



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SIMULACIÓN DEL PROCESO DE ENVASADO DE LECHE MEDIANTE PLC,
PANTALLA HMI Y PLATAFORMA IOT.

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Electrónico

AUTORES: José Alfredo Paramo Flores
Cristhian Xavier López Sabando

TUTOR: Ing. Vicente Avelino Peñaranda Idrovo Msc.

Guayaquil – Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, José Alfredo Paramo Flores con documento de identificación N° 0941477861 y Cristhian Xavier López Sabando con documento de identificación N° 0957855778; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 15 de agosto del año 2023

Atentamente,



José Alfredo Paramo Flores

C.I: 0941477861



Cristhian Xavier López Sabando

C.I: 0957855778

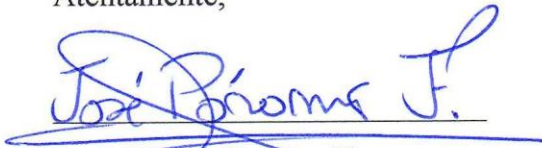
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, con documento de identificación N° 0941477861 y con documento de identificación N° 0957855778, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “SIMULACIÓN DEL PROCESO DE ENVASADO DE LECHE MEDIANTE PLC, PANTALLA HMI Y PLATAFORMA IOT”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros electrónicos , en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de agosto del año 2023

Atentamente,



José Alfredo Paramo Flores

C.I: 0941477861



Cristhian Xavier López Sabando

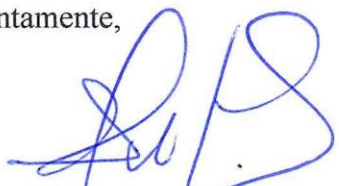
C.I: 0957855778

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. Vicente Avelino Peñaranda, Msc con documento de identificación N° 0916113426, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “SIMULACIÓN DEL PROCESO DE ENVASADO DE LECHE MEDIANTE PLC, PANTALLA HMI Y PLATAFORMA IOT”, realizado por José Alfredo Paramo Flores con documento de identificación N° 0941477861 y Cristhian Xavier López Sabando con documento de identificación N° 0957855778, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de agosto del año 2023

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'V. Peñaranda', written over a horizontal line.

Ing. Vicente Avelino Peñaranda, Msc

C.I 0916113426

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a Dios por estar siempre con nosotros cuidándonos y obrando para que todo salga bien en este largo camino que hemos seguido, nuestra larga vida universitaria.

Agradecido totalmente con mis padres por todo el esfuerzo y dedicación que pusieron para que yo tenga una buena educación y pueda ser todo un profesional, a mi familia ya que siempre estuvieron conmigo en las buenas y malas dándome ese apoyo incondicional en momentos que a lo mejor parecía imposible lograr mis metas, por reprenderme en momentos en los que quise tirar la toalla y no seguir; Agradecer a mis verdaderos amigos por brindarme su apoyo y aconsejarme en momentos duros.

Todos y cada uno de ustedes me ayudaron a lo largo de mi vida universitaria, gracias a todos estoy donde estoy, muchas gracias querida familia, queridos amigos por estar siempre conmigo.

DEDICATORIA

Dedico con todo orgullo mi tesis a Dios, a mi familia por darme su apoyo incondicional y a todas aquellas personas que estuvieron dando ánimos y luchando arduamente para lograr terminar mi trabajo de titulación. Sin ellos no podría haber culminado mi carrera universitaria, por eso dedico este trabajo a todos ellos que se preocuparon por nosotros.

A la Universidad Politécnica Salesiana y a sus docentes por convertirme en un profesional apto que pueda desempeñarse de forma correcta y con honestidad en el mundo laboral.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	2
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	3
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	4
AGRADECIMIENTO	5
DEDICATORIA	6
ÍNDICE GENERAL	7
ÍNDICE DE FIGURAS	15
ÍNDICE DE TABLAS	18
RESUMEN	19
ABSTRACT	20
Introducción.....	1
1. Planteamiento del Problema	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Innovación	3
1.2.1. Importancia.....	3
1.2.2. Alcance	3
1.3. Justificación	3
1.4. Delimitación	4
1.4.1. Delimitación Temporal.....	4
1.4.2. Delimitación Espacial.....	4
1.4.3. Delimitación Académica	5
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo General	5

1.5.2. Objetivos Específicos	5
1.6. Hipótesis	6
2. Marco teórico referencial.....	6
2.1. Leche	6
2.1.1. Definición.....	6
2.1.2. Obtención	6
2.1.3. Tratamiento térmico UHT	7
2.1.4. Procesos de tratamiento de la leche.....	7
2.2. Tipos de envases	8
2.3. Envases UHT	9
2.4. Envases multicapa	10
Figura 1. Capas de los envases TetraPak (Tetra Pak, 2018)	10
2.5. Redes de Comunicaciones Industriales	11
2.6. Industria 4.0	11
2.7. Pirámide de Automatización	11
Figura 2. Pirámide de automatización. (microautomacion, 2021).....	12
2.8. Redes AS-Interface	13
Figura 3. Red AS-Interface. (cursosaula21, n.d.)	13
2.9. TIA Portal	13
2.10. PLC SIM Advanced.....	13
Figura 4. Panel de control de PLCSIM advanced.....	14
Figura 5. Panel de control para la creación de instancia PLC.....	14
2.11. Programación PLC.....	14
Figura 6. Primeros pasos TIA PORTAL V16.....	15
2.12. Sistemas SCADA.....	16
Figura 7. Representación de un sistema scada.	16

2.13.	Pantalla HMI.....	16
Figura 8.	Pantalla HMI.....	17
2.14.	Internet de las cosas (IoT).....	17
2.14.1.	Node-RED: Arquitectura.....	18
Figura 9.	Arquitectura Node-RED. (médium,2021).....	18
2.14.1.1.	Flujos	18
Figura 10.	Interfaz Node-RED (Flujo)	19
2.14.1.2.	Nodos.....	19
2.14.1.3.	Paleta de nodos	19
Figura 11.	Menú de librerías Node-RED	19
Figura 12.	Menu Palette (Librerías).....	20
2.14.1.4.	Librerías de configuración.....	20
2.14.1.4.1.	SNAP 7	20
Figura 13.	Librería SNAP 7.	21
2.14.1.4.2.	S7 Endpoint (Nodo de Configuración).....	21
Figura 14.	Configuración S7 endpoint. (Francescon, 2016)	22
2.14.1.4.3.	S7 In (Nodo de Entrada)	22
Figura 15.	Nodo S7 IN.....	22
2.14.1.4.4.	S7 Out (Nodo de Salida).....	23
Figura 16.	Nodo S7 Out.	23
2.14.1.4.5.	Direccionamiento de variables.....	23
Figura 16.	Direccionamiento y equivalencias de variables.....	23
2.14.1.5.	UBIDOTS	24
2.14.1.5.1.	Nodo Ubidots In (Suscripción)	24
Figura 17.	Nodo Ubidots IN.....	24
2.14.1.5.2.	Nodo Ubidots Out (Publicación).....	24

