0
Valor_temperatura	Real	MD220
Temperatura_simulada	Real	MD212
Activar_estado_PID	Bool	M104.4
KP_temp	Real	MD136
TD_temp	Real	MD140
TI_temp	Real	MD144
Refrigeración	Bool	M302.6
Refrigeracion_paro	Bool	M301.1
Refrigeracion_enclave	Bool	M301.0
Mensaje_refrigeracion	Bool	M405.1

Tiempo	Time	MD50
X	Real	MD32
Mensaje1	Bool	M405.0
Mensaje_encendido	Bool	M505.0
Mensaje_bienvenida	Bool	M505.1
Clock_5Hz	Bool	M100.1
Reinicio_temporizador	Bool	M500.2
Salida_PID_Presion	Real	MD20
Inicio_animaciones	Bool	M200.5
Clock_10Hz	Bool	M100.0
Reset_movimiento	Bool	M400.1
Movimiento_cacao	Int	MW32
Sacos	Bool	M200.6
Cantidad_de_cacao	Int	MW40
Reset_proceso	Bool	M203.0
Cacao_humedo	Bool	M405.7
Cacao_secado	Bool	M405.2
Tiempo_secado	Time	MD94
Saco1	Bool	M400.2
Saco2	Bool	M400.4
Saco3	Bool	M400.5
Saco4	Bool	M400.6
Saco5	Bool	M401.1
Calor	Bool	M400.0

Tabla 9. Variables de la práctica 5(1)

<b>Nombre</b>	<b>Tipos de datos</b>	<b>Dirección</b>
Salida_PID_Presion	Real	MD20
Entrada_presion	Word	IW24
Valor_normalizado	Real	MD100
Presion_medida	Real	MD104
Marcha_presion	Bool	M302.4
Paro_presion	Bool	M302.5
Encendido_nivel	Bool	M310.0
Activacion_estados_presion	Bool	M104.3
KP_press	Real	MD236
TD_press	Real	MD240
TI_press	Real	MD44
Presión_simulada	Real	MD112
Cambio_de_llanta	Bool	M301.2
Activacion_bienvenida	Bool	M500.4
Reinicio	Bool	M500.0
Aire_inicial	Bool	M303.1
Mensaje_presion_estabilizada	Bool	M500.1
Valor_press	Real	MD120
Llantas	Int	MW24
Reset_nivel	Bool	M0.5

Nivel_tanque	Real	MD304
Vaciado_1	Bool	M85.0
Act_Vaciado_1	Bool	M53.0
Vaciado_2	Bool	M48.0
Vaciado_3	Bool	M72.0
Vaciado_4	Bool	M78.0
Paro_vaciado_1	Bool	M40.2
Paro_vaciado_2	Bool	M70.1
Paro_vaciado_3	Bool	M75.0
Reset_contador	Bool	M40.1
Act_vaciado_3	Bool	M70.0
Act_vaciado_4	Bool	M77.0
Manual	Bool	M90.0
Aut_enclave	Bool	M111.0
Manual_enclave	Bool	M110.0
Automatico	Bool	M90.1
Segundos_press	Udint	MD162
Segundos_press_conv	Real	MD166
Segundos_conv_final	Real	MD170
Sensor_llanta	Bool	M320.0

Tabla 10. Variables de la práctica 5(2)

## 5. RESULTADOS

Uno de los resultados de este proyecto de titulación consistió en repotenciar un módulo didáctico para el laboratorio de automatización industrial de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, campus Centenario, el cual incorpora comunicación serie PROFIBUS DP a través de un módulo maestro y otro esclavo.

Los detalles del diseño e implementación de este se detallan a continuación:

- Se dio la migración de 1 PLC del módulo 10 del laboratorio de automatización industrial a las nuevas estructuras con un diseño simplificado, más amigable al estudiante, mejorando la interacción y manejo para los mismos.
- Se colocó nuevos elementos de control para el módulo, estos elementos incluyeron botoneras, relés, potenciómetros de precisión, botoneras, voltímetro digital, luces pilotos y borneras.
- Se habilitó comunicación PROFIBUS mediante la implementación de un módulo 1243-5 Master PROFIBUS DP y otro módulo 1242-5 Slave PROFIBUS DP colocado en otro módulo, ayudando a tener más módulos con este tipo de comunicación que permitan a los estudiantes disminuir el número de integrantes para prácticas de este tema.
- Se configuró de forma óptima el PLC para poder tener la comunicación Maestro-Esclavo PROFIBUS DP.

Y mediante imágenes se mostrará el proceso que se siguió para repotenciar el módulo didáctico.



Figura 53. Módulo antiguo de automatización industrial

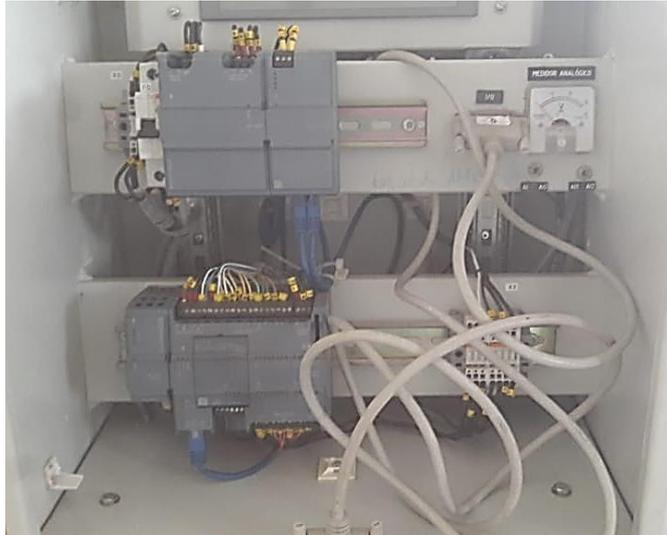


Figura 54. Elementos del módulo antiguo



Figura 55. Carcasa del módulo didáctico



Figura 56. Colocación de luces piloto, pulsadores y selectores para el módulo didáctico



Figura 57. Cableado de los elementos que componen la tapa superior del módulo didáctico



Figura 58. Módulo didáctico finalizado



Figura 59. Implementación del módulo CM 1243-5 Maestro PROFIBUS



Figura 60. Cableado interno del módulo didáctico

Otro resultado importante de este proyecto fue la realización de 5 prácticas sobre redes industriales para el laboratorio de automatización industrial con su pertinente programación realizada en el software TIA PORTAL V15.

### **5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

La implementación de módulos maestro y esclavo PROFIBUS funcionó de forma adecuada en el laboratorio de automatización, la configuración de los mismos se desarrolló de forma exitosa logrando la comunicación Maestro-Eslavo.

Las simulaciones de las prácticas realizadas con el software TIA PORTAL V15 se desarrollaron de forma óptima logrando simular todas las prácticas lo más cercano al proceso real en la vida industrial, se creó control PID para los procesos térmicos y neumáticos logrando controlar el proceso exitosamente y sin ninguna dificultad, el diseño del SCADA fue lo más amigable e interactivo posible, todas estas simulaciones se hicieron de forma que los estudiantes se les haga más fácil comprender y entender acerca de la comunicación industrial PROFIBUS.

A continuación, se muestran mediante imágenes y resumen de los resultados obtenidos de las simulaciones:

La primera práctica consistía en el envío de datos desde un PLC Maestro PROFIBUS hacia un PLC Esclavo PROFIBUS, lastimosamente no se puede simular la comunicación PROFIBUS entre estos dos dispositivos, pero la simulación muestra un resultado exactamente igual al que sucedería de forma real si se utilizara áreas de transferencia y cableado con resistencias PROFIBUS DP, debido a que mientras se oprime un botón del maestro responde una luz del esclavo, lo cual es lo que sucedería de forma real para este caso.

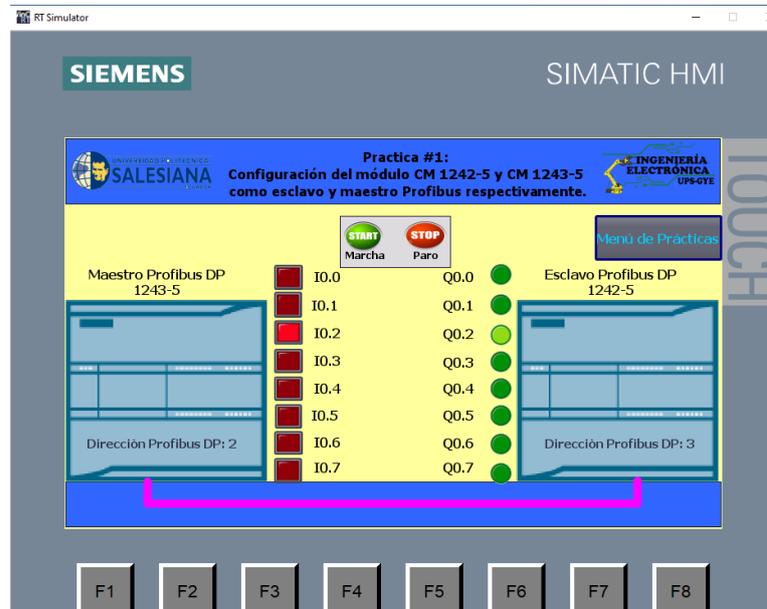


Figura 61. Simulación de la práctica #1

La segunda práctica consistía en poder controlar la abertura de una válvula dependiendo la presión que se seteara para el neumático, para esto se usó como medio de control un controlador PID, el cual funcionó a la perfección ya que en la simulación se logró una estabilización rápida y precisa en menos de 10s, dentro del software TIA PORTAL existen 2 tipos de optimizaciones que ayudan a lograr una mejor respuesta, para este caso la optimización fina fue la idónea. El sistema se logró estabilizar en un tiempo de 11.10s indiferentemente del modo que se usara (manual o automático).

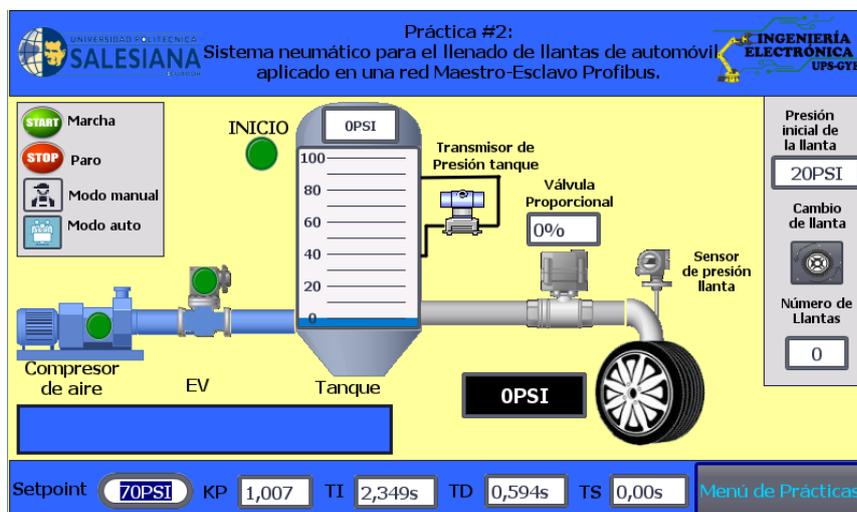


Figura 62. Simulación de la práctica #2

Para la 3era práctica se usó también un controlador PID que controlaba el proceso descrito, el cual consistía en mantener la temperatura seteada en el horno. Para este caso la optimización que ayudó a obtener una respuesta lenta, pero por motivos de tratarse de un sistema de temperatura y precisa fue la optimización inicial, logrando un tiempo de respuesta de casi 60 segundos. Así como en la anterior práctica también se probó la perturbación al sistema, en este caso dado por el botón “Refrigeración” el cual disminuía la temperatura hasta 25°C y luego debía regresar a la temperatura seteada, el resultado fue el esperado ya que a pesar de bajar la temperatura lograba después de unos segundos volver a estabilizarse, manteniendo la temperatura que se deseaba. El sistema tuvo un tiempo de estabilización de cerca de 60 segundos.

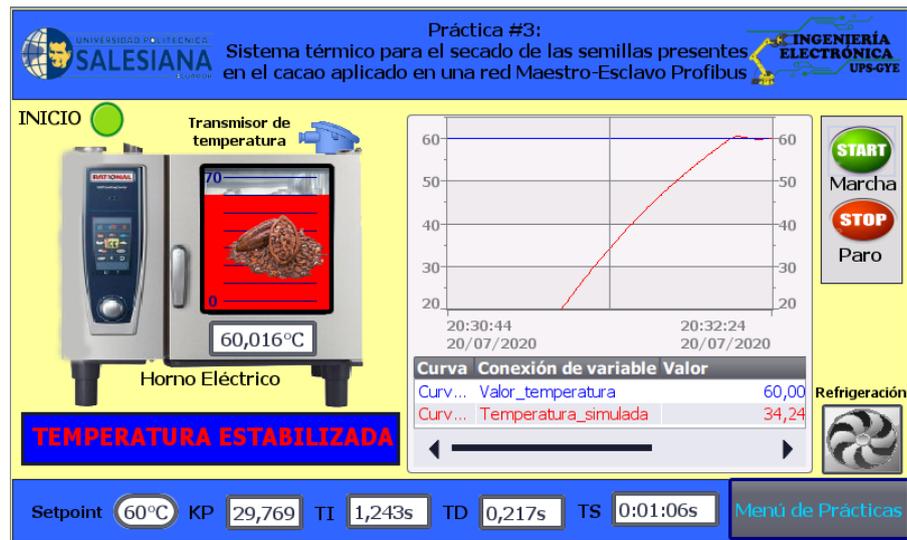


Figura 63. Simulación de la práctica #3

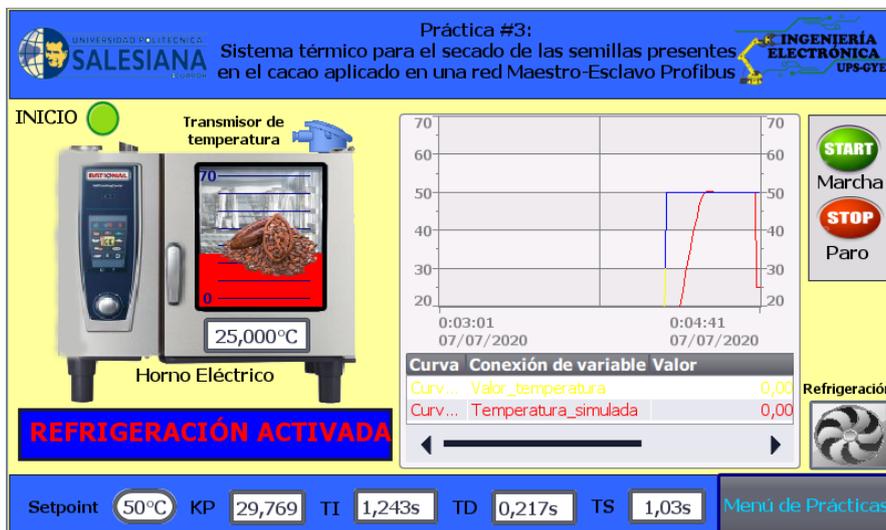


Figura 64. Simulación de la perturbación en la práctica #3

La cuarta práctica así mismo como en la primera no se pudo simular a pesar de modificar el método de comunicación para esta red PROFIBUS, el método usado fue por medio de bloques Put&Get, pero al momento de simularlos el software no permitió poder lograr la comunicación entre ambos autómatas. Por otro lado, al momento de simular los procesos de cada autómata en

sus respectivas pantallas HMI, se logró mostrar de forma correcta ambos procesos, sin ningún tipo de complicaciones y de acuerdo a lo requerido por la práctica.

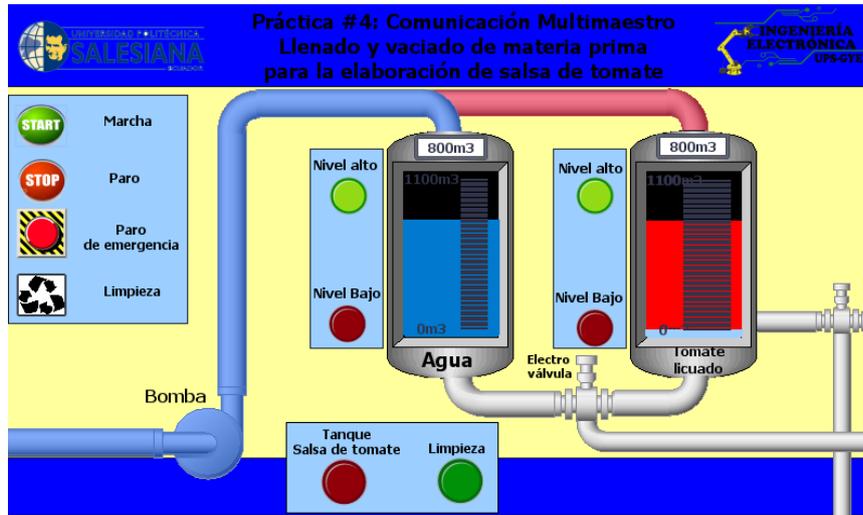


Figura 65. Simulación del llenado de tanques de agua y tomate licuado de la práctica #4

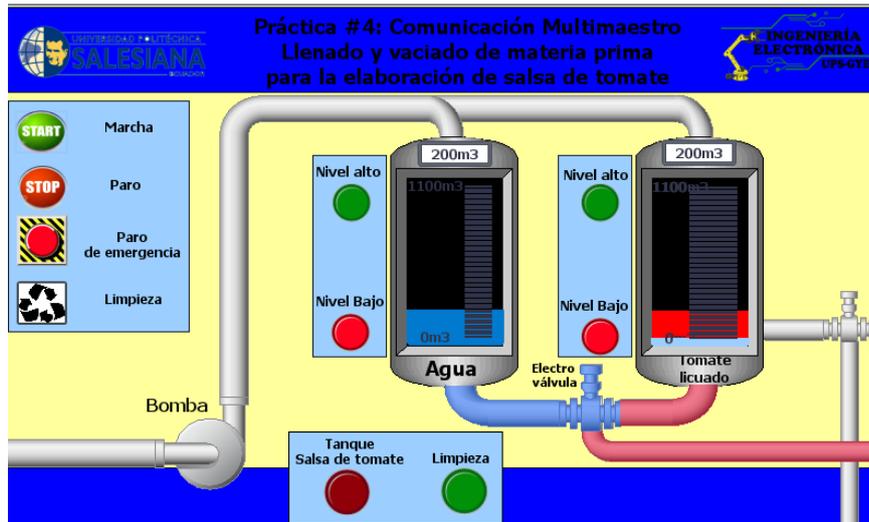


Figura 66. Simulación del vaciado de tanques de agua y tomate licuado

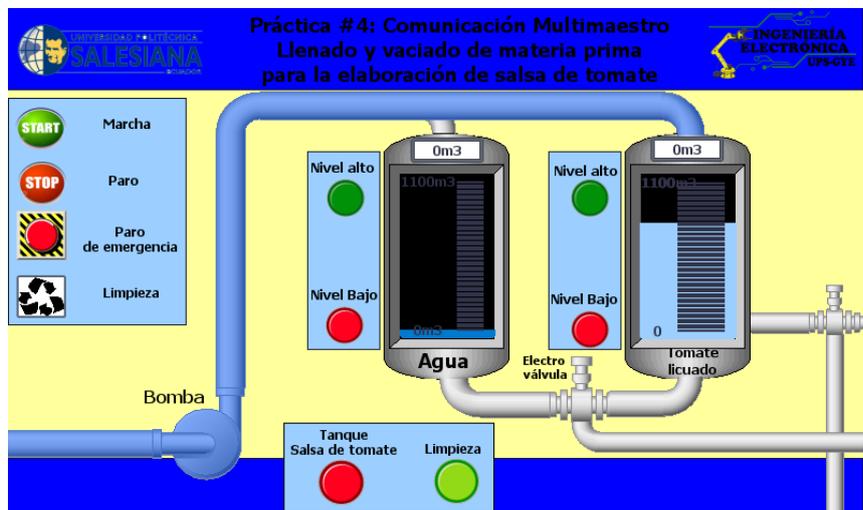


Figura 67. Envío de agua caliente para limpieza del tanque de tomate licuado

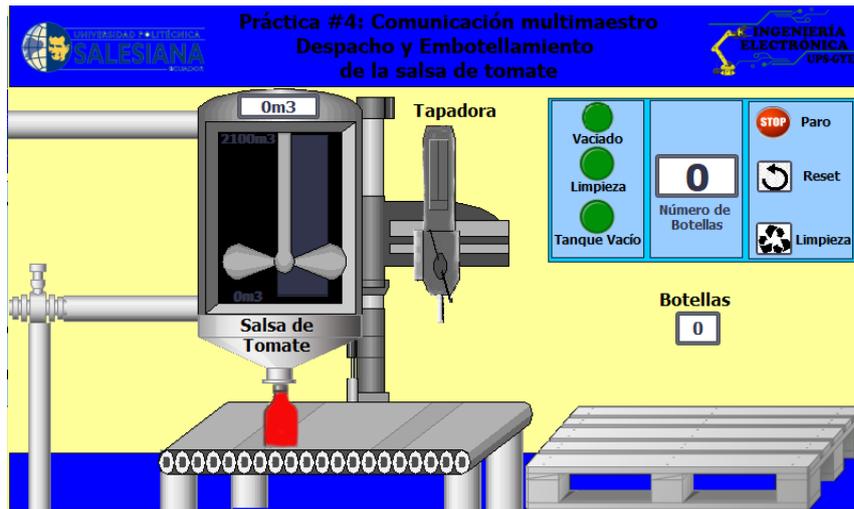


Figura 68. Simulación de la mezcla entre el agua y el tomate licuado.

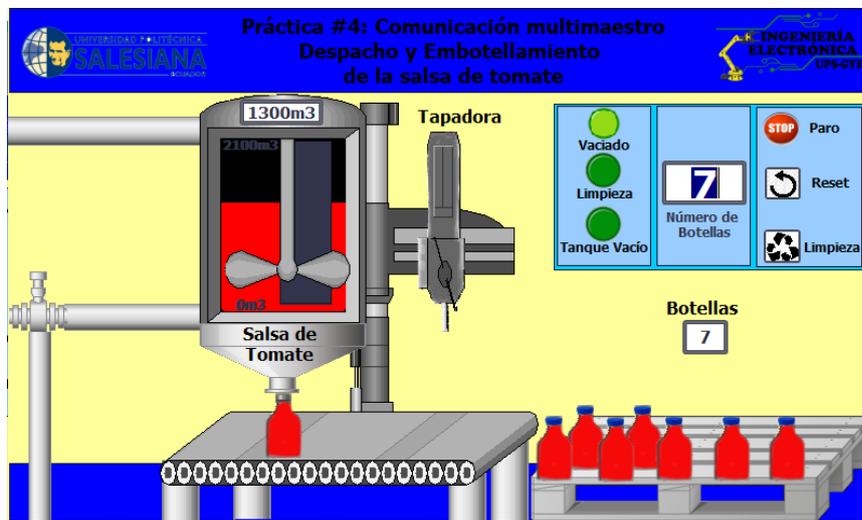


Figura 69. Simulación del proceso de embotellamiento de la salsa de tomate

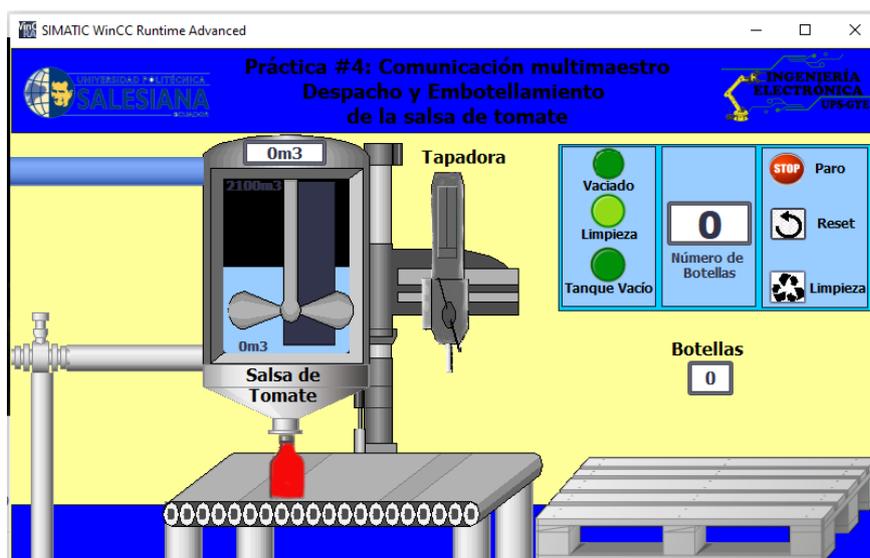


Figura 70. Limpieza del tanque de salsa de tomate.

Y, por último, la práctica que tiene aplicación SCADA se logró simular de una forma perfecta, ya que se pudo establecer comunicación entre el SCADA y el autómatas, logrando el control de los procesos encontrados en la práctica #2 y #3, de una forma más interactiva y completa, las gráficas que representan el comportamiento de la variable a través del tiempo en comparación al punto seteado también funcionan correctamente y muestran de manera acertada este comportamiento.



Figura 71. Simulación del proceso industrial de la práctica #2 en un SCADA

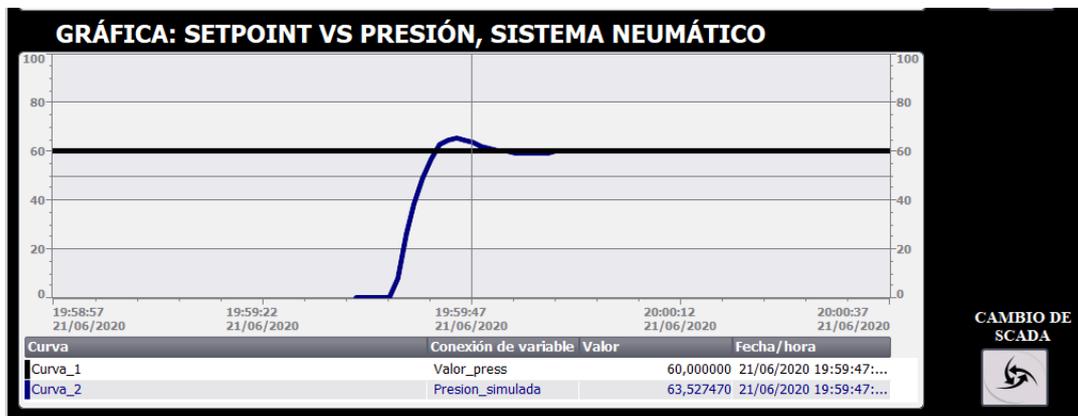


Figura 72. Gráfica Setpoint vs Presión



Figura 73. Simulación del proceso industrial de la práctica #3 en un SCADA



Figura 74. Simulación de la perturbación de la práctica #3 en un SCADA

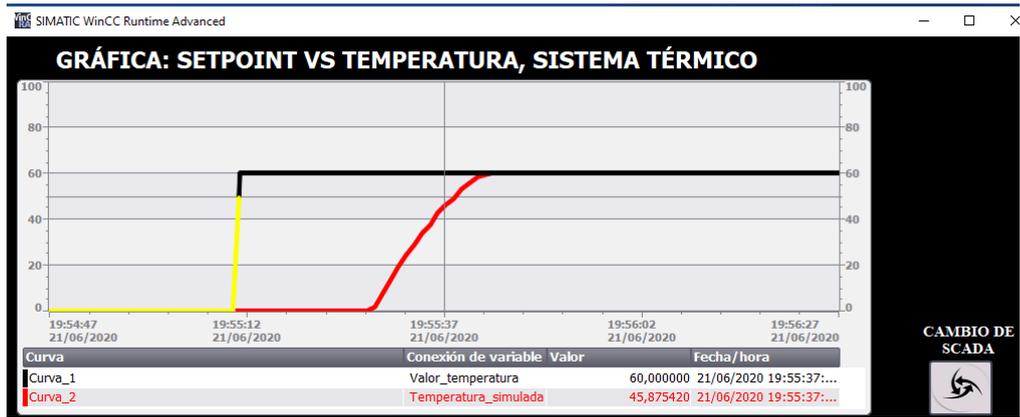


Figura 75. Gráfica Setpoint vs Temperatura

## CONCLUSIONES

Se han logrado cumplir con todos los objetivos, tanto generales como específicos propuestos para este proyecto, el módulo entregado se podrá usar para el desarrollo de futuros proyectos de titulación o estudiantiles que necesiten de este tipo de comunicación, además de brindar de un módulo más para la enseñanza de este tipo de comunicación, ya que la universidad cuenta con muy pocos módulos para realizar comunicación PROFIBUS DP, esto reduce el número de estudiantes por grupo para la realización de prácticas o proyectos.

En cuanto a los resultados obtenidos de las prácticas simuladas mediante el software TIA PORTAL V15 fueron los más cercanos a la realidad. Empezando con la primera práctica, se logró comunicar de manera exacta a como sucedería en la realidad, enviando datos desde el PLC Maestro hacia el PLC Esclavo.

Para la segunda práctica se logró un tiempo de estabilización de 11s para el valor máximo de presión que era para neumáticos de 100 PSI y de 5s para el valor mínimo que era de 30 PSI, acercándose bastante a los datos reales de tiempo que suelen tener neumáticos con estos valores de presión, además de simular también las pérdidas de presión en el tanque pulmón a medida que se van llenando varias llantas de acuerdo a los datos receptados en lugares con sistemas similares como vulcanizadoras.

Para la práctica número tres, que consistía en el secado de semillas de cacao, al ser un proceso térmico la temperatura va subiendo de forma paulatina y de la misma forma al cambiar de una temperatura mayor a una menor, esto se logró simular obteniendo un tiempo de estabilización promedio de 2 minutos para el valor máximo y de cerca de 1 minuto para el valor mínimo, estos valores fueron escalados ya que este proceso en la vida real toman entre 2 a 3 horas y se escaló ese tiempo en función de minutos para poder observar los resultados sin tener que esperar tanto tiempo.

A pesar de que las simulaciones fueron efectivas, ya que reflejaban lo que se buscaba hacer con cada práctica, se pudo verificar que el software de simulación PLCSIM no permite interactuar con más de 2 autómatas al mismo tiempo y no permite la comunicación PUT/GET a través de PROFIBUS DP por lo que en la penúltima práctica se simuló mediante comunicación PROFINET para mostrar cómo sería la práctica en condiciones reales para la interacción entre los dos autómatas.

Y por último la comunicación PROFIBUS-PROFINET mediante un SCADA y el PLC Maestro Profibus DP terminó siendo exitosa ya que hubo comunicación entre ambos y se pudo controlar los procesos que se indicaron para esta práctica.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda mantener el cuidado y seguimiento para el módulo repotenciado, esto con la finalidad de hacer que el tiempo útil del mismo se prolongue lo más posible, con mantenimientos preventivos como limpieza de contactos y de los diferentes elementos del tablero, por lo menos haciéndolo durar 5 años.

Otra recomendación para el uso de las prácticas simuladas en este proyecto es que creen una posible solución y luego se le muestre la resolución de esta, descrita en este proyecto para comparar resultados y poder crear diferentes soluciones a un mismo problema.

Se recomienda para el cableado que se utilizará en la red, usar conectores de tecnología FAST CONNECT porque así se ahorra tiempo y se incrementa el tiempo de vida útil de la instalación.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. G. y. D. G. Catherin Marin Quintero, «overblog,» [En línea]. Available: <http://redesindustriales.over-blog.com/2014/10/redes-industriales-0.html>.
- [2] J. C. Villajulca, «InstrumentacionyControl,» [En línea]. Available: <https://instrumentacionycontrol.net/las-redes-industriales-principales-topologias/>.
- [3] A. paz, «Monografias,» [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos53/topologias-red/topologias-red.shtml>.
- [4] J. M. T. Vargas, «Slideshare,» [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/misatav/PROFIBUS-14582703>.
- [5] [En línea]. Available: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/2PROFIBUS.pdf>.
- [6] I. Gutiez, «ProgramaSiemens,» [En línea]. Available: <https://programacion Siemens.com/3-normas-basicas-para-realizar-un-cableado-PROFIBUS/>.
- [7] L. W. Relief. [En línea]. Available: [http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/02/19\\_Guia\\_8\\_Beneficiado.pdf](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/02/19_Guia_8_Beneficiado.pdf).
- [8] R. C. Alvarado, A. Mendoza, G. Solorzano y J. Ponce. [En línea].
- [9] «imajenn.wordpress,» [En línea]. Available: <https://imajenn.wordpress.com/tag/elaborar/>.
- [10] M. Bureau, «Motorpasion Mexico,» [En línea]. Available: <https://www.motorpasion.com.mx/seguridad/la-importancia-del-inflado-de-las-llantas>.
- [11] Michellin. [En línea]. Available: <https://www.michelintruck.com/reference-materials/manuals-bulletins-and-warranties/load-and-inflation-tables/#/>.
- [12] N. Lider. [En línea]. Available: <https://www.neumaticoslíder.es/consejos-neumaticos/tabla-inflado-neumaticos-camion>.
- [13] Siemens, «Siemens,» [En línea]. Available: <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/s7-1200.html>.
- [14] Siemens, «Siemens,» [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7232-4HA30-0XB0>.
- [15] Siemens, «Siemens,» [En línea]. Available: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/313/36087313/att\\_74878/v1/BA\\_S7-1200-CSM1277\\_78.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/313/36087313/att_74878/v1/BA_S7-1200-CSM1277_78.pdf).

- [16] Siemens, «Siemens,» [En línea]. Available: <https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/0da9/0900766b80da9449.pdf>.
- [17] Siemens, «Siemens,» [En línea]. Available: <https://docs.rs-online.com/d312/0900766b810eeeed.pdf>.
- [18] TP-LINK. [En línea]. Available: <https://www.TP-LINK.com/ar/home-networking/wifi-router/tl-wr840n/>.
- [19] Siemens, «Siemens,» [En línea]. Available: [https://media.automation24.com/manual/es/31032678\\_hmi\\_basic\\_panels\\_operating\\_instructions.pdf](https://media.automation24.com/manual/es/31032678_hmi_basic_panels_operating_instructions.pdf).
- [20] Tecno plc, «Tecno plc,» [En línea]. Available: <http://www.tecnoplac.com/tia-portal-utilidades-del-software/>.
- [21] Siemens, «Parámetros PID V1,» 2015.
- [22] L. Moncada, «plantscontrol,» [En línea]. Available: [http://plantscontrol.blogspot.com/2012/02/6\\_13.html](http://plantscontrol.blogspot.com/2012/02/6_13.html).
- [23] A. G. y. D. G. Catherin Marin Quintero, «Overblog,» [En línea]. Available: <http://redesindustriales.over-blog.com/2014/10/redes-industriales-0.html>.

# ANEXOS

## Anexo 1: Configuración de la red PROFIBUS

Primero se crea un proyecto donde se desarrollará las 5 prácticas, en este caso el proyecto se llama “Proyecto\_Unificado”.

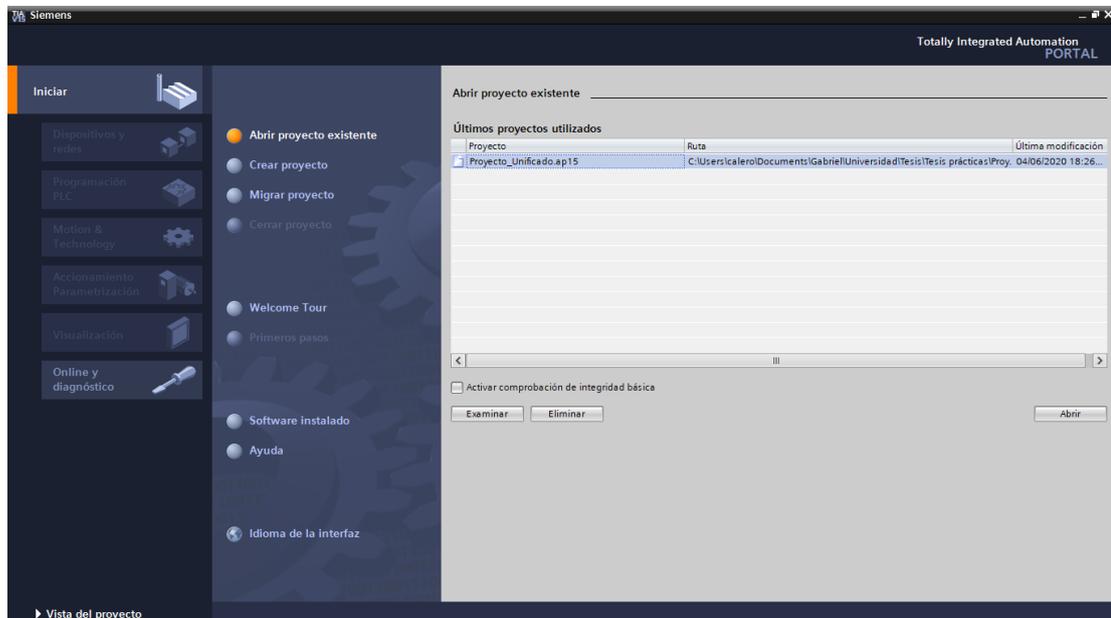


Figura 76. Ventana inicial del software TIA PORTAL v15

Después se agregan 2 PLC s7-1200 1214C AC/DC/RLY 6ES7 214-1BG40-0XB0, uno de ellos se nombrará como Maestro PROFIBUS y el otro como Esclavo PROFIBUS, cada uno tendrá el módulo CM 1241 (RS485) y al PLC Maestro se le asignará el módulo CM 1243-5 y al PLC Esclavo el módulo CM 1242-5.

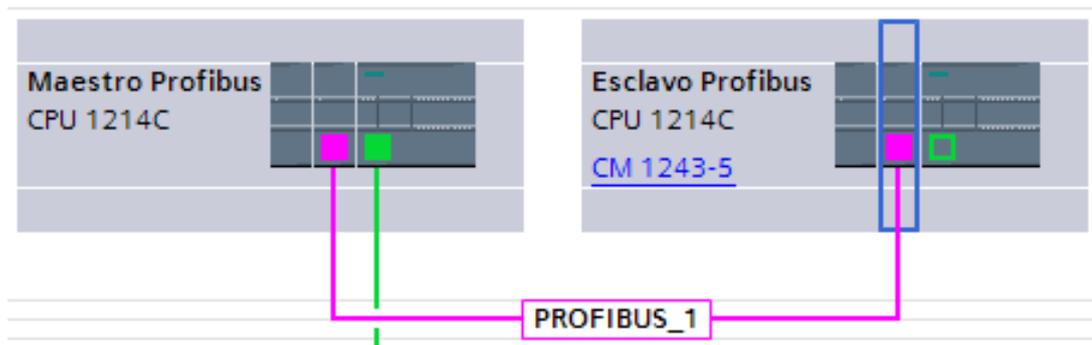


Figura 77. Red Maestro-Esclavo PROFIBUS

Luego al Maestro PROFIBUS se le agrega una pantalla HMI KTP700 Basic PN 6AV2 123-2GB03-0AX0, quedando de la siguiente manera:

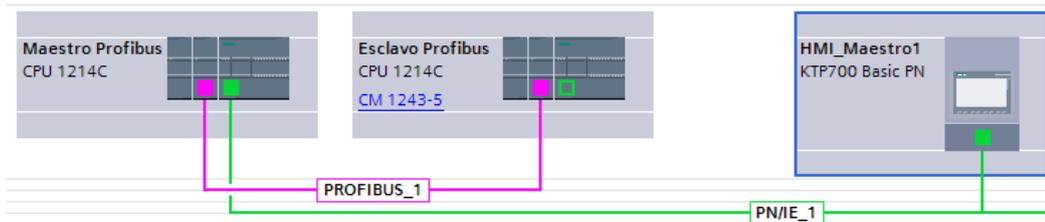


Figura 78. Red Maestro-Eslavo PROFIBUS más conexión de pantalla HMI.

Luego de armar la Red Maestro-Eslavo PROFIBUS, se procede a configurar las direcciones PROFIBUS de los autómatas.

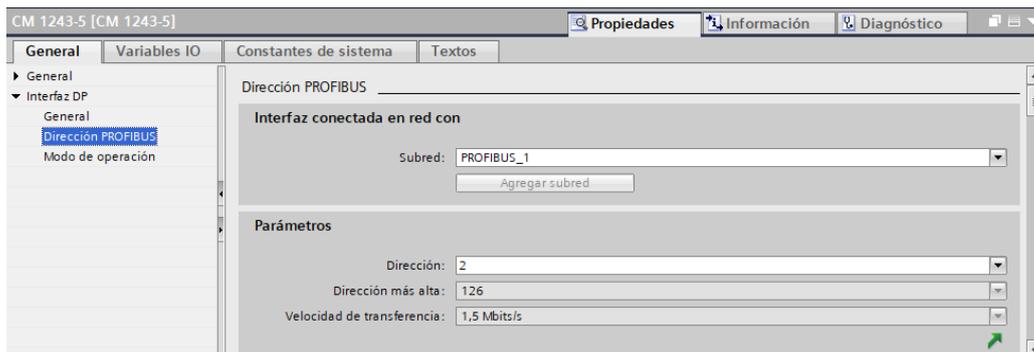


Figura 79. Dirección PROFIBUS del PLC Maestro PROFIBUS

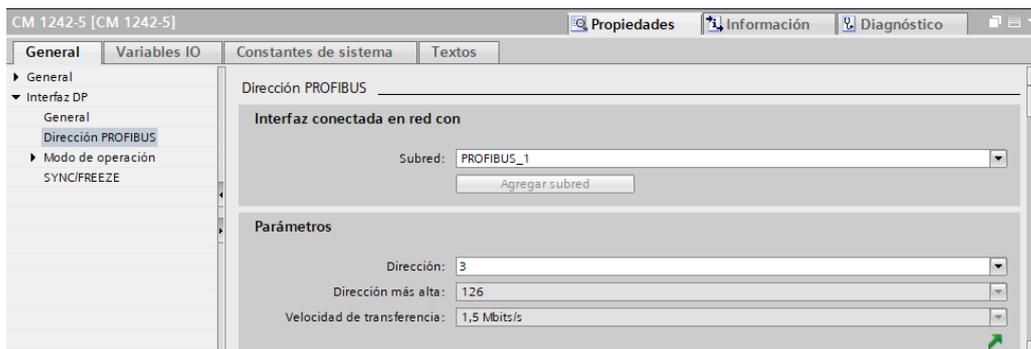


Figura 80. Dirección PROFIBUS del PLC Esclavo PROFIBUS

## Anexo 2: PRÁCTICA #1

Luego de configurar los PLC's con sus respectivos módulos y direcciones PROFIBUS, se procede a ir al bloque de programas del PLC Maestro, y agregar un bloque de función con el nombre "Práctica\_1"

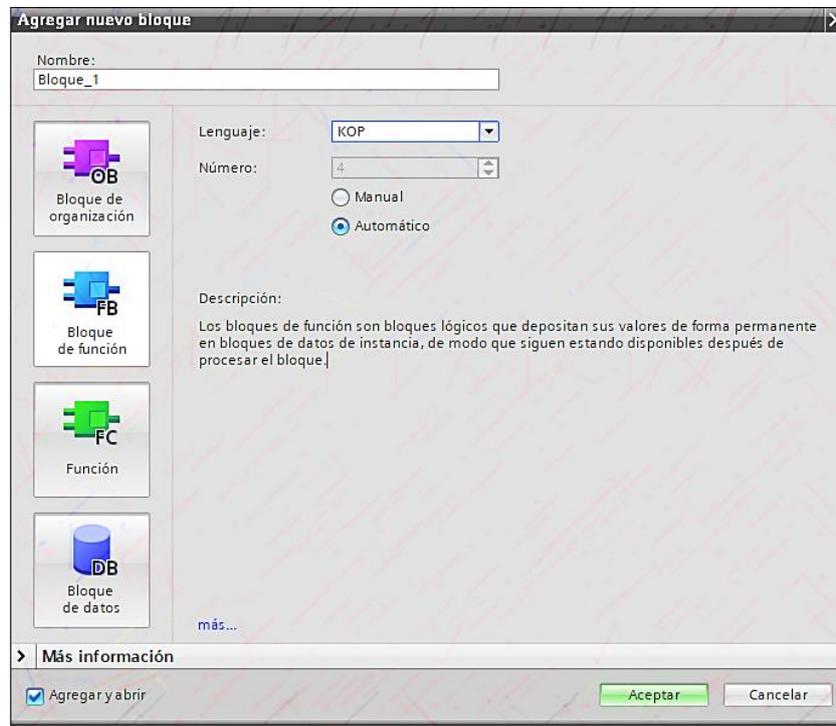


Figura 81. Ventana "Agregar nuevo bloque"

Una vez dentro del bloque de función se empieza a programar el funcionamiento de la primera práctica el cual consiste en enviar datos desde el Maestro PROFIBUS hacia el Esclavo PROFIBUS, usando area de transferencias en el PLC Esclavo y por medio de bloques "Move". Primero se configura el area de transferencia del PLC Esclavo, luego en el bloque de función anteriormente hecho se empieza con un circuito básico de marcha y paro.

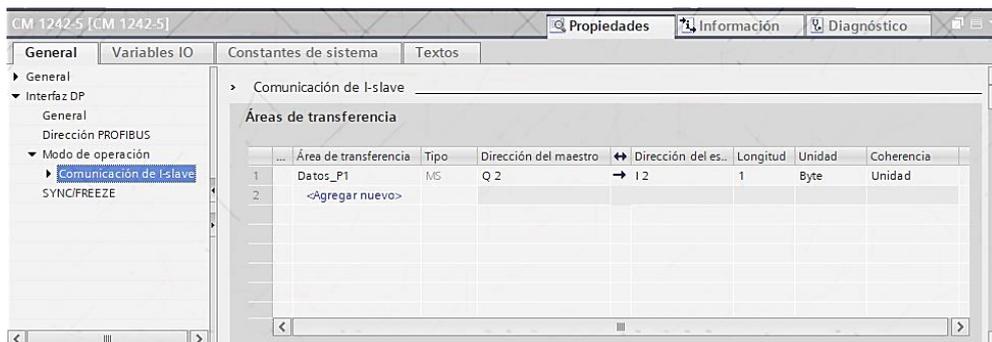


Figura 82. Area de transferencia del PLC Esclavo PROFIBUS

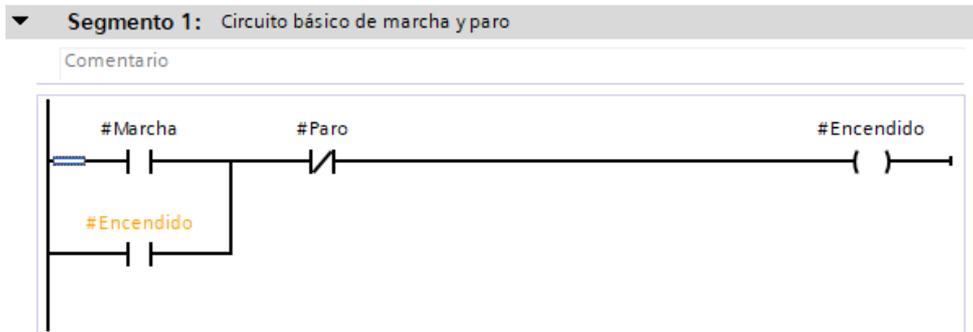


Figura 83. Segmento del circuito básico de marcha y paro

Después, en el siguiente segmento se configura mediante un bloque move el envío de datos de entrada (A) del maestro hacia el esclavo (B), y por último en el segmento 3 se crea un circuito que envíe un valor de “0” mientras no esté activado el encendido del circuito.