Figura 18. Nodo Ubidots OUT.	24
2.15. Ubidots	24
2.15.1. Crear Proyecto	25
Figura 19. Plataforma Ubidots	25
2.15.2. TOKEN	25
Figura 20. Perfil Ubidots	26
Figura 21. TOKEN	26
2.15.3. Dashboard	26
Figura 22. Crear Dashboard	26
Figura 23. Dashboard Ubidots	27
3. Marco metodológico	27
3.1. Diseño del sistema de envasado	27
3.1.1. Diagrama de bloques del proceso	27
Figura 24. Diagrama de bloques envasado	28
3.2. Programación del PLC	28
3.2.1. Práctica 1: Configuración de parámetros para el enlace entre TIA Portal y Node-RED	28
3.2.1.1. Paso 1: Configuración PLC SIM advance	28
Figura 25. Configuración PLC sim advance	29
3.2.1.2. Paso 2: Configurar propiedades del controlador	29
Figura 26. Propiedades PLC	29
Figura 27. Configuración de propiedades	30
Figura 28. Cargar firmware en controlador	30
Figura 29. Detalles de la red	31
3.2.2. Práctica 2: Configuración de parámetros para el enlace entre Node-RED y Ubidots	31

3.2.2.1. Paso 1: Ejecutar Node-RED	31
Figura 30. Node-RED.....	31
Figura 31. Interfaz Node-RED	32
3.2.2.2. Paso 2: Configuración de Endpoint	32
Figura 32. Endpoint.	32
3.2.2.3. Paso 3: Configuración de variables	32
Figura 33. Configuración de variables	33
3.2.2.4. Paso 4: Configuración nodos Ubidots	33
Figura 34. Nodo Ubidots out.	33
Figura 35. Configuración nodo Ubidots	34
3.2.3. Práctica 3: Proceso de llenado.....	34
3.2.3.1. HMI: Llenado Botella.....	34
Figura 36. Etapa de llenado.....	34
3.2.3.2. Programación PLC: Inicio del sistema	35
Figura 37. Programación Inicio	35
Figura 38. Secuencia Llenado de botella.....	36
Figura 39. Cambio de variable.....	37
Figura 40. Reset variables	38
Figura 41. Ajuste de número de botella.	38
Figura 42. Reductor de nivel.....	39
Figura 43. Contador de botella.	39
Figura 44. Reductor depósito de leche	40
Figura 45. Contadores de animación.....	41
3.2.4. Práctica 4: Proceso de tapado	42
3.2.4.1.1. HMI: Tapado de la botella	42
Figura 46. Diseño Tapado de botella.	42

Figura 47. Secuencia de tapado.....	42
Figura 48. Secuencia tapado parte 2.....	43
Figura 49. Reset Etapa 2.....	44
Figura 50. Tapado parte 3.	44
Figura 51. Sellado de botella parte final	45
3.2.5. Práctica 5: Proceso de etiquetado y empaquetado.....	46
3.2.5.1. HMI: Etiquetado de botella	46
Figura 52. Etiquetado de botella.....	46
Figura 53. Proceso de etiquetado parte 1.....	46
Figura 54. Proceso de etiquetado parte 2.....	47
Figura 55. Reiniciar variables	48
Figura 56. Etiquetado y empaquetado de la botella.....	49
Figura 57. almacenamiento de la botella.....	50
3.3. HMI	51
3.3.1. Pantalla principal.....	51
Figura 58. Pantalla principal.....	51
3.3.2. Tabla de direccionamiento HMI	51
Tabla 2. Tabla de dirección HMI.....	52
3.3.3. Mensajes de alarma	52
Figura 59. Programación de PLC para mensajes y alertas.....	52
Figura 60. Programación de PLC para mensajes y alertas.....	53
Figura 61. Programación PLC mensajes	53
Figura 62. Programación PLC mensajes	54
3.3.4. Reinicio del ciclo automático	54
Figura 63. Segmento de reinicio de ciclo	54
3.4. Programación Node-RED.....	54

3.4.1. Flujo	54
Figura 64. Interfaz principal Node-RED	55
3.4.2. Nodos de lectura	55
Figura 65. Nodos de lectura Node-RED	55
3.4.3. Nodos de escritura	55
Figura 66. Variables de escritura.....	56
3.5. Programación Ubidots	56
3.5.1. Variables.....	56
Figura 67. Variables Ubidots.....	56
3.5.2. Dashboard.....	57
Figura 68. Dashboard final del proyecto.....	57
3.5.3. Widgets.....	57
3.5.3.1. Metrics	57
Figura 69. Widgets Metrics de Ubidots	58
3.5.3.2. Control	58
Figura 70. Widgets de control	58
4. RESULTADOS.....	59
4.1. Análisis de Variables	59
4.1.1. Variables de entrada	59
Figura 71. Widgets de entrada.....	60
4.1.1.1. Análisis variable de número de botellas	60
Figura 72. Gráfica de la variable setbotella.....	60
4.1.1.2. Análisis del nivel del depósito de leche.....	62
4.2. Variables de salida.....	63
Figura 74. Widgets variables de salida.....	63
Figura 75. Nivel de depósito de leche.....	63

4.2.1.1. Análisis de la variable conteo de botella	64
Figura 76. Variable conteo de botella.....	64
4.2.1.2. Análisis de la variable lote.....	65
Figura 77. Gráfico de la variable lote.....	65
4.2.1.3. Análisis de la variable tanque.....	66
Figura 78. Variable tanque.....	66
5. Conclusiones	67
6. Recomendaciones	68
BIBLIOGRAFÍA	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Capas de los envases TetraPak (Tetra Pak, 2018)	10
Figura 2. Pirámide de automatización. (microautomacion, 2021)	12
Figura 3. Red AS-Interface. (cursosaula21, n.d.)	13
Figura 4. Panel de control de PLCSIM advanced.	14
Figura 5. Panel de control para la creación de instancia PLC.	14
Figura 6. Primeros pasos TIA PORTAL V16	15
Figura 7. Representación de un sistema scada	16
Figura 8. Pantalla HMI.....	17
Figura 9. Arquitectura Node-RED. (médium,2021).....	18
Figura 10. Interfaz Node-RED (Flujo)	19
Figura 11. Menú de librerías Node-RED	19
Figura 12. Menu Palette (Librerías)	20
Figura 13. Librería SNAP 7.	21
Figura 14. Configuración S7 endpoint. (Francescon, 2016)	22
Figura 15. Nodo S7 IN	22
Figura 16. Nodo S7 Out	23
Figura 17. Nodo Ubidots IN.....	24
Figura 18. Nodo Ubidots OUT.....	24
Figura 19. Plataforma Ubidots	25
Figura 20. Perfil Ubidots	26
Figura 21. TOKEN	26
Figura 22. Crear Dashboard.	26
Figura 23. Dashboard Ubidots.....	27
Figura 24. Diagrama de bloques envasado.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 25. Configuración PLC sim advance	29
Figura 26. Propiedades PLC.....	29
Figura 27. Configuración de propiedades	30
Figura 28. Cargar firmware en controlador.....	30
Figura 29. Detalles de la red.....	31
Figura 30. Node-RED.....	31
Figura 31. Interfaz Node-RED	32

Figura 32. Endpoint.....	32
Figura 33. Configuración de variables	33
Figura 34. Nodo Ubidots out.....	33
Figura 35. Configuración nodo Ubidots.....	34
Figura 36. Etapa de llenado.....	34
Figura 37. Programación Inicio.....	35
Figura 38. Secuencia Llenado de botella	36
Figura 39. Cambio de variable	37
Figura 40. Reset variables	38
Figura 41. Ajuste de número de botella	38
Figura 42. Reductor de nivel	39
Figura 43. Contador de botella.....	39
Figura 44. Reductor depósito de leche	40
Figura 45. Contadores de animación.....	41
Figura 46. Diseño Tapado de botella	42
Figura 47. Secuencia de tapado.....	42
Figura 48. Secuencia tapado parte 2.....	43
Figura 49. Reset Etapa 2.	44
Figura 50. Tapado parte 3	44
Figura 51. Sellado de botella parte final	45
Figura 52. Etiquetado de botella	46
Figura 53. Proceso de etiquetado parte 1.	46
Figura 54. Proceso de etiquetado parte 2.	47
Figura 55. Reiniciar variables	48
Figura 56. Etiquetado y empaquetado de la botella	49
Figura 57. almacenamiento de la botella.....	50
Figura 58. Pantalla principal	51
Figura 59. Programación de PLC para mensajes y alertas	52
Figura 60. Programación de PLC para mensajes y alertas	53
Figura 61. Programación PLC mensajes	53
Figura 62. Programación PLC mensajes	54
Figura 63. Segmento de reinicio de ciclo.....	54

Figura 64. Interfaz principal Node-RED	55
Figura 65. Nodos de lectura Node-RED	55
Figura 66. Variables de escritura.....	56
Figura 67. Variables Ubidots	56
Figura 68. Dashboard final del proyecto	57
Figura 69. Widgets Metrics de Ubidots.....	58
Figura 70. Widgets de control	58
Figura 71. Widgets de entrada.....	60
Figura 72. Gráfica de la variable setbotella.....	60
Figura 73. Nivel de depósito de leche	62
Figura 74. Widgets variables de salida.....	63
Figura 75. Nivel de depósito de leche	63
Figura 76. Variable conteo de botella	64
Figura 77. Gráfico de la variable lote.....	65
Figura 78. Variable tanque	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Direccionamiento y equivalencias de variables	23
Tabla 2. Tabla de dirección HMI	52

RESUMEN

Este proyecto se centra en la simulación y control del proceso de envasado de leche mediante la combinación de un Controlador Lógico Programable (PLC), una Interfaz de Usuario Human-Máquina (HMI) y la integración mediante plataformas de Internet de las Cosas (IoT). Su objetivo principal es lograr la automatización y supervisión efectiva de las variables en el proceso de envasado, asegurando la precisión, calidad y eficiencia de la operación, al mismo tiempo que se previenen acciones innecesarias en la maquinaria.

La competencia creciente centrada en la calidad del producto, la necesidad de adoptar soluciones tecnológicas para gestionar y supervisar de manera eficiente los procesos industriales como el envasado se ha vuelto una necesidad para optimizar recursos. Se emplea un enfoque que integra un PLC para controlar las operaciones, una HMI para permitir la interacción con los operadores y una Plataforma IoT para recopilar y analizar datos en tiempo real.

La elección de estas tecnologías responde a las demandas de la industria, caracterizada por turnos rotativos de producción en los que la productividad es prioritaria. La implementación de este sistema de control y monitoreo en tiempo real garantiza la optimización del rendimiento y la extensión de la vida útil de los equipos, minimizando el desgaste ocasionado por el uso constante. La capacidad de observar el proceso en cada etapa de manera instantánea permite una respuesta temprana ante posibles inconvenientes, mejorando la eficacia y minimizando los tiempos de inactividad.

La integración de la Plataforma IoT ofrece la ventaja de alojar el sistema de envasado en la nube, facilitando la adquisición de datos en tiempo real y su posterior análisis. Esta convergencia con la nube posibilita el monitoreo y control del proceso desde ubicaciones remotas, además de detectar anomalías o desviaciones con prontitud. De igual modo, proporciona una base para implementar mejoras continuas basadas en el análisis de datos recopilados, optimizando la eficiencia global del proceso.

Palabras clave: Controlador Lógico Programable (PLC), proceso de envasado, industria láctea, Plataforma IoT, Interfaz de Usuario Human-Máquina (HMI), automatización, eficiencia, monitoreo en tiempo real.

ABSTRACT

The project focuses on the simulation and control of the milk packaging process by combining a Programmable Logic Controller (PLC), a Human-Machine User Interface (HMI) and integration through Internet of Things (IoT) platforms. Its main objective is to achieve the automation and effective supervision of the variables in the packaging process, ensuring the precision, quality and efficiency of the operation, while preventing unnecessary actions in the machinery.

The growing competition focused on product quality, the need to adopt technological solutions to efficiently manage and supervise industrial processes such as packaging, has become a necessity to optimize resources. An approach is used that integrates a PLC to control operations, an HMI to allow interaction with operators and an IoT Platform to collect and analyze data in real time.

The choice of these technologies responds to the demands of the industry, characterized by rotating production shifts in which productivity is a priority. The implementation of this control and monitoring system in real time guarantees the optimization of the performance and the extension of the useful life of the equipment, minimizing the wear and tear caused by constant use. The ability to instantly observe the process at each stage enables early response to potential issues, improving efficiency and minimizing downtime.

The integration of the IoT Platform offers the advantage of hosting the packaging system in the cloud, facilitating the acquisition of data in real time and its subsequent analysis. This convergence with the cloud allows remote monitoring and control of the process, in addition to promptly detecting anomalies or deviations. Similarly, it provides a basis to implement continuous improvements based on the analysis of data collected, optimizing the overall efficiency of the process.

Keywords: Programmable Logic Controller (PLC), packaging process, dairy industry, IoT Platform, Human-Machine User Interface (HMI), automation, efficiency, real-time monitoring.