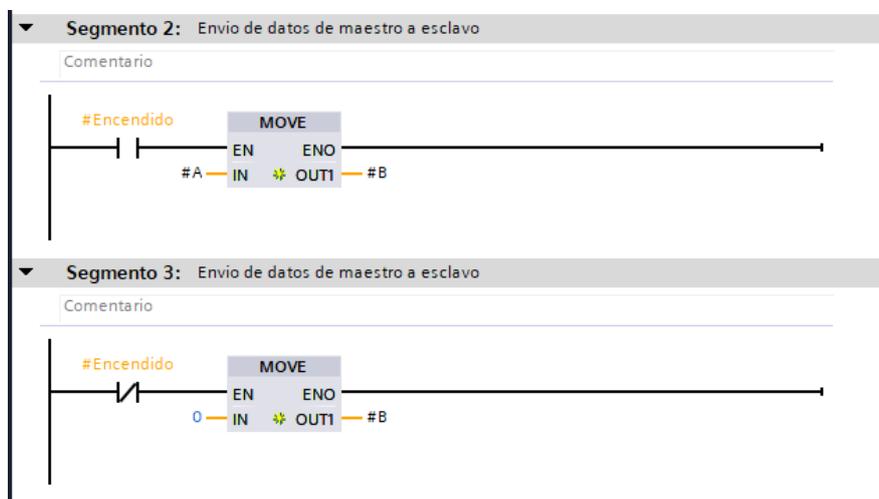


Figura 84. Segmento para el envío de datos de maestro a esclavo PROFIBUS

Una vez hecho esto en el PLC Maestro PROFIBUS, hay que dirigirse al PLC Esclavo y repetir el mismo procedimiento pero esta vez el dato de entrada es “B” y el de salida “A”.

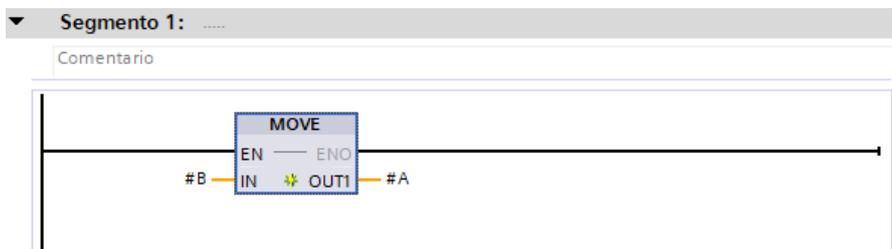


Figura 85. Segmento para la recepción de datos desde el maestro al esclavo PROFIBUS

Una vez configurado el bloque “Práctica\_1” en el maestro, se procede a ir al bloque main para insertar este bloque de función, dándole la variable “IB0” para el dato “A” llamandola “Byte\_entrada\_DP” y la variable “QB2” para el dato “B” dándole el nombre de “Byte\_Salida\_DP” y además de establecer una condición para la pantalla HMI, que consiste en que, cuando se pulse el botón que se dirige a esta práctica, el botón envíe también un valor de 1 para que solo se ejecute este código, para así evitar interferencias.

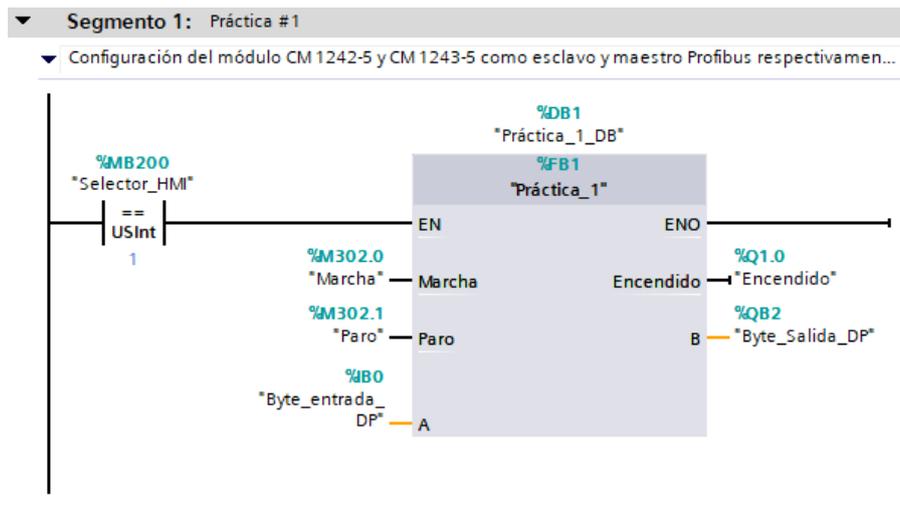


Figura 86. Segmento con el bloque de datos de “Práctica\_1” más el contacto de condición para el HMI.

Una vez terminada esta programación hay que trasladarse a la pantalla HMI conectada al maestro al que se cambiará de nombre a HMI\_Maestro, agregando una nueva imagen, esta imagen es para el menú que estará al inicio del HMI, el cual se llamará “Menú\_de\_prácticas”, conteniendo 3 botones, para acceder a las 3 primeras prácticas, cada boton enviará un valor distinto de 1 a 3, definiendo que práctica se está ejecutando para que las demás no interfieran. Además, en cada imagen donde se desarrollarán cada una de las prácticas debe de existir un boton para regresar a esta pantalla.



Figura 87. Pantalla “Menú de prácticas”

Para cada botón se le debe configurar en el apartado de “Propiedades”, “Eventos” , “Hacer click” y agregar la función “ActivarImagen” donde se coloca la imagen correspondiente de la práctica que se vaya a usar, después en el enunciado “Pulsar” se agrega la función “ActivarVariable” y se coloca la variable que se usó en el bloque main del PLC Maestro(Selector\_HMI) para condicionar que practica se debe de activar y en el apartado de

valor colocar el número correspondiente, ejemplo para la práctica 1 será el número 1, para la práctica 2 será el número 2 y para la práctica número 3 será el número 3.

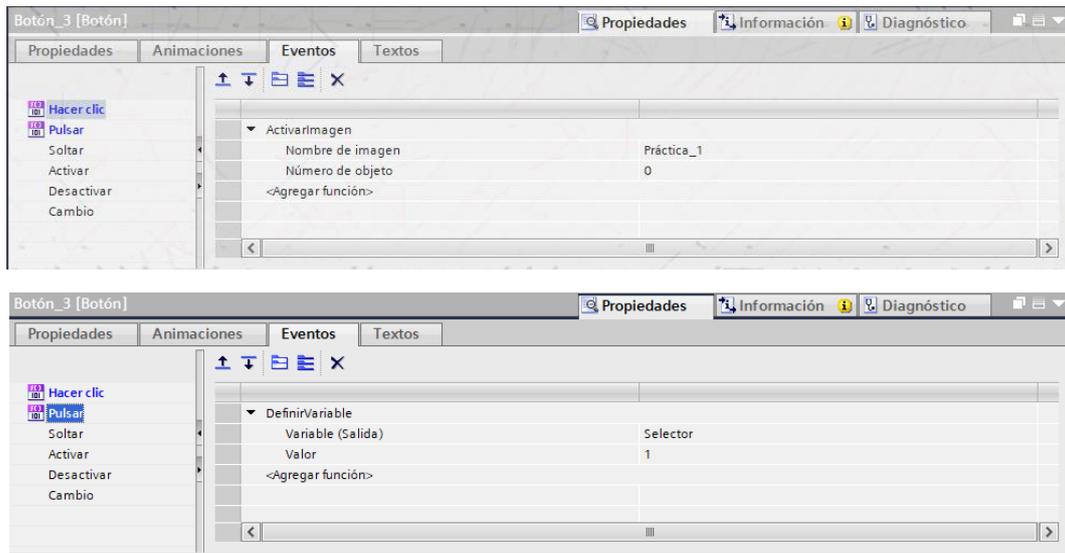


Figura 88. Cuadros de configuración para los botones de la práctica 1.

Después de haber configurado los botones se crea una nueva imagen, esta imagen se llamará Práctica\_1, en donde se deben colocar 8 botones y 8 luces pilotos, además de un botón para la marcha, otro para el paro y uno más para cambiar de pantalla. Quedando de la siguiente forma:

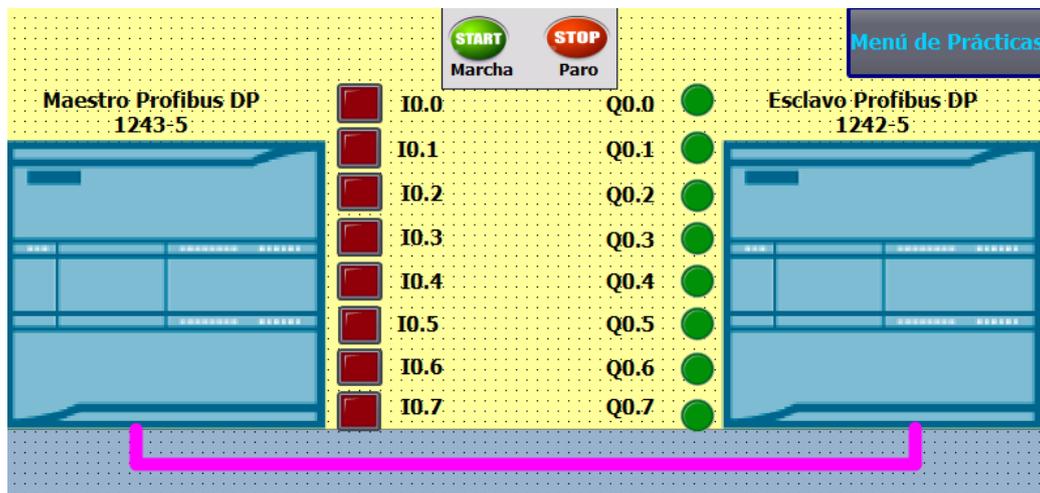


Figura 89. Pantalla “Práctica\_1”

Luego en “Variables HMI” se crean 16 variables, 8 para los botones y 8 para las luces pilotos, para los botones llevará el nombre de “Input\_” más el número del botón es decir desde 0 hasta 7 y para las luces pilotos llevará el nombre de “Led\_” más el número de la luz piloto es decir desde 0 hasta 7. El modo de acceso será absoluto y el ciclo de adquisición de 100ms

Variables HMI						
	Nombre	Itos	Conexión	Nombre del PLC	Variable PLC	Dirección
	Input_0		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%M300.0
	Input_1		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%M300.1
	Input_2		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%M300.2
	Input_3		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%M300.3
	Input_4		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%M300.4
	Input_5		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%M300.5
	Input_6		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%M300.6
	Input_7		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%M300.7
	Led_0		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%Q2.0
	Led_1		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%Q2.1
	Led_2		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%Q2.2
	Led_3		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%Q2.3
	Led_4		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%Q2.4
	Led_5		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%Q2.5
	Led_6		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%Q2.6
	Led_7		HMI_Conexión_1	Maestro Profibus	<No definido>	%Q2.7

Figura 90. Tabla de variables para “Práctica\_1”

Ahora, se prosigue a configurar cada botón y luz pilot, para cada botón se da click en el apartado de “Propiedades” y si se desea cambiar la imagen del boton se debe seleccionar en “General” después en “Gráfico” y por último en “Gráfico si botón no pulsado” y colocar la imagen que se desee mostrar.

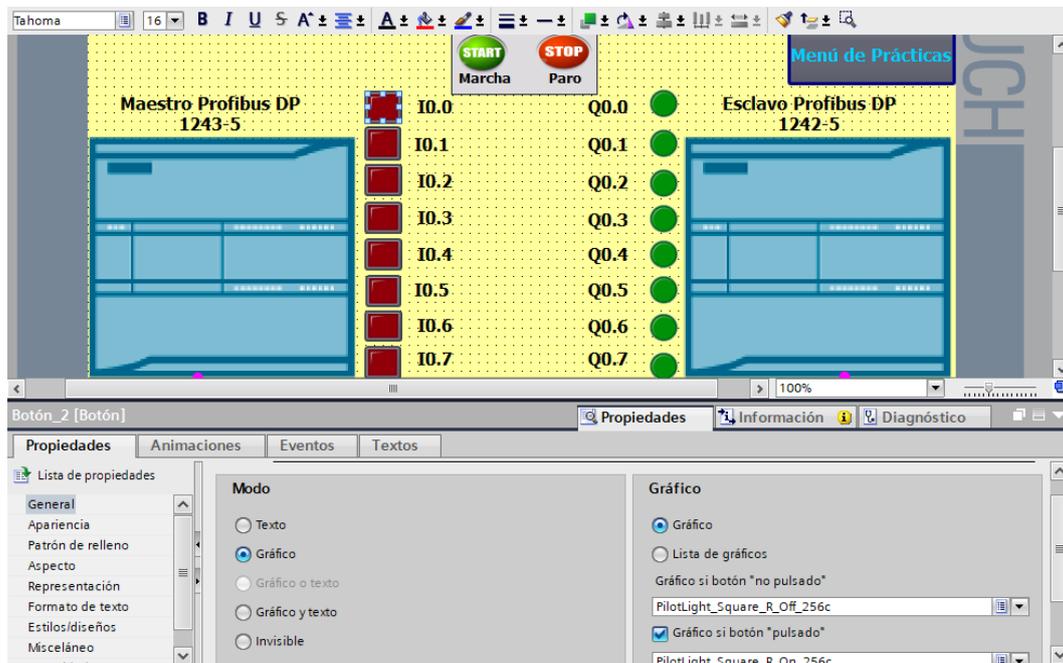


Figura 91. Configuración para colocar imágenes en los botones.

A continuación, después de cambiar la imagen del botón se procede a ir a la pestaña “Eventos”, después en “pulsar” y por último en “Agregar función” se coloca la función “ActivarBitMientrasTeclaPulsada”, seleccionando como variable las creadas anteriormente, en este caso por ser el primer botón se debe seleccionar la variable “Input\_0” y repetir el mismo procedimiento para los otros 7 botones.

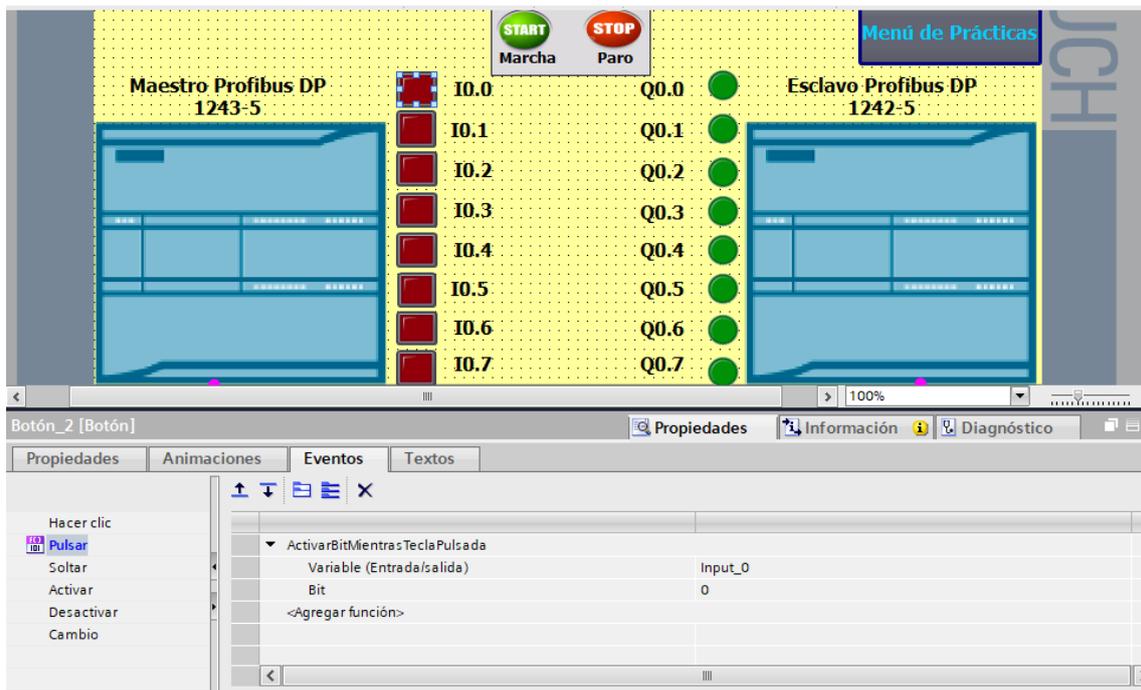


Figura 92. Configuración de eventos para los botones I0.0 a I0.7

Las luces pilotos se encuentran en la librería del software, ubicada al lado derecho.

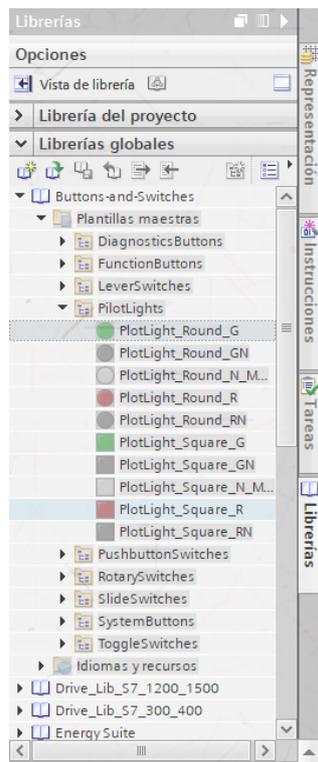


Figura 93. Librería de luces piloto

Para configurar cada luz piloto hay que ir a “Propiedades”, “General” y asignarle la variable dependiendo que luz piloto se esté configurando, por ejemplo para la primera luz piloto, debe de ir la variable “Led\_0” y repetir este mismo procedimiento para las 7 luces piloto restantes.

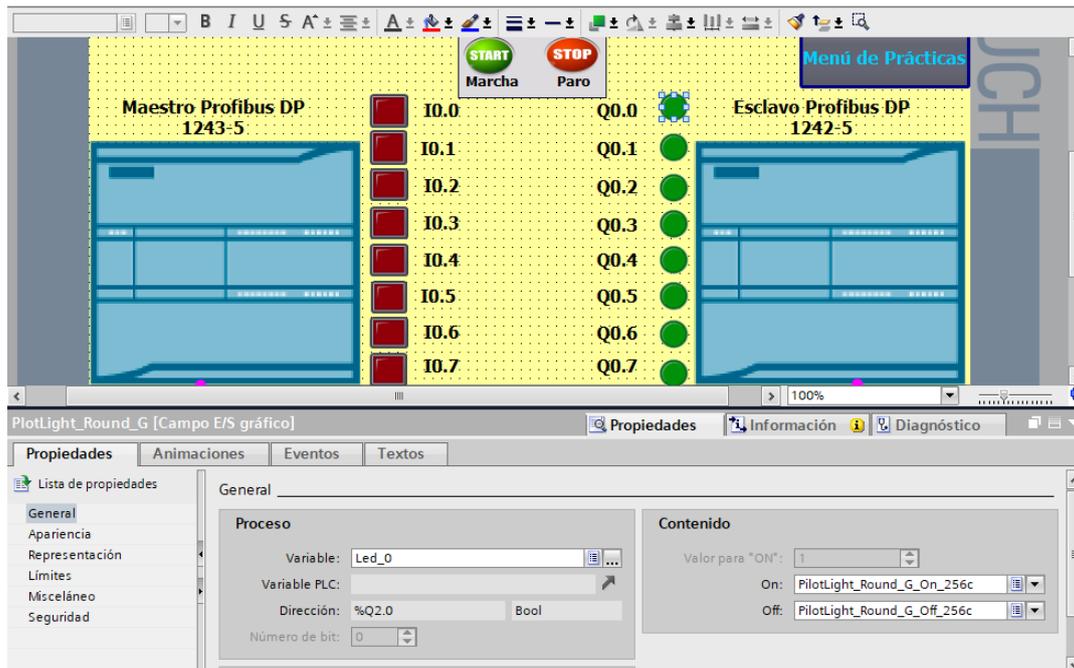


Figura 94. Configuración para las luces pilotos Q0.0 hasta Q0.7

Para los botones de marcha y paro, si se desea cambiar la imagen se debe de seguir los pasos descritos para los botones “I0.0”, “I0.1”, “I0.2”, etc. Para configurar las variables que van en cada boton hay que dirigirse a “Propiedades”, “Eventos”, y en el apartado “Pulsar” se coloca para cada botón la función “ActivarBitMientrasTeclaPulsada” y en las variables del PLC Maestro se selecciona la variable “marcha” para el boton de marcha y “paro” el boton de paro. Por otro lado para el botón “Menú de prácticas” se debe configurar en la pestaña de “Eventos”, en el enunciado “Hacer clic” la función “ActivarImagen” y se coloca en “Nombre de imagen” el “Menú de prácticas”.

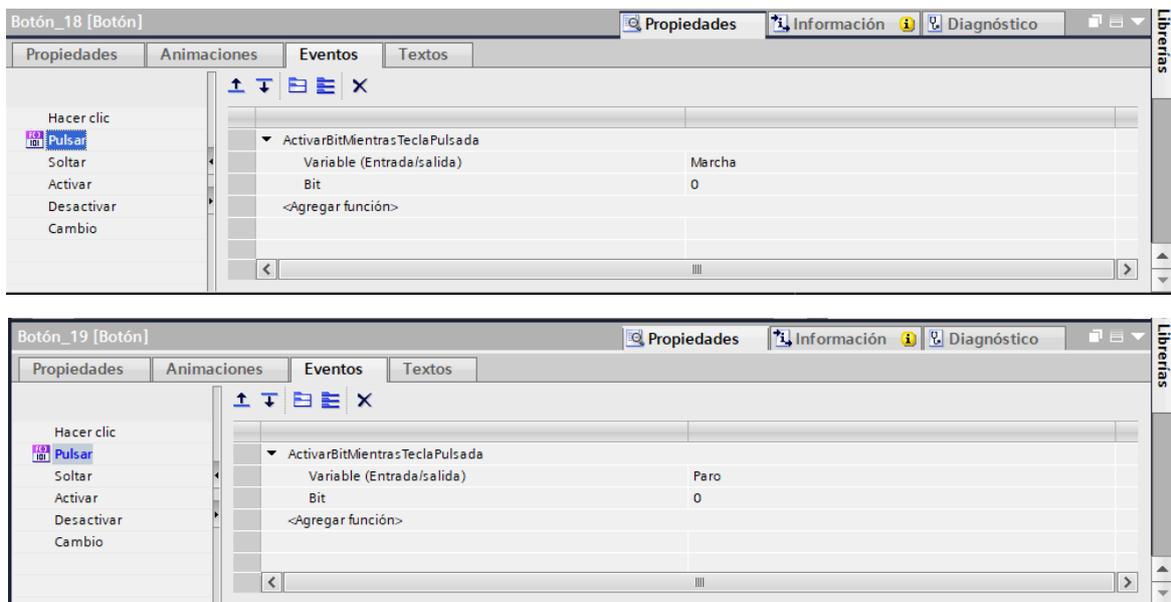


Figura 95. Configuración de eventos para los botones de marcha y paro

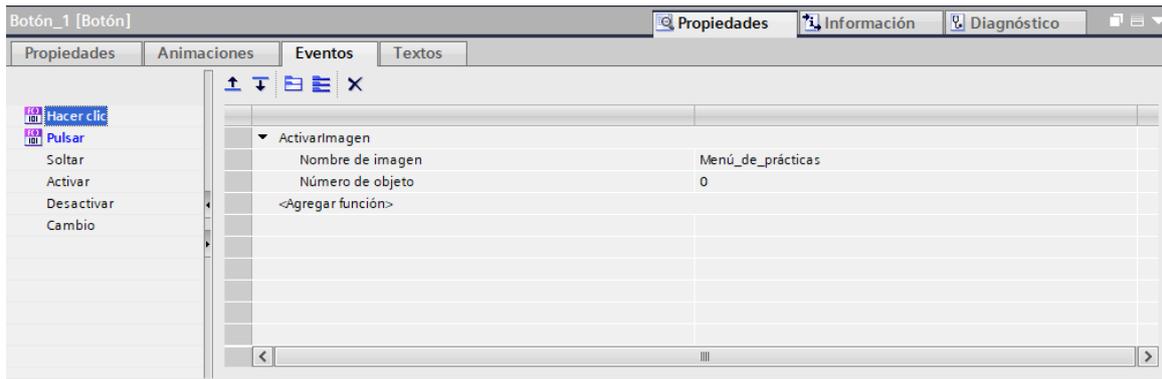


Figura 96. Configuración de eventos para el botón “Menú de prácticas”

Una vez hecho todo esto se procede a cargar el programa en el PLC Maestro y luego se inicia la simulación en el HMI\_Maestro

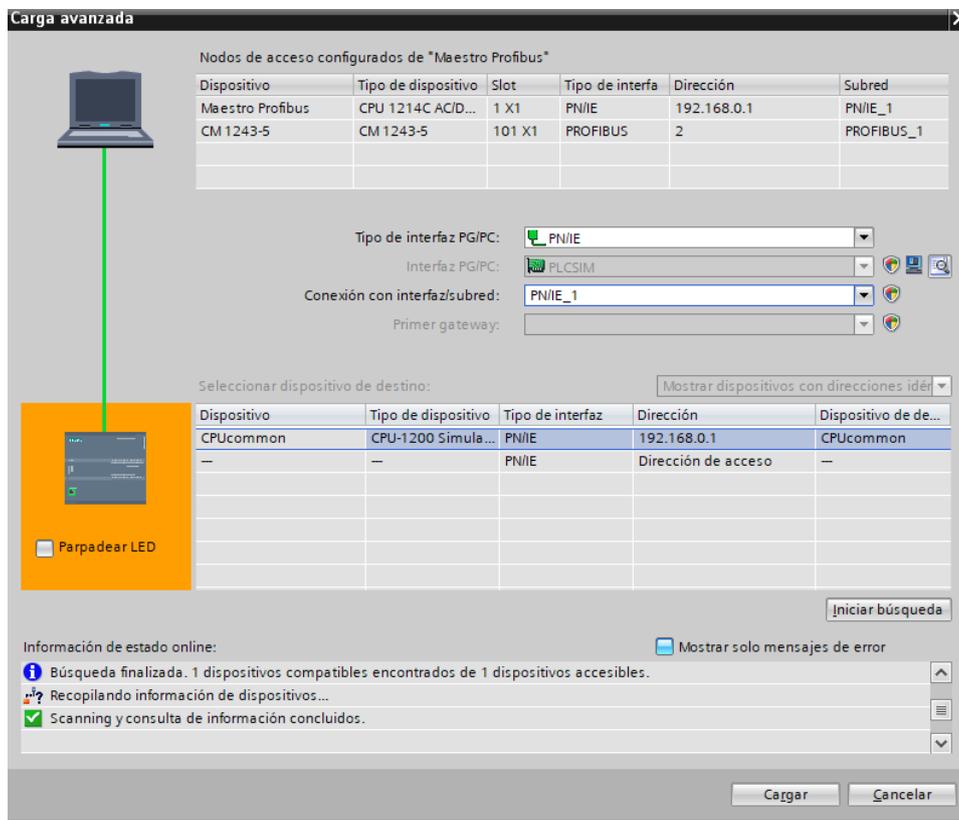


Figura 97. Pantalla de carga del PLC Maestro

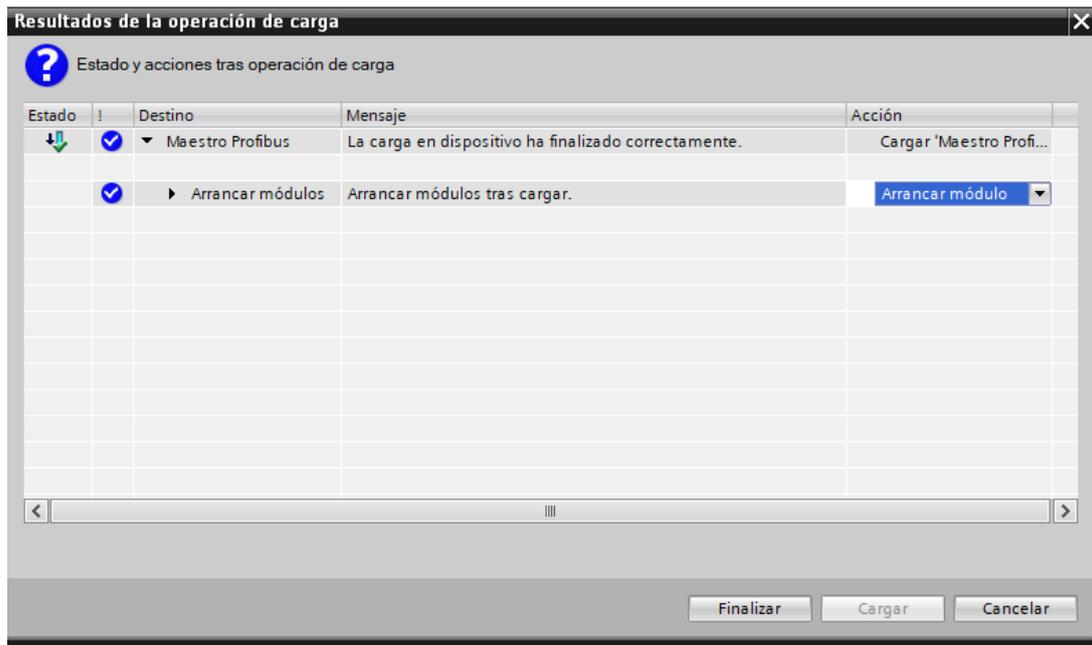


Figura 98. Arranque del módulo y finalización de carga del PLC Maestro

### Anexo 3: PRÁCTICA #2

Para la práctica 2 hay que volver al bloque de programas del PLC Maestro, crear un nuevo bloque de función, esta vez con el nombre “Práctica\_2”. Una vez dentro del bloque, empieza la programación para desarrollar el problema. Primero, al igual que en la práctica anterior en el primer segmento, se crea un circuito básico de marcha y paro.

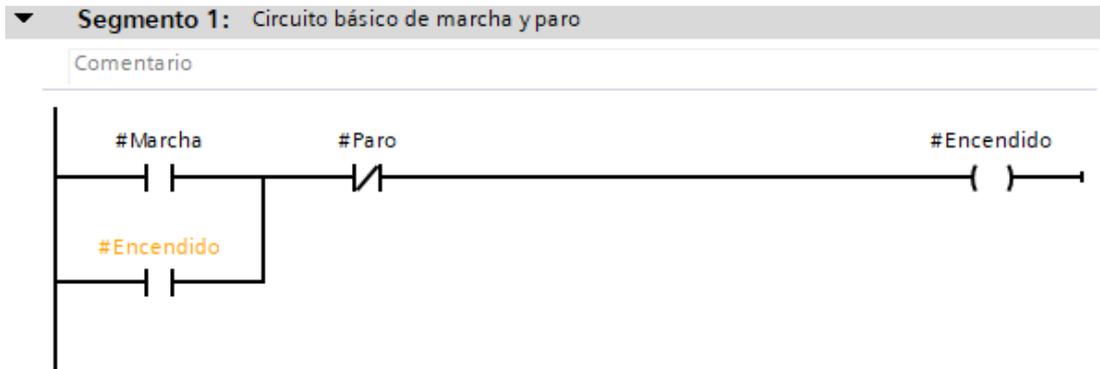


Figura 99. Circuito básico de marcha y paro

En el siguiente segmento se encontrarán los bloques de normalizar y escalar, estos bloques ayudan a digitalizar la entrada analógica enviada desde del transmisor de presión para luego usarla en el controlador PID. Al ser un transmisor que envía una señal de corriente entre 4 y 20mA, en el bloque normalizar se coloca como dato mínimo 5175 correspondiente a los 4mA y como dato máximo 27648 correspondientes a los 20mA, y como datos de conversión se debe colocar de Int a Real, la salida de este bloque es un dato de tipo Real, en este caso llamado “Valor\_normalizado”, el cual se usará en el siguiente bloque. Para el bloque escalar se colocan los valores mínimos y máximos de presión que se van a usar en esta práctica, el valor mínimo será de 30 PSI y el valor máximo de 100 PSI y a su salida se tendrá el valor ya digitalizado del transmisor de presión.

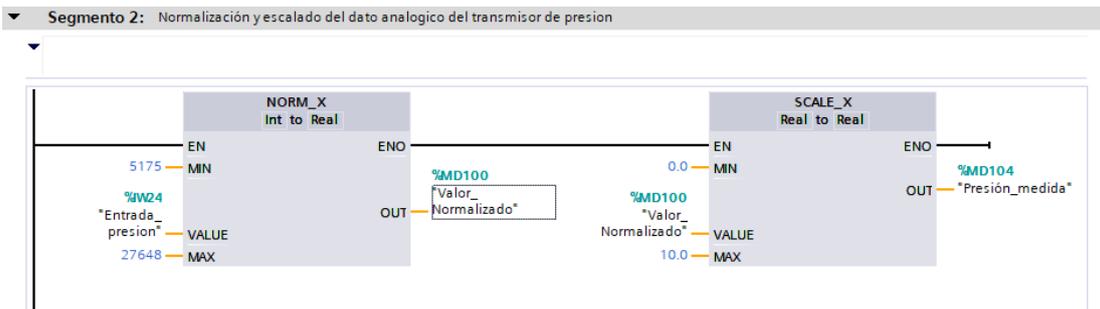


Figura 100. Normalización y escalado del dato analógico del transmisor de presión

Una vez hecho esto, se debe crear un nuevo bloque, el bloque a crearse será uno de ciclo interrumpido, este bloque es para el controlador PID que se usará para simular el proceso de esta práctica.

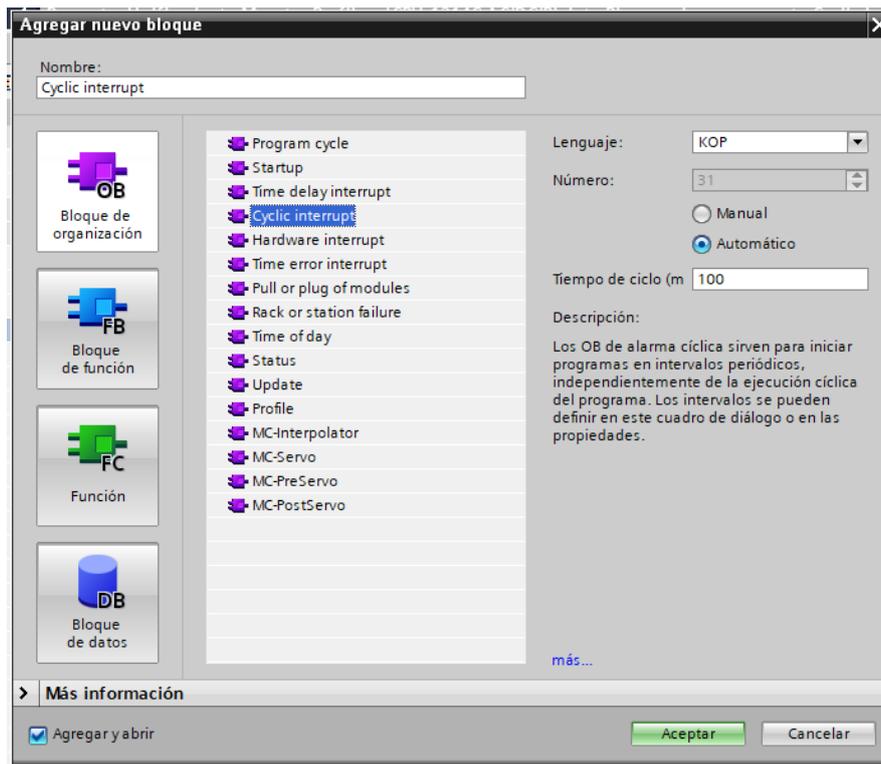


Figura 101. Ventana de “Agregar nuevo bloque” para ciclo interrumpido

Luego en el segmento 1 de este bloque se coloca un contacto cerrado con la variable de la marcha del proceso, luego un bloque move que enviará la presión inicial del neumático leída por un sensor hacia la variable que se escogió para simular la presión final de la llanta (“Presión simulada”), en paralelo a este contacto cerrado irá un contacto abierto con la variable “Cambio de llanta” para que cuando esté activo el contacto cerrado de la marcha, se pueda enviar este dato aplastando el botón que contiene esta variable. Luego de esto se genera una nueva rama, esta rama será un reset de la marcha del proceso, empezando por un contacto abierto donde irá el paro del proceso y un contacto de asignación en reset con la variable de la marcha del proceso (“Inicio\_press”).

En otro segmento se arma el circuito de funcionamiento cuando empieza la válvula a buscar su apertura, este circuito empieza primero con un contacto abierto para la marcha del proceso, otro cerrado para el paro, un bloque “IN\_RANGE” para establecer los límites de presión de la práctica, siendo el valor mínimo 30 y el valor máximo 100, un bloque de “consultar flanco de señal ascendente”, junto a un bloque “move” para que al dar la marcha, el estado del controlador PID sea automático y no se deba abrir la pantalla de configuración del mismo, colocando como entrada el número 3 (número designado como automático para el controlador) y a la salida la variable “PID\_Presion\_State” y por último el bloque PID\_Compact.

Como setpoint se usará la variable “Valor\_press” (la cual también se usa en el bloque “IN\_RANGE”), en “Input” va la variable “Presión\_simulada” y como salida la variable “Salida\_PID\_presion”. Después se abre otra rama para que al accionar el botón de paro, el estado del PID sea “Inactivo” por lo cual se coloca un contacto abierto para el paro y un bloque move, con entrada “0” y salida “PID\_Presion\_State”, en paralelo al bloque move se coloca un bloque “MUL” para que al accionar el botón de paro se multiplique el nivel del tanque por 0.

Para finalizar se abre otra rama para colocar 3 bloques “move”, cada bloque “move” es para que se puedan enviar los datos actuales de la ganancia proporcional, el tiempo derivativo e integral hacia el HMI y poder mostrarlos en una pantalla, como entrada van las variables “PID\_Presion.sRet.r\_Ctrl\_Gain”, “PID\_Presion.sRet.r\_Ctrl\_Td”, “PID\_Presion.sRet.r\_Ctrl\_Ti”, una para cada bloque “move” en el apartado “IN” y como salida (OUT) se coloca la variable donde se guardará estos datos para ser mostrados en la pantalla HMI, en este caso estas variables con sus respectivos nombres fueron las siguientes: MD236 (“KP\_Press”) para la variable “PID\_Presion.sRet.r\_Ctrl\_Gain”, MD240 (“TD\_Press”) para la variable “PID\_Presion.sRet.r\_Ctrl\_Td” y MD244 (“TI\_Press”) para la variable “PID\_Presion.sRet.r\_Ctrl\_Ti”.

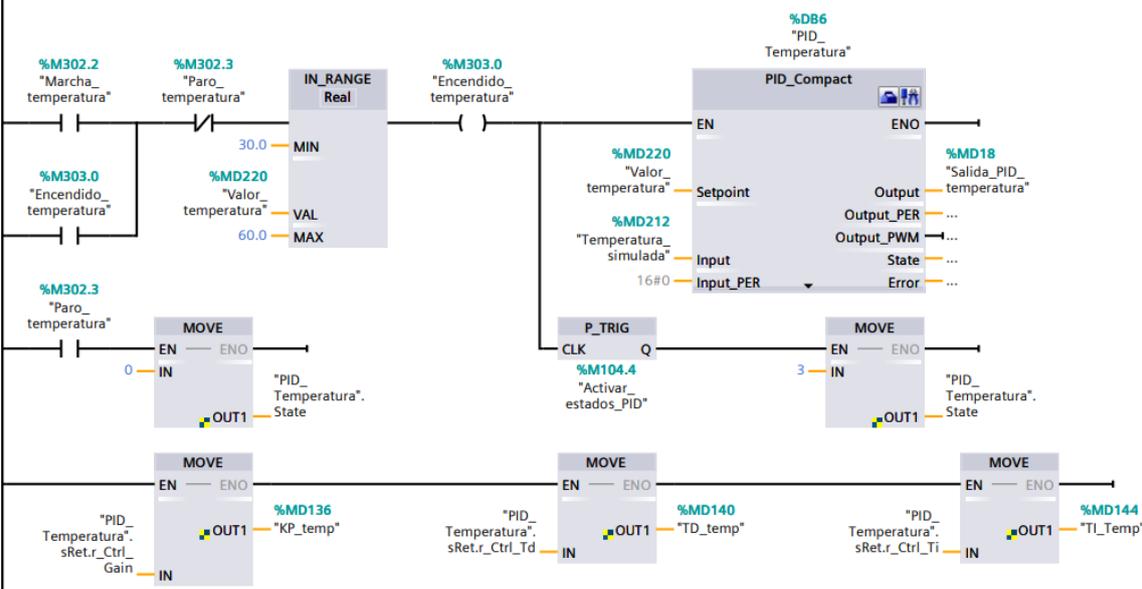


Figura 102. Circuito de activación del controlador PID.

Continuando con la programación para la simulación de esta práctica, en el segundo segmento se colocará otro bloque de datos, dentro de este se encontrará la función de transferencia que describe el sistema, teniendo como entradas a la salida del PID y la presión simulada anterior mientras que a su salida estará la presión simulada actual.

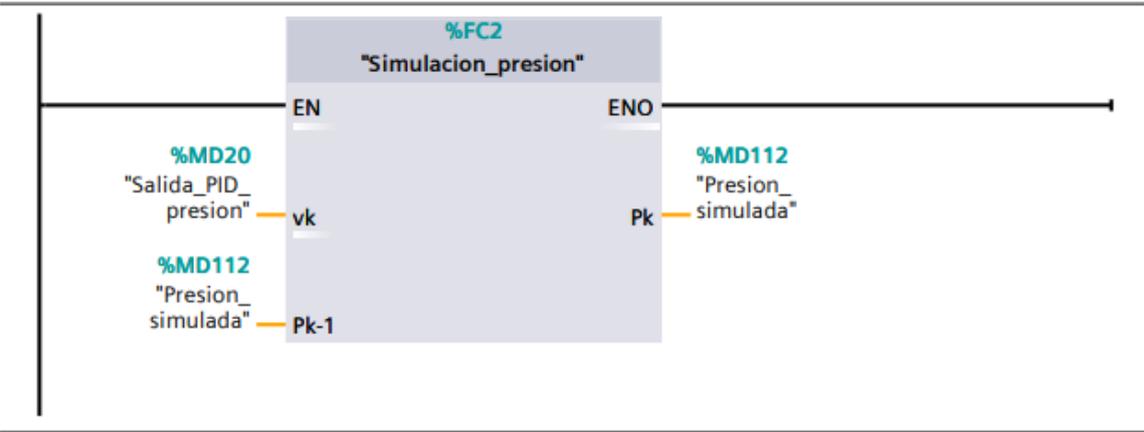


Figura 103. Bloque de función con la función de transferencia del sistema.

Para el desarrollo matemático de la función de transferencia se tomó en cuenta dos partes de la válvula: En primer lugar, el cuerpo de la válvula, material de construcción y geometría de la misma y el segundo lugar el tapón de la válvula junto a sus material de construcción y geometría, ambas combinadas establecen las propiedades de flujo de la válvula.

Una válvula neumática tiene por lo general un retraso dinámico, el que genera que el movimiento del vapor no responda rápidamente a la presión aplicada desde el PLC. Encontrándose una relación entre el flujo y la presión para una válvula lineal, representando una función de transferencia de primer orden como la que se expone a continuación:

$$\frac{P(s)}{V(s)} = \frac{Kv}{Bs + 1}$$

Donde:

P(s)= Presión.

V(s)= Señal proveniente del controlador (mA o V) que actúa sobre la válvula.

Kv=Coficiente de caudal de la válvula.

Bs= Constante de tiempo de la válvula. [22]

Teniendo estos datos se procedió a discretizar esta función de transferencia, quedando de la siguiente forma:

$$\frac{P(s)}{V(s)} = \frac{Kv}{Bs + 1}$$

$$Bs + 1(P(s)) = Kv(V(s))$$

$$B \left( \frac{Pk - P_{k-1}}{Ts} \right) + Pk = Kv(Vk)$$

$$Pk \left( 1 + \frac{B}{Ts} \right) - \frac{BP_{k-1}}{Ts} = Kv(Vk)$$

$$Pk \left( \frac{Ts + B}{Ts} \right) - \frac{BP_{k-1}}{Ts} = Kv(Vk)$$

$$Pk(Ts + B) - BP_{k-1} = Kv * Ts * Vk$$

$$Pk(Ts + B) = Kv * Ts * Vk + BP_{k-1}$$

$$Pk = \left( \frac{Kv * Ts * a}{Ts * B} \right) * Vk + \left( \frac{B}{Ts + B} \right) * P_{k-1}$$

Los valores para cada variable se detallan a continuación:

Kv=11.1  $\frac{m^3}{h}$  (datos tomados de la hoja de datos técnicos de la válvula)

Ts=0.1s

a=1 (Ganancia)

B=5s (Tiempo constante de la válvula)

Esta función de transferencia es la que se coloca dentro del bloque de función mencionado en el apartado anterior, quedando de la siguiente manera:

Simulacion_presion				
	Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario
1	Input			
2	vk	Real		
3	Pk-1	Real		
4	Output			
5	Pk	Real		
6	InOut			
7	<Agregar>			
8	Temp			
9	<Agregar>			
10	Constant			
11	a	Real	1.0	Ganancia
12	Bs	Real	5.0	Tiempo constante
13	Ts	Real	0.1	Segundos
14	Kv	Real	11.1	Coefficiente de caudal
15	Return			
16	Simulacion_presion	Void		

```

1 //BEGIN
2 #Pk := ((#Kv * #Ts * #a / (#Ts + #Bs)) * #vk) + ((#Bs / (#Ts + #Bs)) * #Pk-1);
3 //END_FUNCTION

```

Figura 104. Código SCL del bloque “Simulación presión” con la función de transferencia del sistema.

Después de haber programado estos 2 segmentos en el bloque de ciclo interrumpido, hay que dirigirse nuevamente al bloque “Main” del PLC Maestro para programar animaciones extras que se mostrarán en la pantalla HMI. La primera animación es la de mostrar el enunciado “El sistema ha iniciado” durante 3s y luego desaparecer, para eso hay que colocar en el siguiente orden los siguientes elementos: un contacto abierto donde va la marcha, uno cerrado para el paro, un contacto de asignación para hacer un circuito enclavado, un temporizador TP con un tiempo de 3s y por último otra asignación con la variable que mostrará el enunciado.

Después en otra rama para reiniciar todas las animaciones una vez aplastado el botón de paro, se colocan en orden los siguientes elementos: un contacto abierto para el paro, un contacto cerrado para la marcha y un contacto de asignación para que quede enclavado, este contacto tiene el nombre de “Reinicio”. Este contacto de asignación activará la siguiente rama para que los valores de presión y la salida del PID sean iguales a 0, para ello se coloca en una nueva rama un contacto abierto para la variable “Reinicio” seguida por dos bloques de multiplicación, en el primer bloque se multiplica por 0 la presión simulada, mientras que en el segundo bloque de multiplicación se multiplica por 0 la salida del controlador PID. Y para la última animación se crea un bloque de datos (FC) que servirá para mostrar un mensaje para cuando la presión esté estabilizada.

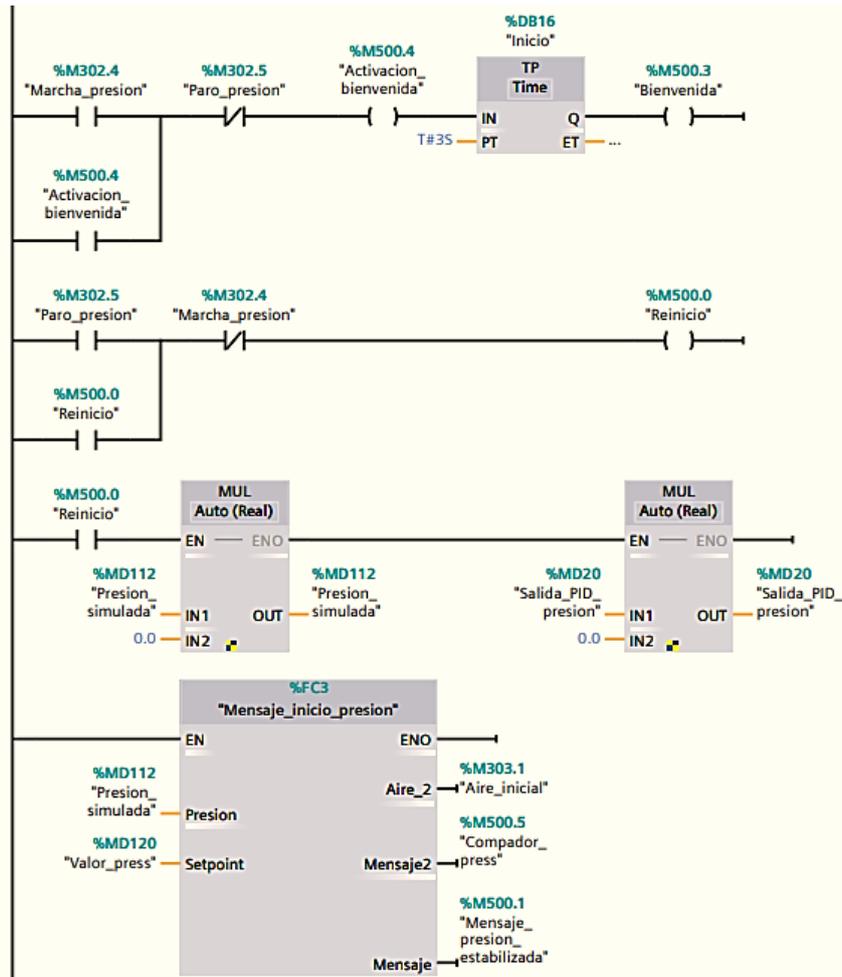


Figura 105. Segmento de animaciones para la práctica #2

Dentro de este bloque anteriormente mencionado va la siguiente programación:

Proyecto\_Unificado > Maestro\_Profibus [CPU 1214C AC/DC/Rly] > Bloques de programa > Mensaje\_inicio\_presion [FC3]

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario
1	Input		
2	Presion	Real	
3	Setpoint	Real	
4	Output		
5	Aire_2	Bool	
6	Mensaje2	Bool	
7	Mensaje	Bool	
8	InOut		

```

1 IF #Presion > 0.92 * #Setpoint AND #Presion < 1.02 * #Setpoint THEN //Considerando los criterios de estabilidad
2   #Mensaje := 1;
3   #Aire_2 := 0;
4 ELSE
5   #Mensaje := 0;
6   #Aire_2 := 1;
7 END_IF;
8
9
10 IF #Presion > 0.92 * #Setpoint AND #Presion < 1.30 * #Setpoint THEN
11   #Mensaje2 := 1;
12 END_IF;

```

Figura 106. Código SCL para el bloque de función encargado de mostrar el mensaje de “presión estabilizada”

El mensaje de “Presión estabilizada” se mostrará únicamente cuando el valor de la presión se encuentre entre el +/- 2% del valor seteado, este porcentaje cumple los criterios de estabilidad, mientras esto no ocurra el mensaje no debe de aparecer.

Y para la variable “Mensaje 2” que sirve como restricción para el reset del contador que se usa para mostrar el tiempo de estabilización, solo funciona cuando el valor de la presión es mayor al valor del setpoint multiplicado por 0.92 y menor al valor del setpoint multiplicado por 1.30.

En otro segmento se va a programar los modos de funcionamiento de este sistema (Manual o Automático) para ello, se coloca un contacto abierto con la variable ligada al funcionamiento manual, luego un contacto cerrado con la variable ligada al funcionamiento automático para que una vez se active el modo manual, por más que se presione el boton del modo automático no suceda nada, después de este contacto cerrado se agrega uno mas con el paro del sistema y por ultimo el bloque de funcion db que contiene la programacion del modo de funcionamiento manual. Para el funcionamiento automático en otra rama se coloca un contacto abierto con la variable ligada al funcionamiento automático seguida de 2 contactos cerrados, uno de ellos para el paro del sistema y otro para la variable del funcionamiento manual y por ultimo el bloque de funcion db que contiene la programación del modo de funcionamiento automático.

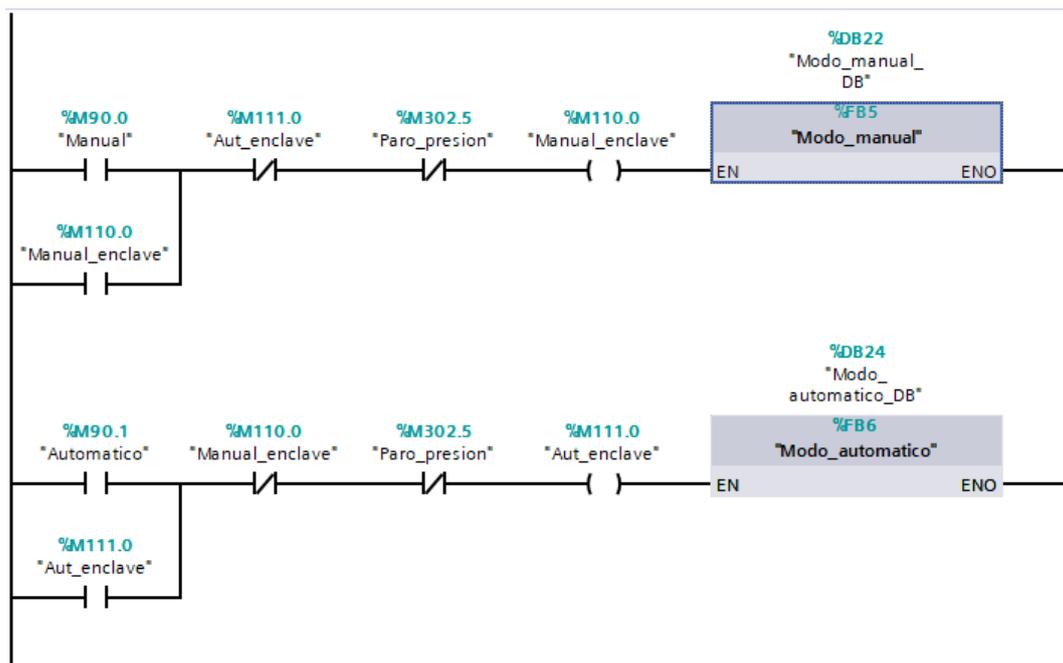


Figura 107. Circuito para la elección del modo de funcionamiento del proceso neumático

Para crear los bloques de datos DB, hay que dirigirse a la opción “Agregar nuevo bloque” que se encuentra en el arbol de proyecto, una vez dentro de cada bloque la programación es la siguiente, empezando por el bloque para el funcionamiento Manual:

Primero se coloca un contacto abierto para la marcha inicial del sistema, seguido de un contacto cerrado con el paro de todo el sistema, un contacto de asignación que sirve para el enclavamiento y en paralelo a la marcha un contacto abierto de la variable en el enclave, después del contacto de asignacion, sigue un contacto cerrado que es para un reset del contador para el nivel del tanque y por un ultimo un bloque “TON” de 500 milisegundos para que cada 500

milisegundos empiece el conteo. En paralelo a este contacto de reset va un contacto abierto con la salida del bloque “TON”, luego un bloque de suma donde se suma el nivel del tanque y un valor de 10, esto para que el tanque se empiece a llenar de 10 en 10.

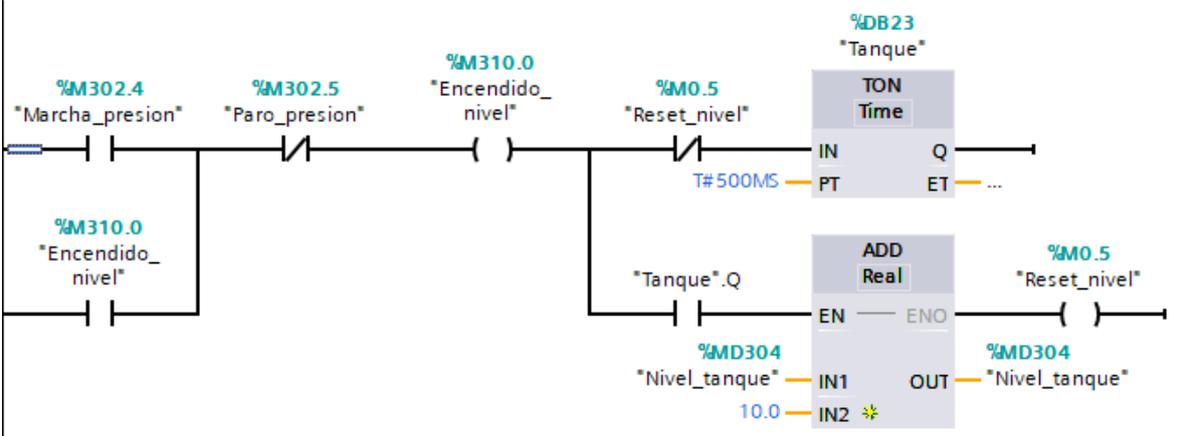


Figura 108. Circuito para el llenado del tanque pulmón en el proceso neumático modo manual

En el mismo segmento se colocan otras ramas para dar condiciones la primera de ellas es que cuando el nivel del tanque sea igual a 100 se resetee la variable “Encendido\_nivel”. Otra de las condiciones es que cuando se aplaste el boton “Cambio de llanta” se active la variable “Inicio\_press” que es la que inicia el proceso para la válvula, otra condicion es que cuando se aplaste el boton “cambio de llanta” y el nivel del tanque sea 100 se activa el primer vaciado, que reduce el nivel en tanque en 10 PSI y por último, la última condicion es que cuando se active el primer vaciado, se activa al mismo tiempo el contacto que da marcha a este proceso.

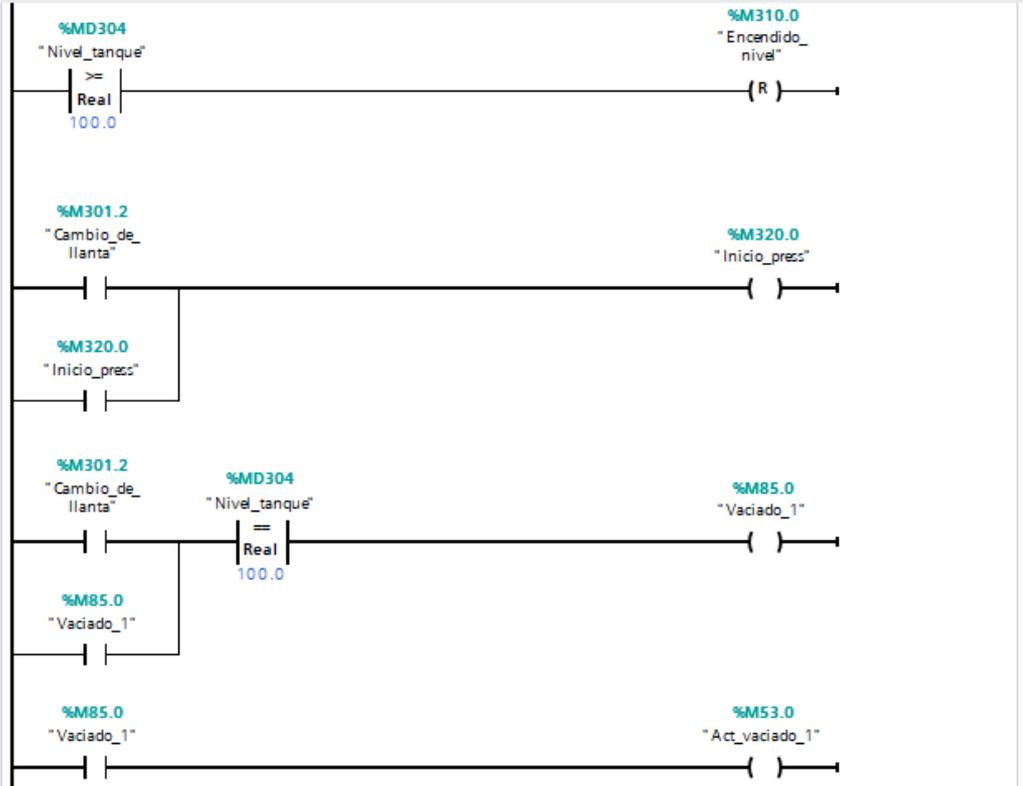


Figura 109. Condiciones para el funcionamiento del proceso neumático en modo manual

En otro segmento se programa el descenso en la presión del tanque cada vez que se llena una nueva llanta. Primero se coloca un contacto abierto con la variable “Act\_vaciado\_1” variable que se activa una vez el nivel sea igual a 100, luego 4 contactos cerrados, 3 para parar cada vaciado que haya en el tanque una vez se llene una llanta y un ultimo para el contador de la presión en el tanque, por ultimo se agraga un bloque “TON” de 10 segundos para que cada 10 segundos haga este descuento de 10 PSI en la presión del tanque, en paralelo a “Act\_vaciado\_1” se coloca otro contacto abierto con la variable “Vaciado\_2” que es para bajar otros 10 PSI, cuando se active, despues de esto se coloca otro contacto en paralelo para “Vaciado\_3” y un ultimo contacto abierto en paralelo a los anteriores para “Vaciado\_4”. Por último en paralelo al contacto cerrado del reset del contador se coloca un contacto abierto con la salida del bloque “TON”, un bloque de resta que reste los 10 PSI al nivel del tanque y para finalizar un contacto de asignación con el reset del bloque.

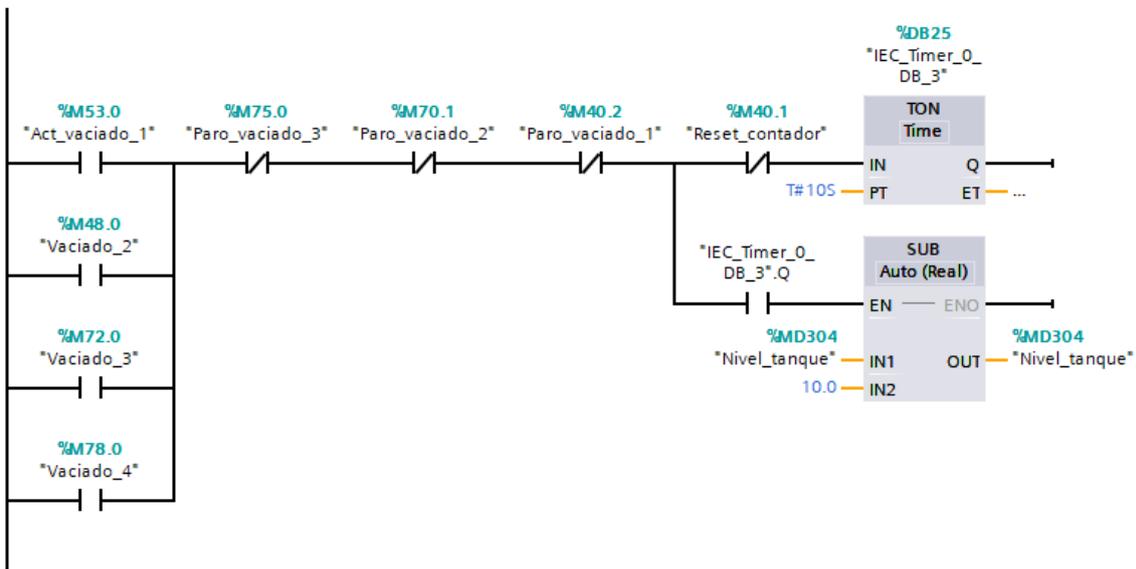


Figura 110. Circuito para la perdida de presión en el tanque pulmón con cada neumático

Y para finalizar este bloque en otro segmento se colocan las condiciones para que cada vez que se llene una nueva llanta la presión baje 10 PSI y que cuando llegue a 60 PSI la electroválvula se abra y llene el tanque hasta llegar a 100 PSI nuevamente y así se repita el proceso. A continuación la programación usada:

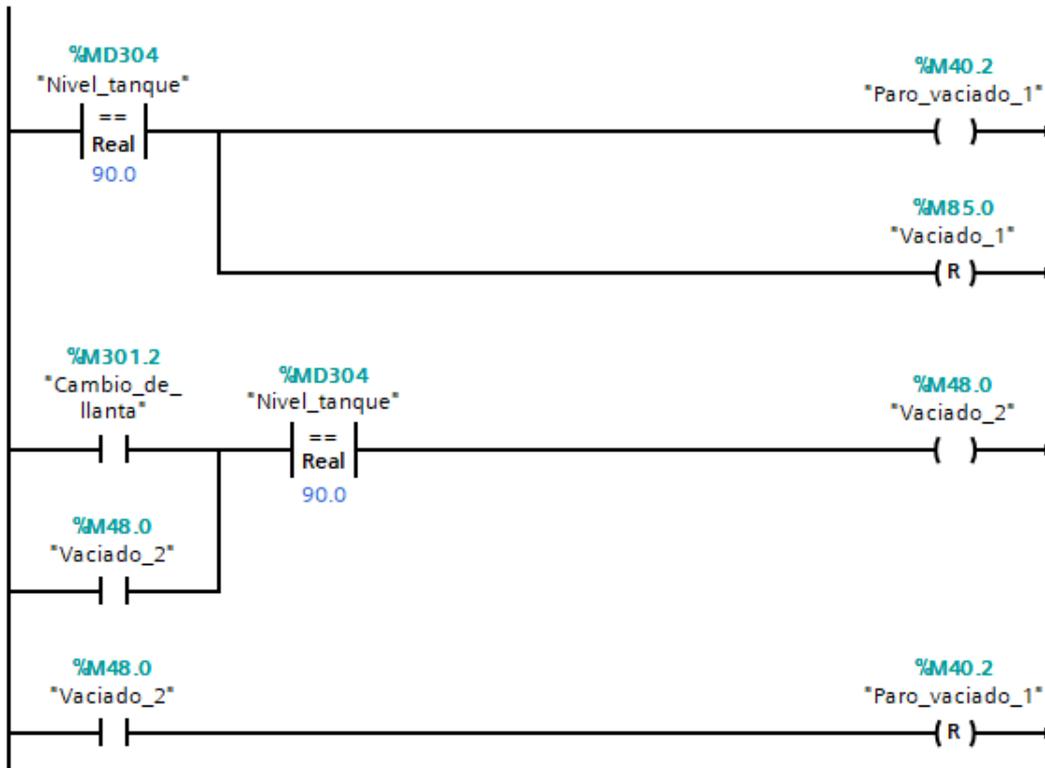


Figura 111. Condiciones para la pérdida de presión en el tanque pulmón #1

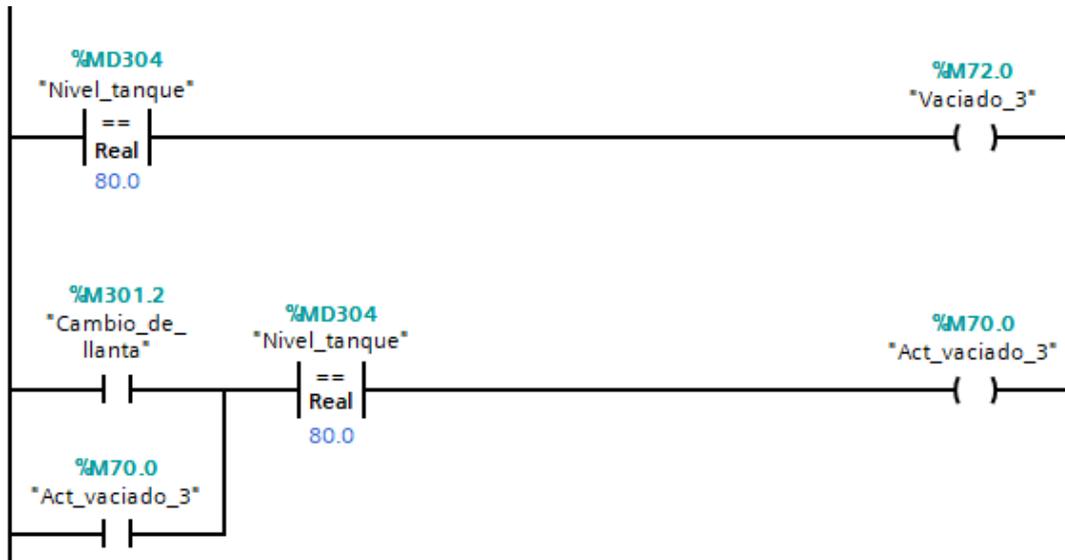


Figura 112. Condiciones para la pérdida de presión en el tanque pulmón #2

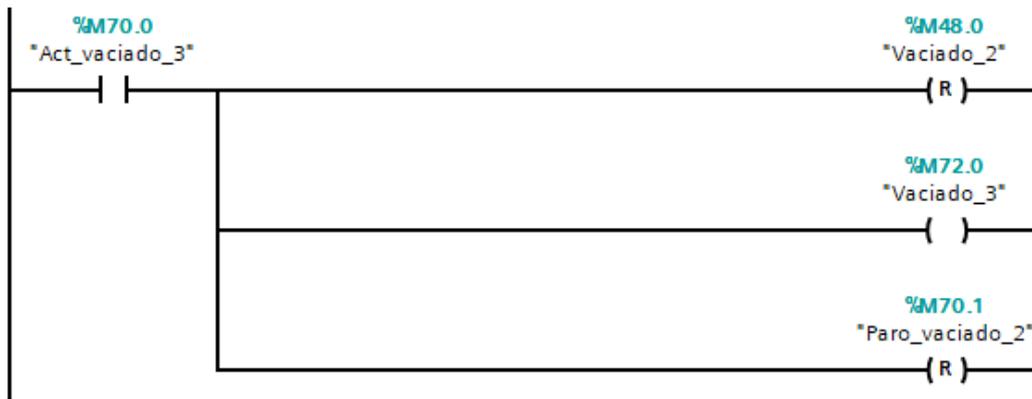


Figura 113. Condiciones para la pérdida de presión en el tanque pulmón #3

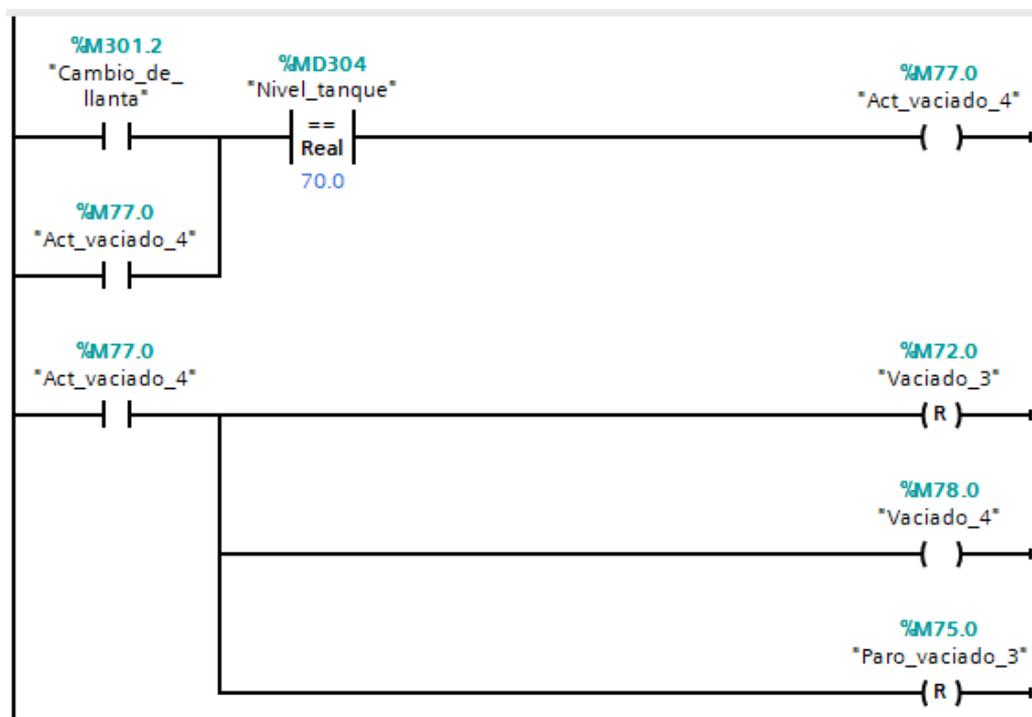


Figura 114. Condiciones para la pérdida de presión en el tanque pulmón #4

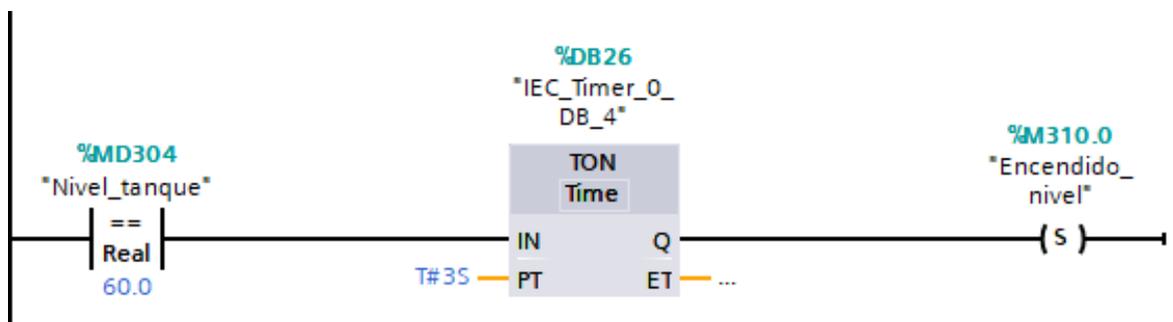


Figura 115. Figura 110. Condiciones para la pérdida de presión en el tanque pulmón #5

Para el modo automático se crea otro bloque de función y en el primer segmento se hace un circuito similar al circuito inicial del modo manual.

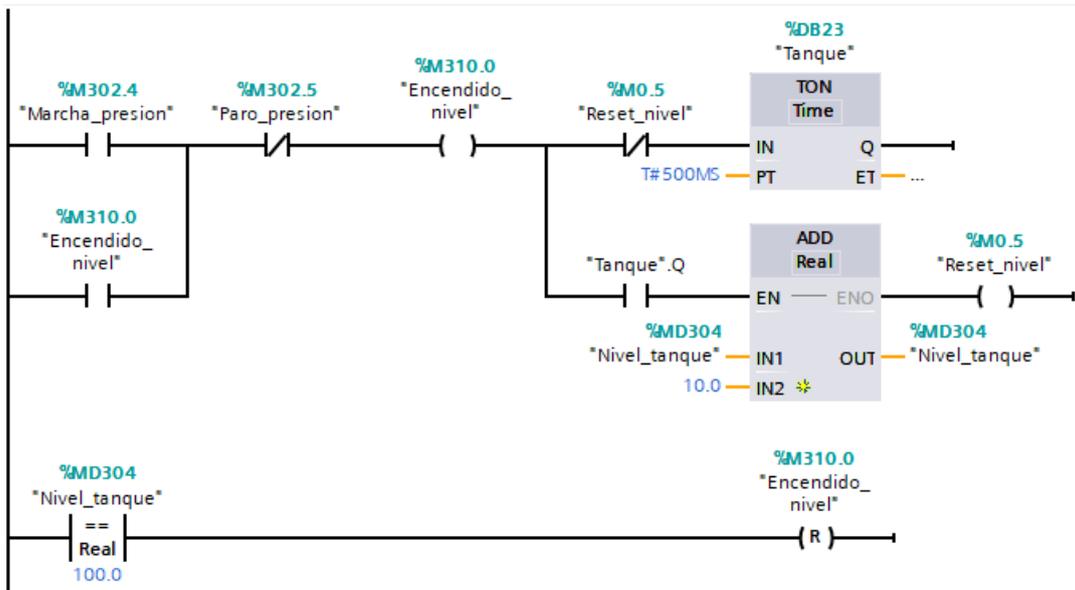


Figura 116. Circuito para el llenado del tanque pulmón en el proceso neumático modo automático

En otro segmento se coloca el circuito para que el proceso se haga de forma automática, quedando de la siguiente manera:

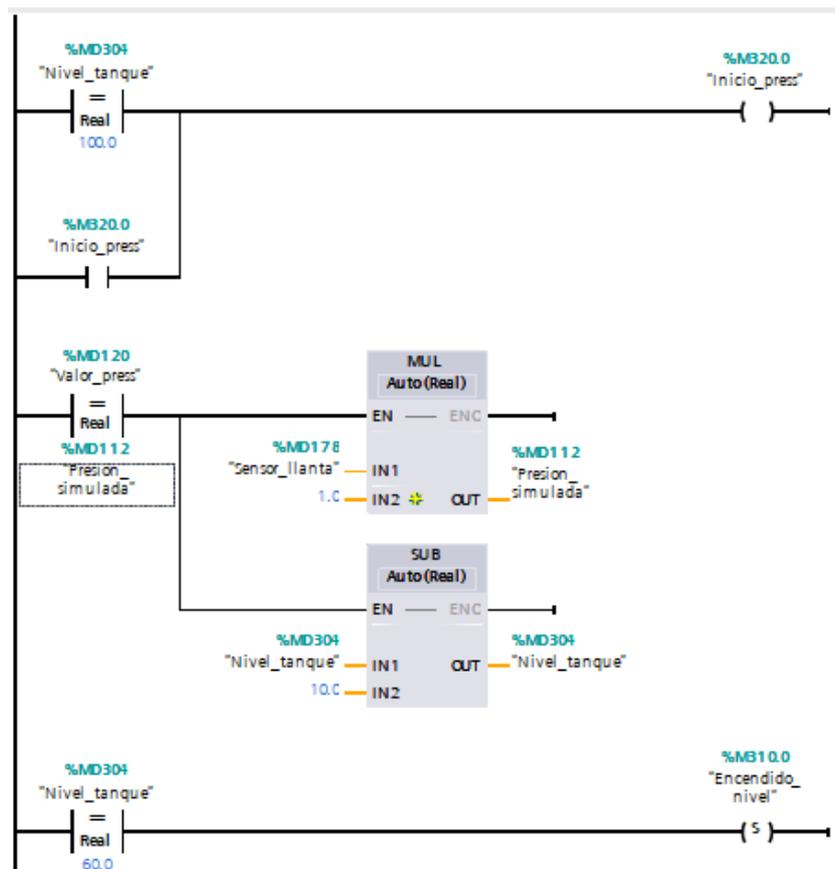


Figura 117. Circuito de perdida de presion en tanque pulmon para el modo automático

El proceso inicia cuando el nivel en el tanque llegue a 100 PSI, lo que comenzaría a bajar la presion de la llanta de 10 en 10 PSI.

Antes de terminar se programa un contador que, se mostrará en la pantalla HMI para contabilizar las veces que se han llenado las llantas, empezando por el contacto abierto “Cambio\_de\_llanta” es decir que una vez activado este boton, se activa también este contador, y será reseteado una vez se le de al boton de paro del sistema y también se activará cuando el valor del sensor en la llanta sea igual a la de la presion simulada.

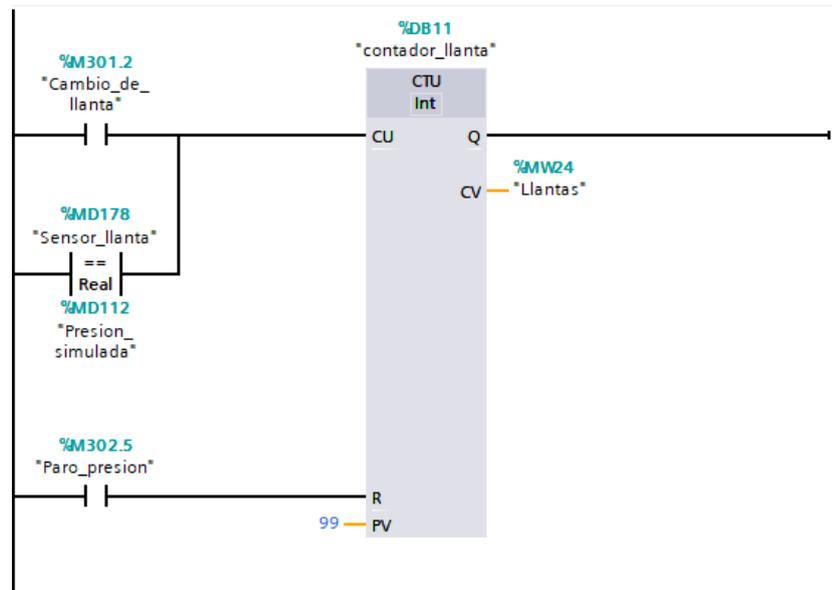


Figura 118. Segmento del circuito para el contador de llantas del sistema.

Y por último, para poder mostrar el tiempo de estabilización del sistema en el HMI, se utilizará un temporizador TONR, que será activado una vez empiece el proceso de llenado del neumático, para ello se coloca un contacto abierto con la variable “Inicio\_presion”, luego un bloque de comparación “diferente de” entre el setpoint seteado y el valor de la presión actual, y por último un contacto cerrado con la variable “mensaje\_presion\_estabilizada” para que una vez este mensaje aparezca no haga activar más al temporizador. Hablando del temporizador, debe ser de tipo TONR, en el enunciado “ET” se coloca una variable de tipo DWord y el reset del temporizador se dará cuando se apague el sistema o el valor entre la presión actual y el setpoint sean diferentes, por cuestiones de exactitud se añade un contacto cerrado que sirve de restricción para que cuando el valor de la presión sea igual al setpoint no se reinicie el contador, la variable que se coloca para este contacto cerrado es “Comparador\_press” que se hizo en el bloque “Mensaje inicio presión” tiene las mismas condiciones que tiene para la variable “Mensaje presión estabilizada” solo que entre valores de 0.92 y 1.30, después del contacto cerrado sigue un bloque “P\_trig”. Después de esto y por último se coloca un bloque de conversión para convertir la variable tipo DWord a real, seguido de otro bloque DIV para que este valor sea dividido para 1000 y así se pueda representar en el HMI.

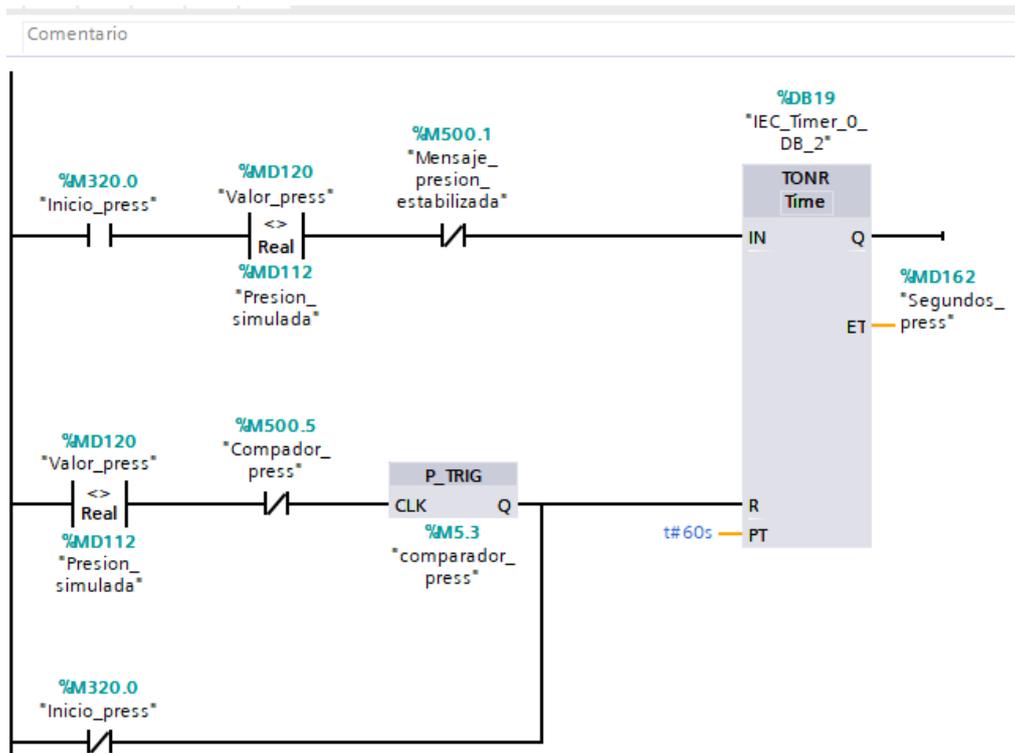


Figura 119. Circuito para mostrar el tiempo de estabilización del proceso parte 1

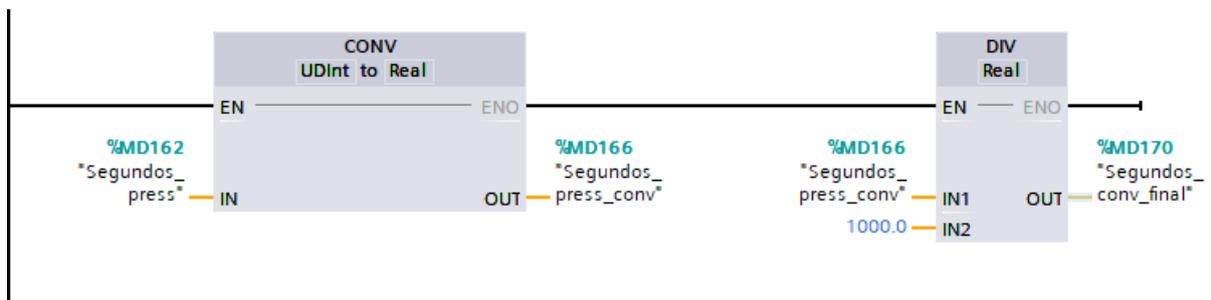


Figura 120. Circuito para mostrar el tiempo de estabilización del proceso parte 1

Una vez programado todo esto dentro del bloque de “interrupción ciclico” y en el bloque “Main”, se procede a ir al apartado de “Imágenes” dentro del HMI para crear una nueva imagen para el sistema neumático con el nombre “Práctica\_2”, además de otra pantalla para la gráfica del comportamiento de la presión hasta llegar al punto seteado llamada “Gráfica\_p3”, la pantalla para “Práctica\_2” está formada por un boton de Marcha y Paro, un campo de E/S para el Setpoint, donde se ingresa el valor al que deseamos que se estabilice el sistema, 4 campos de E/S para mostrar los valores de la ganancia proporcional, tiempo derivativo, integral y el número de llantas que se han usado en el sistema, un botón para el cambio de llanta y otros 2 botones para la observacion de la gráfica del comportamiento de la presión a través del tiempo hasta llegar al valor deseado, además del botón para regresar al menú de prácticas y poder seleccionar a que práctica se desee ir.

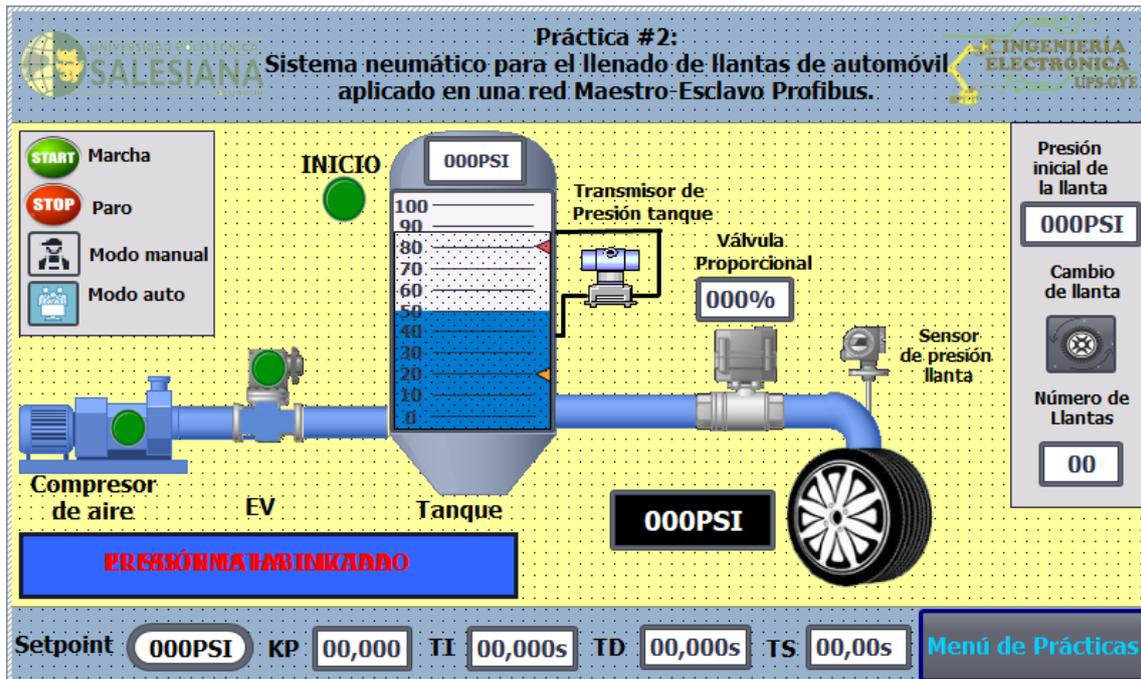


Figura 121. Imagen de pantalla “Práctica\_2”.

Para el botón marcha y paro se vuelve a seleccionar un botón para cada caso y dentro de sus propiedades, en la pestaña de “Eventos”, en el enunciado “Pulsar” se agrega la función de “ActivarBitMientrasTeclaPulsada” colocando la variable respectiva para cada caso.

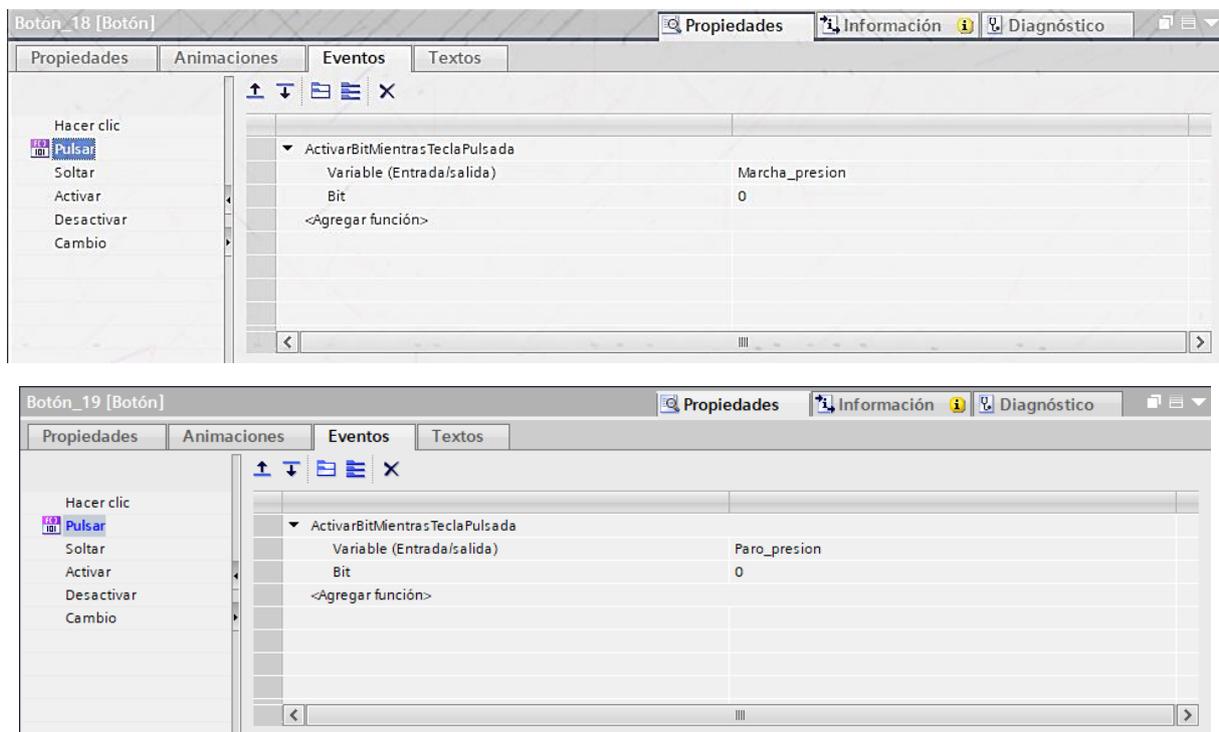


Figura 122. Configuración de eventos para botones de marcha y paro.

Luego se continúa con la pantalla de datos (Campo E/S) para el setpoint, la ganancia proporcional, tiempo derivativo, integral y el número de llantas, para la pantalla del Setpoint se configura solo para entrada y colocando la variable “Valor\_press” como variable de proceso, el formato será decimal con representación de solo 2 dígitos.

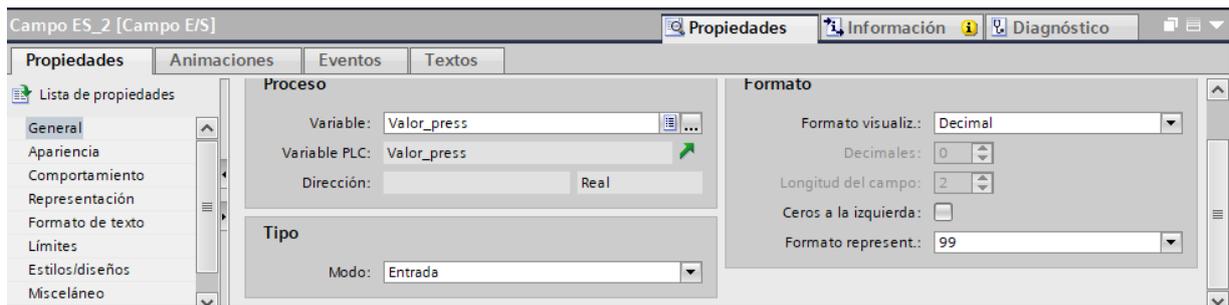


Figura 123. Configuración para campo E/S del Setpoint.

Para las demás pantallas se repite el mismo procedimiento pero en vez de entrada se la configura como salida y se le asigna la variable correspondiente. Para la ganancia proporcional la variable a usar es “KP\_Press”, para el tiempo derivativo e integral se usan las variables “TD\_Press” y “TI\_Press” y por último para el número de llantas se usa la variable “Llantas”.