Introducción

La industria de procesamiento de alimentos es fundamental para la alimentación del país. Para cualquier producto líquido se requiere de sistemas de envasado que cumplan con los estándares de calidad y seguridad alimentaria. En el caso específico de la leche, es fundamental contar con una técnica de envasado precisa y controlada para preservar su frescura y características organolépticas.

El sistema está formado por un PLC que actuará como dispositivo principal del proceso, coordinando y controlando los diferentes elementos involucrados. Se utilizan sensores para detectar variables clave, como el nivel de llenado de los recipientes y la posición de los envases en cada parte del proceso. Además, se emplean actuadores para realizar acciones, como el accionamiento de las válvulas de envasado y el control de los motores.

La Pantalla HMI sirve como interfaz intuitiva para que los operadores interactúen con el sistema, puedan observar la información en tiempo real y realicen modificaciones si es necesario. Se otorga una representación gráfica detallada del proceso de envasado, que muestra datos relevantes y alarmas.

Además, se envían las variables a una Plataforma IoT que permitirá el monitoreo y control de datos en la nube y recibir notificaciones en caso de condiciones anormales o problemas en el proceso. También se podrán realizar análisis y optimizaciones basadas en los datos recopilados, lo que contribuirá a mejorar la eficiencia y la toma de decisiones.

1. Planteamiento del Problema

1.1. Antecedentes

La producción de leche es un proceso clave en la industria alimentaria para obtener un producto con una vida útil prolongada. El proceso de producción de leche implica varias etapas, como el precalentamiento, la homogeneización, el tratamiento térmico ultra alto, la refrigeración y el envasado aséptico. En general, los líquidos con bajo contenido de ácido necesitan calentarse a una temperatura de 135-150 °C durante varios segundos, mientras que los líquidos con un alto nivel de acidez se deben calentar a una temperatura de 90-95 °C durante 15-30 segundos. La línea de producción de leche puede clasificarse en dos sistemas de calentamiento, directo e indirecto, que incluyen diferentes tipos de intercambiadores de calor.

En este proyecto se busca simular el proceso de la producción de leche mediante la automatización de una de las etapas del proceso utilizando un PLC. El análisis se centra en la etapa de envasado aséptico. En esta etapa, se utilizan el mayor número de sensores y actuadores. La automatización de esta etapa permitiría un mayor control del proceso y un monitoreo en tiempo real del estado del proceso.

Para llevar a cabo esta automatización, se utiliza un PLC y se programa la secuencia de control correspondiente. Además, se diseña una interfaz HMI utilizando WinCC para mostrar el estado del proceso en tiempo real y permitir el monitoreo y control de este. Finalmente, se utiliza la plataforma IOT para enviar los datos recolectados durante el proceso a la nube y permitir un análisis posterior de los mismos. En conjunto, estas mejoras en la automatización de la línea de producción de leche tendrán un gran impacto en la eficiencia y la calidad del proceso, así como en la reducción de costos y la mejora de la productividad.

1.2. Innovación

1.2.1. Importancia

La validez en un proceso industrial es tan importante como la calidad y eso se visualiza en la manera de ejecutar, controlar y monitorear el proceso de envasado; la mejora de la eficiencia, que implica la reducción de tiempos de producción y minimizar desechos; la garantía de la calidad del producto para preservar su frescura. Así como la seguridad alimentaria que gracias al monitoreo constante de las variables del proceso se puede detectar de manera temprana cualquier problema potencial.

1.2.2. Alcance

Las industrias que, utilizando maquinarias para el llenado, etiquetado y separación por lotes de productos alimenticios deben considerar cada una de las situaciones que se puedan presentar en las mismas, sean estas leves o graves ya que al final desencadenan un problema a futuro. Este proyecto abarca el diseño, programación de un sistema de control automatizado para el proceso de envasado de leche, incorporando una pantalla HMI y una plataforma IoT. Esto permite mejorar la eficiencia a través de validación y pruebas del sistema.

1.3. Justificación

La automatización de procesos industriales es un tema de gran importancia y relevancia en el mundo actual. Es por ello por lo que, como comunidad universitaria, se debe estar a la vanguardia en cuanto a las últimas tendencias y tecnologías que se aplican en el mundo laboral real. En este sentido, la realización de proyectos como el presente es fundamental para preparar a los estudiantes de ingeniería y carreras afines, en las competencias necesarias para enfrentar los retos que se presentan en el mundo profesional.

El presente proyecto se enfoca en la automatización de un proceso específico en una línea de producción. La implementación de esta tecnología en la industria puede brindar grandes beneficios como la disminución de tiempos en los mantenimientos preventivos y correctivos, la mejora de la eficiencia del proceso y la reducción de costos operativos.

Además, el realizar este proyecto permitirá a los estudiantes adquirir habilidades en la programación de controladores lógicos programables (PLC) y la utilización de software de supervisión y control de procesos industriales, lo que les será de gran utilidad en su formación académica y en su futuro desempeño profesional.

Por otro lado, se espera que los resultados de este proyecto puedan servir como antecedente y apoyo para futuros trabajos de investigación y aplicación en la industria, por lo que su importancia y relevancia trasciende el ámbito universitario.

Finalmente, se presenta una guía práctica de desarrollo del proyecto, en la cual se detalla paso a paso la metodología, los recursos necesarios y las herramientas tecnológicas utilizadas, de manera que los estudiantes puedan aplicar los conocimientos adquiridos en la construcción de un sistema automatizado de control de procesos industriales.

En cuanto a los recursos necesarios, se requiere de una licencia de software para la programación de PLC, así como de los equipos y herramientas necesarias para la simulación y prueba del sistema. Además, se cuenta con el apoyo de profesores y personal técnico especializado en el área, por lo que se dispone de los recursos humanos necesarios para llevar a cabo el proyecto de manera exitosa.

1.4. Delimitación

1.4.1. Delimitación Temporal

El proyecto técnico se efectúa en un tiempo de seis meses a partir de la fecha de aprobación por los miembros de Consejo de la Carrera de Ingeniería Electrónica.

1.4.2. Delimitación Espacial

El proyecto técnico se realiza en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, para ser específicos en el área del laboratorio de automatización ubicada en el campus centenario.

1.4.3. Delimitación Académica

Para este proyecto se toma como referencia lo aprendido en las materias de Automatización tanto I como II, Redes de computadoras III y taller de comunicaciones.

1.5. Objetivos

A continuación, se presenta los objetivos tanto general del trabajo de titulación como los objetivos específicos que se determinaron para la presente investigación; parte fundamental para el desarrollo y experimentación de este.