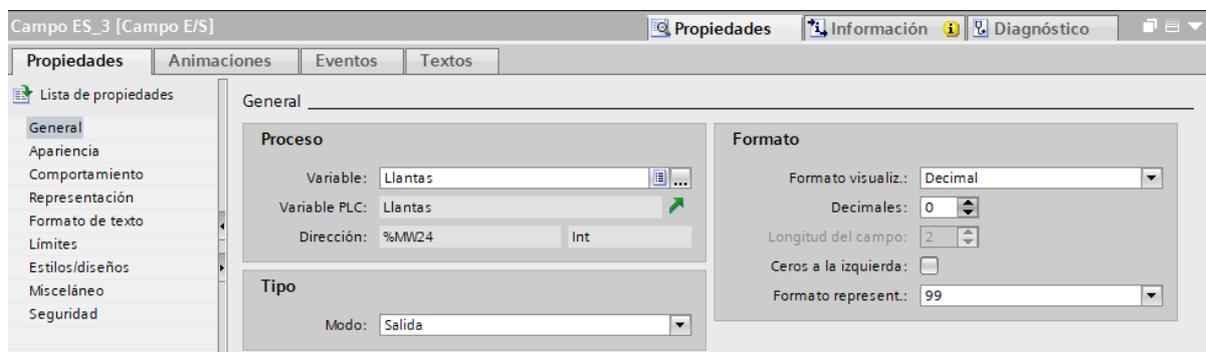


Figura 124. Configuración para campo E/S del número de llantas.

Después para la barra que se encuentra dentro del tanque se coloca la variable “Presion\_simulada” y se establecen los limites que van de 0 a 110 Bar.



Figura 125. Configuración de la barra dentro del tanque.

Continuando con el proceso, es hora de colocar una pantalla de datos (Campo E/S) encima de la válvula de control, esta vez configurada como solo salida para mostrar el porcentaje de abertura de la misma, usando la variable “Salida\_PID\_Presión” como variable de proceso, en formato decimal y con representación de 3 dígitos.

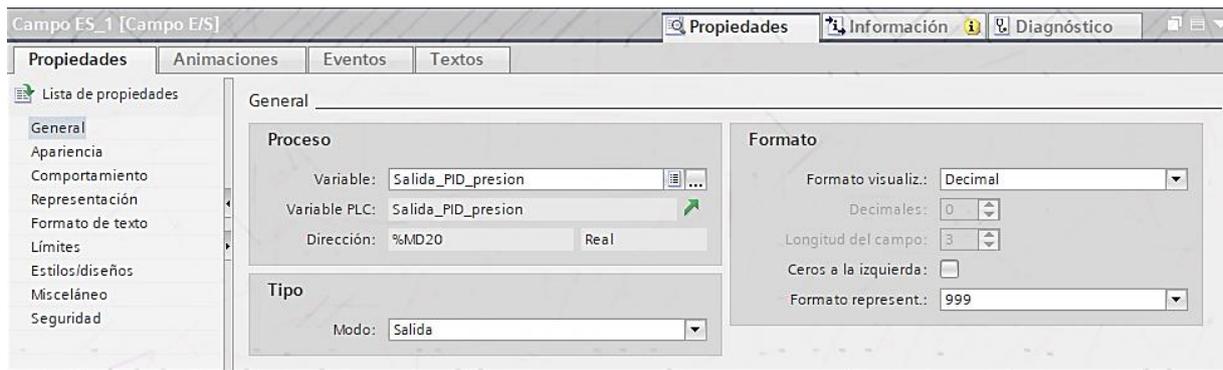


Figura 126. Configuración para campo E/S de la válvula.

Para el botón de cambio de llantas, hay que dirigirse a las propiedades, luego a la ventana de “Eventos” y después en el apartado “Pulsar” agregar la función “ActivarBitMientrasTeclaPulsada” colocando como variable a “Cambio de llanta”.



Figura 127. Configuración de eventos para botón “Cambio\_de\_llanta”.

Al lado de este botón se encontrará una pantalla de datos(Campo E/S), esta vez configurada solo como salida de datos, la variable de proceso usada en este caso es “Llantas”, en formato decimal y en representación de 2 dígitos.

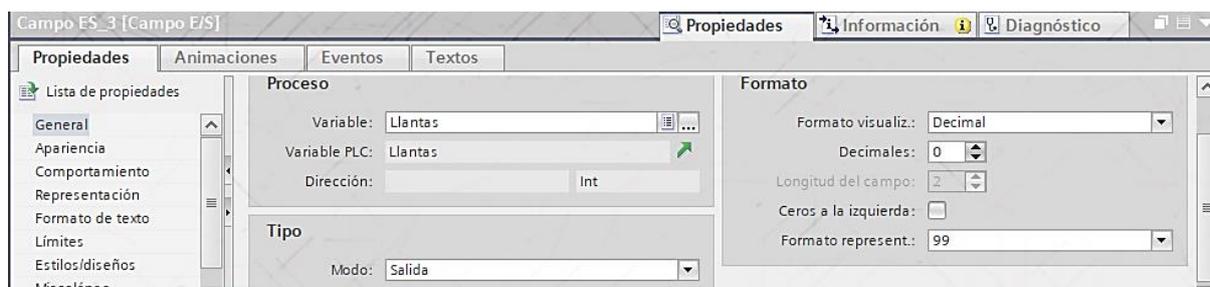


Figura 128. Configuración para campo E/S del contador de llantas.

Para las animaciones, se empieza primero con la llanta que se encuentra en la pantalla, seleccionandola hay que dirigirse a la pestaña de “Animaciones” luego a “Visualización” y por último en “Agregar animación”, “Dinamizar Visibilidad”.

Como variable de proceso se usa la variable “Cambio de llanta”, en el rango de 1 a 1 y la visibilidad invisible, para que cuando esta se active la llanta desaparezca.

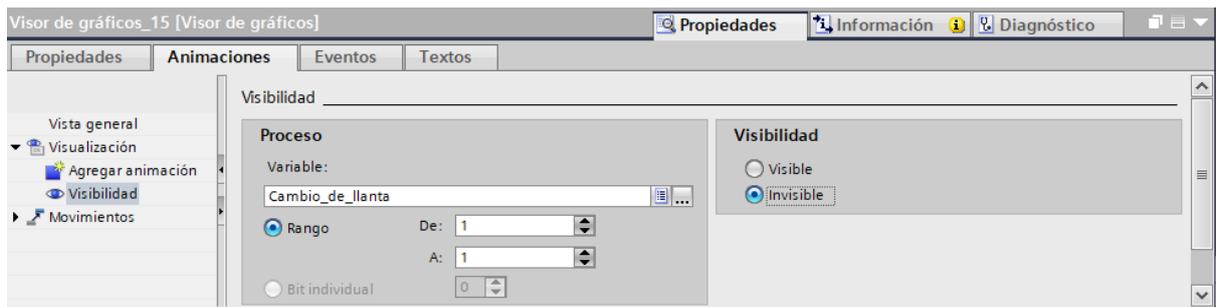


Figura 129. Configuración de animación para las llanta del proceso.

Después se configuran 2 botones para que al activarse se guíe a otra imagen donde se encuentra la gráfica del comportamiento de la presión con respecto al punto seteado, para esto se coloca el primer boton encima del tanque y luego en el modo se coloca en “Invisible”.

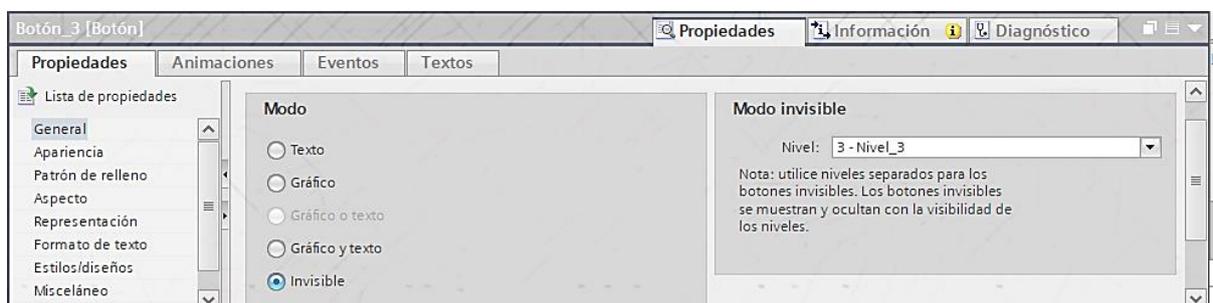


Figura 130. Configuración del botón dentro del tanque

Después hay que dirigirse a “Eventos” y en el enunciado “Pulsar” se agrega la funcion de “ActivarImagen” colocando la imagen donde se encuentran las gráficas para este proceso, dicha imagen tiene el nombre de “Gráficas\_p3”.

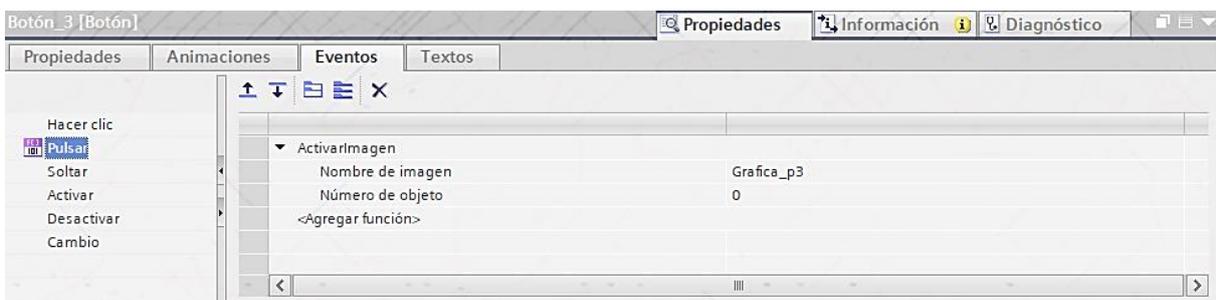


Figura 131. Configuración de eventos para el botón dentro del tanque que muestra la gráfica Setpoint vs Presion

Así mismo el siguiente boton, tomará la forma de la válvula para esto al seleccionar el botón en sus propiedades en el apartado “General” se selecciona como modo el enunciado “Gráfico” y como “Gráfico si boton no pulsado” cualquier válvula que se quiera escoger en este caso se seleccionó la mostrada en la pantalla, luego de eso hay que ir al apartado de “Eventos”, después en “Pulsar” se agrega la función “ActivarImagen” colocando la imagen de las gráficas para este proceso llamado “Gráficas\_p3”.

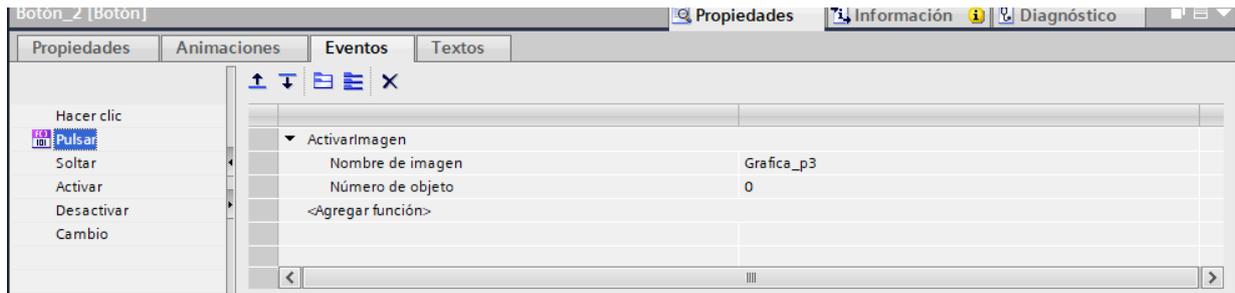


Figura 132. Configuración de eventos para el botón de la válvula.

La pantalla “Gráfica\_p3” consta de un visor de curvas donde al seleccionarlo se agregan 2 curvas, una para el Setpoint y otro para la presión, usando las variables “Valor\_press” y “Presión\_simulada” respectivamente, además de un botón para regresar al sistema si se desea. Para configurar este botón hay que ir a “Propiedades”, luego a la pestaña de “Eventos” y en el enunciado “Hacer clic” se debe agregar la función “ActivarImagen” y colocar la imagen que contiene el sistema neumático.

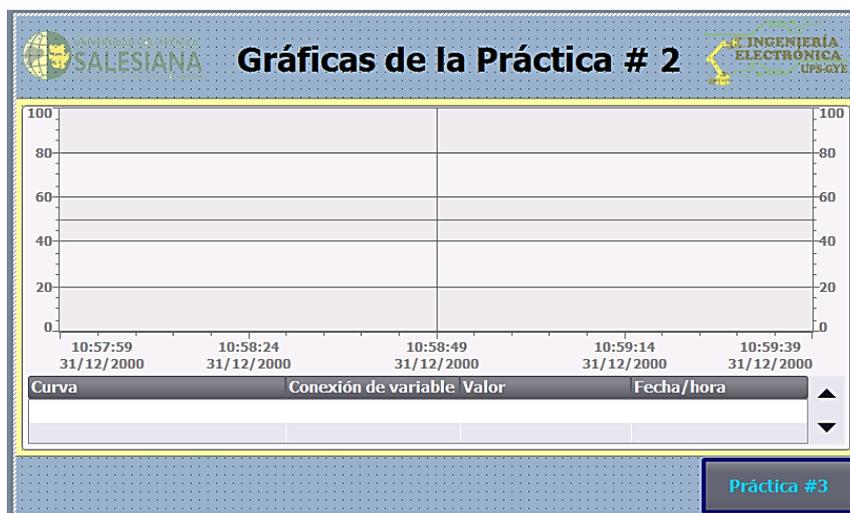
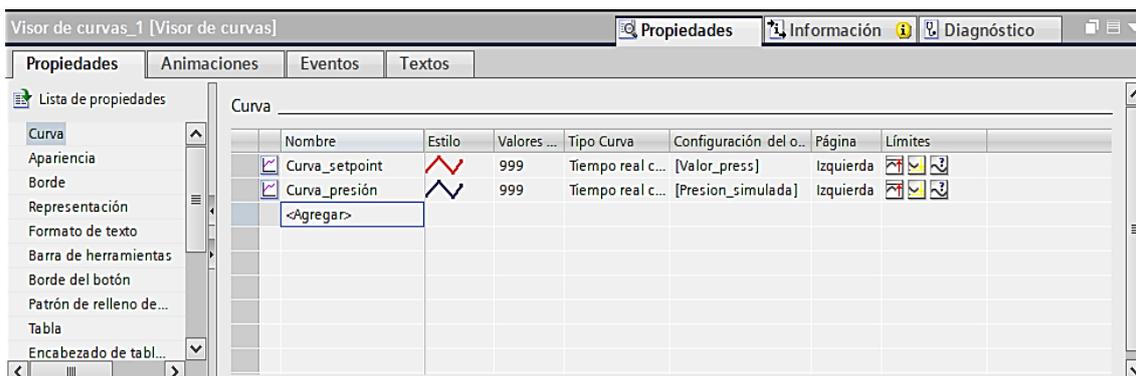


Figura 133. Imagen para las gráficas de la práctica #3



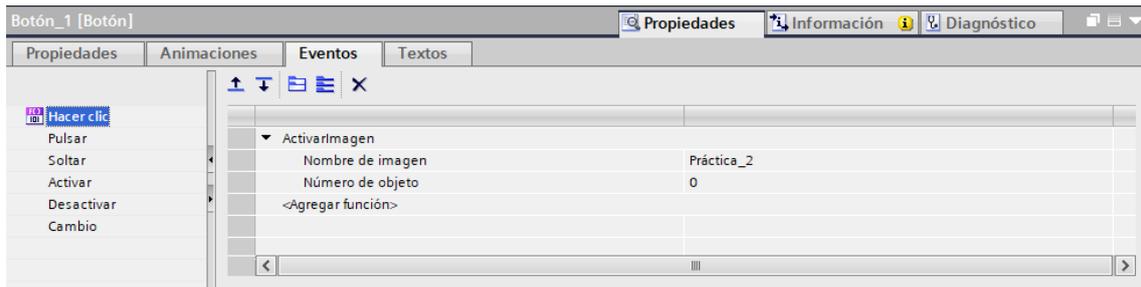


Figura 134. Configuración del visor de curvas y el boton de retorno al sistema.

Y por último se programan las animaciones para mostrar los mensajes de “El sistema ha iniciado” y “Presión estabilizada”, para eso se coloca un pequeño rectangulo y dentro del rectángulo es donde van a ir los mensajes, se inserta un campo de texto y se digitan ambos mensajes, luego para configurarlos hay que ir a sus “Propiedades”, “Animaciones”, “Visualización”, “Dinamizar visibilidad” y colocar la variable “Bienvenida” para el mensaje “El sistema ha iniciado” y la variable “Mensaje\_Presion\_estable” para el mensaje “Presión estabilizada”.

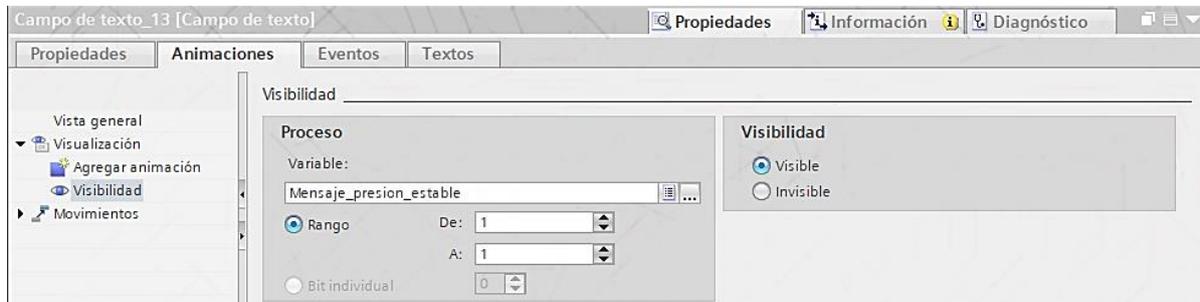
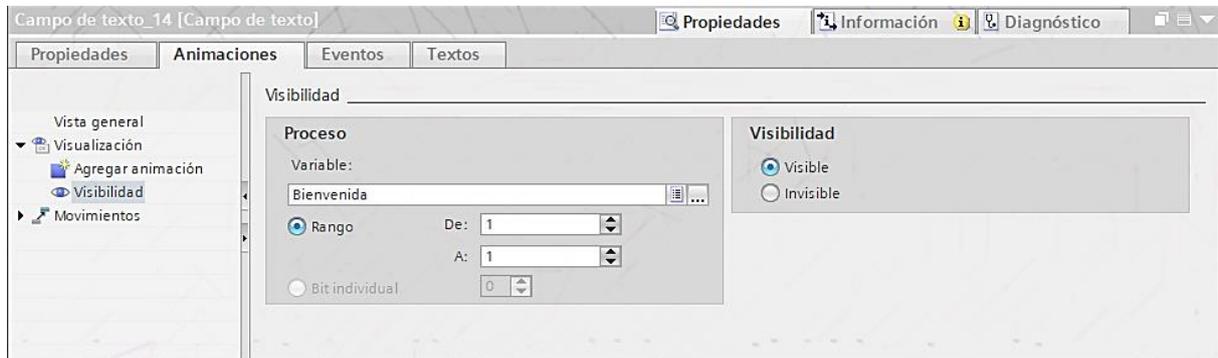


Figura 135. Configuración de animaciones para los mensajes “El sistema ha iniciado” y “Presión esabilizada”.

Una vez terminado esto, se configurará los botones para modo automático y modo manual, los cuales se configuran en “Propiedades”, “Eventos” y luego en la opcion pulsar.

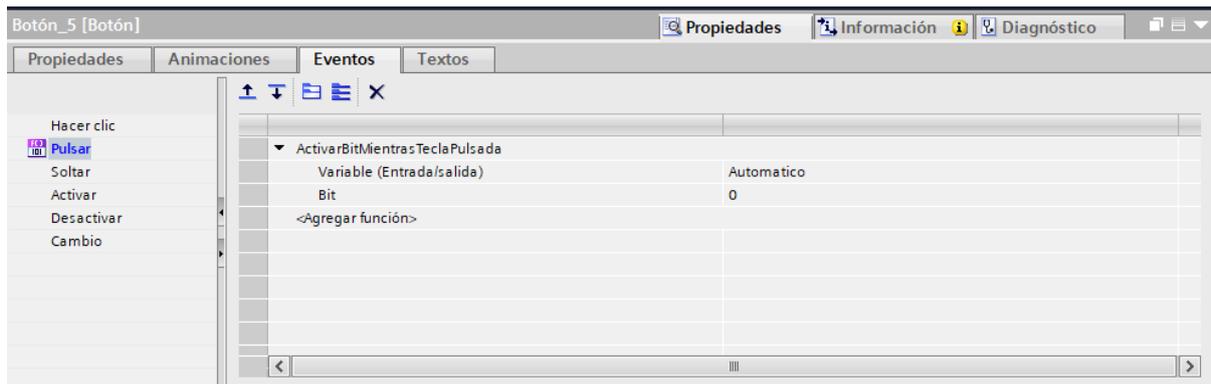
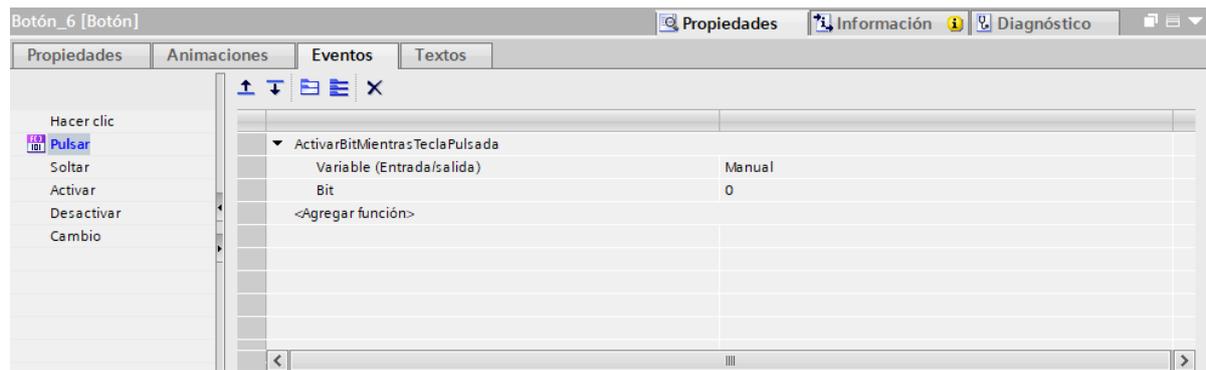


Figura 136. Configuración de botones para modo automático y manual

Finalmente se agrega un campo de E/S para visualizar la presión inicial que tiene el neumático, para ello en las propiedades del mismo se coloca la variable “Sensor\_llanta” y como tipo se elige “Entrada/Salida”.

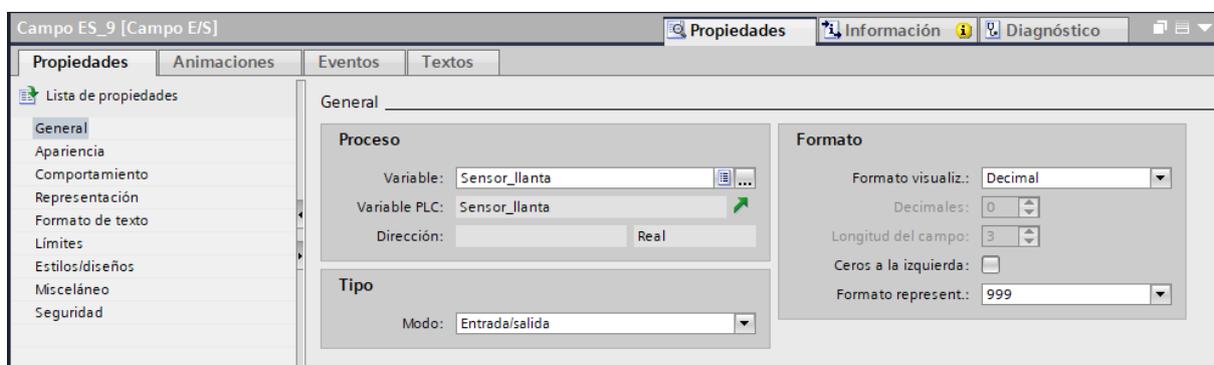


Figura 137. Configuración de Campo E/S para mostrar la presión inicial de las llantas

Luego se carga el programa al PLC Maestro y empieza la simulación.(Figura 44)

### Anexo 4: PRÁCTICA #3

Para la 3era práctica se debe regresar al bloque “Main” del PLC Maestro y agregar un nuevo bloque de función, con el nombre “Práctica\_3”. Una vez dentro del bloque en el primer segmento se configura un circuito de marcha y paro, tal cual se ha hecho en anteriores prácticas.

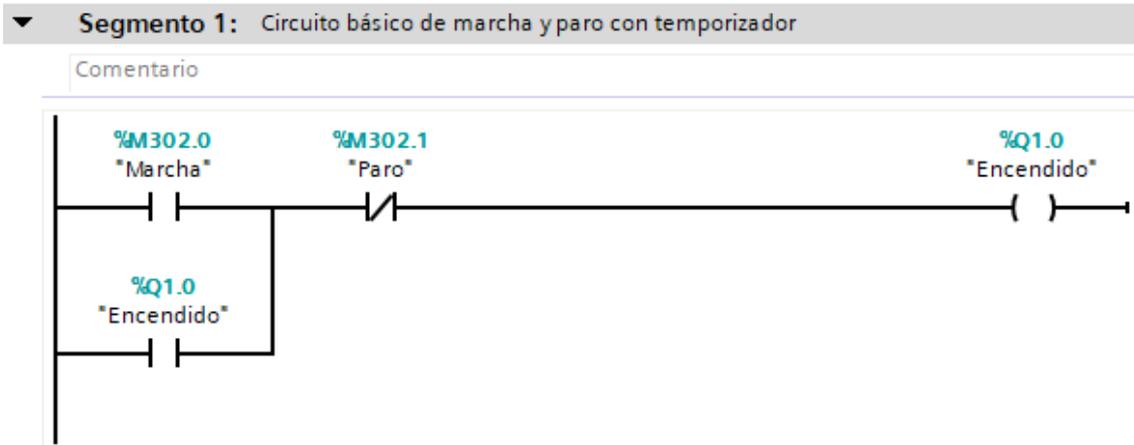


Figura 138. Circuito de marcha y paro para la práctica #3

En el siguiente segmento se programa los bloques de normalizar y escalar, estos bloques ayudan a digitalizar la señal analógica enviada desde el transmisor de presión al PLC Maestro, dentro del bloque normalizar como valor mínimo irá el número 5175 y como valor máximo el número 27648, el dato de entrada será una variable tipo entero de nombre “Entrada\_temperatura” y a la salida del bloque estará una variable de tipo real llamada “Salida\_normalizada”. Para el bloque de escalar, los valores mínimos y máximos son de acuerdo a la temperatura que se va a usar, en la entrada estará la variable de salida del bloque normalizar y como salida del bloque escalar estará una variable tipo real llamada “Temperatura\_medida”.



Figura 139. Normalizar y escalar de la señal analógica enviada por el sensor

Como se detalló en el planteamiento del problema, al ser un PLC que usa relays no es posible usar una salida PWM del controlador PID, es por eso que se debe buscar una alternativa para poder enviar esos datos como valores PWM y así poder controlar la temperatura que se desea tener. Es por eso que en el siguiente segmento se coloca un bloque “IN\_RANGE” para que cuando se encuentre entre los valores 0 y 100, se active este bloque permitiendo a su vez la activación del contacto de asignación “On”.

### Segmento 3: Rango de medición del valor digitalizado

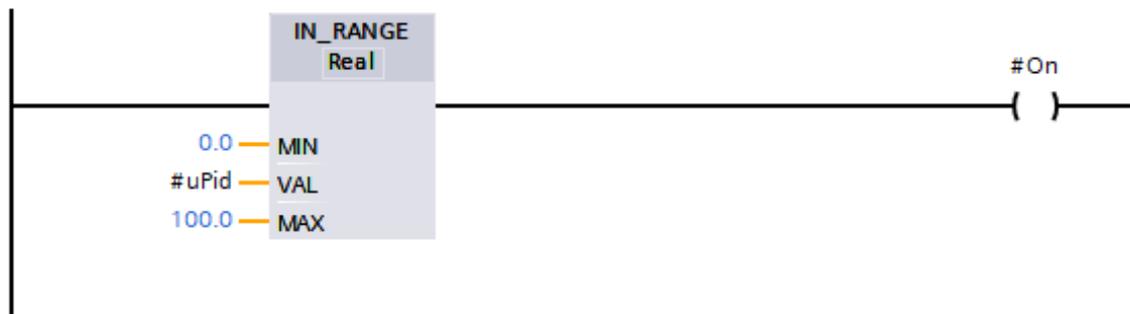


Figura 140. Bloque para el rango de medición del valor digitalizado

Una vez se active la variable “On” hay que volver a normalizar y escalar, esta vez la normalización será de un valor Real a otro Real, en un rango de 0 a 100 y la salida una variable de tipo real que en este caso lleva el nombre “uPid\_norm”, esta variable ingresa como entrada en el bloque escalar, en un rango de 0 a 20 y a su salida estará una variable de tipo entero (Int) llamada “uPid\_ms”.

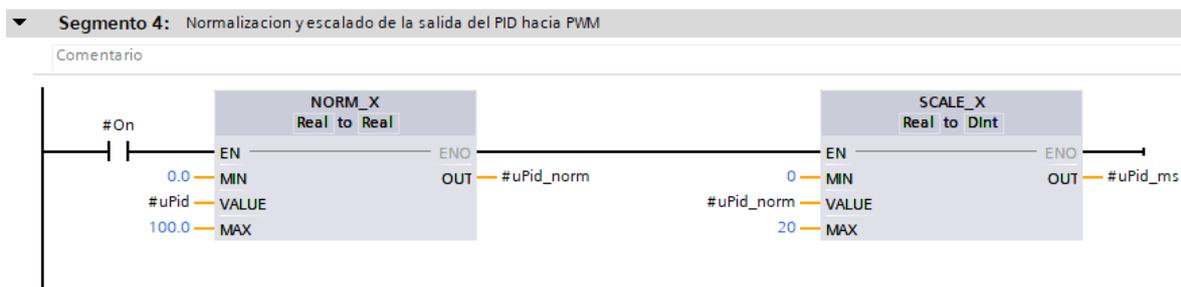


Figura 141. Bloque de normalización y escalado para la conversión del dato de salida del controlador PID a PWM

Por último, en el siguiente segmento se programa la conversión del dato escalado obtenido en el segmento anterior a un dato PWM, el circuito empieza cuando la variable “On” está encendida, para esto se coloca un contacto abierto donde va esta variable, seguido de un contacto cerrado y un temporizador tipo TON, en el contacto cerrado va la salida de este temporizador y en el temporizador donde está el apartado “PT” va la variable “Periodo” con un valor de 20ms y en el apartado “ET” va la variable “Tpwm\_et”.

En la misma rama, entre el contacto abierto “On” y el contacto cerrado “Temp\_Pwm”.Q se coloca dos nuevas ramas, estas ramas tendrán los límites para los valores PWM. Si la variable “Tpwm\_et” es menor a la variable “uPid\_ms” el valor que estará en la variable “Pwm\_1” será igual a 0, si la variable “Tpwm\_et” es mayor o igual a la variable “uPid\_ms” el valor que se envía a la variable “Pwm\_1” será el valor guardado dentro de la variable “Amplitud” (13824).

Después terminar de configurar este bloque de función, hay que dirigirse al bloque de “interrupción ciclica” para programar la simulación de este proceso para la pantalla HMI del Maestro PROFIBUS.

Una vez dentro de este bloque se programa en un segmento nuevo el bloque PID para el control de este sistema, se empieza primero con un contacto abierto para la marcha, seguido de un contacto cerrado para el paro, un bloque “IN\_RANGE” con los límites de temperatura en esta práctica (50 y 90°C) y un enclave para reiniciar el proceso, después de todo esto sigue un bloque P\_Trig para activar el estado automático del controlador y por último se coloca el bloque PID teniendo como entrada la variable “Temperatura\_simulada”, en el setpoint va la variable “Valor\_temp” y como salida del bloque PID va la variable real “Salida\_PID\_temperatura”.

Después se abre otra rama para que al accionar el boton de paro, el estado del PID sea “Inactivo” por lo cual se coloca un contacto abierto para el paro y un bloque move, con entrada “0” y salida “PID\_Temperatura\_State”.

Para finalizar se abre otra rama para colocar 3 bloques “move”, cada bloque “move” es para que se puedan enviar los datos actuales de la ganancia proporcional, el tiempo derivativo e integral hacia el HMI y poder mostrarlos en una pantalla, como entrada van las variables “PID\_Temperatura.sRet.r\_Ctrl\_Gain”, “PID\_Temperatura.sRet.r\_Ctrl\_Td”, “PID\_Temperatura.sRet.r\_Ctrl\_Ti”, una para cada bloque “move” en el apartado “IN” y como salida (OUT) se coloca la variable donde se guardará estos datos para ser mostrados en la pantalla HMI, en este caso estas variables con sus respectivos nombres fueron las siguientes: MD136 (“KP\_temp”) para la variable “PID\_Temperatura.sRet.r\_Ctrl\_Gain”, MD140 (“TD\_temp”) para la variable “PID\_Temperatura.sRet.r\_Ctrl\_Td” y MD144 (“TI\_temp”) para la variable “PID\_Temperatura.sRet.r\_Ctrl\_Ti”.

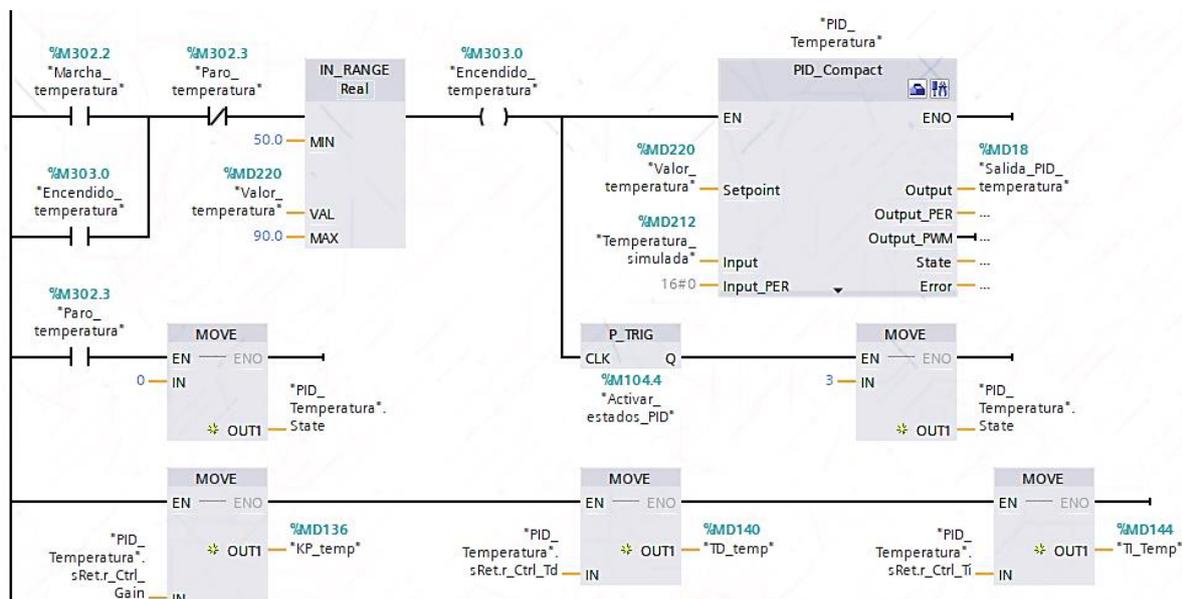


Figura 142. Segmento de funcionamiento del bloque PID\_Temperatura

En el siguiente segmento se crea otro bloque de función, este bloque contiene la función de transferencia usada para este sistema, dicha función fue hallada de la siguiente manera:

$$\frac{T_o(s)}{U(s)} = \frac{1}{5s + 1}$$

To(s): Temperatura

U(s): Voltaje de control

Después discretizamos la función.

$$5s(To(s)) + To(s) = U(s)$$

$$5 \frac{Tok - Tok-1}{Ts} + Tok = Uk$$

$$Tok \left(1 + \frac{5}{Ts}\right) - \frac{5Tok-1}{Ts} = Uk$$

$$Tok = \frac{a * Ts}{Ts + b} * Uk + \frac{b * Ts}{(Ts + b) * Ts} * Tok-1$$

$$Ts = \frac{a * Ts}{Ts + b} * Uk + \frac{b}{Ts + b} * Tok-1$$

Ts=0.02s

a=1 (Ganancia)

b=5 Tiempo constante

Esta función de transferencia es colocada dentro del bloque, colocando como entrada al voltaje y la temperatura anterior del sistema y como salida la temperatura actual del mismo.

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario
Input			
uk	Real		
tok-1	Real		
Output			
tok	Real		
InOut			
<Agregar>			
Temp			
<Agregar>			
Constant			
a	Real	1.0	Ganancia
b	Real	5.0	Tiempo Constante
Ts	Real	0.02	Segundos
Return			
Simulacion_temp	Void		

```

1 //BEGIN
2 #tok := (#a * #Ts / (#Ts + #b)) * #uk + (#b / (#Ts + #b)) * #"tok-1";
3 //END_FUNCTION
4
5 |

```

Figura 143. Código SCL para el bloque que contiene la Funcion de transferencia del sistema.

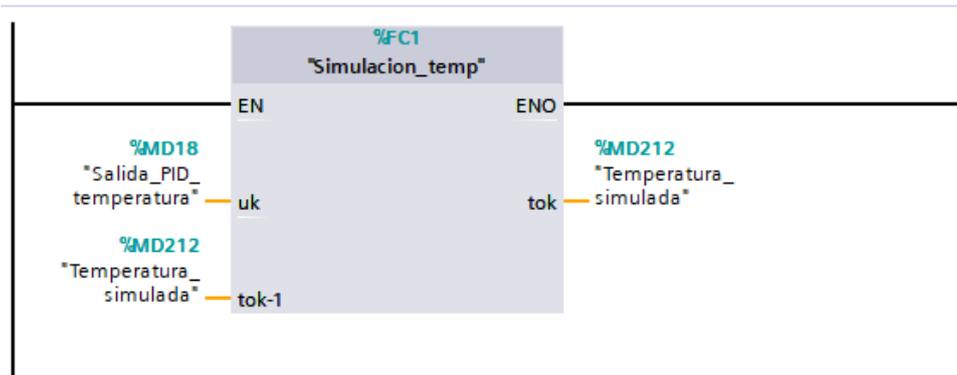


Figura 144. Segmento con el bloque de función que contiene la función de transferencia del sistema.

En el siguiente segmento se colocará la perturbación de este sistema el cual consiste en que, cada vez que se aplaste un boton (“Refrigeración”) la temperatura baje a 25°C durante 5s simulando que el horno se enfria hasta ese punto y luego deba volver a la temperatura seteada, se empieza con un contacto abierto que será activado con el boton, seguido de un temporizador TP con un tiempo de 5s y una variable tipo “Time” a su salida con el nombre “Tiempo”, luego un bloque de resta donde la temperatura simulada se le resta 25 grados y se guarda en una variable real, en este caso esa variable tiene el nombre “X”, esta variable real se usa en otro bloque de resta, restando la temperatura simulada con esta variable y el resultado será la nueva temperatura simulada.

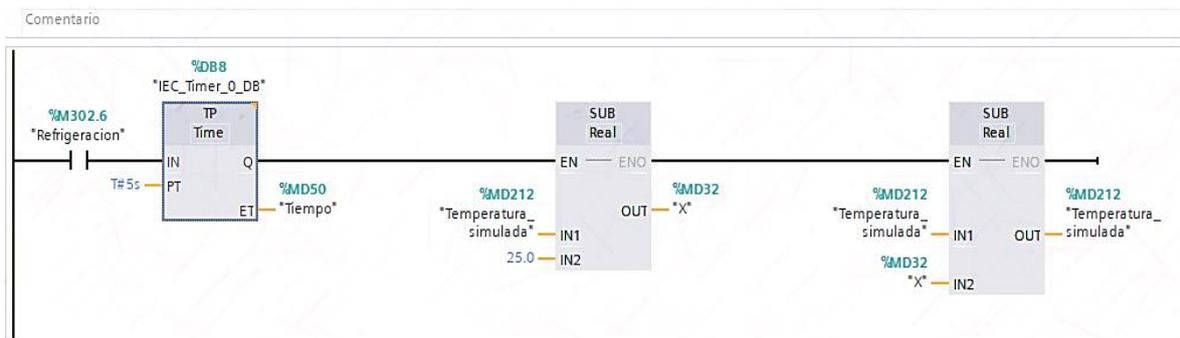


Figura 145. Segmento de la perturbación del sistema.

Una vez terminado este último segmento en el bloque de ciclo interrumpido, hay que dirigirse al bloque “Main” del PLC Maestro y en un nuevo segmento colocar las animaciones adicionales que se mostrarán en la pantalla HMI.

Primero hay que crear un bloque de función para que el mensaje “Temperatura estabilizada” se muestre una vez la temperatura en el sistema alcance el +/- 2% del valor del Setpoint. Dentro de este bloque va la siguiente codificación, quedando de la siguiente manera:

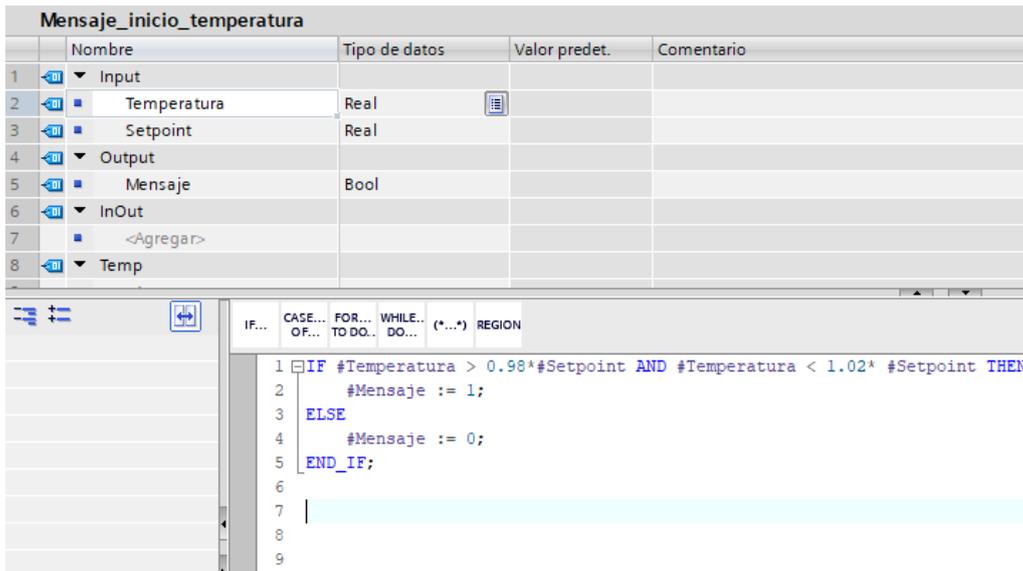


Figura 146. Código SCL para el mensaje “Temperatura estabilizada”

Después de haber hecho esto se arrastra el bloque al bloque main y se agrega una nueva rama, esta nueva rama es para mostrar un mensaje cuando el botón “Refrigeración” se active, se coloca un contacto abierto donde va la variable asociada al botón y luego un contacto de asignación para crear un circuito enclavado, en este contacto de asignación se coloca la variable asociada al mensaje. Una vez terminado esto se agrega una nueva rama para condicionar este mensaje, ya que solo debe aparecer mientras dure el proceso de refrigeración, es decir, solo se activará mientras la temperatura sea igual a 25°C.

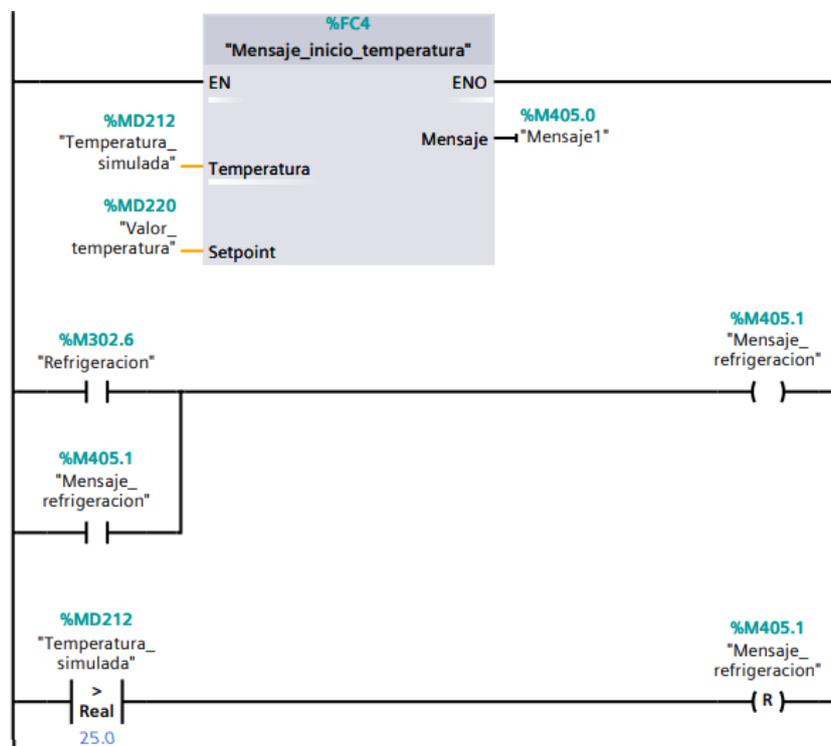


Figura 147. Circuito para mostrar los mensajes de “Refrigeración” y “Temperatura estabilizada”

Una vez terminado esto, en el mismo segmento se programa la activación de un mensaje que se muestre al inicio del proceso diciendo “El sistema ha iniciado” durante 3s, para eso se inserta

una nueva rama, se coloca un contacto abierto para la marcha, que es la misma que inicia el proceso, un contacto cerrado para el paro y un contacto de asignación que ayude con el enclave del circuito, después de esto sigue un temporizador tipo TP y por último otro contacto de asignación, esta vez con la variable donde se guardará el mensaje.

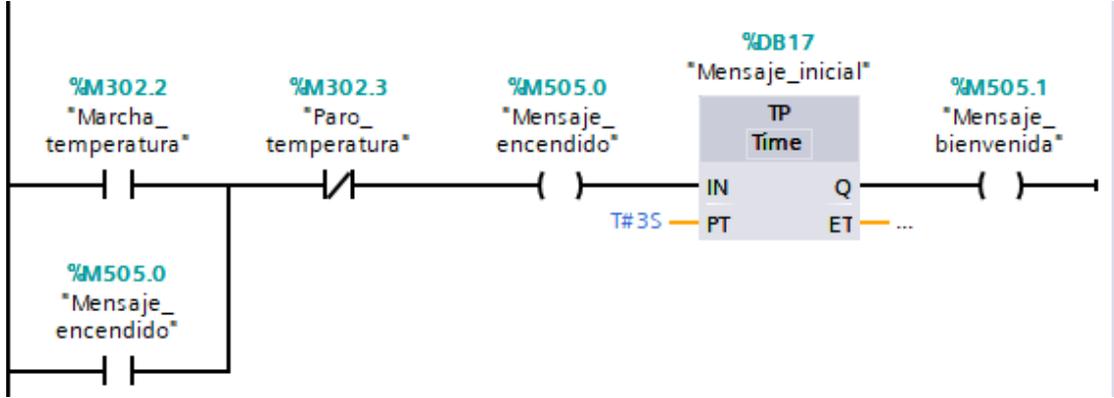


Figura 148. Circuito para mostrar el mensaje “El sistema ha iniciado”

Por último en el mismo segmento se programa el reset de la temperatura una vez se active el botón de paro, para esto se coloca un contacto abierto con la variable “Paro”, seguido de un contacto cerrado con la variable “marcha” y luego un contacto de asignación donde se encuentra la variable que ayudará a resetear los valores de la temperatura llamado “Reinicio temporizador”, esto hará que cada vez que se aplaste el botón de paro, la temperatura es de 0°C, para esto en otra rama se coloca un contacto abierto con la variable “Reinicio temporizador” seguido de un bloque de multiplicación, que hace que el valor de la temperatura se multiplique por cero, reseteando los valores de la temperatura.