1.5.1. Objetivo General

Simular el proceso de envasado de leche mediante PLC, pantalla HMI y plataforma IOT.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Diseñar la secuencia del proceso de envasado de leche en el software de programación TIA PORTAL.
- Vincular las variables de proceso en la pantalla HMI simulada para visualizar y controlar el proceso.
- Integrar la comunicación entre TIA PORTAL y la plataforma IOT para monitoreo y control en tiempo real.
- Generar una guía didáctica con sus respectivos diagramas y programación utilizada en detalle.
- Diseñar 5 prácticas básicas de laboratorio previamente simuladas por software.

1.6. Hipótesis

Con esta propuesta de simulación en el proceso de envasado para una industria láctea se impulsará cambios en los tiempos de producción, la calidad del producto terminado con la implementación de nuevas tendencias, dando como duda las siguientes preguntas: ¿Será que la propuesta de control y monitoreo del proceso de envasado reducirá las fallas imprevistas?, ¿Será que la propuesta del sistema automático con envío de datos a la nube advertirá fallas en tiempo real?

2. Marco teórico referencial

2.1. Leche

2.1.1. Definición

La leche es una sustancia líquida de tonalidad blanca y aspecto opalescente, cuyo color distintivo se atribuye a la interacción de los rayos luminosos con los coloidales suspendidos en su composición. Su naturaleza única y compleja la convierte en una fuente rica de nutrientes y compuestos esenciales para el desarrollo y crecimiento de diversas especies, incluido el ser humano. (Agudelo Gómez, 2005)

Además de su aspecto visual, la leche es reconocida por su papel fundamental en la alimentación y nutrición, ya que proporciona una amplia gama de vitaminas, minerales, proteínas, grasas y carbohidratos. Estos componentes desempeñan un papel vital en el fortalecimiento del sistema inmunológico, el desarrollo óseo, la función cerebral y la regulación metabólica. (Agudelo Gómez, 2005)

2.1.2. Obtención

La obtención de leche es un proceso clave en la industria láctea, que implica el ordeño higiénico y completo de vacas lecheras. Se enfoca en mantener la salud del ganado, practicar la higiene adecuada durante el ordeño y almacenar la leche refrigerada. Posteriormente, se transporta a las plantas de procesamiento para obtener diversos productos lácteos. La calidad y seguridad de la leche obtenida influyen directamente en la calidad de los productos finales para el consumo. (Díaz, 2005)

2.1.3. Tratamiento térmico UHT

El proceso UHT (Ultra High Temperature) es una técnica de tratamiento térmico en el cual la leche es sometida a altas temperaturas, generalmente alrededor de 135-140 °C, por un corto periodo, típicamente de 2 a 5 segundos. Este proceso tiene como objetivo extender significativamente la vida útil del producto sin comprometer sus componentes esenciales, como proteínas y nutrientes. (Abouelnaga, 2016)

Al aplicar altas temperaturas por un tiempo breve, se logra eliminar la mayoría de los microorganismos presentes en la leche, incluyendo bacterias patógenas y enzimas que puedan causar deterioro. Además, esta técnica permite preservar las características organolépticas de la leche y minimizar la degradación de sus nutrientes, manteniendo su valor nutricional. (Abouelnaga, 2016)

Una de las principales ventajas del tratamiento UHT es que la leche puede ser almacenada a temperatura ambiente durante meses, siempre y cuando el envase permanezca intacto y sellado. Esto reduce la necesidad de refrigeración y elimina la adición de conservantes químicos al producto. (Abouelnaga, 2016)

2.1.4. Procesos de tratamiento de la leche

El tratamiento de la leche incluye 3 etapas principales:

a) Pre-esterilización.

La pre-esterilización de la leche consiste en esterilizar las instalaciones y equipos de la planta con agua caliente, a la misma temperatura que se tratará la leche. Este proceso dura aproximadamente 30 minutos y se realiza antes de iniciar la producción para evitar la reinfeción del producto tratado. Este proceso garantiza un ambiente aséptico y la ausencia de microorganismos dañinos, asegurando la calidad y seguridad del producto lácteo durante todo el proceso de envasado y almacenamiento. (Sanchez-Leger, 2019)

b) Limpieza aséptica intermedia.

La limpieza aséptica intermedia (AIC) es una etapa importante en el tratamiento UHT de la leche cuando se utilizan plantas de producción durante períodos prolongados. Esta técnica permite realizar una limpieza rápida y eficiente en aproximadamente 30 minutos, sin

comprometer las condiciones asépticas. La limpieza AIC no requiere pre-esterilización posterior y ahorra tiempo, lo que permite ciclos de producción más largos y reducción de tiempos muertos. Además, después de cada ciclo de producción, se lleva a cabo una limpieza completa CIP, que dura de 70 a 90 minutos, asegurando la higiene adecuada de las instalaciones. (Sanchez-Leger, 2019)

c) CIP.

El ciclo CIP (Cleaning in Place) de las plantas de producción de leche, ya sean UHT directas o indirectas, involucra una secuencia automatizada de pasos para asegurar una limpieza eficiente. Este proceso consta de pre-enjuague, limpieza con soda, enjuague con agua caliente, limpieza con un agente ácido y un enjuague final. Todo esto se lleva a cabo siguiendo un programa preestablecido de temperaturas y tiempos. (Paredes Verástegui & Reynoso Espinoza, 2016)

Es esencial optimizar el programa CIP según las condiciones específicas de cada industria láctea, ya que los requerimientos pueden variar. La eficacia de este proceso asegura la higiene adecuada de las instalaciones y equipos, evitando la contaminación cruzada y garantizando la calidad y seguridad del producto lácteo final. (Barrera Palacios, 2019)

Para lograr una limpieza óptima, es crucial mantener un control riguroso de las temperaturas y tiempos establecidos en el programa CIP. De esta manera, se pueden eliminar eficazmente los residuos y microorganismos que puedan acumularse durante la producción, evitando cualquier riesgo para la salud y manteniendo altos estándares de calidad en el procesamiento de la leche. (Paredes Verástegui & Reynoso Espinoza, 2016)

2.2. Tipos de envases

Para el envasado de la leche se puede encontrar diferentes tipos de envases que deben tener una característica principal: preservar el producto desde su envasado hasta su consumo por el cliente, es decir, su misión es mantener la calidad y seguridad del producto durante el transporte, almacenamiento, distribución y exhibición, garantizando que llegue en óptimas condiciones al consumidor final. (Paredes Verástegui & Reynoso Espinoza, 2016)

En el proceso de envasado aséptico de la leche UHT se tiene como materia prima la leche UHT con una temperatura de 24~25 °C antes de comenzar con el proceso y al finalizar pasa al proceso de almacenamiento. (Sandoval Lope & Sencie Casal, 2021)

2.3. Envases UHT

Partiendo de la tecnología UHT, existen varios requisitos que se deben tener en cuenta para un envase de productos con este tipo de almacenamiento. (Paredes Verástegui & Reynoso Espinoza, 2016)