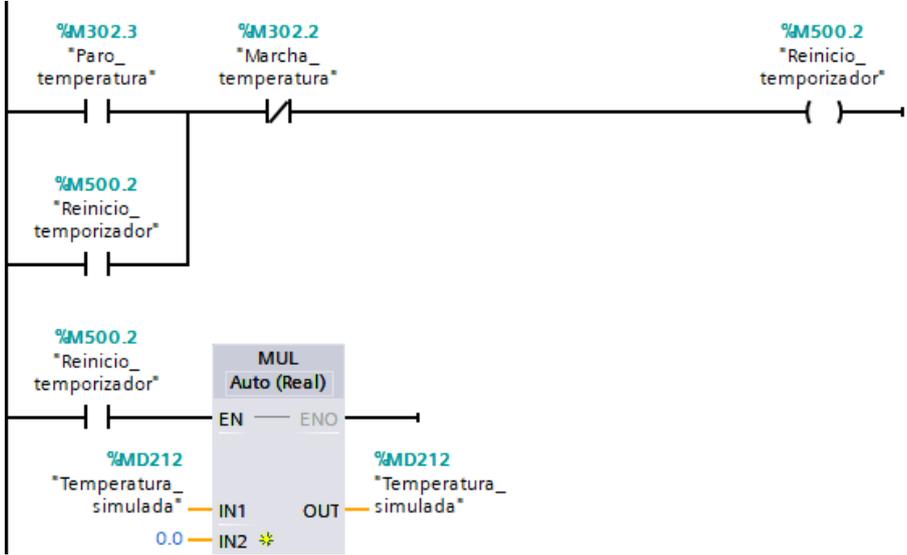


Figura 149. Circuito para el reset de valores en la temperatura

Para finalizar la parte de programación se crea un nuevo segmento para contabilizar el tiempo que se demora en estabilizar el sistema para ello se empieza con un contacto abierto con la variable “Encendido\_temperatura”, seguido de un bloque comparador “diferente de” colocando las variables del setpoint y la temperatura simulada, a continuación sigue un contacto cerrado con la variable “Mensaje1” la cual es la misma que se usó para mostrar el mensaje una vez esté estabilizado el sistema y por ultimo un bloque “TONR” el cual al igual que en la practica pasada

se configura colocando como variable de salida a “Segundos\_temp” y para su reinicio solo se activará cuando la variable “Encendido\_temperatura” esté apagada o por medio de un flanco de señal positiva conectado a un comparador “diferente de” entre el setpoint y la temperatura simulada más la variable “Mensaje1” como se muestra a continuación

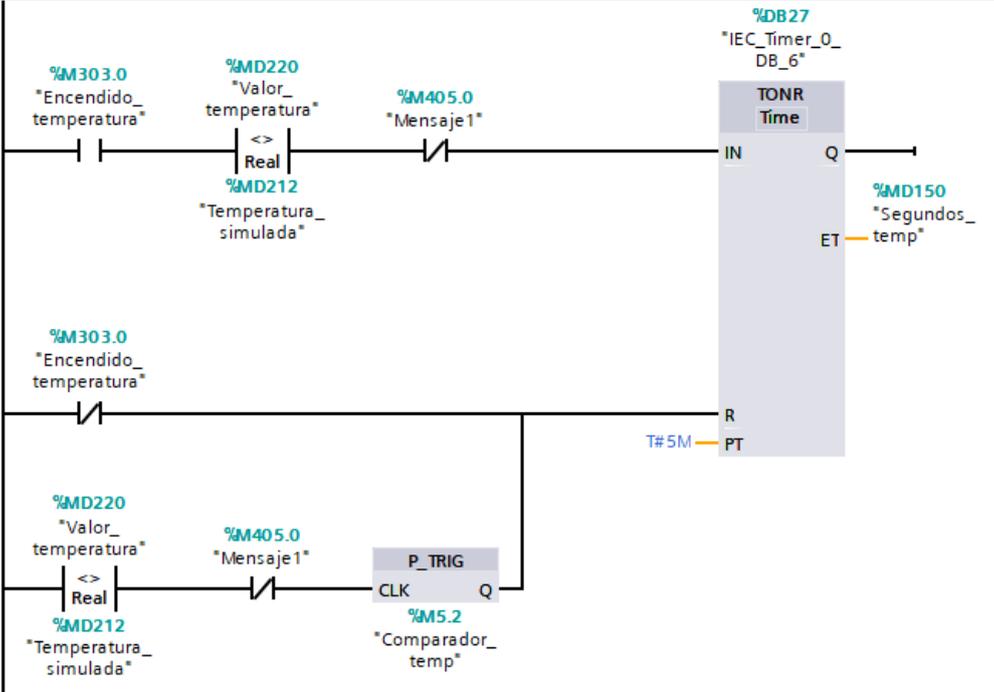


Figura 150. Circuito para mostrar el tiempo de estabilización del proceso

Al ser un proceso térmico su estabilización es más lenta por lo que para visualizar minutos y segundos que demore este proceso se debe hacer el siguiente circuito en otra rama, dentro del mismo segmento.

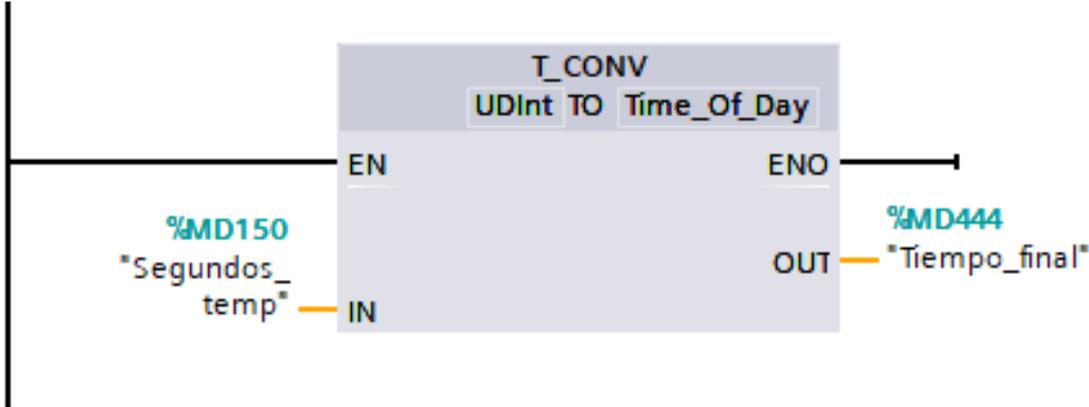


Figura 151. Conversión de datos para mostrar el tiempo en minutos y segundos

A continuación hay que dirigirse a la pantalla HMI del PLC Maestro y agregar una nueva imagen, esta nueva imagen será para simular la práctica.

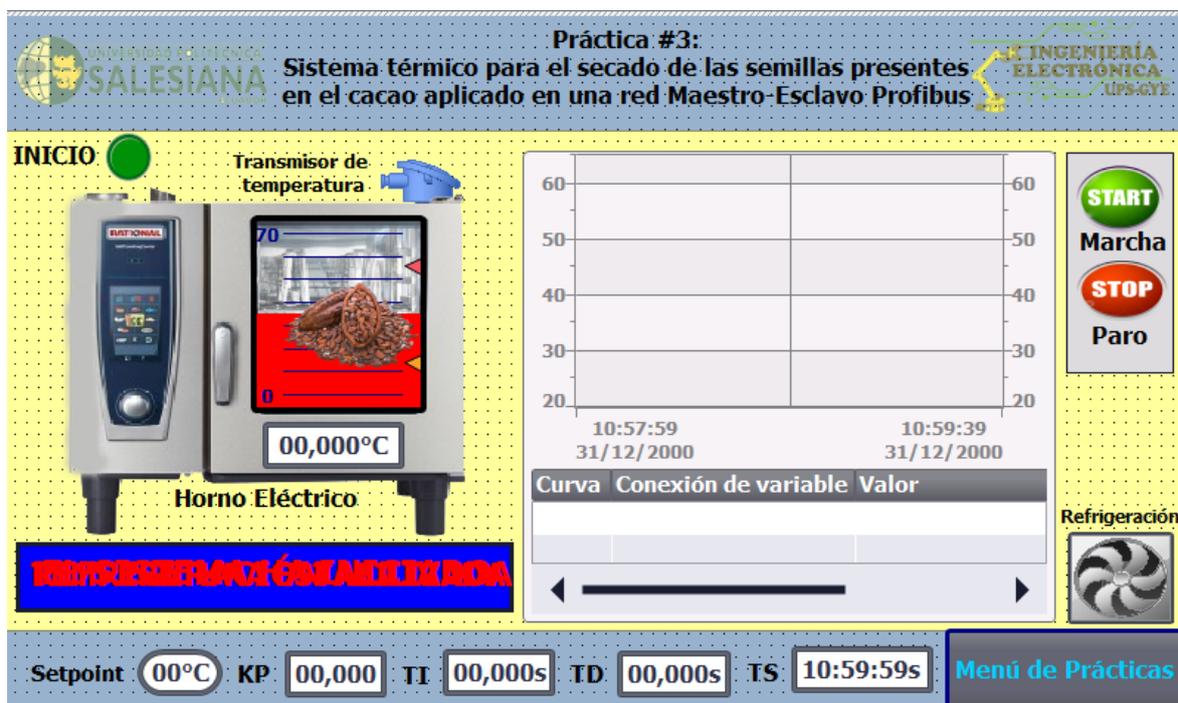


Figura 152. Imagen de la “Práctica\_3”

Para esta pantalla se colocará un gráfico de cualquier horno y dentro de este gráfico estará una barra con un valor mínimo de 0 y un valor máximo de 70, la variable que registrará esta barrá será la variable real “Temperatura\_simulada”.

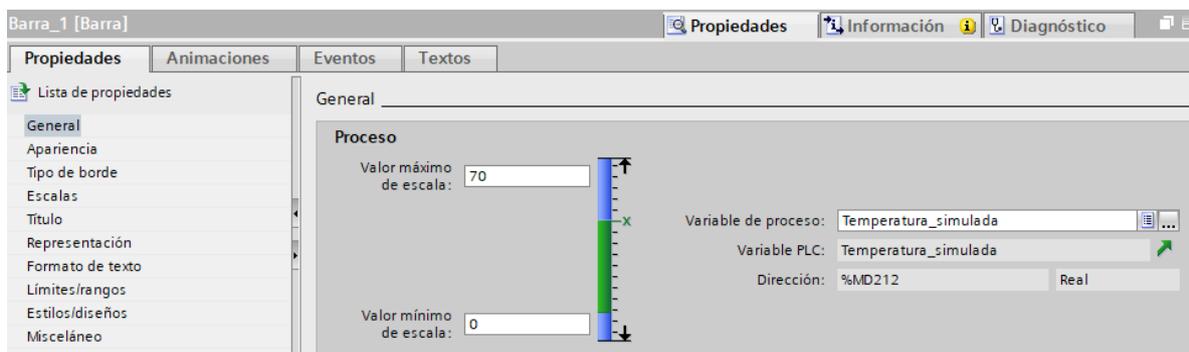


Figura 153. Configuración de la barra dentro del horno.

Y así como en prácticas anteriores este proceso contará con botones de marchos y paro, cada botón se configura yendo a “Propiedades”, pestaña de “Eventos” y en el enunciado “Pulsar” se agrega la función “ActivarBitMientrasTeclaPulsada” colocando la variable correspondiente para cada botón.

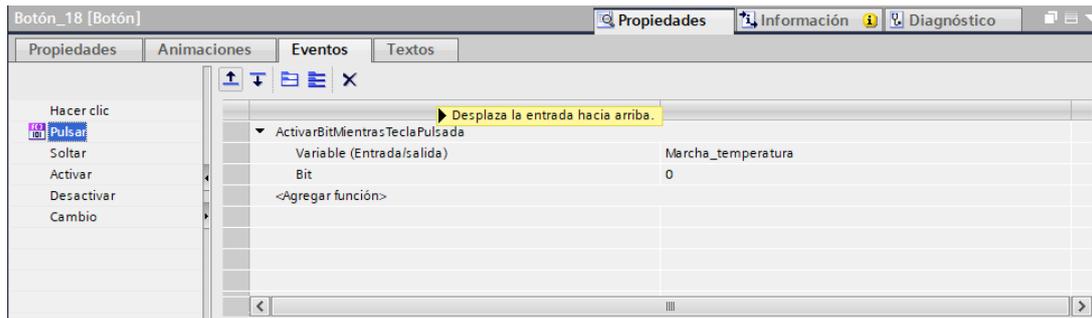


Figura 154. Configuración de eventos para el boton de marcha y paro.

Para ingresar los datos del setpoint al sistema se crea una pantalla de datos (Campo E/S) como entrada, para configurar la pantalla hay que ir a “Propiedades” y en el apartado “General” se coloca la variable para este proceso que es “Valor\_temp” en formato decimal y con representación de dos dígitos.

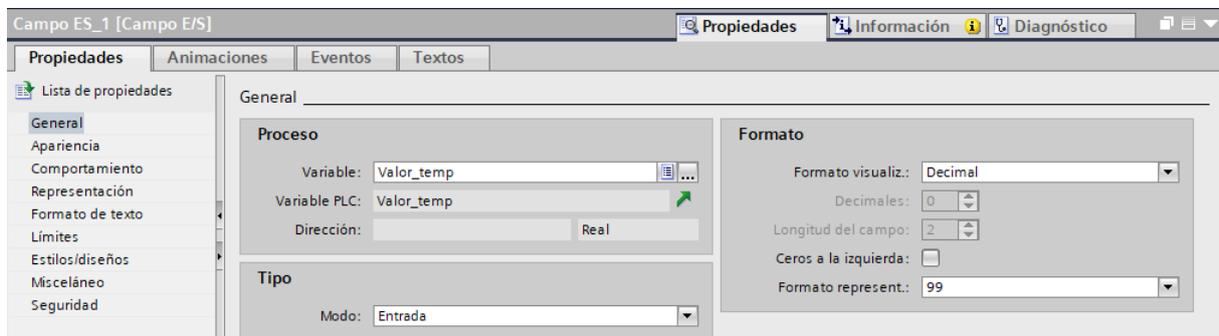


Figura 155. Configuración del campo de E/S para el setpoint del sistema.

Para las demás pantallas (Campo E/S) se repite el mismo procedimiento anterior pero en vez de entrada se la configura como salida y se le asigna la variable correspondiente. Para la ganancia proporcional la variable a usar es “KP\_temp”, para el tiempo derivativo e integral se usan las variables “TD\_temp” y “TI\_temp”.

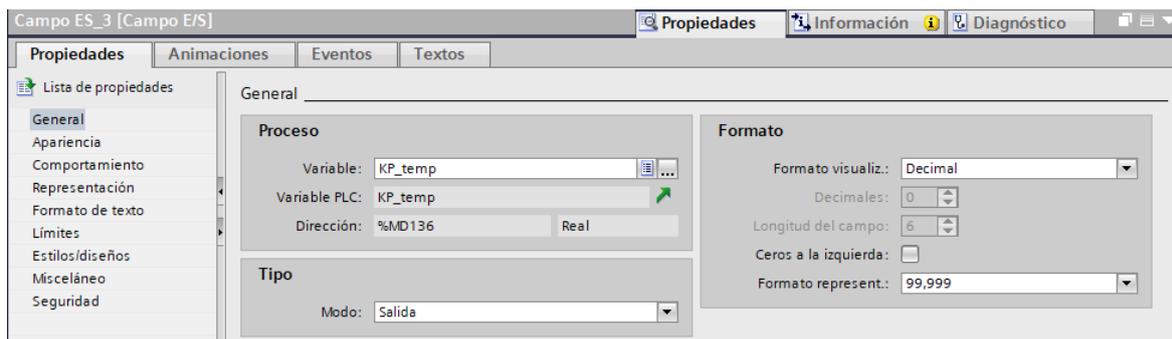


Figura 156. Configuración del campo de E/S para mostrar los valores de ganancia proporcional, tiempo derivativo e integral

El botón de refrigeración asociado a la perturbación del sistema se configura en “Propiedades”, “Eventos” y en el apartado “Pulsar” se agrega la función “ActivarBitMientrasTeclaPulsada” la variable a usar para esta función es la variable “Refrigeración”.

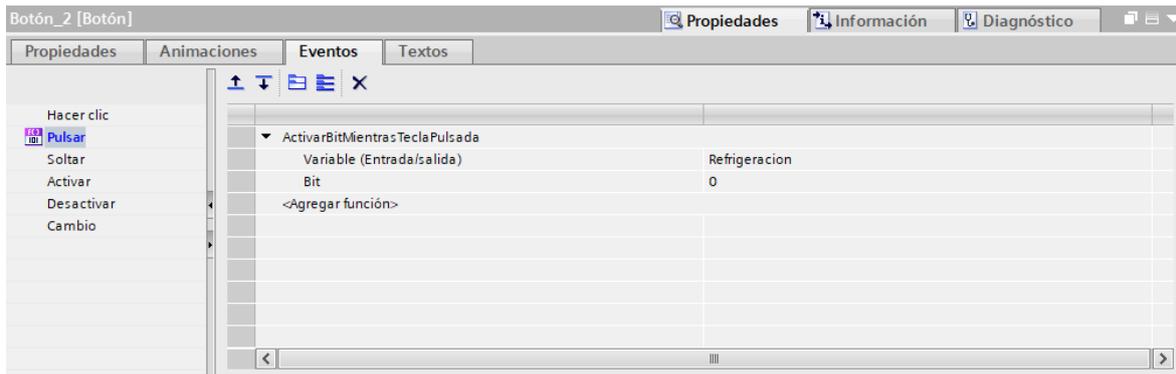


Figura 157. Configuración de eventos para el botón “Refrigeración” (Perturbación del sistema)

Y por último se configuran los mensajes de la misma manera que en la práctica anterior, primero se coloca un pequeño rectangulo y dentro del rectángulo es donde van a ir los mensajes, se inserta un campo de texto y se digitan los mensajes que se van a colocar, luego para configurarlos hay que ir a sus “Propiedades”, “Animaciones”, “Visualización”, “Dinamizar visibilidad” y colocar la variable “Mensaje\_Bienvenida” para el mensaje “El sistema ha iniciado” y la variable “Mensaje\_refrigeración” para el mensaje “Refrigeración activada” y la variable “Mensaje1” para el mensaje “Temperatura estabilizada”.

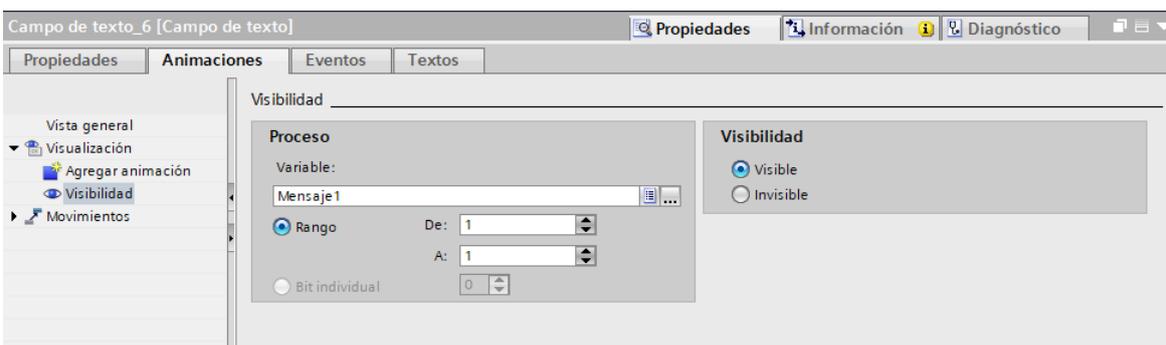
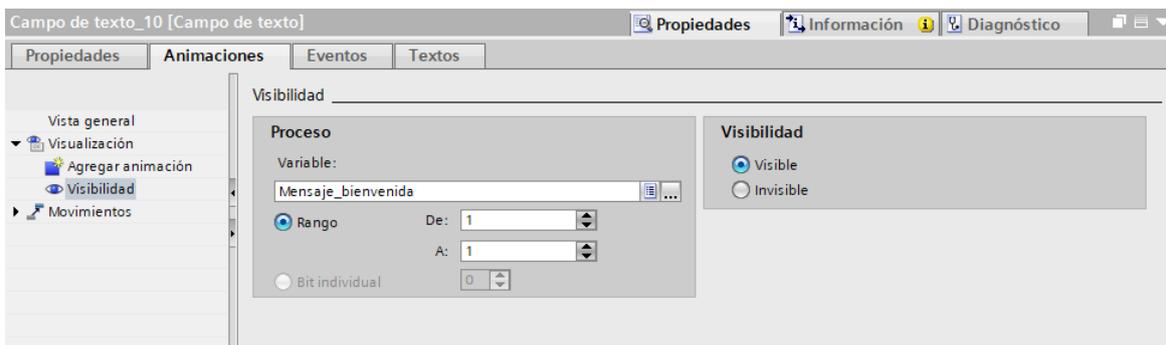
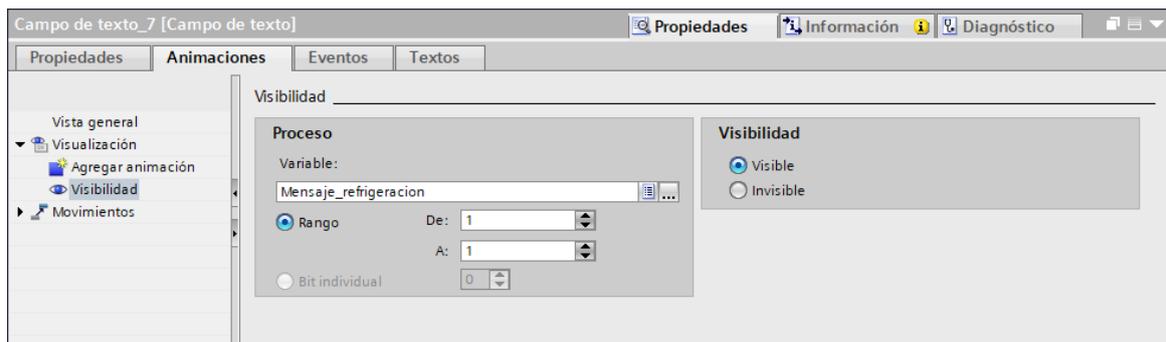


Figura 158. Configuración de mensajes para la práctica #3.

Para mostrar el tiempo de estabilización, hay que ir a las variables estándar del maestro y arrastrar la variable “Tiempo\_final” hacia la imagen del HMI de la práctica de temperatura y automáticamente se generará un campo de E/S para el tiempo, quedando como en la figura inicial del programa.

Por último se carga el programa en el PLC Maestro y se empieza la simulación del HMI.

## Anexo 5: PRÁCTICA #4

Para la penúltima práctica se deben agregar 2 nuevos dispositivos, estos dispositivos son PLC s7 1200 1214C AC/DC/RLY 6ES7 214-1BG40-0XB0, cada uno debe contar con módulos CM 1243-5 Master PROFIBUS DP, luego se conectan entre ellos formando una nueva red PROFIBUS DP y se le adhieren una pantalla HMI para cada PLC, las cuales se usarán para simular el proceso de fabricación y embotellamiento de salsa de tomate.

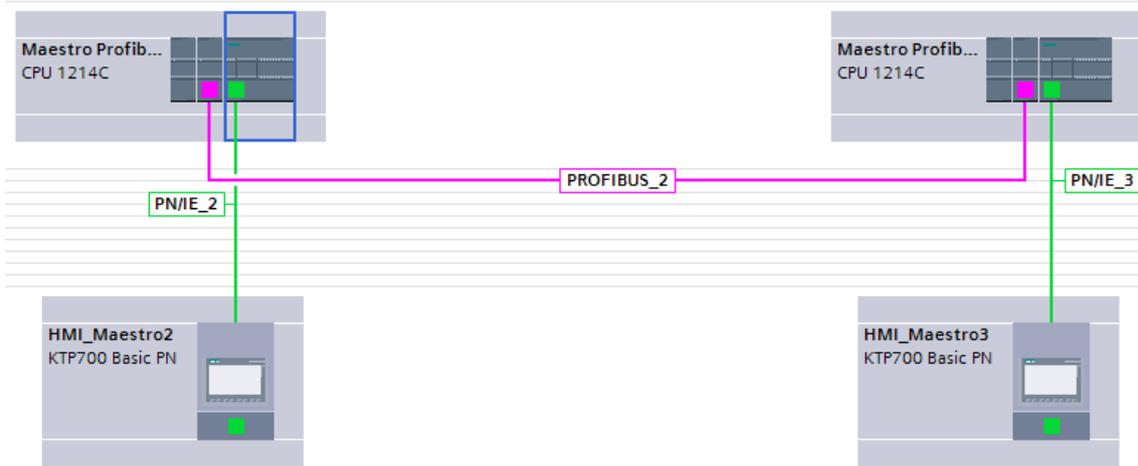


Figura 159. Red de conexión PROFIBUS entre Maestros PROFIBUS con sus respectivos HMI.

Las direcciones PROFIBUS para el PLC Maestro PROFIBUS 2, será el número 2 y para el PLC Maestro PROFIBUS 3, será el número 3.

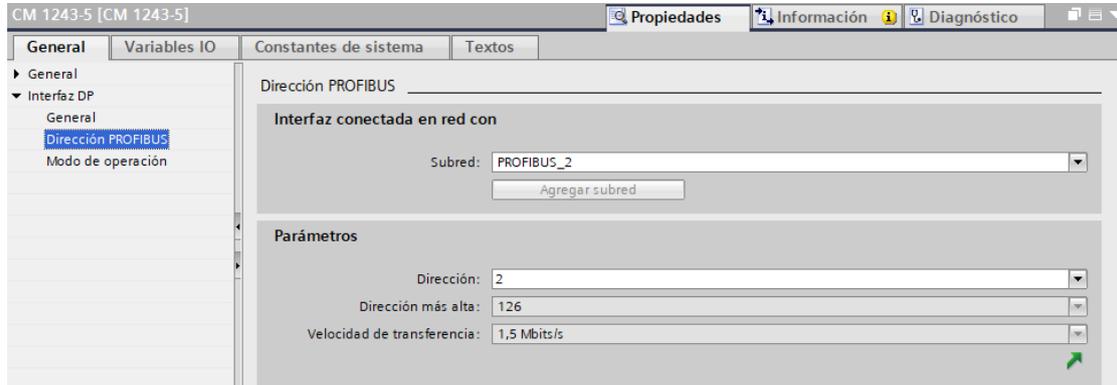


Figura 160. Dirección PROFIBUS PLC Maestro 2

Una vez hecho esto se empieza a activar las marcas de ciclo de cada PLC, empezando con el PLC Maestro PROFIBUS 2.

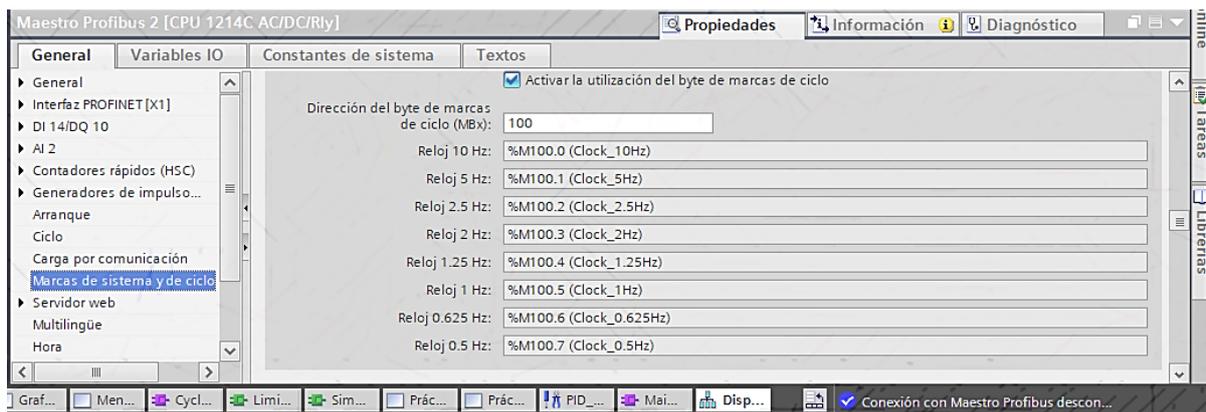


Figura 161. Activación de marcas de ciclo del Maestro 2.

Luego de activar la marca de ciclo en este PLC, hay que dirigirse a los bloques de programa y después al bloque “Main”, una vez dentro de este bloque se crea un bloque PUT donde se coloca como entradas el reloj de 10Hz (M100.0), ID: W#16#100 y para las direcciones hay que dirigirse a la pantalla de configuraciones. Una dentro de esta pantalla en parámetros de conexión se escoge como interlocutor al otro PLC Maestro, el Maestro PROFIBUS 3, después en parámetros de bloque en el área de transmisión y escritura, se usa la variable M50.0, con una longitud de 1 y de tipo byte.

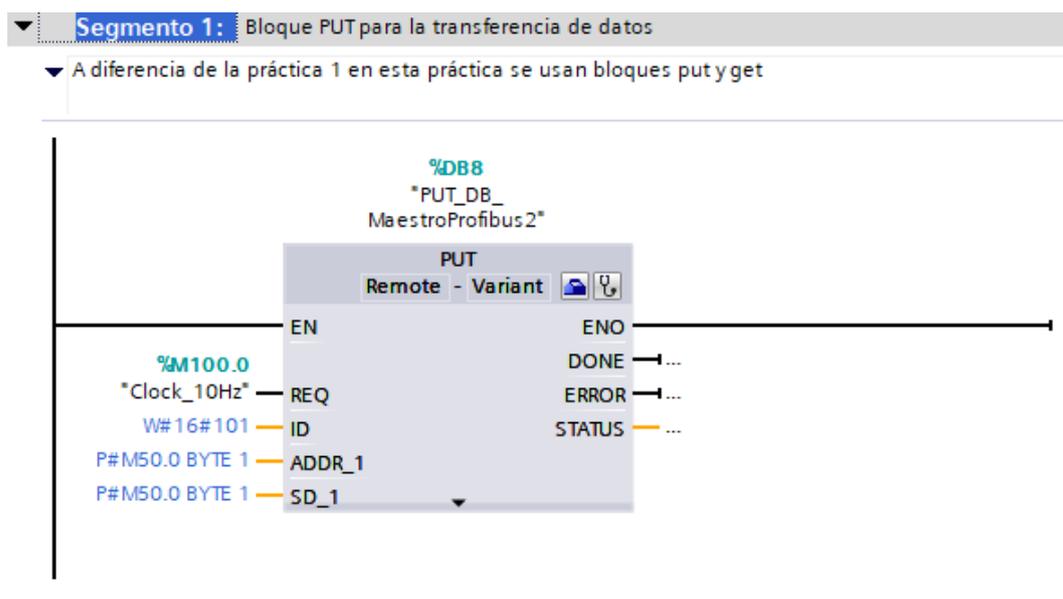


Figura 162. Bloque PUT para la transferencia de datos.

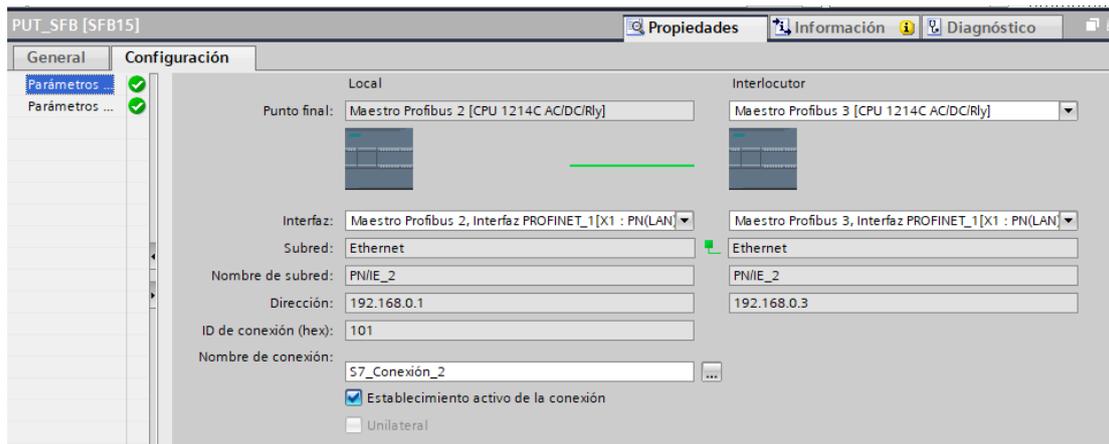


Figura 163. Parámetros de conexión del Maestro 2.

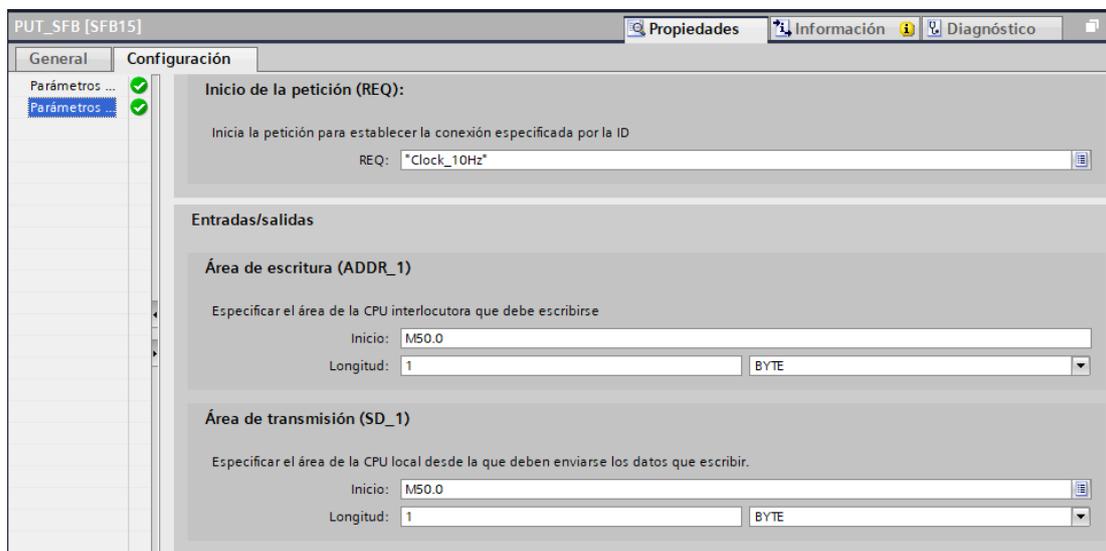


Figura 164. Parámetros del bloque del Maestro 2.

En el siguiente segmento se coloca un bloque GET, para este bloque se usa como entradas el reloj de 10Hz (M100.0), la misma ID y configuración que se realizó en el bloque PUT del segmento 1.

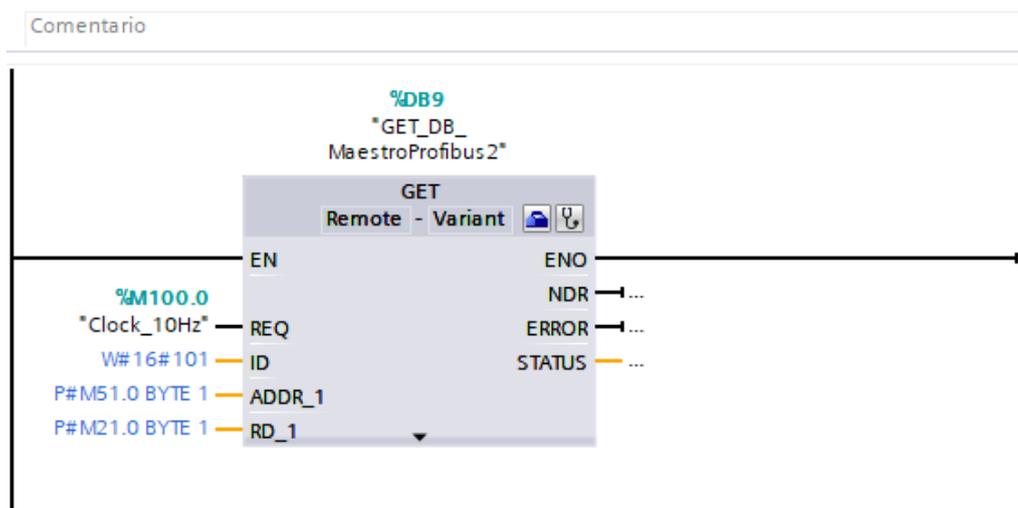


Figura 165. Bloque GET para la recepción de datos.

Una vez terminado esto, los siguientes segmentos son para el funcionamiento de la primera parte del proceso para la preparación y embotellamiento de la salsa de tomate. El primer segmento luego de los bloques PUT&GET es para la comunicación entre los autómatas, para que cuando los tanques de agua y tomate licuado estén llenos se envíe un byte del Maestro 1 al Maestro 2 y también para cuando el tanque del Maestro 2 esté lleno no pueda iniciarse para nada los tanques del Maestro 1.

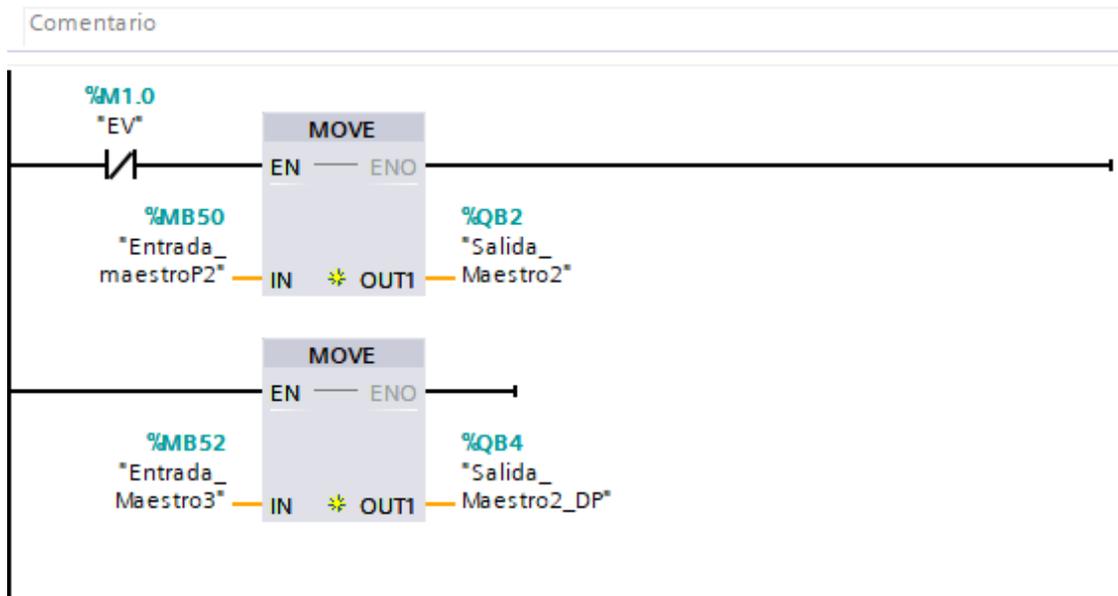


Figura 166. Circuito para el envío de datos entre el Maestro 1 y el Maestro 2

El siguiente segmento se programa el circuito de marcha y paro para el llenado del tanque, el cual funciona de la siguiente manera: Al encender la marcha, se activa la variable “Motor\_arranque”, iniciando el proceso de llenado del tanque a razón de 100ml por segundo, cuando el nivel de los tanques llega a ser mayor o igual a 1000ml se activa el proceso de vaciado automáticamente, se resetea la variable “Motor\_arranque” y se activa el paro para el llenado, permitiendo detener el proceso en cualquier punto, mientras que cada que se aplaste la marcha, resetea los valores de los paros del llenado y de emergencia y por último se coloca un comparador para que cuando el Maestro 2 envíe un byte igual a 7 no pueda iniciarse el proceso de llenado de los tanques nuevamente si se activa la marcha. Cabe recalcar que según las indicaciones de la práctica hay que elaborar un proceso de limpieza para los tanques es por eso que existen botones normalmente cerrados de ese proceso en este segmento para que al pulsar el botón de limpieza este no interfiera para nada, quedando de la siguiente forma:

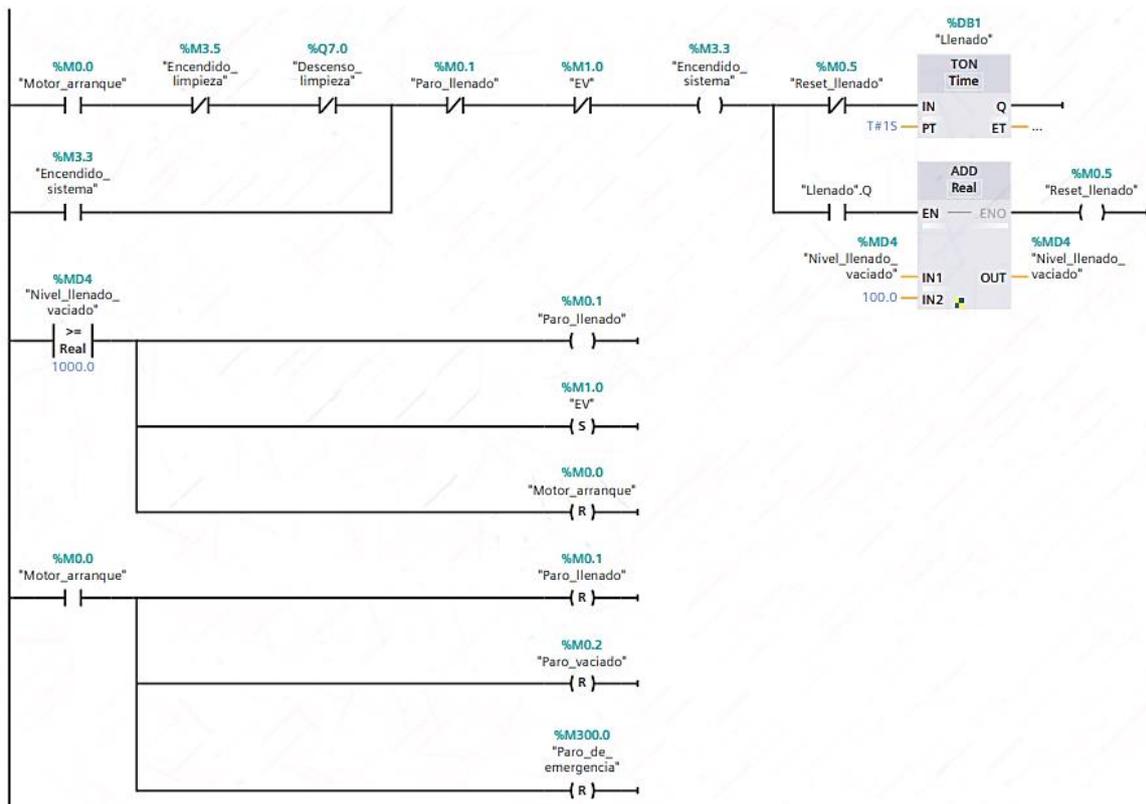


Figura 167. Segmento con la programación para la marcha, paro y llenado de los tanques de Agua y Tomate licuado.

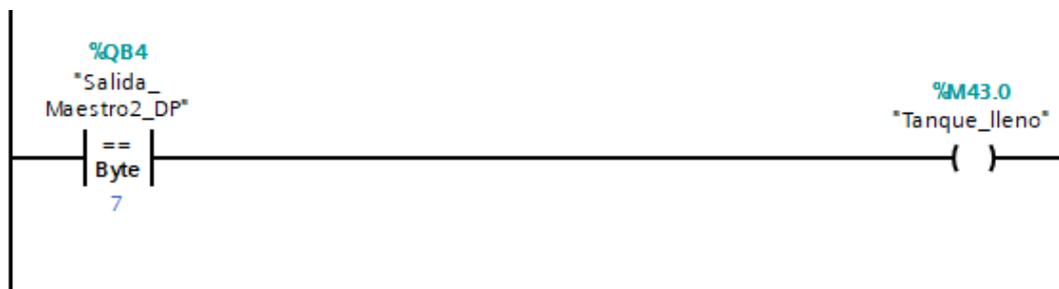


Figura 168. Condición para que el maestro 1 no inicie el proceso de marcha una vez esté lleno el tanque del Maestro 2

En el siguiente segmento se programa la descarga del contenido que se encuentra en cada tanque, como se dijo en el párrafo anterior, cuando el nivel llega a ser igual o mayor a 1000 ml se activa la variable que representa la electroválvula abierta que permite descender el nivel del tanque a razón de 100ml por segundo y cuando el nivel sea igual a 0 ml, se resetea la variable de la electroválvula (“EV”) y se activa el paro de la electroválvula. Por último, se debe crear una rama para el botón de “Paro\_de\_emergencia”, cuando este botón se aplaste, el valor del nivel es igual a 0, no importa en qué proceso se encuentre, además de resetear todas las variables. Además, cuando la variable “EV” esté activa se debe enviar un byte igual a 2 hacia el maestro 2 para que así se inicie el proceso en el otro autómatas y mientras no esté activa se envíe un byte igual a 0.

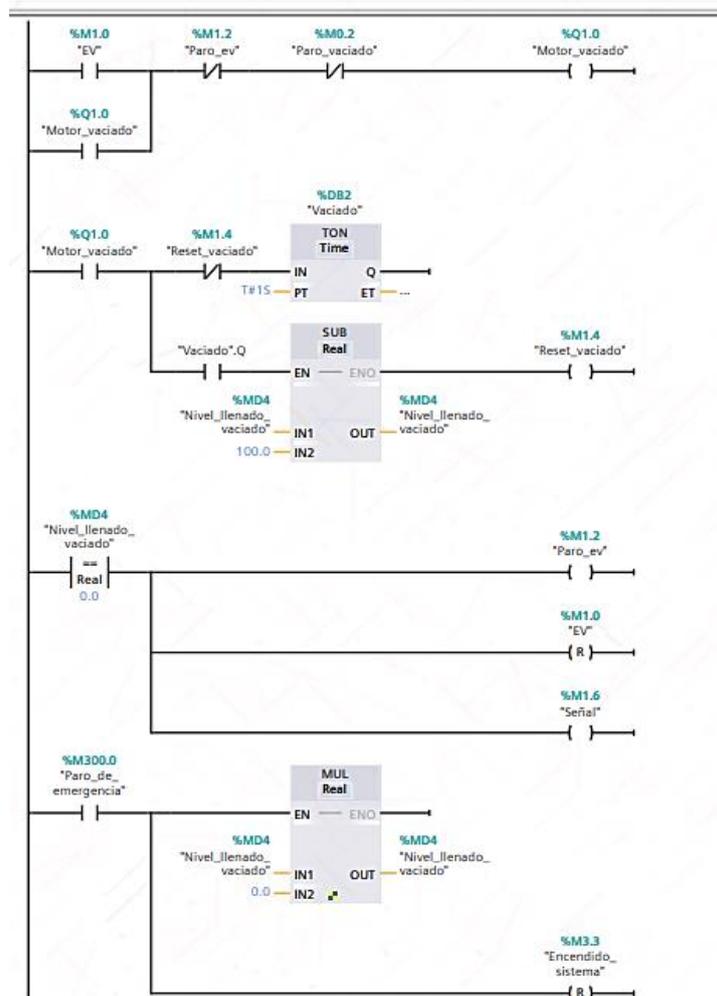


Figura 169. Segmento con la programación para el vaciado de los tanques de Agua y Tomate licuado, además del paro de emergencia

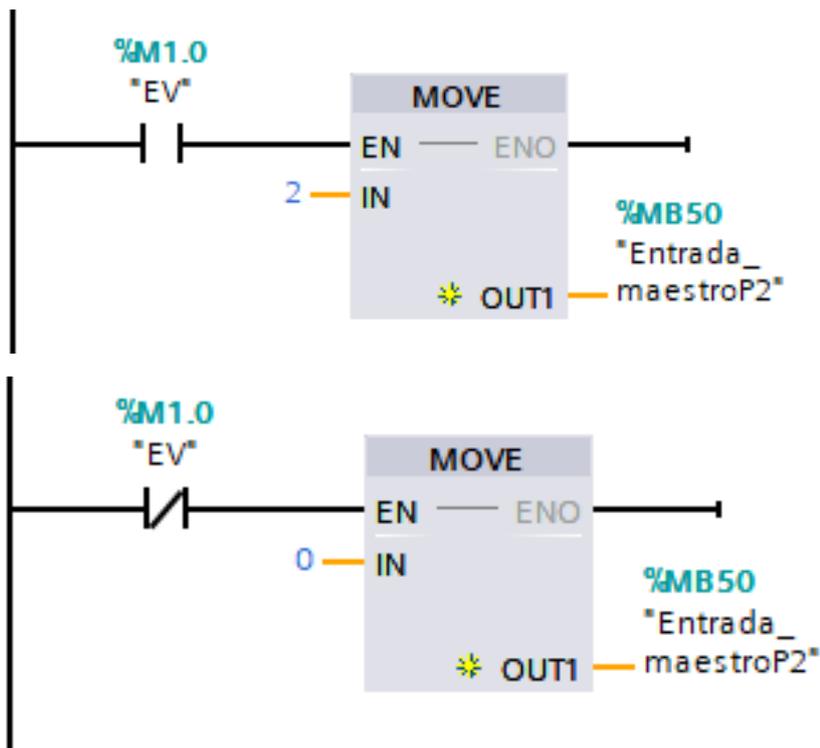


Figura 170. Envío de datos del Maestro 1 al Maestro 2 mediante la activación o desactivación de la variable “EV”

En el siguiente segmento existen 2 indicadores para señalar el nivel del tanque, uno para el nivel mínimo (250ml o menos) y otro para nivel máximo (750ml o más). Mediante comparadores se programa que cuando el nivel sea menor o igual a 250 se encienda el contacto de asignación con la variable “Nivel bajo” y cuando sea mayor o igual a 750 se encienda el contacto de asignación con la variable “Nivel alto”.

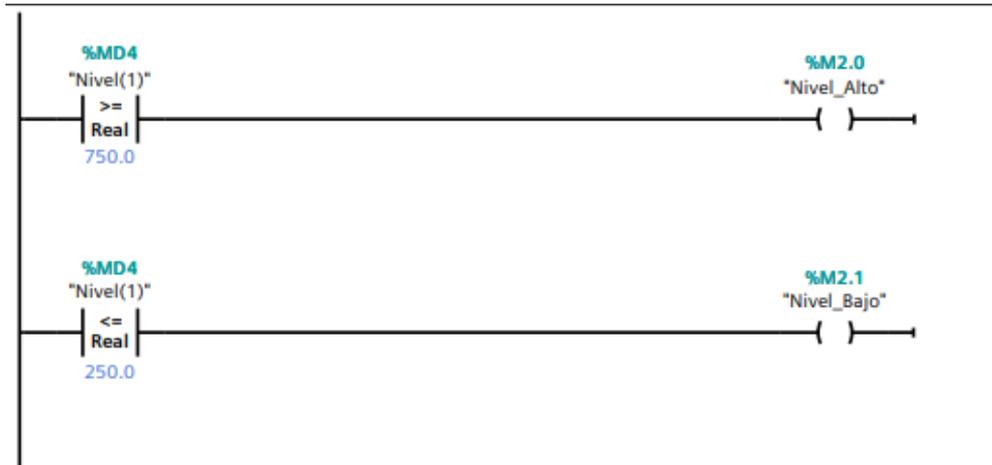


Figura 171. Segmento para la activación de indicadores de nivel alto y bajo.

Por último, para la limpieza del tanque de salsa de tomate se agrega un nuevo bloque de función, en este bloque se programa el circuito para el funcionamiento del botón “Limpieza” y se coloca en el segmento siguiente, después del segmento de las alertas de nivel bajo y nivel alto.

Una vez dentro del bloque hay que empezar colocando un contacto abierto para la activación del botón, para este contacto se le asigna la variable “Inicio\_limpieza”, seguido de este contacto se colocan dos contactos cerrados que se les asignan las variables “Encendido\_sistema” y “Motor\_vaciado”, estos contactos son los contactos de iniciación para el llenado y vaciado del tanque cuando se envía materia prima, entonces se colocan como contactos cerrados para que mientras se active la limpieza no interfiera para nada en este proceso activar el botón de marcha. Luego de estos contactos sigue el contacto cerrado para el paro de este proceso, otro cerrado para la válvula que ayuda a botar toda el agua caliente cuando llene el tanque y por ultimo un contacto de asignación para hacer un circuito enclavado y así empezar a llenar el tanque de salsa de tomate a razón de 100ml por segundo. Cuando el nivel llega a los 1000ml se activa el paro del proceso, se activa la válvula y se resetea el valor de “Inicio\_limpieza”. En otra rama se coloca un contacto abierto con la variable “Inicio\_limpieza” para que cada vez que sea activada se reseteen los valores del botón de paro, paro de emergencia y paro cuando el tanque se está vaciando.

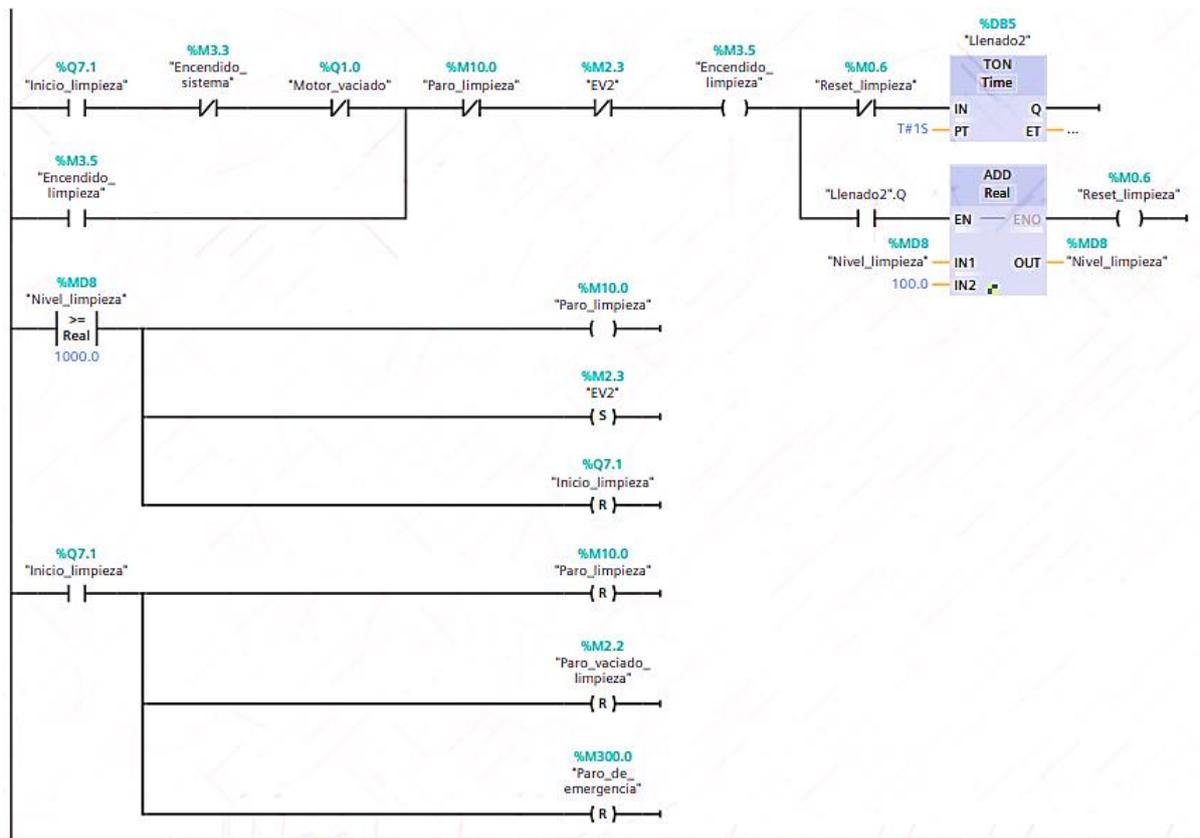


Figura 172. Circuito para el inicio de la limpieza en el tanque de salsa de tomate

En el siguiente segmento va el proceso de vaciado del tanque, eliminando los residuos de tomate y dejando limpio el mismo. Primero se coloca un contacto abierto para la válvula la cual se activa cuando el nivel llegue a 1000ml, seguido de un contacto cerrado para el paro de la válvula una vez el nivel llegue a 0ml, y otro un contacto cerrado para parar totalmente el sistema y por último un contacto de asignación para el enclave. Una vez se activa la válvula empieza a descender el agua a razón de 100ml por segundo hasta quedarse totalmente vacío., cuando el nivel sea igual a 0 se activa el paro del sistema y se resetea el valor de la válvula.

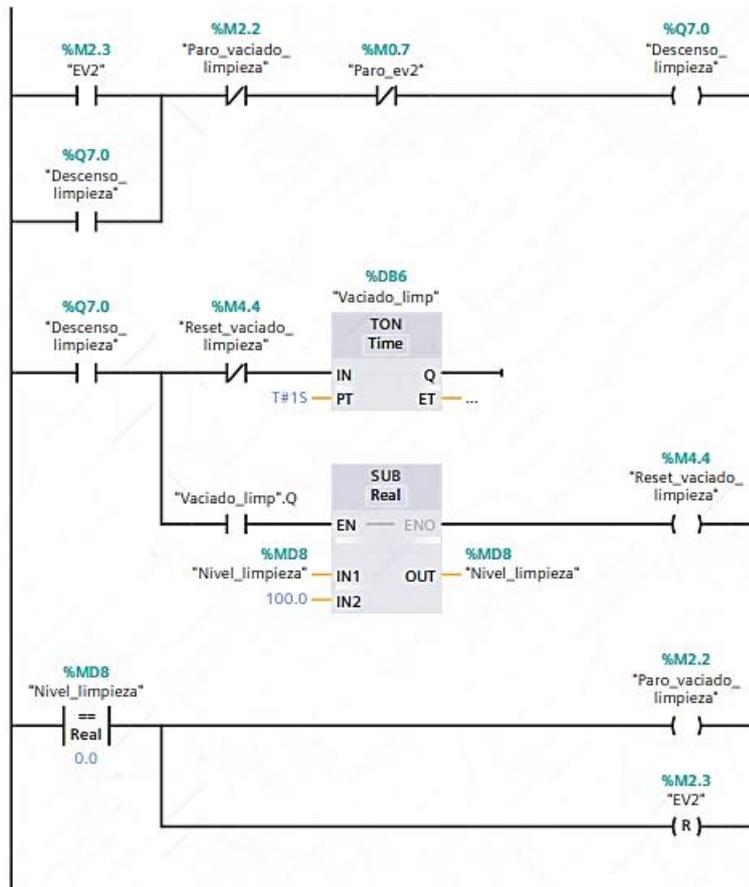


Figura 173. Circuito para el vaciado de la limpieza en el tanque de salsa de tomate

Por último, en el siguiente segmento se debe un contacto abierto para el botón de paro de emergencia, que, cuando se activa resetea el valor del nivel y del sistema.

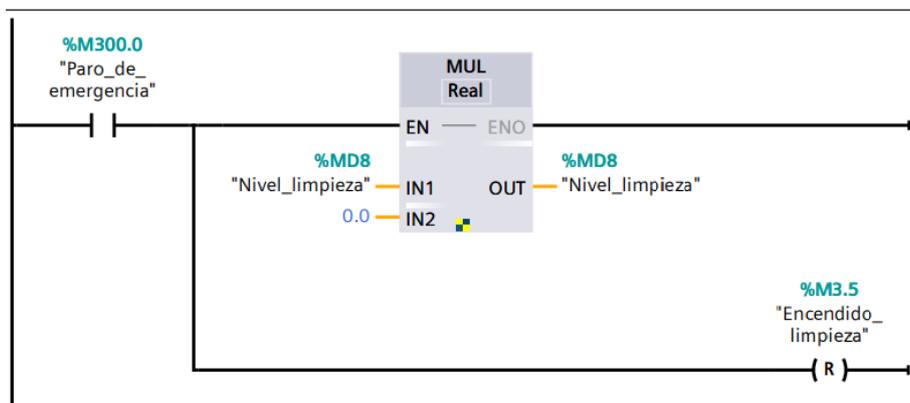


Figura 174. Circuito para el paro de emergencia

Cuando se haya terminado de programar en el bloque Main del PLC Maestro, hay que dirigirse a la pantalla HMI conectada a este PLC y agregar una nueva imagen, esta imagen servirá para diseñar la planta que se ha descrito anteriormente.

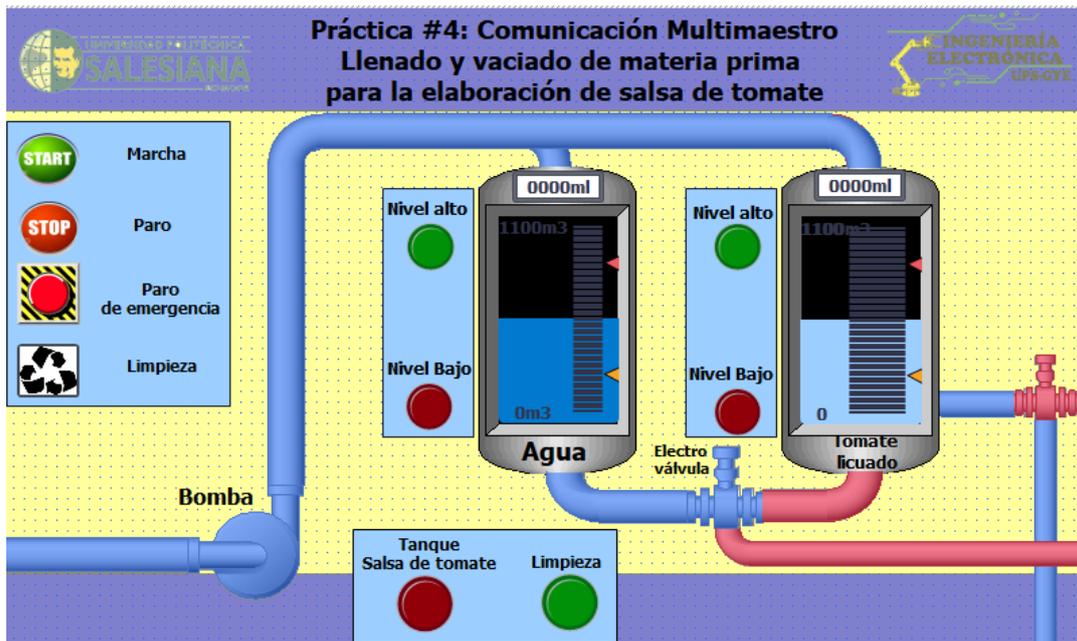


Figura 175. Imagen de la planta con el proceso creado para el Maestro PROFIBUS 2.

Esta pantalla consta de 4 botones para el proceso de llenado y vaciado del producto, cada botón se configura en la ventana de “Propiedades”, pestaña “Eventos” y luego en el apartado “Pulsar” se van colocando las siguientes funciones:

- Para los botones de marcha, paro y limpieza se coloca la función “ActivarBitMientrasTeclaPulsada” usando como variable la correspondiente al botón, es decir la variable “Motor arranque” para la marcha, la variable “Paro llenado” para el paro y la variable “limpieza” para el botón del mismo nombre.

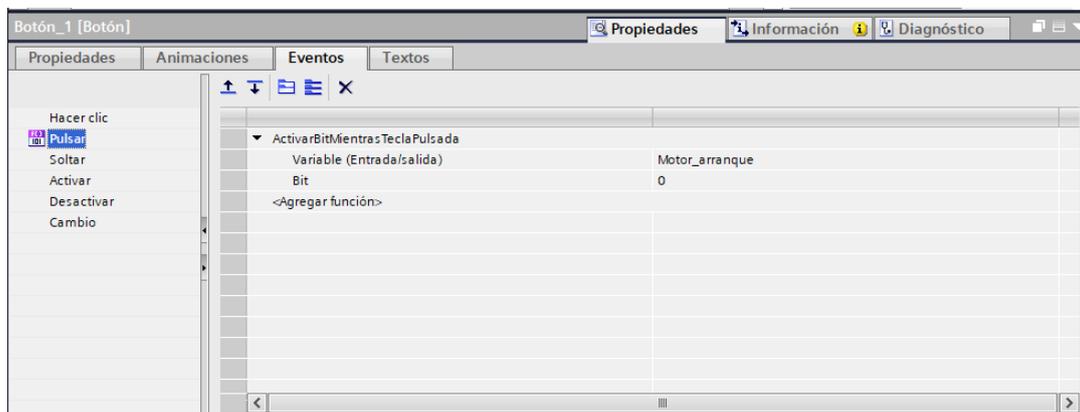


Figura 176. Configuración de eventos para los botones Marcha, Paro e Inversión de giro.

- Para el botón “Paro de emergencia” se coloca la función “ActivarBit” usando como variable para el botón “Paro de emergencia”

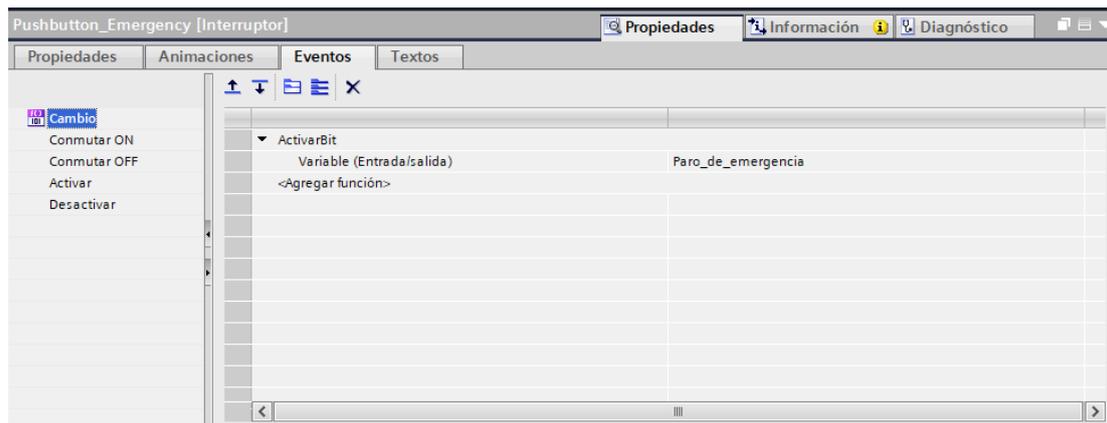


Figura 177. Configuración de eventos para el botón de paro de emergencia

Para indicar los niveles alto y bajo del tanque se usan las luces piloto ubicadas en la librería del software, para configurarlas hay que ir a la ventana de “Propiedades”, luego en el apartado “General” en el enunciado “Proceso” se escoge como variable, la variable “Nivel\_alto” para el Nivel alto y “Nivel\_bajo” para el Nivel bajo.

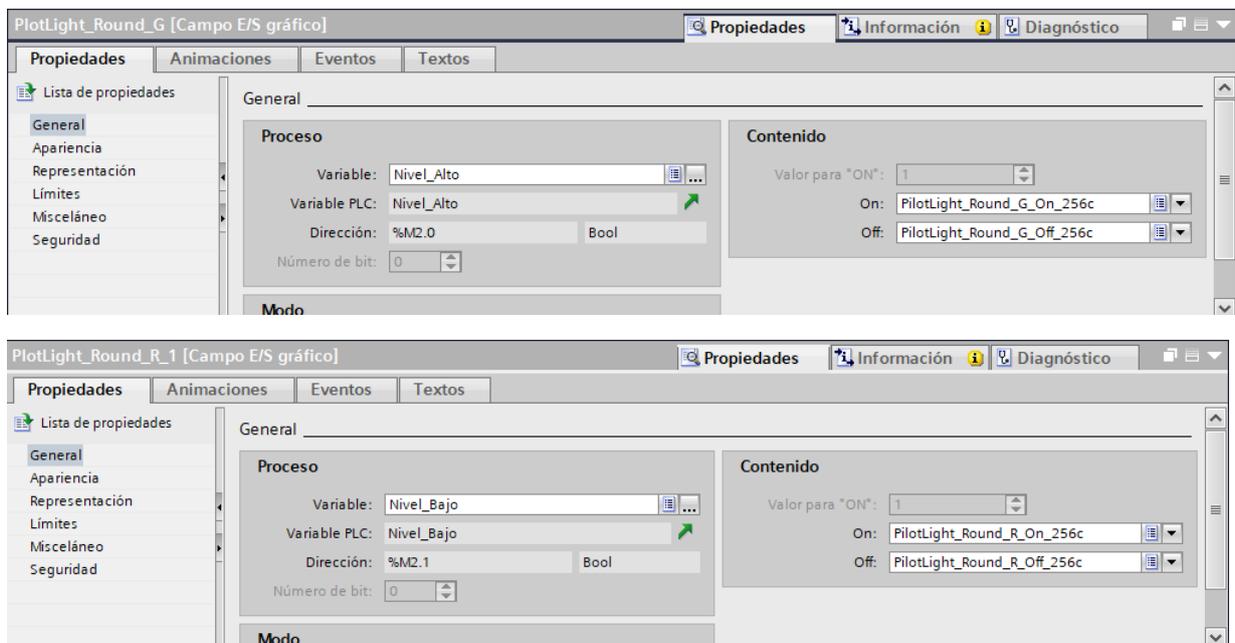


Figura 178. Configuración de propiedades para las luces piloto indicando el nivel alto y bajo.

Y por último para indicar cuando inicia el proceso de limpieza y cuando el 3er tanque (el tanque donde se mezcla el agua y el tomate licuado) está con los ingredientes listos antes de su mezcla se colocan dos luces pilotos, una roja para el tanque y una verde para la limpieza y se configuran tal cual se configuraron las luces piloto para nivel alto y nivel bajo, usando las variables “Señal\_tanque\_salsa\_tomate” y “Encendido\_limpieza”

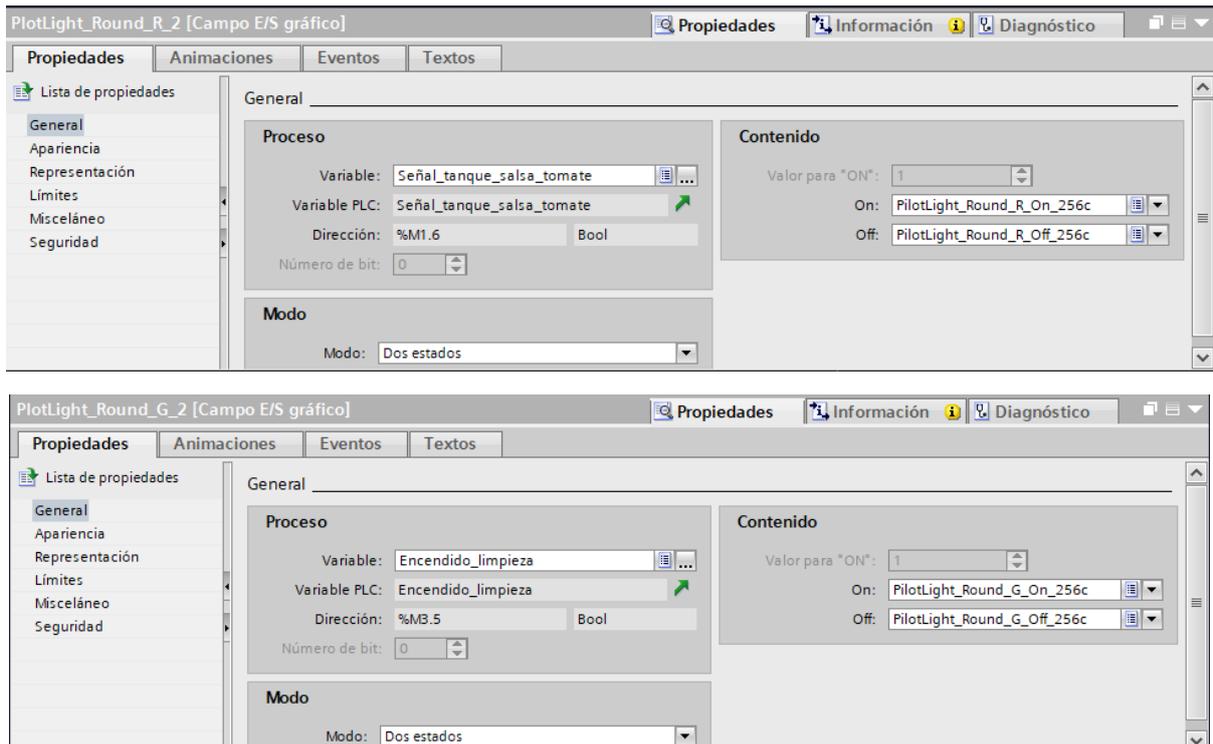


Figura 179. Configuración de propiedades para las luces piloto para indicar el proceso de limpieza y tanque de salsa de tomate

Una vez terminado la configuración para botones y luces, se continúa con las animaciones para los tubos del tanque, el motor y la electroválvula. Para el motor y los tubos que se encuentran antes del motor serán de color gris y una vez empiece a llenar los tanques cambian de color a azul para hacer esto se colocan tubos de color azul encima de los tubos de color gris y después se configura sus animaciones en la ventana de “Propiedades”, pestaña “Animaciones”, en el enunciado de “Visibilidad”, “agregar animación”, “Dinamizar visibilidad”, una vez dentro de esta ventana se coloca la variable “Encendido\_sistema” la cual es la que da pie a que se empiece con el llenado del tanque.

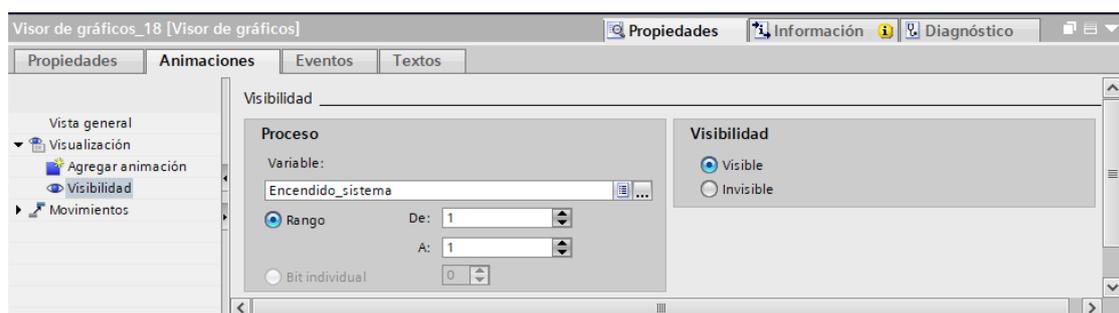


Figura 180. Configuración de animaciones.

Cuando se activa la limpieza para el tanque de tomate licuado también se deben activar animaciones para el motor y los tubos que lo acompañan, su configuración es exactamente igual a la anterior usando la variable “Encendido\_limpieza”.

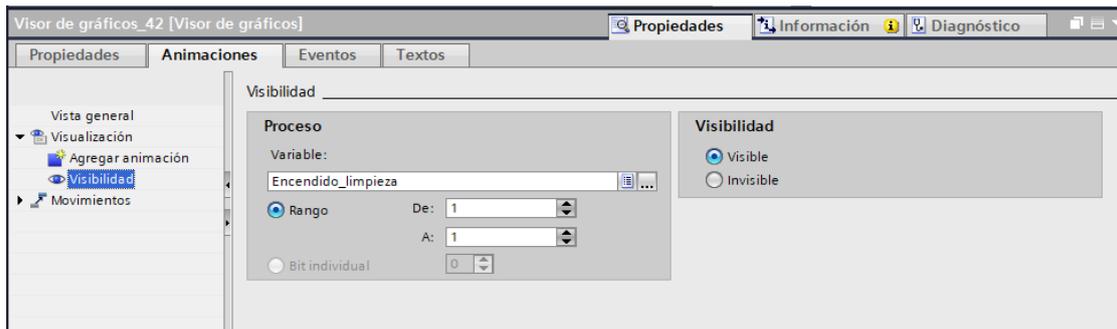


Figura 181. Configuración de animaciones.

Para el gráfico de la válvula y los tubos debajo de los tanques se hace el mismo procedimiento anterior, una válvula gris para cuando esté desactivado y una de color azul para cuando se abra la misma, la variable para dinamizar la visibilidad será “Motor\_vaciado”.

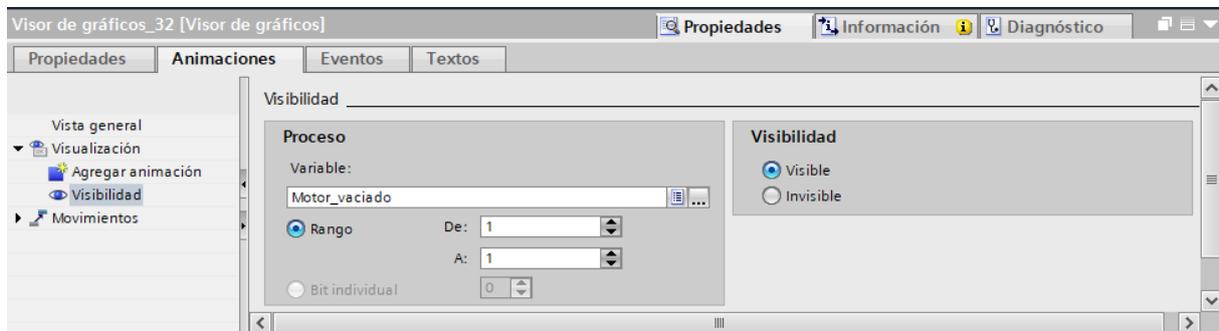


Figura 182. Configuración de animaciones.

Y, para el gráfico de la válvula y los tubos que se activan cuando empieza a descender el agua caliente usada para limpiar el tanque de tomate licuado se usa la variable “Descenso\_limpieza”, repitiendo el procedimiento anterior.

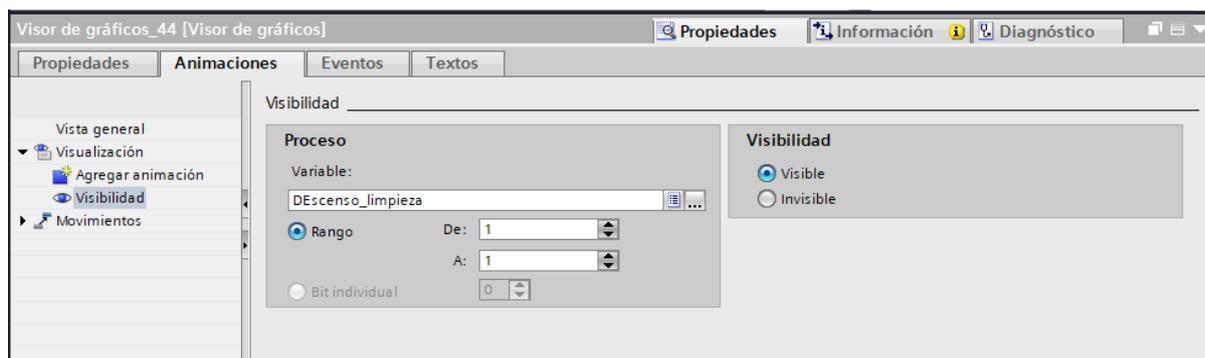


Figura 183. Configuración de animaciones.

Para las barras dentro de los tanques hay que ir a la ventana de “Propiedades”, en el enunciado “General” se coloca la variable “Nivel\_llenado\_vaciado” para el proceso y los limites serían desde 0 a 1000m3.

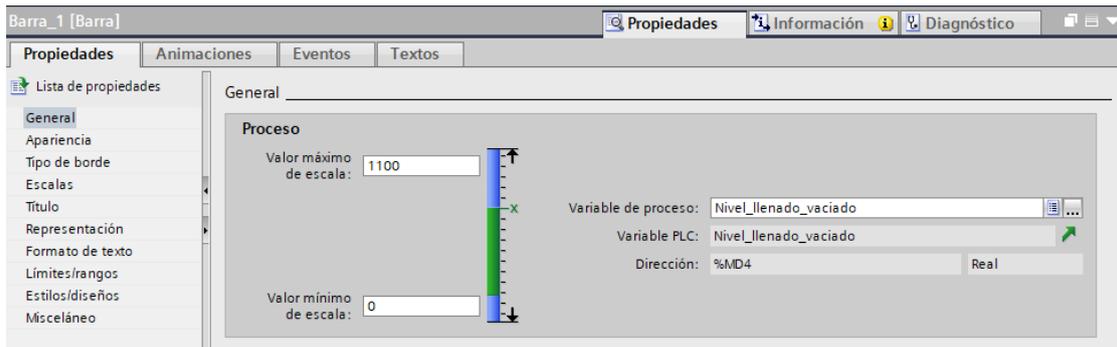


Figura 184. Configuración de las propiedades de la barra de llenado y vaciado de la materia prima.

Para la segunda barra dentro del tanque de tomate licuado, que sirve para la limpieza se repite el mismo procedimiento anterior usando la variable “Nivel\_limpieza” y los límites serían desde 0 a 1000m3.

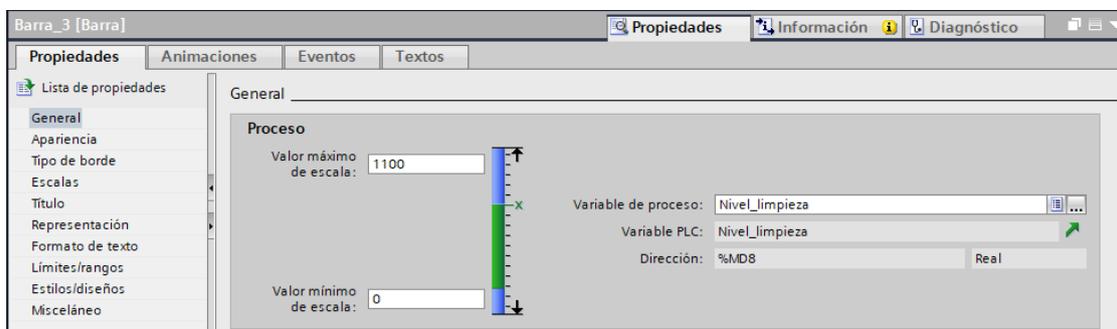


Figura 185. Configuración de las propiedades de la barra de llenado y vaciado en el proceso de limpieza.

Una vez terminado la configuración total en el Maestro PROFIBUS 2 junto con su HMI, hay que continuar con el Maestro PROFIBUS 3, empezando a activar sus marcas de ciclo.

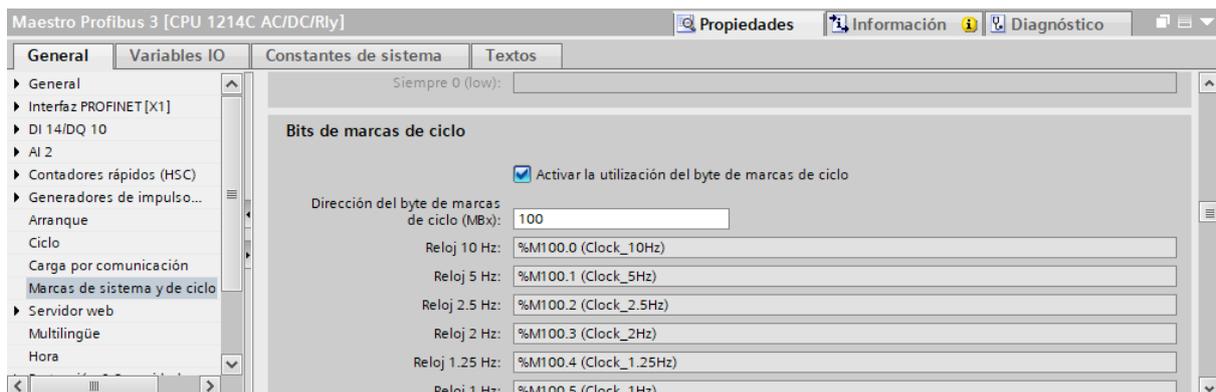


Figura 186. Marcas de ciclo de Maestro PROFIBUS 3

Luego hay que dirigirse al bloque de programas del PLC, y hacer lo mismo que en el maestro 1, un segmento para el bloque PUT y otro para el bloque GET con direcciones 52.0 para el bloque put y 53.0 para el bloque get.

En el tercer segmento se configuran condiciones para el funcionamiento del proceso, primero un bloque move para el envío de datos desde el maestro 1 al 2, luego otro para que cuando el byte enviado desde el maestro 1 sea 2 empiece el arranque del sistema.

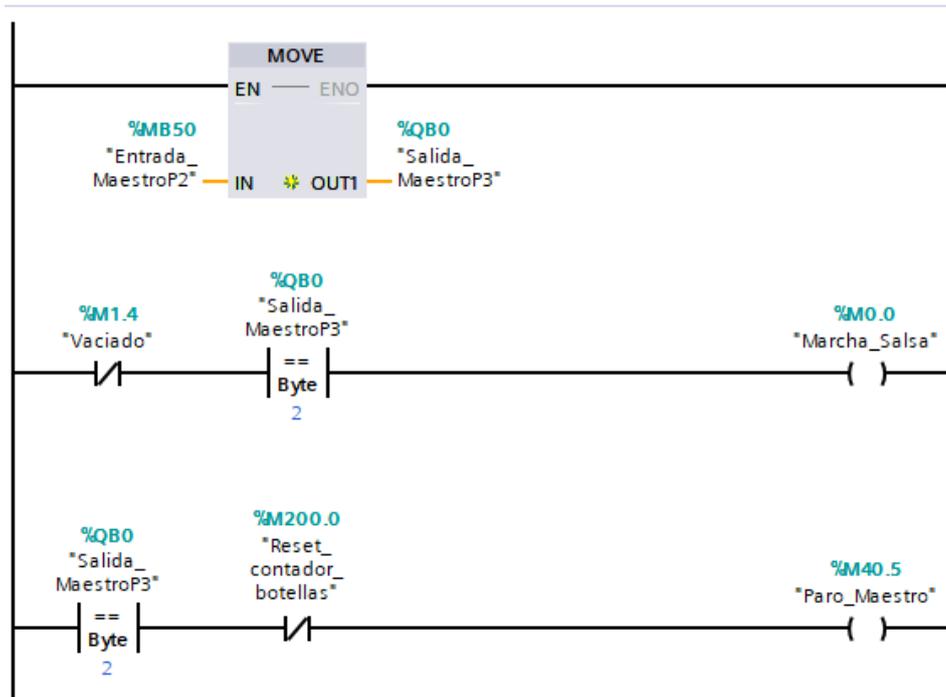


Figura 187. Circuito para el envío de recibimiento de datos del Maestro 1 al 2 y condiciones para iniciar el proceso

Después de esto, en el siguiente segmento se empieza a programar la segunda parte del proceso de la salsa de tomate, enfocada más en la mezcla y el embotellamiento del producto. Primero se coloca un contacto abierto con la variable “Marcha\_salsa” que es la variable designada para la marcha de este proceso, seguido de 2 contactos cerrados con las variables “Encendido\_limpieza” y “Encendido\_vaciado” que al igual que en el anterior proceso representan el inicio de la limpieza en el tanque y se colocan para que mientras exista este proceso afecte en nada si se llega a aplastar el botón de limpieza. Luego de estos contactos se colocan 2 contactos cerrados más, uno para el paro y el otro para cuando inicie el proceso de vaciado y por ultimo un contacto de asignación para el circuito enclavado. Cuando el proceso inicia subiendo 100m3 por segundo hasta llegar a la cantidad de 2000m3, si el nivel es igual a 2000m3 se activa el paro, y el proceso para empezar el embotellamiento siempre y cuando se hayan indicado el número de botellas que se desean llenar y se resetea el valor de la marcha. En otra rama se debe colocar un contacto abierto para la marcha y dos contactos de asignación en reset, para que cada vez que se active la marcha se reseteen estos contactos, los contactos usan las variables “Paro\_salsa” y “Paro\_vaciado\_salsa”.

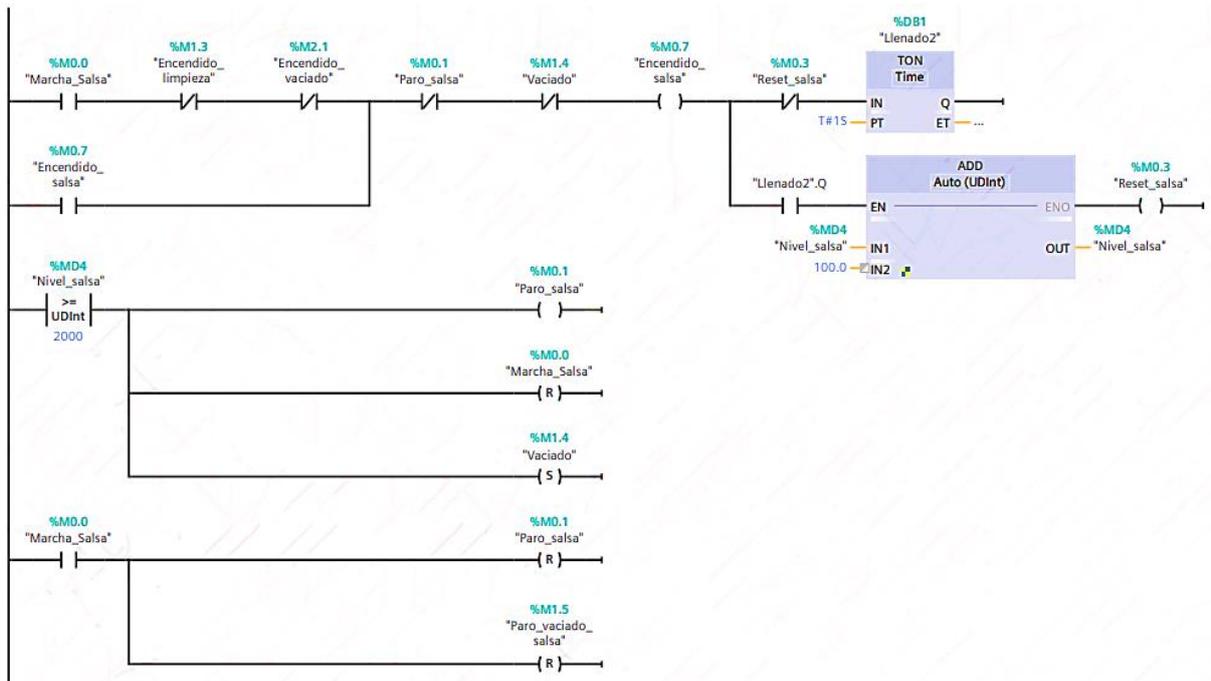


Figura 188. Circuito de llenado del tanque de salsa de tomate

Una vez el nivel llega a 2000ml y se hayan seleccionado el número de botellas que se desean llenar empieza el proceso de vaciado, para esto primero se selecciona un contacto abierto que lleva la variable que inicia este proceso la cual es “Vaciado”, seguido de dos contactos cerrados que son para el paro del vaciado y el paro total del sistema. El vaciado empieza después de 6s y va bajando de 100ml en 100ml, ya que cada botella tiene una capacidad de 100ml y cuando el nivel sea igual a 0 se activa el paro del sistema y se resetea el valor de “Vaciado”.

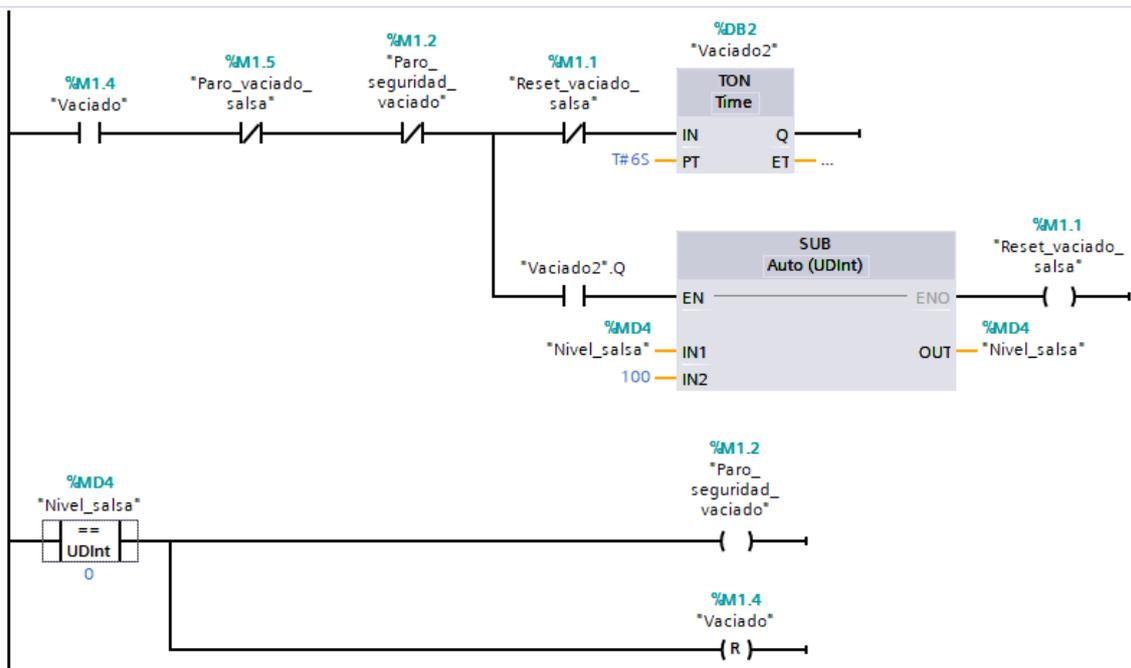


Figura 189. Circuito del vaciado del tanque de salsa de tomate.