A continuación, se mencionan los requisitos principales para el envasado UHT:

- **Resistencia mecánica a la tracción:** Determina la cantidad de material plástico necesaria para formar la pared del envase.
- **Resistencia mecánica a la perforación:** El material del envase debe ser resistente ante formas agudas o cortantes de ciertos productos envasados, cediendo elásticamente ante la perforación sin romperse.
- **Resistencia mecánica a bajas temperaturas:** El envase debe mantener su integridad y propiedades en productos refrigerados o congelados para preservar adecuadamente el contenido.
- **Barrera:** El envase debe proporcionar bajas permeabilidades a gases, vapores, oxígeno, luz y aromas, para proteger adecuadamente el contenido del envase.
- **Sellabilidad:** Los envases flexibles deben cerrarse, generalmente mediante termosellado, donde las capas se fusionan formando una sola capa para mantener el producto contenido.
- **Imprimibilidad:** El envase debe permitir la reproducción precisa y atractiva de gráficos, texto y figuras para promocionar y describir el producto de manera efectiva.
- **Durabilidad:** Los materiales del envase, como los plásticos, deben ser inertes ante la mayoría de los agentes ambientales, excepto los rayos ultravioletas, para mantener la integridad del producto envasado.
- **Costo:** El costo del envase es un factor importante para la elección entre diferentes tipos de envases, y los materiales extruidos con alta barrera, propiedades mecánicas y de sellado prolongan la vida útil del producto envasado. (Paredes Verástegui & Reynoso Espinoza, 2016)

2.4. Envases multicapa

Los envases multicapa en la caja han revolucionado la industria del envasado al proporcionar una solución avanzada para proteger y conservar una amplia variedad de productos. Estos envases están diseñados con una combinación de distintas capas, cada una con funciones específicas, que trabajan en sinergia para salvaguardar los alimentos y líquidos envasados de los efectos perjudiciales del medio externo. (Pérez González & Doncón Morocho, 2022)

Tetra Pak como se puede observar en la figura 1 es un envase innovador compuesto de cartón plástico y láminas de aluminio, ideal para líquidos no gaseosos. Aunque puede deformarse, es altamente resistente a roturas, hermético, liviano y de fácil almacenamiento. Esta marca registrada tiene su origen en Suecia y su nombre proviene de "tetra", que en griego significa cuatro, haciendo referencia a las cuatro caras del envase. (Tetra Pak, 2018)



Figura 1. Capas de los envases TetraPak (Tetra Pak, 2018)

1. Polietileno (Primera capa): Protege el envase de la humedad exterior.
2. Papel (Segunda capa): Brinda resistencia y estabilidad al envase.
3. Polietileno (Tercera capa): Proporciona adherencia, asegurando las capas de papel y aluminio.
4. Aluminio (Cuarta capa): Evita la entrada de oxígeno, luz y pérdida de aromas al producto contenido.
5. Polietileno (Quinta capa): Previene el contacto directo del alimento con el aluminio.

6. Polietileno (Sexta capa): Garantiza una protección completa del alimento contenido en el envase.

Esta combinación de capas asegura que los alimentos envasados estén resguardados de factores externos, como la humedad, luz, oxígeno y contaminantes, lo que prolonga su vida útil y mantiene su frescura y calidad hasta el momento del consumo.

2.5. Redes de Comunicaciones Industriales

Las redes industriales son protocolos de comunicación que permiten que los instrumentos y procesos de una planta industrial se comuniquen entre sí en una plataforma compartida. Estas redes están especialmente diseñadas para garantizar un control en tiempo real y asegurar la integridad de los datos, incluso en entornos difíciles. Su función es facilitar la interconexión y comunicación efectiva de todos los elementos involucrados en el proceso industrial. (Garrell, 2019)

2.6. Industria 4.0

La Industria 4.0, conocida como la cuarta revolución industrial, representa un enfoque moderno que busca establecer fábricas altamente inteligentes. Se trata de una transformación radical en la organización de los medios productivos, con el objetivo primordial de lograr una eficiencia sin precedentes. Esta revolución se basa en la integración de tecnologías avanzadas, como la Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial y el análisis de datos, para optimizar los procesos industriales y maximizar la productividad. En esencia, Industria 4.0 es una evolución disruptiva que promete impulsar el crecimiento y la competitividad de las empresas mediante la creación de entornos fabriles más inteligentes y conectados. (Garrell, 2019)

2.7. Pirámide de Automatización

Los niveles de la pirámide de automatización se conectan mediante distintos protocolos de comunicación, también conocidos como lenguajes de comunicación (microautomacion, 2021). Estos protocolos se adaptan a las necesidades de cada nivel en términos de cantidad de datos y velocidad de transmisión. Algunos de los protocolos más utilizados en la industria incluyen Profibus DP, Devicenet, Modbus, Can Open, AS-i, Ethernet/IP y Modbus TCP/IP. Esta estructura permite controlar y supervisar sistemas de automatización de diferentes tamaños, lo que a su vez reduce los tiempos de mantenimiento y mejora los niveles de

productividad. En la figura 2 se observa los niveles de la pirámide de automatización: (López, 2021)

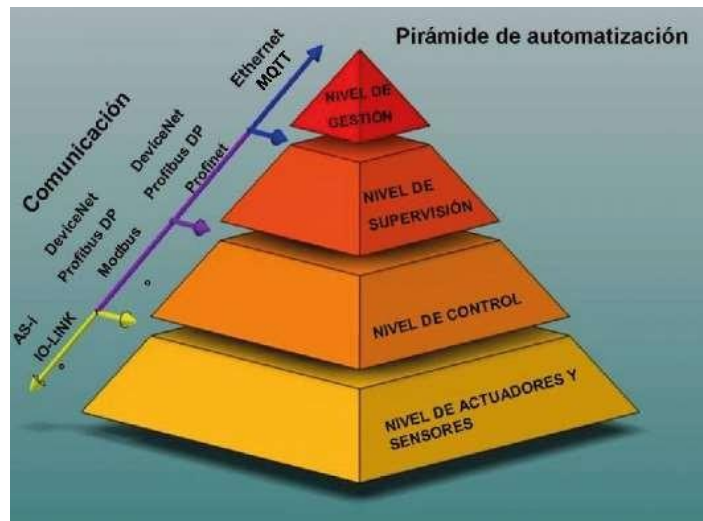


Figura 2. Pirámide de automatización. (microautomacion, 2021)

1. Nivel de campo: En este nivel se encuentran los sensores y actuadores que interactúan directamente con el proceso físico. En esta capa se suelen utilizar protocolos como, PROFINET, DeviceNet y AS-Interface. (López, 2021)