En el siguiente segmento se programará el movimiento de las botellas para que vayan acorde al vaciado del tanque, usando un contador ascendente (CTU) y marcas de ciclo, este circuito

empieza a cuando la variable “Vaciado” se activa y se detiene cuando el número de botellas sea igual a las botellas que se requirieron o se active el botón de reset.

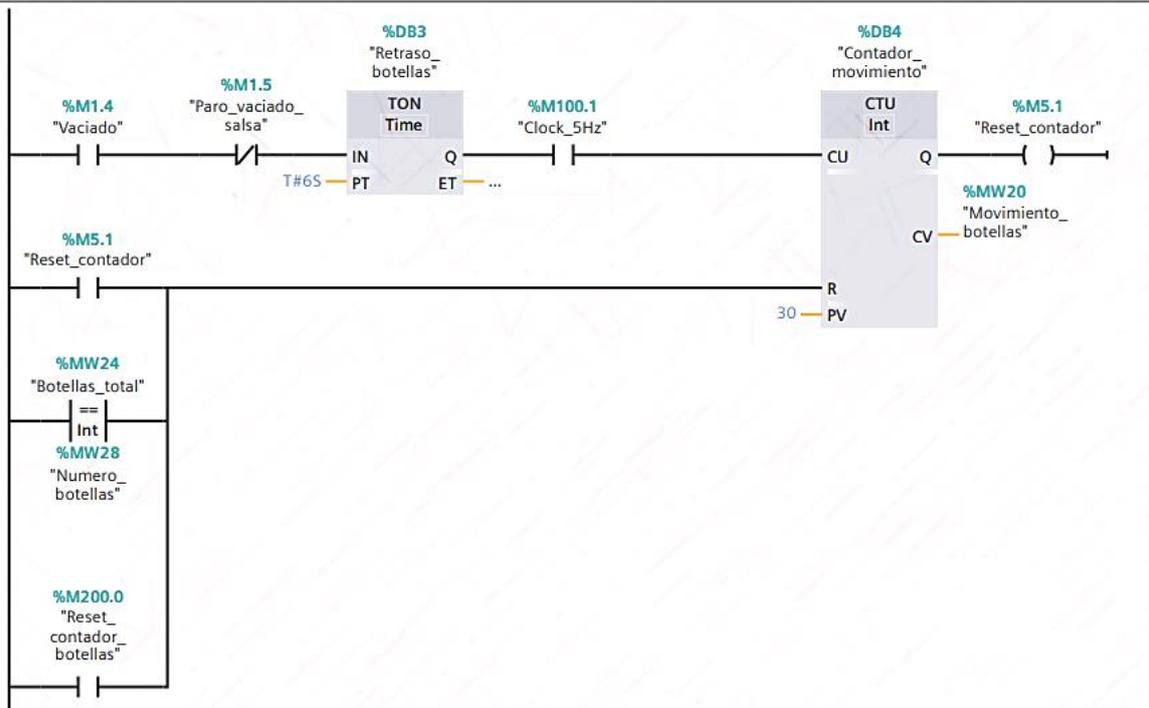


Figura 190. Circuito para el movimiento de las botellas por medio de la banda transportadora.

El siguiente segmento es para el conteo de las botellas, se coloca un contador ascendente CTU que empieza cuando la variable movimiento, que es la salida del anterior contador llegue a ser mayor o igual a 29 y la variable vaciado estén también activa, contando hasta un máximo de 20 botellas. En otra rama se usa un comparador para que cuando la variable movimiento es mayor a 28 se activa la variable “Tapita” que sirve para que aparezca una tapa para la botella. El botón de reset sirve para resetear los valores de “Vaciado”, “Marcha\_Salsa”, “Encendido\_limpieza”, “Encendido\_salsa” y “Encendido\_Vaciado”, también ayuda a enviar un byte hacia el maestro 1 para que avise que el tanque está vacío y pueda volverse a llenar, además de convertir el nivel del tanque a 0. Por último, se crea dos ramas más para que cuando el número de botellas deseados sea igual al contador de las botellas se pare el proceso y la otra rama para cuando se active la variable “Vaciado” se envíe un byte al maestro 1 que haga que no se puedan llenar los tanques que controla dicho autómata.

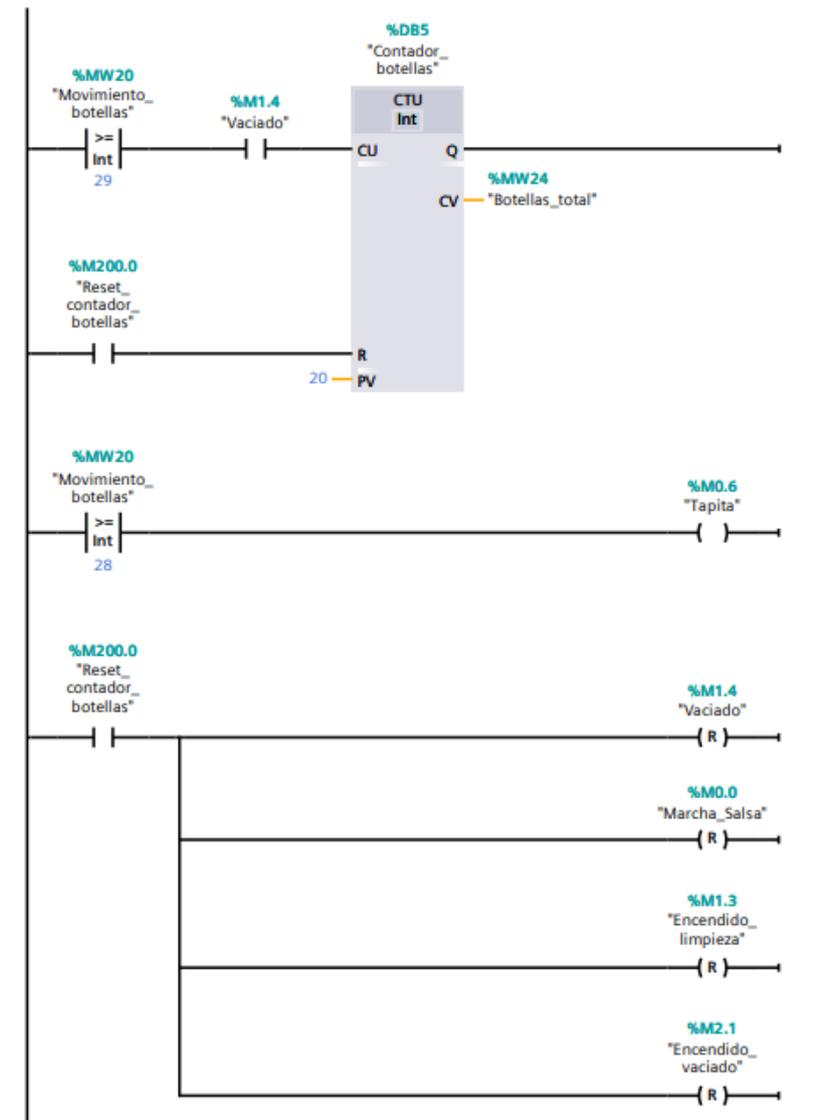


Figura 191. Circuito para el contador de botellas y reset de valores.

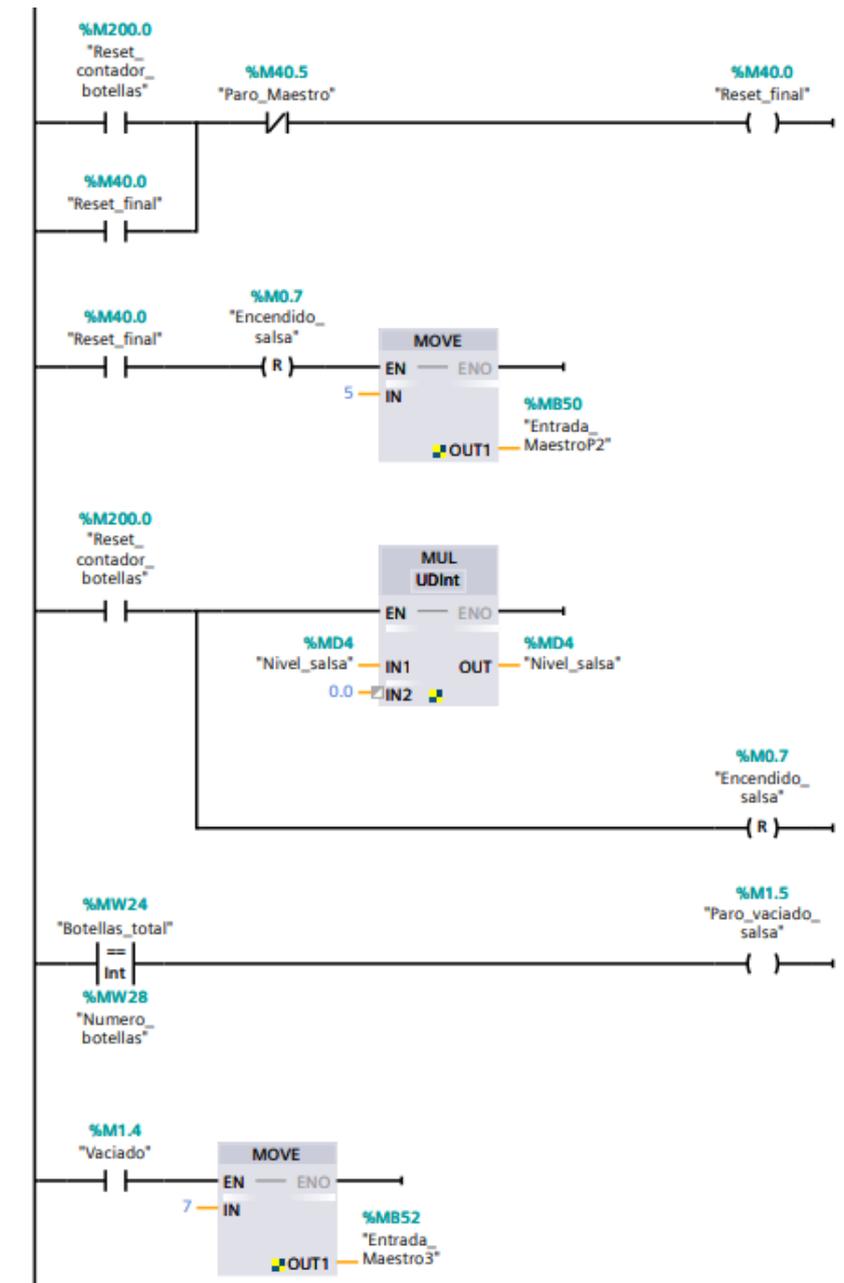


Figura 192. Circuito para el reset de valores y envío de datos del maestro 2 al maestro 1

Para el último segmento hay que agregar un nuevo bloque de función, este bloque es para la limpieza del tanque.

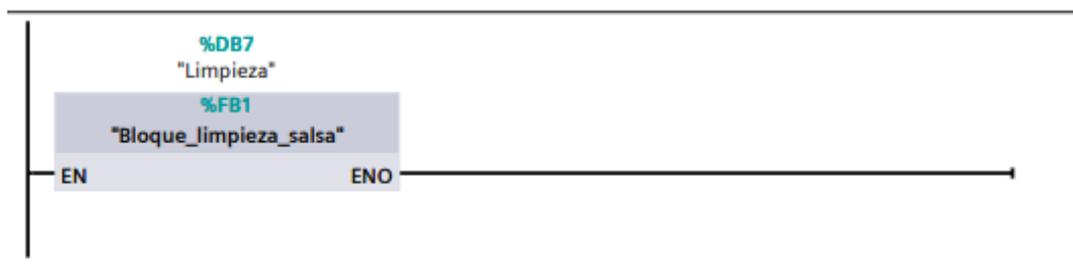


Figura 193. Bloque de función "Limpieza"

Dentro de este bloque se van a usar 2 segmentos, uno para el inicio de la limpieza y otro para el descenso del agua tal cual se hizo en el anterior PLC. Este primer segmento empieza con un contacto abierto colocando la variable “Inicio\_limpieza”, seguido de 2 contactos cerrados que tienen las variables “Encendido\_salsa” y “Vaciado” estas variables son las que dan inicio al proceso de llenado y vaciado de la salsa de tomate, se hace esto para que una vez se inicie el proceso de limpieza y no se vea interferido por el botón de marcha del llenado. Luego de esto sigue un contacto cerrado para el paro y otro cerrado para la válvula, esta solo se activa cuando el nivel llegue a ser igual a 2000ml. Cuando se inicia la limpieza el agua caliente va subiendo a razón de 100ml por segundo y cuando llega a 2000ml se activa el paro, y la válvula para botar el agua y se resetea el valor de la variable “Inicio\_limpieza”.

En otra rama se coloca un contacto abierto para “Inicio\_limpieza”, para que cada vez que se aplaste se reseteen los valores de las variables “Paro\_limpieza” y “Paro\_vaciado”.

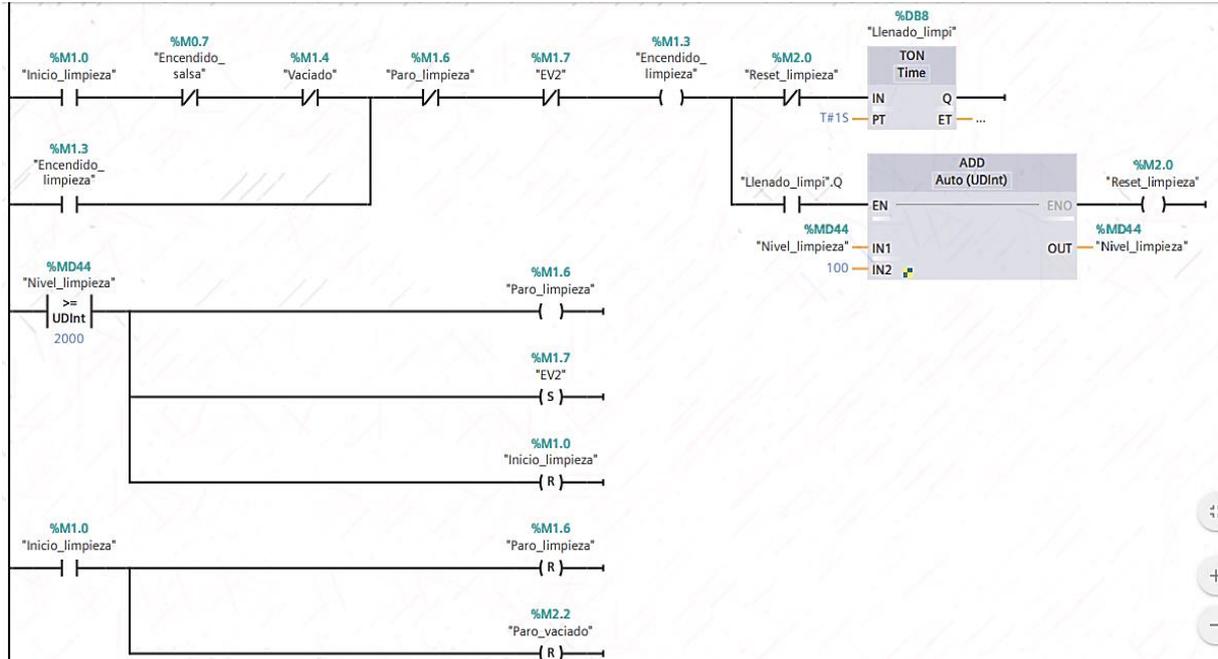


Figura 194. Circuito para el inicio del proceso de limpieza

Una vez llega el nivel a 2000ml se activa el proceso de vaciado, para botar el agua en el tanque, por eso se inicia colocando un contacto abierto para la válvula, seguido de un contacto cerrado para el paro de la válvula y otro cerrado para el paro del proceso y por último un contacto de asignación para el enclavamiento. Cuando empieza este proceso el agua desciende cada segundo 100ml y cuando llegue a ser 0 se activa el paro del sistema y se resetea el valor de la válvula.

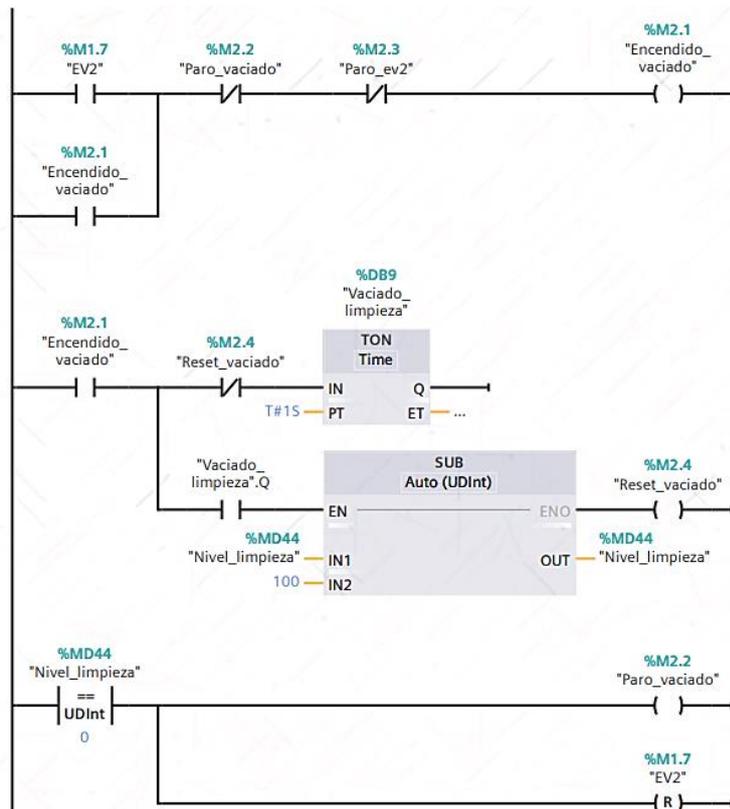


Figura 195. Circuito para el vaciado del proceso de limpieza

Después de haber acabado con la programación en el bloque “Main” del PLC Maestro 3, hay que crear un SCADA ya que el software no permite la simulación de 2 HMI, una vez creado este SCADA mediante WinCC RT Advanced hay que dirigirse a las imágenes asociado al mismo y agregar una nueva imagen donde se colocarán los elementos a usar para generar la simulación del proceso.

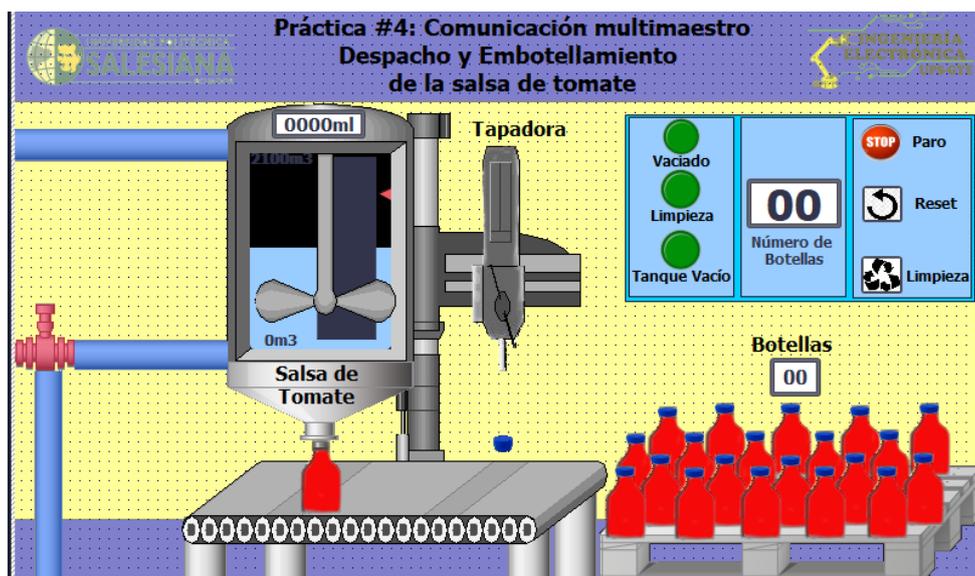


Figura 196. Pantalla HMI del proceso en el PLC Maestro PROFIBUS 3

Esta pantalla contiene 3 botones uno para el paro del sistema, reset del sistema y limpieza, dos indicadores, uno para el vaciado y otro para cuando empieza la limpieza y una pantalla (Campo

E/S) para colocar el número de botellas que se necesitan llenar. Primero se configura la barra que está dentro del tanque, yendo a “Propiedades”, y en el enunciado “General” colocar la variable “Nivel\_salsa” que es la variable encargada para esto.

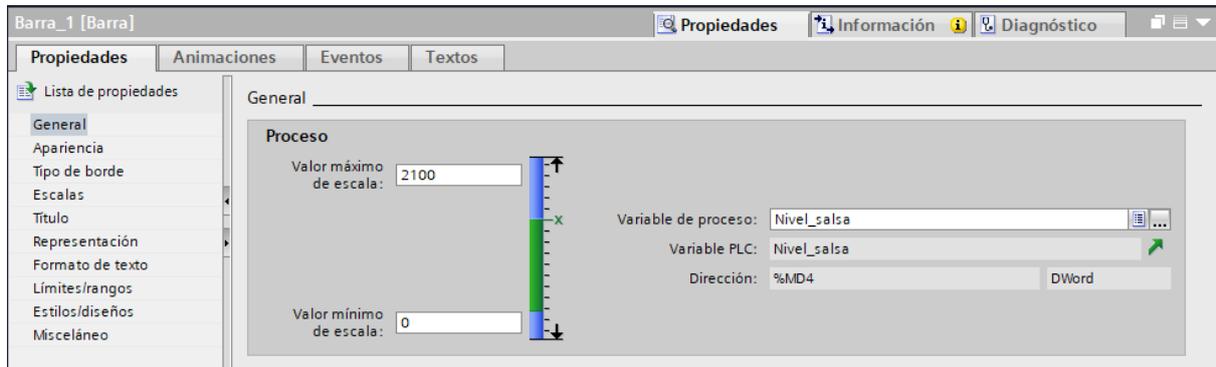


Figura 197. Configuración de la barra dentro del tanque de salsa de tomate.

Segundo, para configurar los botones de “Paro”, “Reset” y “Limpieza” hay que ir a “Propiedades”, “Eventos”, y en el enunciado “Pulsar” agregar la función “ActivarBitMientrasTeclaPulsada” y se usan las siguientes variables para cada botón respectivamente: “Paro\_salsa” y “Paro\_vaciado\_salsa”, “Reset\_contador\_botellas” e “Inicio\_limpieza”.

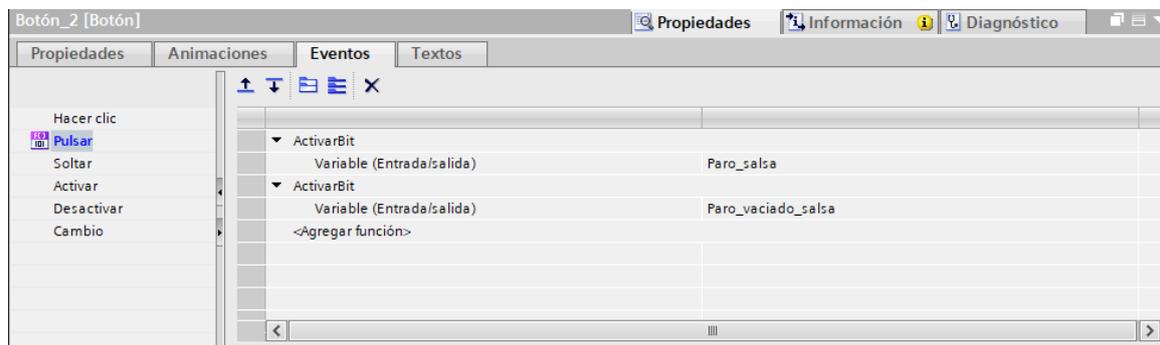


Figura 198. Configuración del botón de paro.

Para la pantalla (Campo E/S) que sirve para designar el número de botellas que se van a llenar, su configuración empieza en “Propiedades”, “General” y en el enunciado “Variable” se coloca la variable “Num\_botellas”, con formato decimal de 2 caracteres.

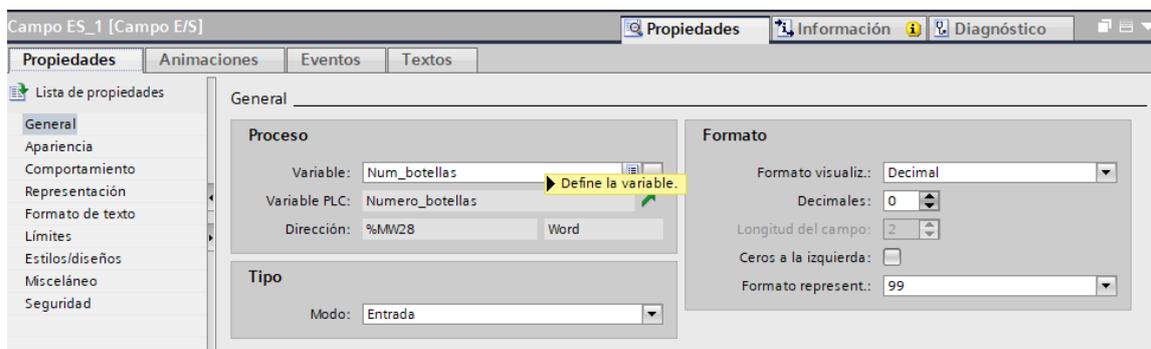


Figura 199. Configuración del campo E/S “Número de botellas”.

Para los indicadores de “Vaciado”, “Limpieza” y “Tanque vacío” se deben usar luces piloto y las variables a usar serán “Vaciado”, “Encendido\_limpieza” y “Reset\_final” respectivamente.

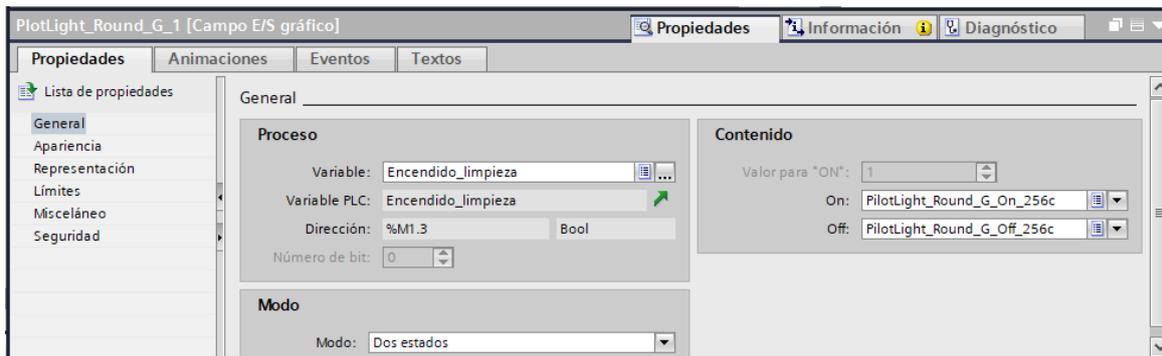


Figura 200. Configuración de luces piloto de “Vaciado” y “Limpieza”

Luego de configurar todos los botones y pantallas, hay que continuar con las animaciones en este caso para el movimiento de las botellas mientras se descarga el producto y que estas se muestren al final de la banda transportada, para eso hay que ir a la ventana “Propiedades”, “Animaciones”, “Movimientos”, “Agregar movimiento”, “Mover el objeto horizontalmente”, una vez dentro la variable que registrará este movimiento será la variable “Movimiento\_botellas”, la cual era la salida del primer contador en el PLC Maestro 3. En un rango de 0 a 30 y moviéndose hasta el final de la banda transportadora.

Para el movimiento de la tapadora se configura igual que el anterior proceso, pero en vez de colocar “Mover el objeto horizontalmente” se coloca el enunciado “Mover el objeto verticalmente”, usando la misma variable que se usó para el movimiento de las botellas.

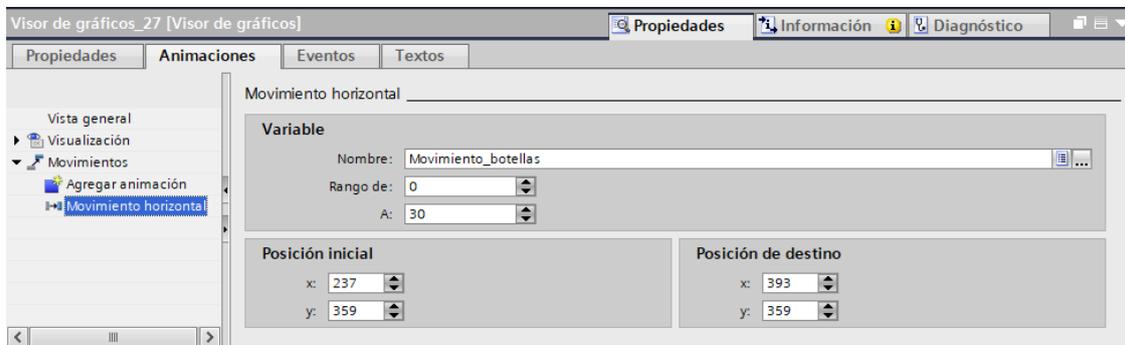


Figura 201. Configuración de animación para el movimiento de las botellas.

Para mostrar botella por botella cada que una botella llegue al final de la banda transportadora hay que repetir el procedimiento anterior, pero en vez de ir a la pestaña de “Movimientos” se selecciona la pestaña “Visualización”, “Agregar animación”, “Dinamizar visibilidad” y la variable que registrará este proceso será la variable “Botellas\_total” la cual debe ir en las 20 botellas que se van a simular.

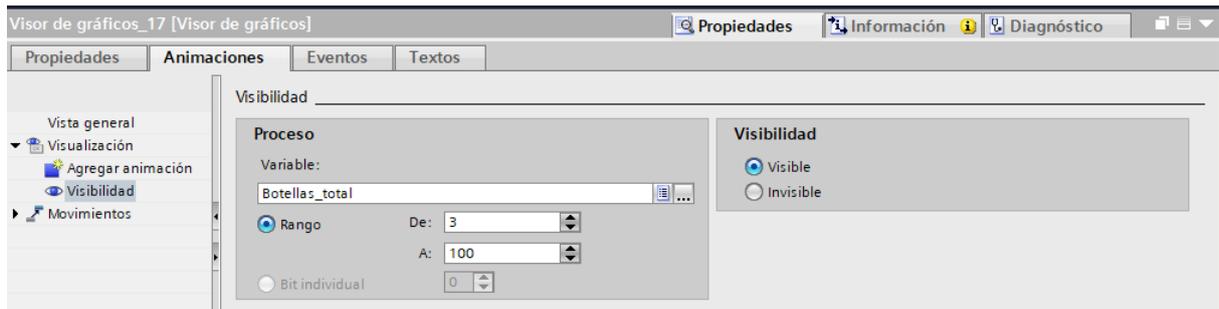


Figura 202. Configuración de animación para mostrar las botellas

Y por último para la animación de la tapa que se debe mostrar al final del recorrido de la botella, se repite el procedimiento anterior usando la variable “Tapita”.

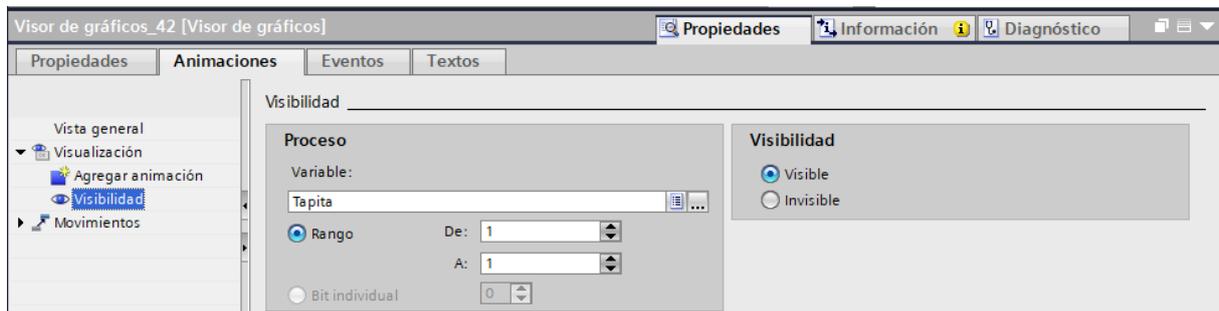


Figura 203. Configuración de animación para las tapas en la botella

Una vez hecho todo esto se carga el programa en el PLC Maestro PROFIBUS 3 y empieza la simulación del proceso.

## Anexo 6: Práctica #5

La práctica # 5 consiste en el desarrollo de un SCADA que controle los sistemas hechos en la práctica #2 y #3, para esto primero hay que dar click en “Agregar dispositivo”, “Sistemas PC”, “Simatic HMI Application”, “WinCC RT Advanced”

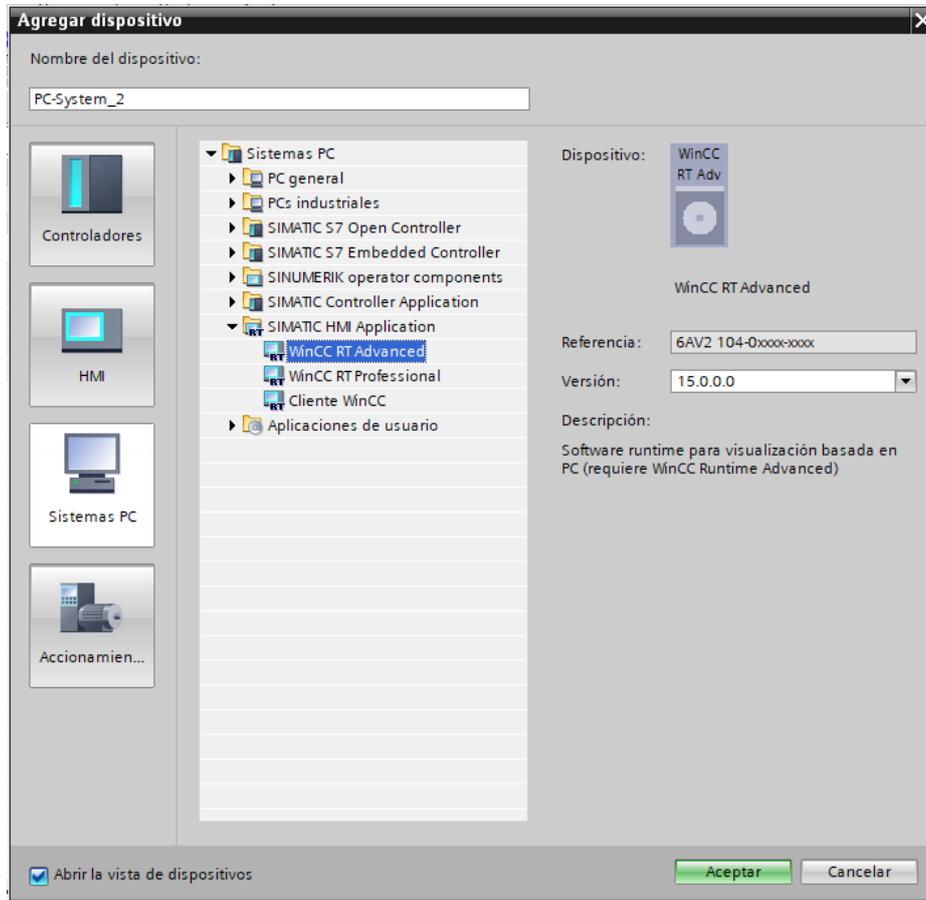


Figura 204. Ventana para creación de SCADA

Una vez seleccionado hay que dar en aceptar y agregar una “IE General”, para aquello hay que trasladarse a la ventana de “Catálogo” ubicada al lado derecho del programa, “Sistemas PC”, “Módulos de comunicación”, “PROFINET/Ethernet”, “IE General”. Luego de agregar esta tarjeta se debe unir al PLC Maestro.

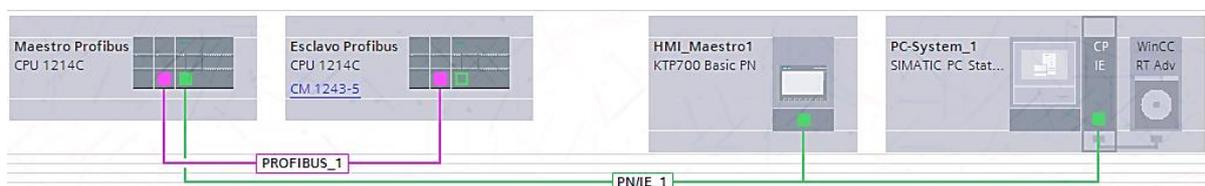


Figura 205. Red PROFIBUS-PROFINET, conexión del SCADA al PLC Maestro PROFIBUS

Una vez hecho las conexiones hay que dirigirse a la pantalla HMI\_RT para crear las pantallas donde irán los diferentes procesos, se van a crear 4 imágenes una para el menú general llamada “Menú\_principal”, otra para la práctica de temperatura llamada “Práctica\_5\_temp”, otra para la práctica de presión llamada “Práctica\_5\_presión” y una última para las gráficas de Setpoint vs Presión y Setpoint vs Temperatura, llamada “Gráficas”. Primero se crea una pantalla general

donde irá un Menú para seleccionar 3 pantallas diferentes, el proceso térmico, neumático y las gráficas de los mismos.



Figura 206. Menú principal del SCADA

Para cada proceso existirá un botón el cual se configura en “Propiedades”, “Eventos”, “Hacer clic” y se agrega la función “ActivarImagen” y se coloca la variable “Práctica\_5\_temp” para que al activarla vaya hacia esta práctica y lo mismo se hace para los siguientes dos botones, repitiendo el proceso anterior y colocando las variables “Práctica\_5\_Presión” y “Gráficas” respectivamente.

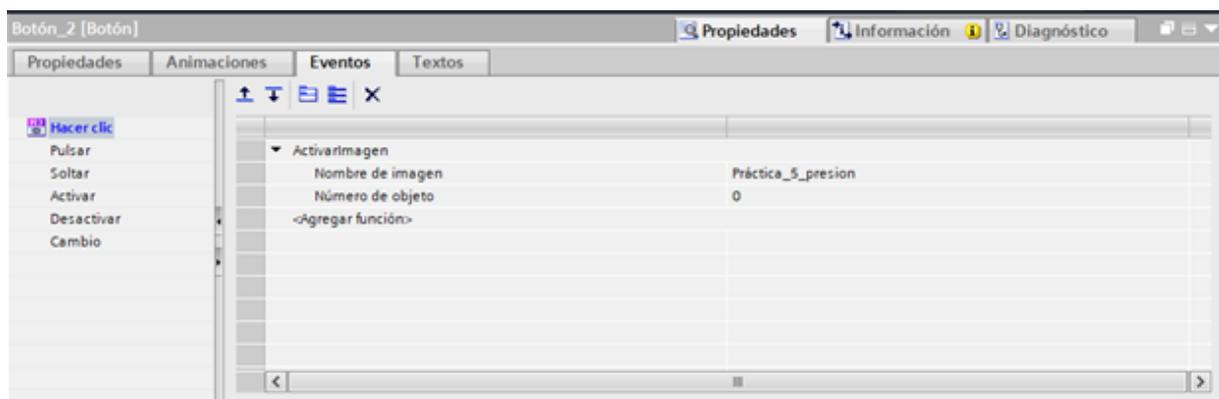


Figura 207. Configuración de botones

Luego en la imagen “Práctica\_5\_temp” se crea una planta que describe el proceso expuesto en la práctica #2, pero esta vez de una forma un poco más detallada.

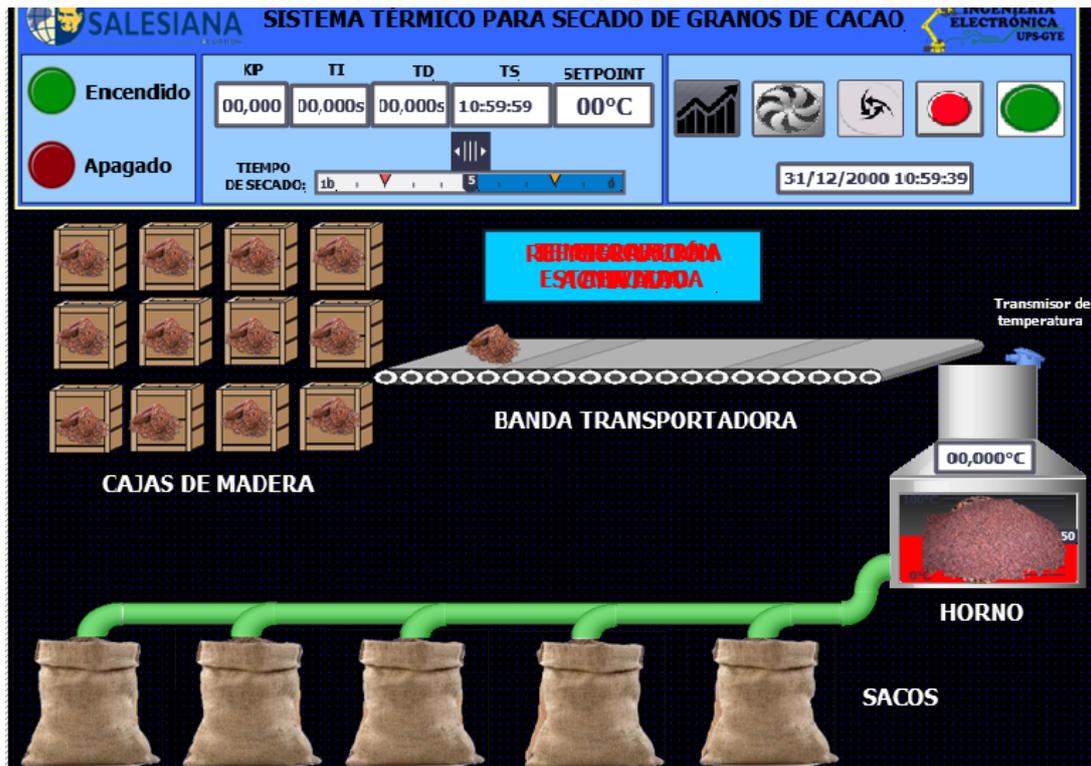


Figura 208. Pantalla HMI\_RT de la práctica #3

El sistema está conformado esta vez por 5 botones del lado derecho superior del SCADA, de derecha a izquierda los botones representan: “Marcha”, “Paro”, “Cambio de scada” “Refrigeración” (Perturbación) y “Gráficas”. El botón de “Marcha” está configurado de la siguiente forma:

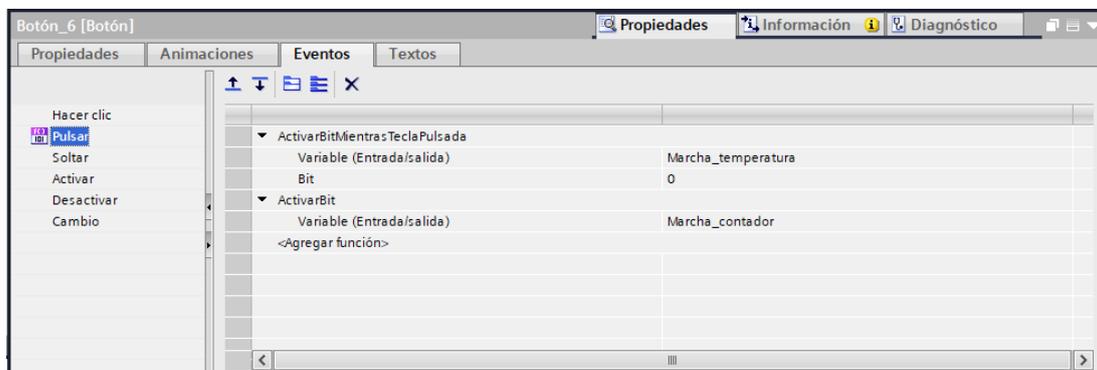


Figura 209. Configuración del botón de marcha

El botón de “Paro” está configurado de la siguiente forma:

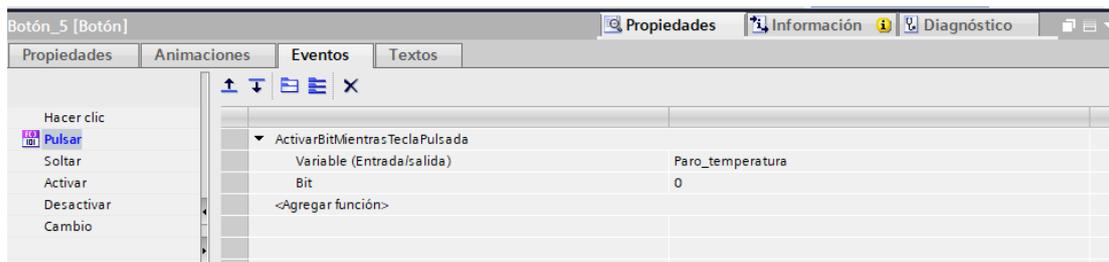


Figura 210. Configuración del botón de paro

El botón “Cambio de scada” está configurado de la siguiente forma:

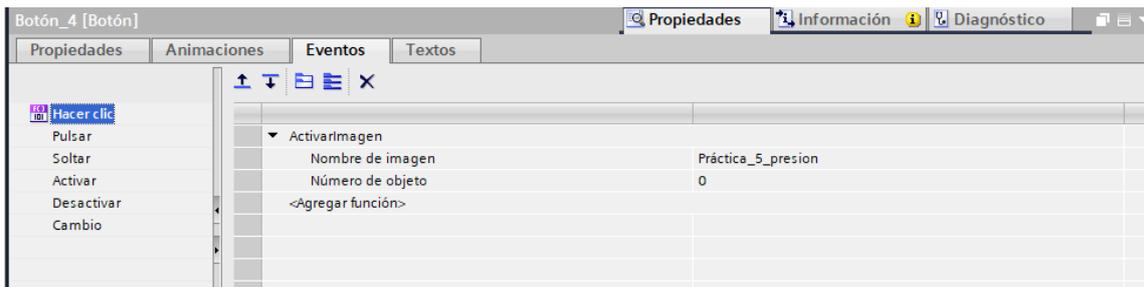


Figura 211. Configuración del botón “Cambio de scada”

El botón de refrigeración que representa la perturbación en el sistema está configurado de la siguiente manera:

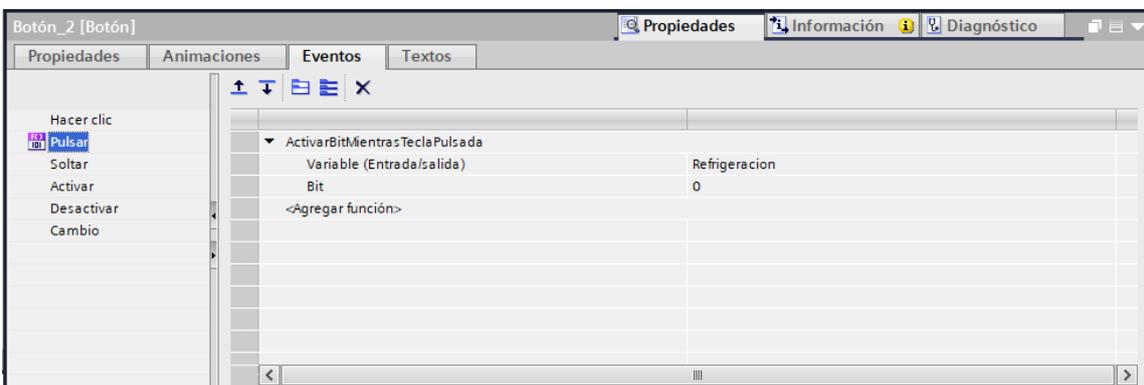


Figura 212. Configuración del botón “Refrigeración”

Y por último el botón de “Gráficas” está configurado de la siguiente forma:

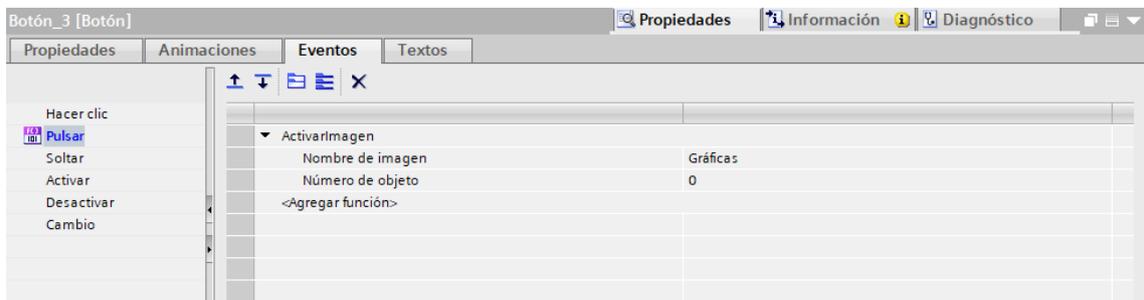


Figura 213. Configuración del botón “Gráficas”

Al lado de estos botones hay una pantalla (campo E/S) para digitar el Setpoint de la práctica, el cual está configurado de la siguiente forma:

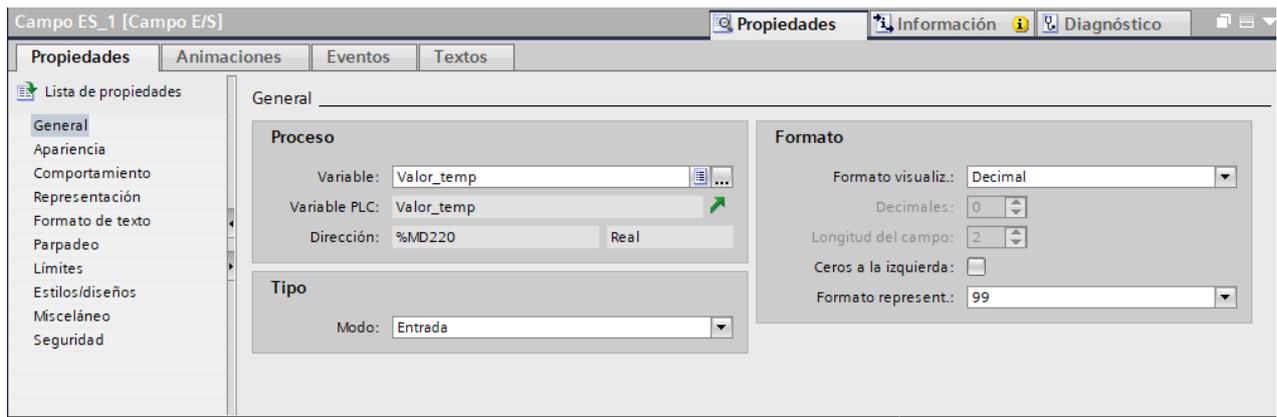


Figura 214. Configuración del Campo E/S para el Setpoint.

Al lado de esta pantalla están otras 3 pantallas más (Campo E/S) que muestran los valores del controlador PID usados para el control de esta práctica y se configura de la misma manera que se configuró el HMI que se usó para la práctica #3 (véase Figura 133).

Debajo de estas pantallas se coloca un slide que indicará el tiempo que demorará el proceso de secado, donde 10s es igual a 3h, su configuración es la siguiente:

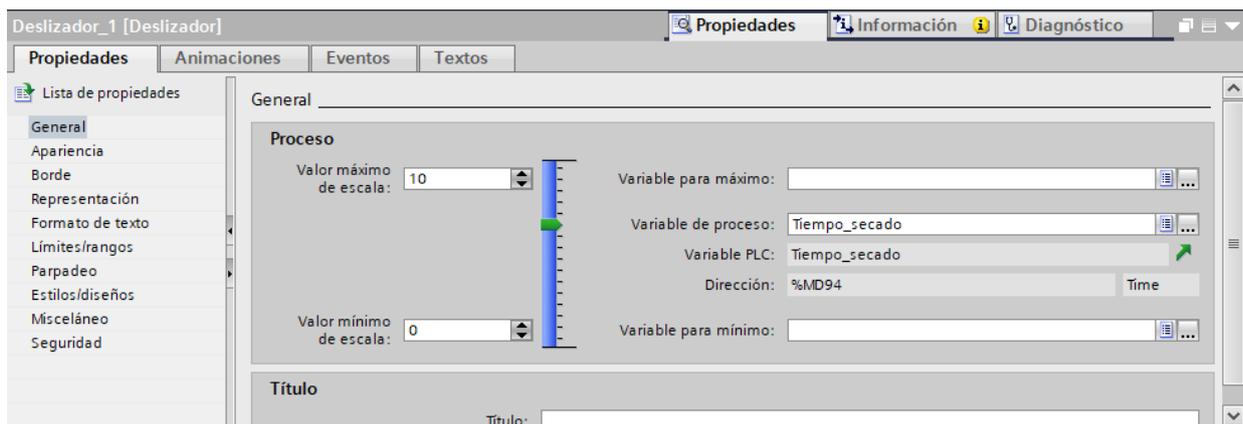
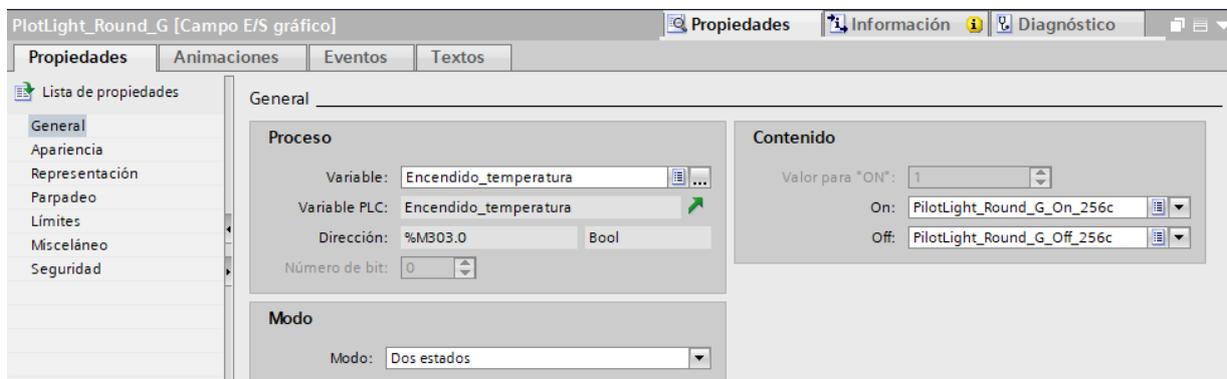


Figura 215. Configuración del slide para el tiempo de secado

Por último, al lado de este slide se encuentran dos luces piloto que muestran cuando el proceso está encendido y cuando está apagado, configurados de la siguiente forma:



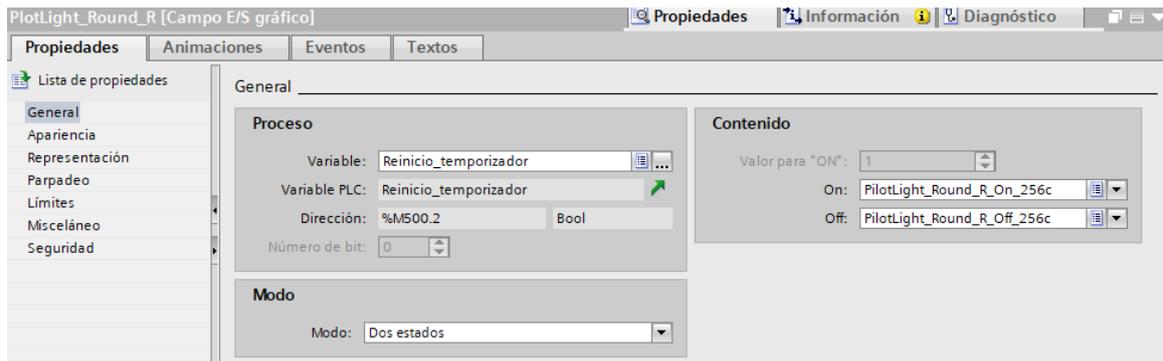


Figura 216. Configuración de las luces piloto “Encendido” y “Apagado”

Una vez dada la marcha el horno empieza a calentarse y cuando llegue a la temperatura seteada es cuando empiezan a moverse los granos de cacao a través de la banda transportadora, para eso en el bloque Main del PLC Maestro se debe crear un bloque de función, en este caso bajo el nombre de “Animaciones” y se coloca en el mismo segmento donde se hicieron las animaciones para la pantalla HMI (véase Figura 128).

Una vez dentro del bloque, en el primer segmento se comienza con un bloque de condición para que las animaciones inicien una vez la temperatura simulada sea igual al valor de la temperatura seteada, esto activa un contacto de asignación que usa la variable “Inicio\_animaciones”, luego en otra rama se configura el movimiento de los granos de cacao por la banda transportadora. Primero se coloca un contacto abierto para la variable “Inicio\_animaciones”, seguido de un contacto cerrado para el paro y un contacto abierto donde se usa una marca de ciclo, en este caso un reloj de 10Hz, luego de esto se coloca un contador ascendente y por último un contacto de asignación con la variable “Reset\_movimiento”. El contador a su salida se le colocará la variable “Movimiento cacao” y se reseteará una vez termine de contar hasta 25 o cuando se active el botón de paro o la variable “sacos” se active.

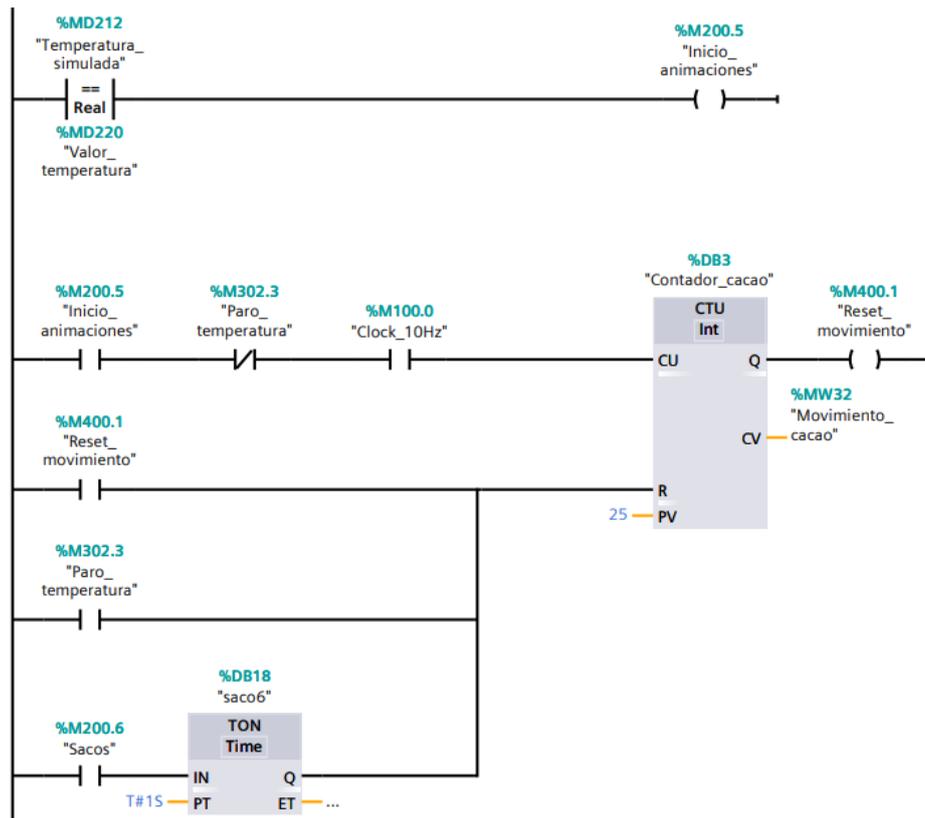


Figura 217. Circuito para las animaciones de los granos de cacao

En el siguiente segmento se configura un contador ascendente para que la animación no se detenga y pueda repetirse a lo largo de toda la presentación. Este contador se activará cada vez que la variable “Movimiento cacao” sea mayor a 24, activando el contacto abierto “Inicio\_animaciones”. A la salida de este contador estará la variable “Cantidad\_de\_cacao” y se reiniciará una vez cuente hasta 12, se active el botón de paro o de “Reset\_proceso”.

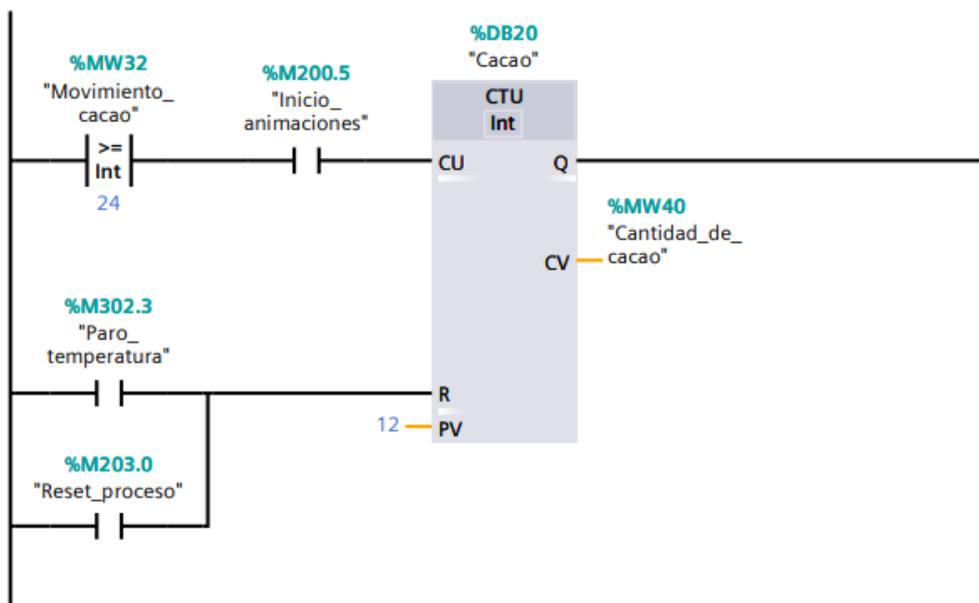


Figura 218. Circuito para el contador de los granos de cacao.

El siguiente segmento va más enfocado en los mensajes que se mostrarán en un pequeño cuadro celeste. Cuando la variable “cantidad\_de\_cacao” sea igual a 12, se activará la variable “sacos” la cual da paso a la animación de los sacos que se encuentran debajo del horno, además cuando la variable “cantidad\_de\_cacao” sea mayor a 1 se mostrará dentro del horno una imagen, simulando que los granos de cacao han ingresado exitosamente y cuando la variable “sacos” se active, la imagen anterior queda desactivada y se activa otra imagen que simula a los granos de cacao secos.

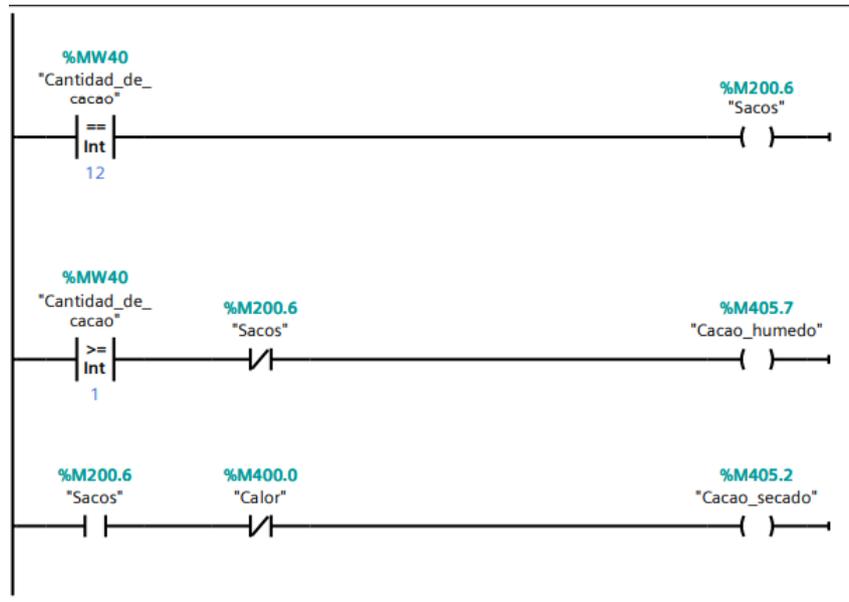


Figura 219. Circuito de mensajes y activación de imágenes

Y, por último, en el siguiente segmento se configurará las animaciones para los sacos donde se almacenará los granos de cacao ya secos. Este proceso inicia con un contacto abierto para la variable “Sacos” que activa un temporizador TON dependiendo el tiempo que se haya escogido en el slide, una vez este tiempo se haya cumplido, se activará la variable “cacao” la hace cambiar de color los tubos y desaparece la imagen de los granos de cacao secos, al mismo tiempo se activa la variable “saco1” que es la imagen del primer saco, una vez se activen estas variables se activa otro temporizador TON durante 5 segundos para activar la variable “saco2” y así sucesivamente hasta activar la variable “saco5”.

Se debe colocar una nueva rama para colocar un contacto abierto que usará la variable “saco5” la cual una vez se active, resetea todo y hace que el proceso se repita indefinidas veces.

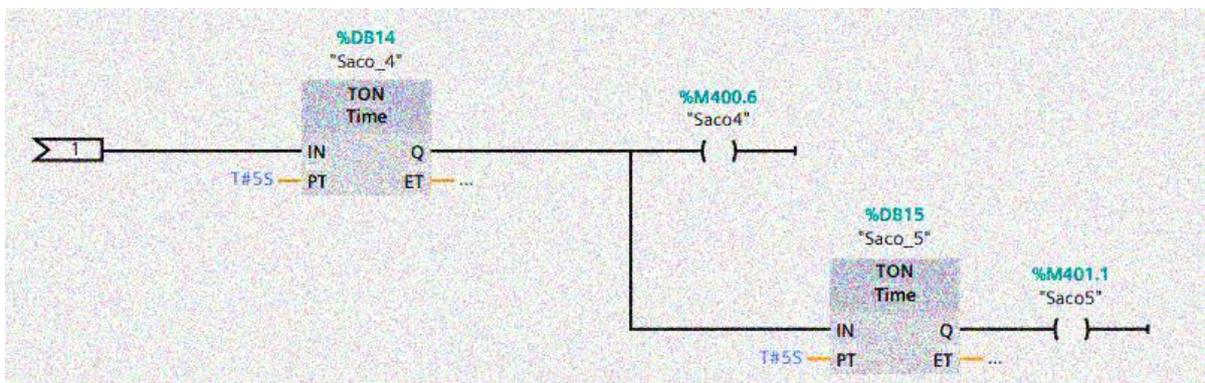
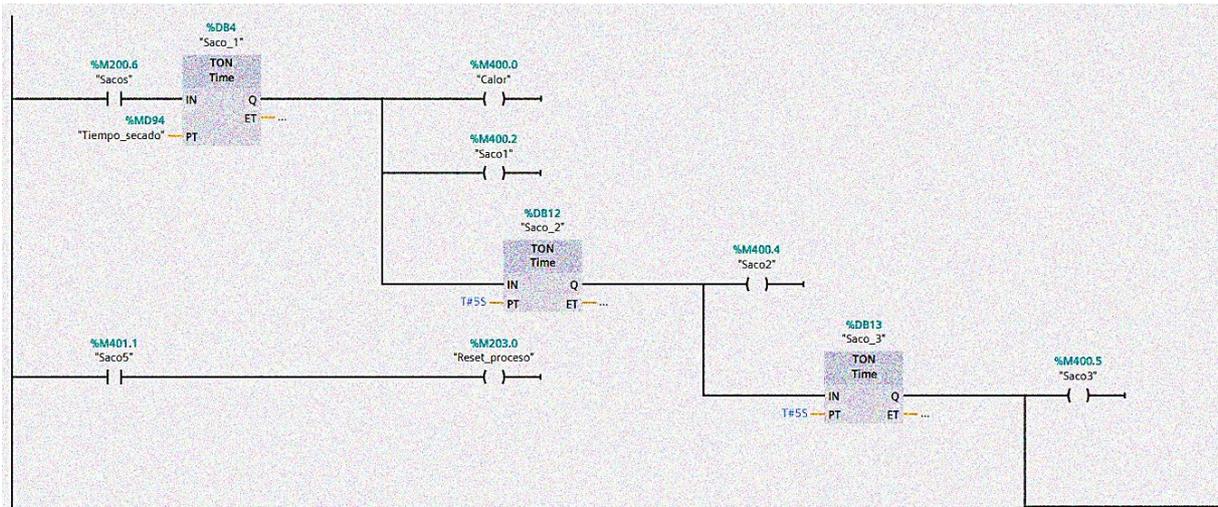


Figura 220. Configuración para los sacos de almacenamiento del cacao

Una vez hecho esto, hay que regresar al SCADA y colocar variables correspondientes para las animaciones. Para los mensajes “El sistema ha iniciado”, “Temperatura estabilizada” y “Refrigeración” se configura tal cual se hizo en la práctica #2 en el HMI (véase Figura 135). Para los granos de cacao la configuración es la siguiente:

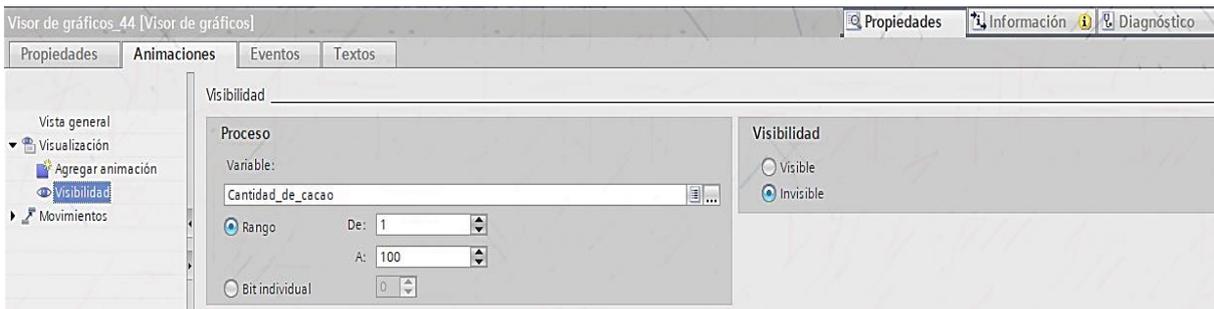


Figura 221. Configuración de la animación para los granos de cacao.

Para la imagen que se muestra al inicio del proceso dentro del horno, su configuración es la siguiente:

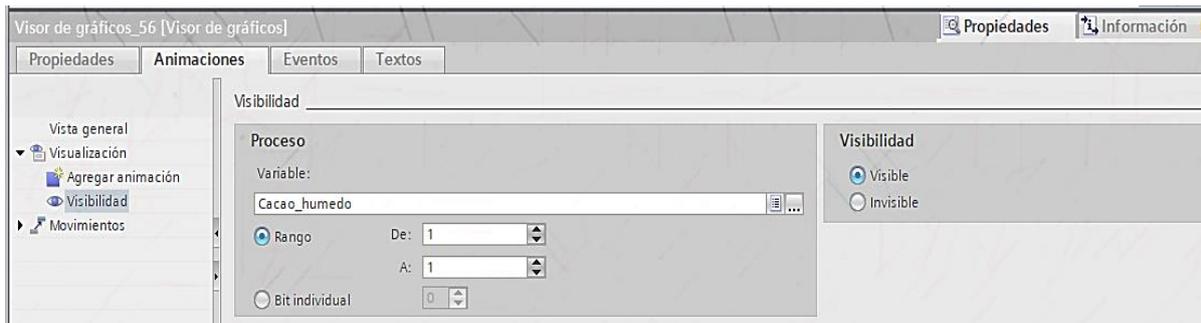


Figura 222. Configuración para la imagen inicial dentro del horno

Para la imagen que se muestra una vez la temperatura alcanza el valor seteado, su configuración se hace de esta forma:

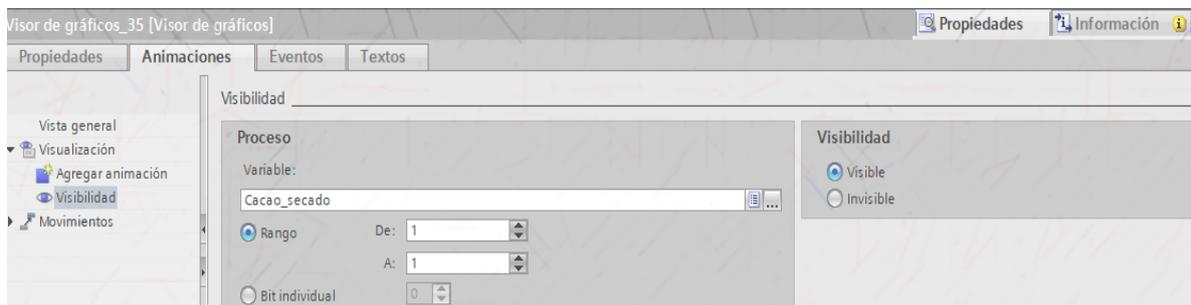


Figura 223. Configuración para la imagen del cacao seco.

Para la animación de los tubos, una vez pase el tiempo que se haya escogido para secar los granos de cacao, se configura de la siguiente manera:

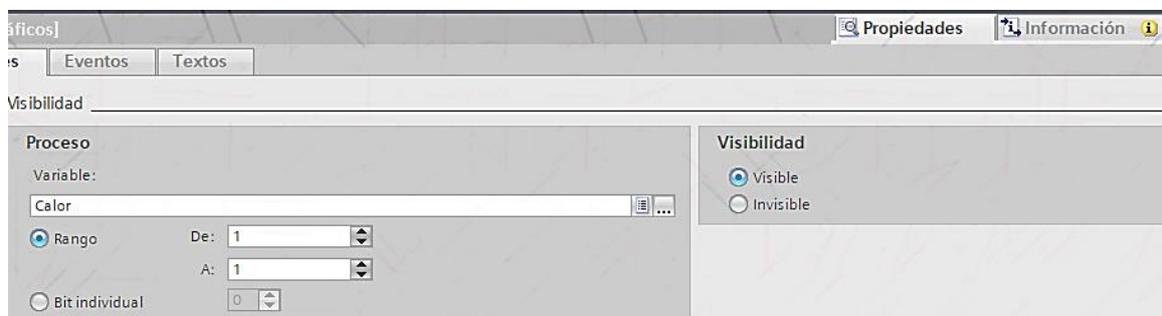


Figura 224. Configuración de los tubos que dirigen el cacao a los sacos

Y por último para configurar los sacos donde se almacena el cacao, se configuran de la siguiente manera:

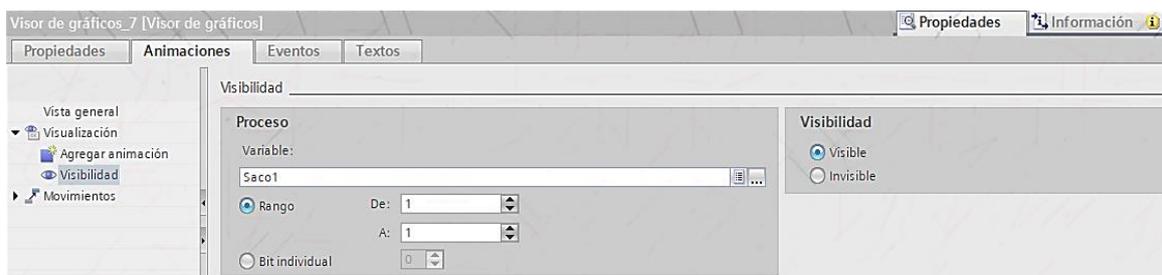


Figura 225. Configuración para los sacos donde se almacenan los granos de cacao seco.

Cabe recalcar que, para cada saco, se usa una única variable, para el primero será “Saco1”, para el segundo será” Saco2” y así sucesivamente hasta llegar a la variable “Saco5”.

Una vez terminadas todas las animaciones en la pantalla destinada para la práctica número 2, hay que crear otra pantalla, esta para la práctica #3.

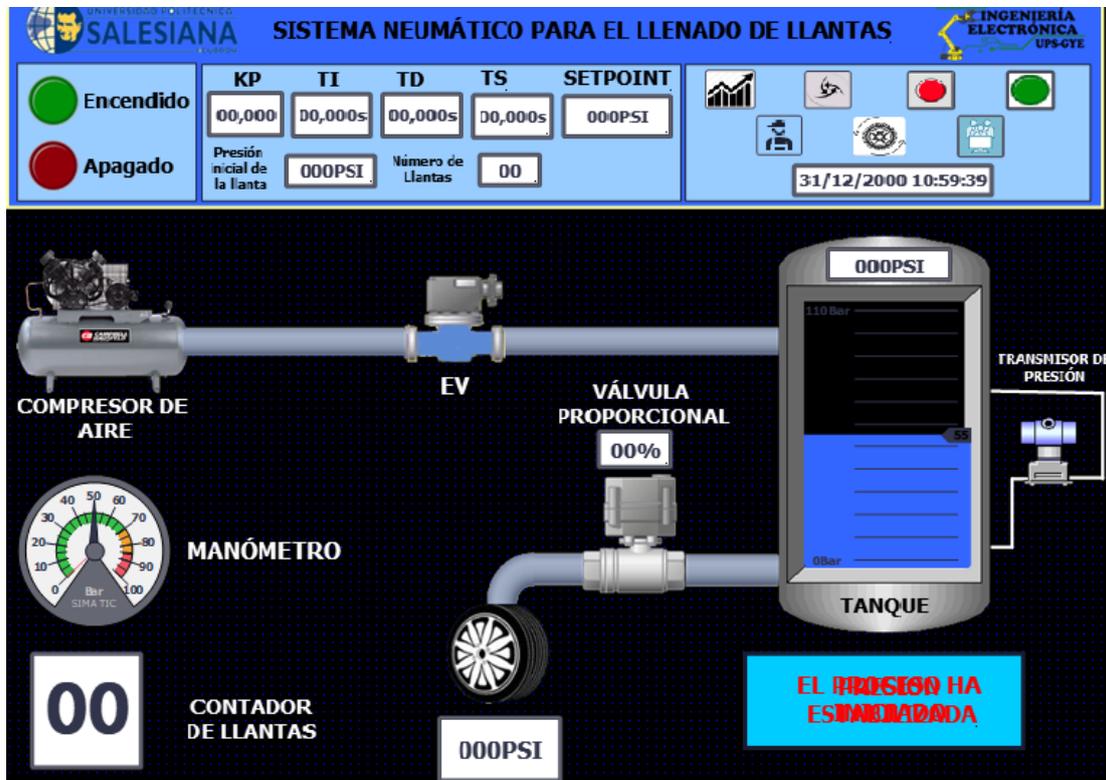


Figura 226. Pantalla HMI\_RT de la práctica #2 en el SCADA

Primero se configuran los botones de la misma manera que en la anterior pantalla, los botones de derecha a izquierda son “Marcha”, “Paro”, “cambio de scada” y “Gráficas” y más abajo se encuentran los botones “Modo automático”, “Cambio de llanta” y “Modo manual”. La configuración correspondiente a cada uno se detalla a continuación.

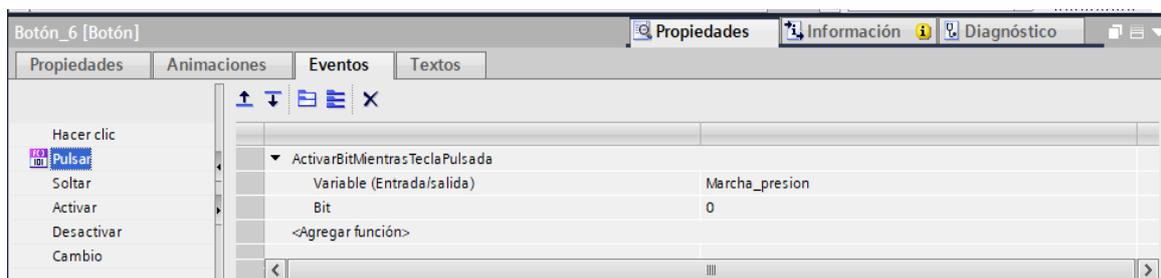


Figura 227. Configuración del botón de marcha

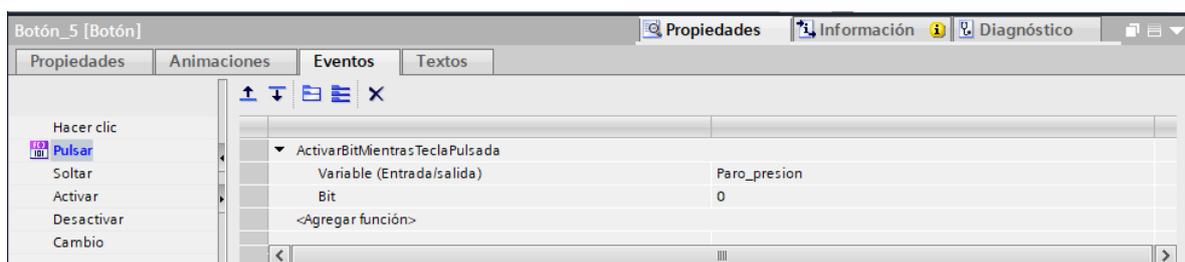


Figura 228. Configuración del botón de paro

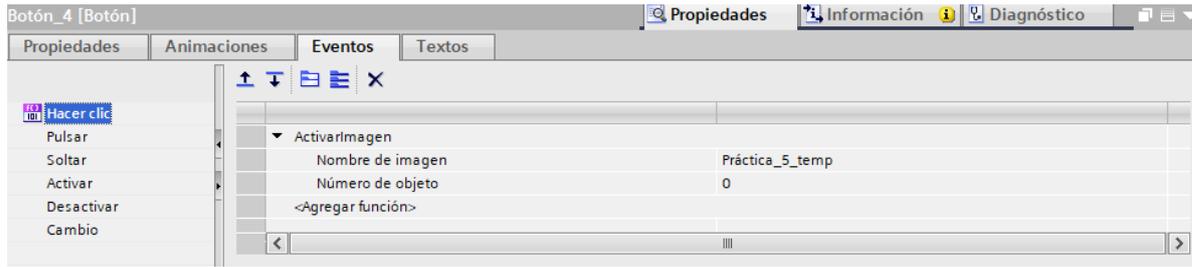


Figura 229. Configuración del botón “cambio de scada”

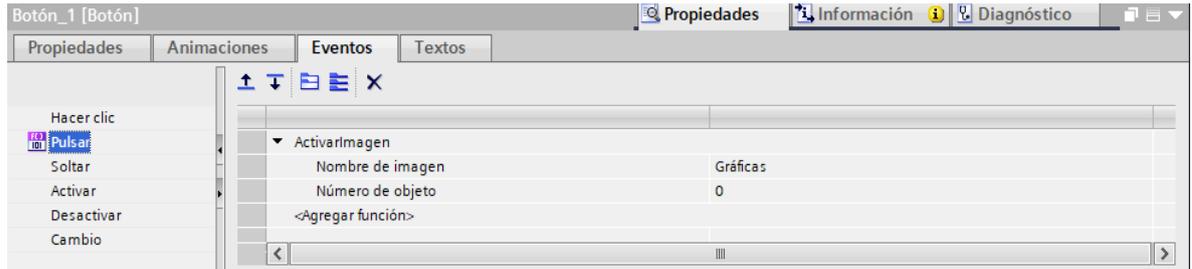


Figura 230. Configuración del botón de gráficas

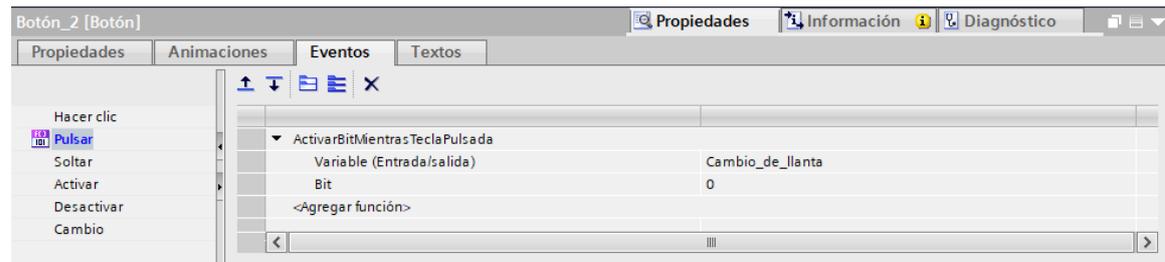


Figura 231. Configuración del botón de “Cambio de llanta”

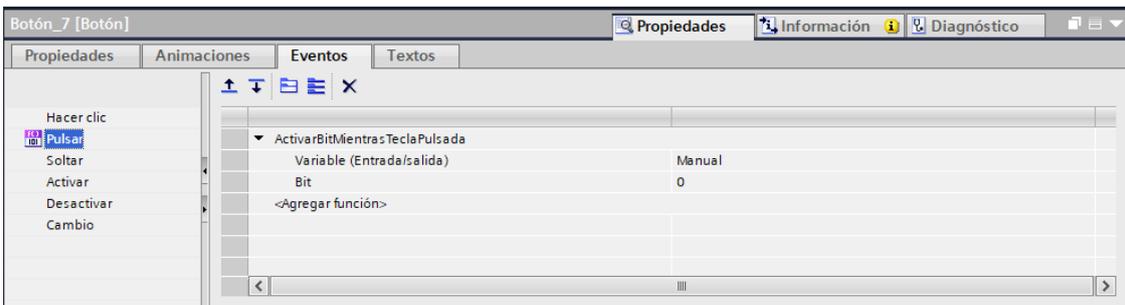


Figura 232. Configuración del botón para el modo “manual”

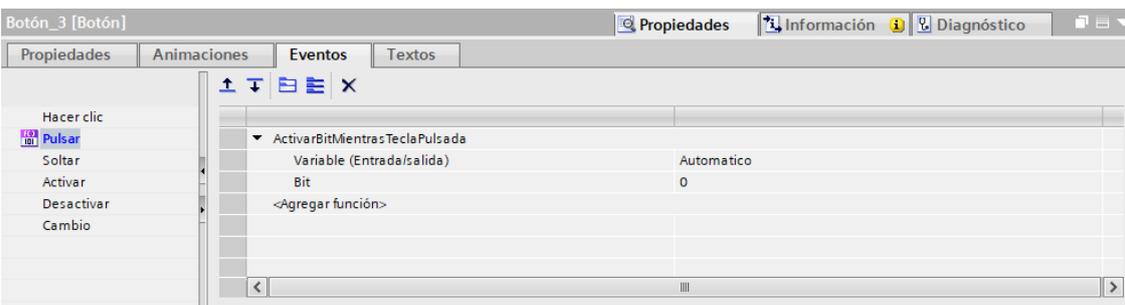


Figura 233. Configuración del botón para el modo automático

Al lado de todos estos botones se encuentran pantallas (Campo E/S) una de ellas es para ingresar la presión que se desea tener y las otras pantallas muestran los valores usados por el controlador para controlar este sistema, para su configuración véase las figuras 104 y 105. Y por último para la configuración de las luces “Encendido” y “Apagado” se configuran de la siguiente manera:

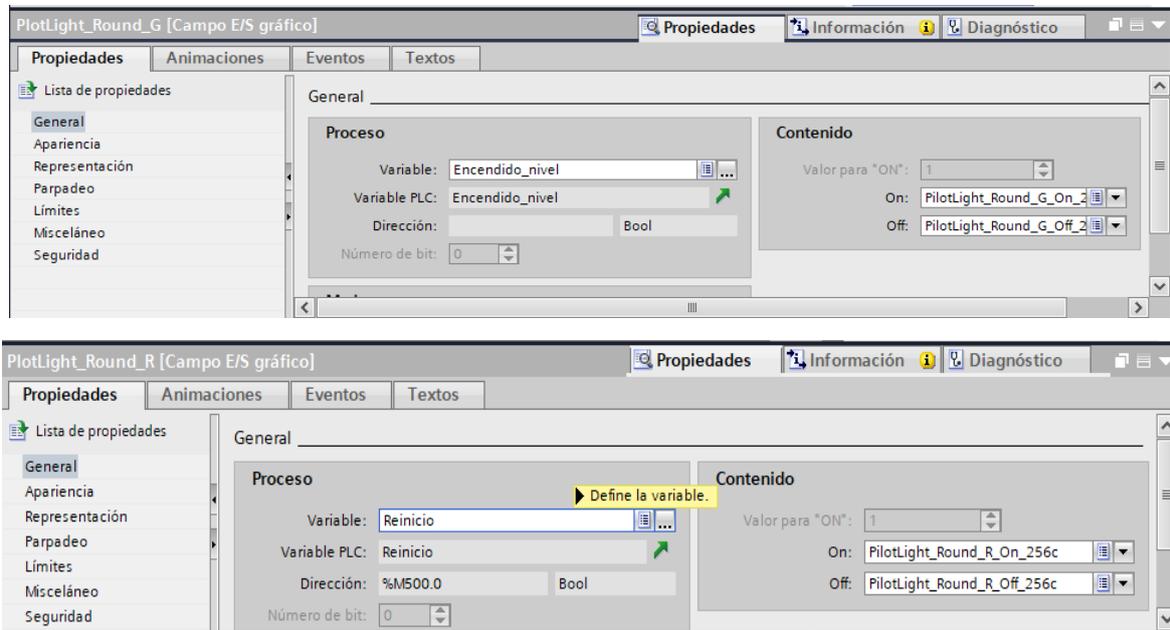


Figura 234. Configuración de las luces “Encendido” y “Apagado”

Para el manómetro su configuración es la siguiente:

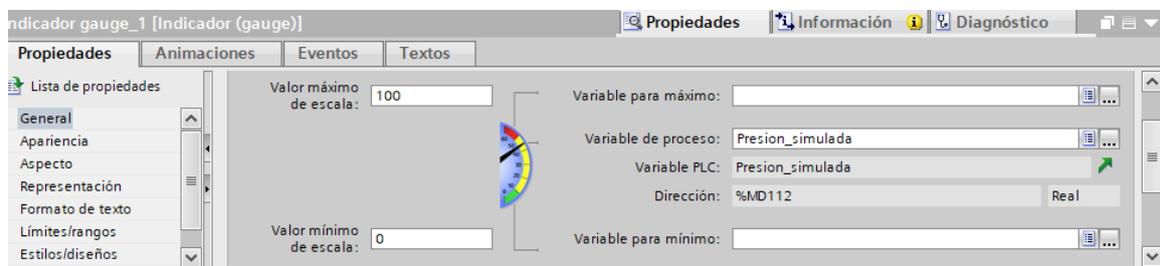


Figura 235. Configuración del manómetro.

Para el resto de animaciones que se encuentran dentro de este scada se debe seguir los pasos descritos en las figuras 105, 106, 107, 108, 109, 110 y 116.

Y para culminar esta práctica, se agrega una nueva imagen, esta imagen es para las gráficas del comportamiento de la variable en cada proceso con respecto al Setpoint.



Figura 236. Pantalla HMI\_RT para las gráficas de las prácticas #2 y #3

Para aquello se agregan 2 visores de curva y un botón por cada visor para poder regresar a la práctica que rija dicha curva. La configuración de los visores se da a continuación:

Visor de curvas\_1 [Visor de curvas]

Propiedades Animaciones Eventos Textos

Lista de propiedades

Curva

Nombre	Estilo	Valores ...	Tipo Curva	Configuración del origen	Página	Límites
Curva_1		999	Tiempo re...	[Valor_temperatura]	Izqui...	
Curva_2		999	Tiempo real c...	[Temperatura_simulada]	Izquierda	
-<Agregar>						

Figura 237. Configuración del visor de curva para la práctica #3

Visor de curvas\_2 [Visor de curvas]

Propiedades Animaciones Eventos Textos

Lista de propiedades

Curva

Nombre	Estilo	Valores ...	Tipo Curva	Configuración del origen	Página	Límites
Curva_1		999	Tiempo re...	[Valor_press]	Izqui...	
Curva_2		999	Tiempo real c...	[Presion_simulada]	Izquierda	
-<Agregar>						

Figura 238. Configuración del visor de curva para la práctica #2

Para los botones al lado de cada visor de gráfica su configuración es la siguiente:

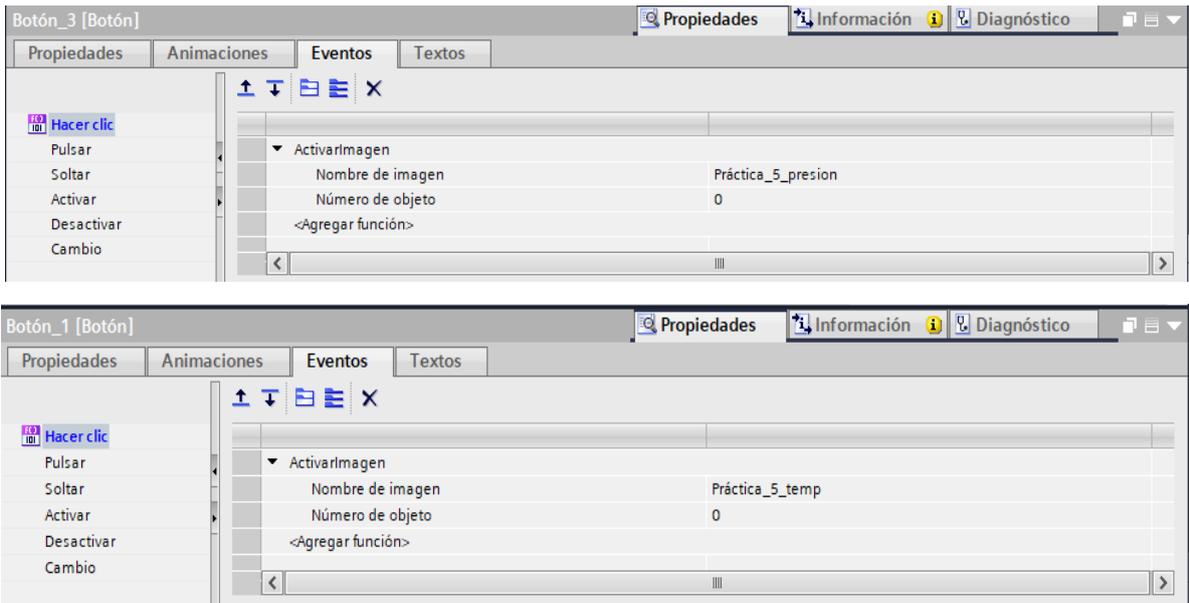


Figura 239. Configuración de los botones “cambio de scada” para las prácticas #2 y #3