2. Nivel de control: Aquí es donde se encuentra la lógica de control y supervisión del sistema. En este nivel se utilizan controladores programables como los PLC (Controladores Lógicos Programables) para controlar y supervisar el proceso. Los protocolos de red comunes utilizados en este nivel incluyen PROFINET, Modbus, Ethernet/IP y EtherCAT. (López, 2021)

3. Nivel de supervisión: En este nivel se lleva a cabo la visualización y supervisión del sistema de automatización. Aquí se encuentran los sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) y los HMI (Interfaces de Usuario de Máquina). Algunos de los protocolos de red utilizados en este nivel son OPC (OLE for Process Control), MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) y SNMP (Simple Network Management Protocol). (López, 2021)

4. Nivel de gestión: En este nivel se realiza la planificación y gestión del sistema de automatización en su conjunto. Aquí se encuentran los sistemas MES (Manufacturing Execution System) y ERP (Enterprise Resource Planning). Los protocolos de red utilizados en este nivel incluyen OPC-UA (OPC Unified Architecture) y RESTful APIs (Application Programming Interfaces). (López, 2021)

2.8. Redes AS-Interface

Esta tecnología ha sido desarrollada para funcionar con dispositivos sencillos ON/OFF. Esto incluye, por ejemplo, actuadores, sensores, codificadores y pulsadores en la industria manufacturera (cursosaula21, n.d.).

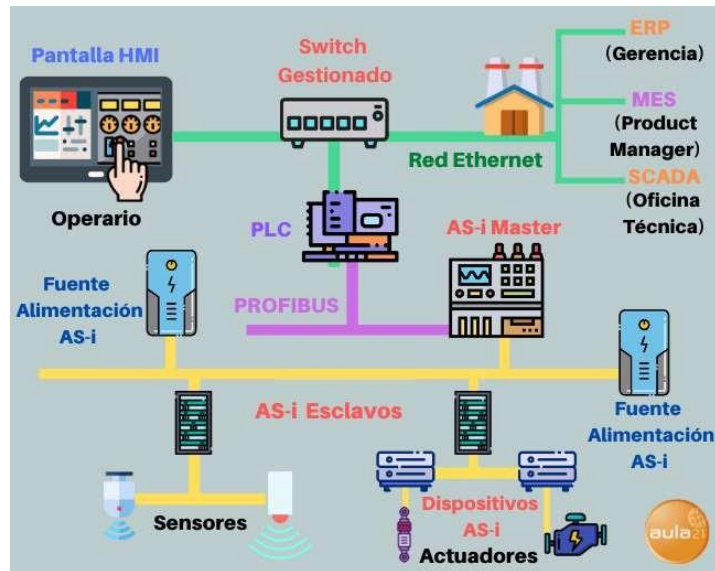


Figura 3. Red AS-Interface. (cursosaula21, n.d.)

2.9. TIA Portal

Se empleó la plataforma de desarrollo TIA Portal V16 de Siemens para la simulación del sistema de monitoreo y control. Esta herramienta de ingeniería permite desarrollar la programación del controlador PLC S7 1500, la configuración de paneles HMI, así como el establecimiento de comunicación con el analizador de red. Además, permite la conexión a través de su servidor web y, de manera integrada, con el Sistema SCADA. (Obregón Gutiérrez & Moreno Balladares, 2022).

2.10. PLC SIM Advanced

Se hace uso del entorno de simulación virtual llamado PLCSIM advanced 3.0 que permite crear controladores virtuales de manera local conectando PLCs al puerto ethernet físico del computador o mediante creación de instancias realizadas a través del protocolo TCP/IP tal como se observa en la figura 4. (Obregón Gutiérrez & Moreno Balladares, 2022)

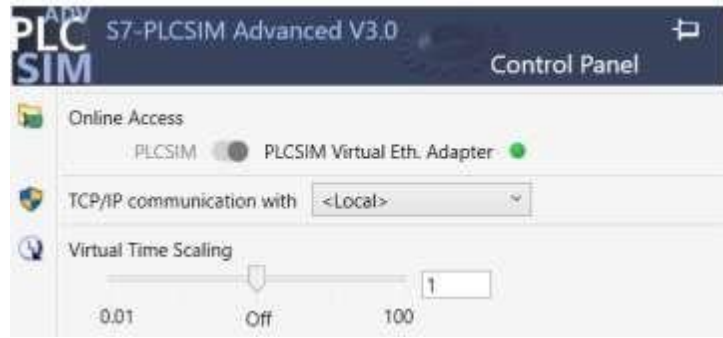


Figura 4. Panel de control de PLCSIM advanced.

Luego se realiza la configuración para la creación de la instancia “TESIS-PARAMO-LOPEZ” usando el direccionamiento IP idéntico al configurado software de programación TIA PORTAL tal como se aprecia en la figura 5.



Figura 5. Panel de control para la creación de instancia PLC.

2.11. Programación PLC

El sistema de control y monitoreo en tiempo real se diseñó y configuró mediante el software de desarrollo TIA Portal V16, creada por Siemens. Esta herramienta que se visualiza en la figura 6 hace posible desarrollar la secuencia del proceso de envasado para leche mediante programación Ladder en el controlador S7-1511-1 PN.

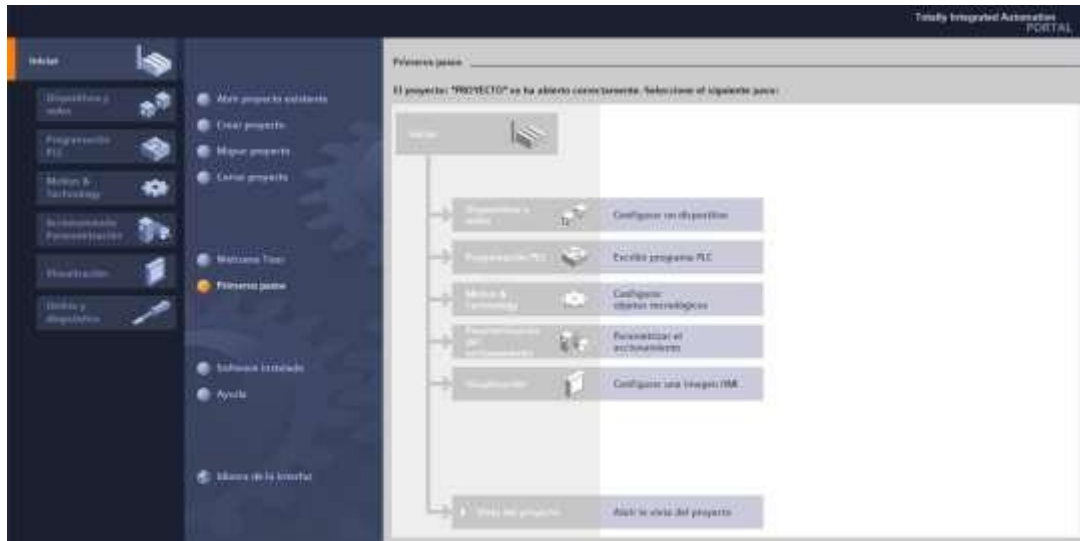


Figura 6. Primeros pasos TIA PORTAL V16

El entorno de trabajo de TIA Portal es posible configurar, programar y desarrollar proyectos en una gran variedad de equipos de la marca Siemens, así como usar los diferentes protocolos de comunicación usados en redes industriales actualmente. Estos protocolos permiten el envío de datos entre diferentes dispositivos, facilitando así la integración y el intercambio de información en entornos industriales. Algunos de estos protocolos son: (Gutiérrez Agüero, 2023)

PROFINET: Es un protocolo de comunicación industrial que proporciona una conexión en tiempo real y en alta velocidad entre equipos, controladores y sistemas en una red industrial. PROFINET es un estándar abierto resultado de la fusión de Ethernet Industrial y PROFIBUS. En la actualidad, es el sistema más empleado en comunicaciones industriales debido a su alta velocidad, compatibilidad con otros protocolos, capacidad de transmisión en tiempo real, posibilidad de monitorización y adaptabilidad. (Gutiérrez Agüero, 2023)

Modbus: Es un protocolo de comunicación serial ampliamente utilizado en la industria para conectar dispositivos electrónicos. El objetivo principal del protocolo Modbus es facilitar la transmisión de información entre diversos equipos electrónicos que están conectados en un mismo bus de comunicación. Este protocolo es ampliamente utilizado por muchos dispositivos de campo para establecer comunicación con controladores lógicos programables (PLC's) y sistemas SCADA. (Gutiérrez Agüero, 2023)

El desarrollo del protocolo Modbus se remonta a 1979, cuando fue inicialmente especificado por la empresa Modicon, que posteriormente fue adquirida por Schneider Electric. En ese entonces, los PLC's estaban en sus etapas iniciales de desarrollo, y Modbus fue creado específicamente para ser utilizado en los PLC's de Modicon. (Satoshi, 2017)

2.12. Sistemas SCADA

En la Figura 7 se presenta un sistema de Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA), el cual se compone de hardware y software que permiten la comunicación, control y supervisión de diversos dispositivos industriales, tanto en ubicaciones físicas como remotas. Esta combinación de tecnologías facilita la gestión eficiente de los dispositivos interconectados, optimizando así los procesos industriales, así como se ve en la figura 7.



Figura 7. Representación de un sistema scada.

2.13. Pantalla HMI

Una vez familiarizados con el concepto y la importancia de los sistemas SCADA, es posible adentrarse en el desarrollo de interfaces gráficas de usuario para HMI. Esta tecnología se centra en la creación de interfaces visuales intuitivas, aprovechando elementos gráficos y herramientas visuales para mejorar la interacción entre el operador y el sistema automatizado. Al aplicar principios ergonómicos y de usabilidad, se logra una experiencia de usuario más efectiva, permitiendo una supervisión y control precisos de los dispositivos industriales, lo que se traduce en una mayor eficiencia operativa y un entorno de trabajo más seguro y confiable como se ve en la figura 8.

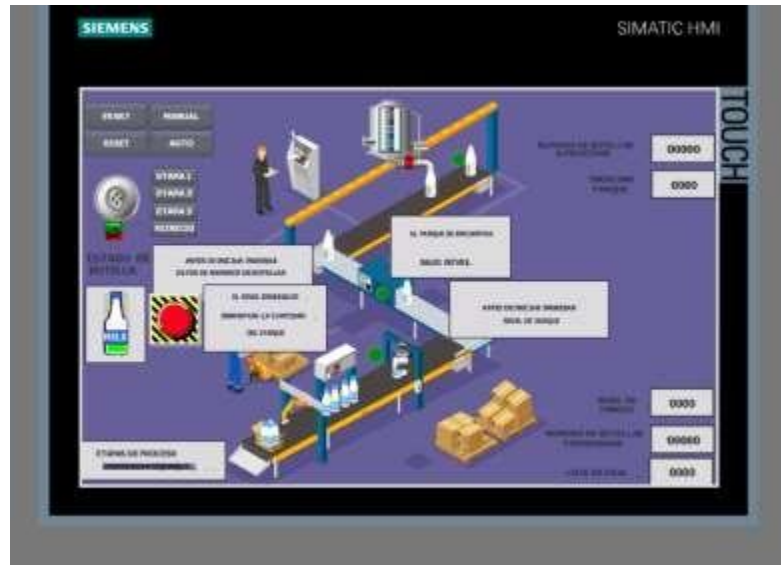


Figura 8. Pantalla HMI

2.14. Internet de las cosas (IoT)

Según (López Flores, 2019), el Internet de las Cosas (IoT) se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos con Internet. Este concepto se basa en la convergencia entre el mundo físico y el mundo digital, permitiendo la integración de dispositivos inteligentes y sistemas para generar un entorno altamente informado y eficiente. La evolución de Internet ha impulsado esta revolución, esto hace posible la interconexión entre personas a través de diversas aplicaciones, redes sociales y dispositivos inteligentes, pero ahora se extiende hacia la interconexión de objetos y cosas del entorno para crear un ecosistema de objetos inteligentes intercomunicados.

Esta convergencia entre el mundo físico y digital, conocida como Internet de las Cosas (IoT), se sustenta en una arquitectura que involucra tres componentes esenciales con interacción cohesionada. En primer lugar, se encuentran los dispositivos de hardware, como sensores, actuadores y otros dispositivos de comunicación, que se integran en los objetos cotidianos. Estos elementos habilitan la adquisición de datos y el control de los sistemas en tiempo real. En segundo lugar, se despliega la plataforma de node js y Ubidots, infraestructuras web que facilita el intercambio de información entre las aplicaciones IoT y proporciona las herramientas computacionales necesarias para analizar los datos generados por los dispositivos. Por último, se implementan herramientas de visualización e interpretación, diseñadas para ser flexibles y

compatibles con múltiples aplicaciones y dispositivos, permitiendo a los usuarios acceder y comprender la información de forma intuitiva y eficiente (Bonilla, Tavison, Morales, Guajardo, & Laines, 2016). Esta interconexión armoniosa de elementos técnicos es la base para el despliegue efectivo de soluciones IoT que optimizan procesos, mejoran la toma de decisiones y elevan la calidad de vida.

2.14.1. Node-RED: Arquitectura

En la figura 9, se muestra una representación simplificada de los componentes de Node-RED, un entorno de desarrollo basado en flujos para aplicaciones. En Node-RED, las aplicaciones se construyen mediante la interconexión de nodos, formando flujos que representan la lógica y el funcionamiento de la aplicación.

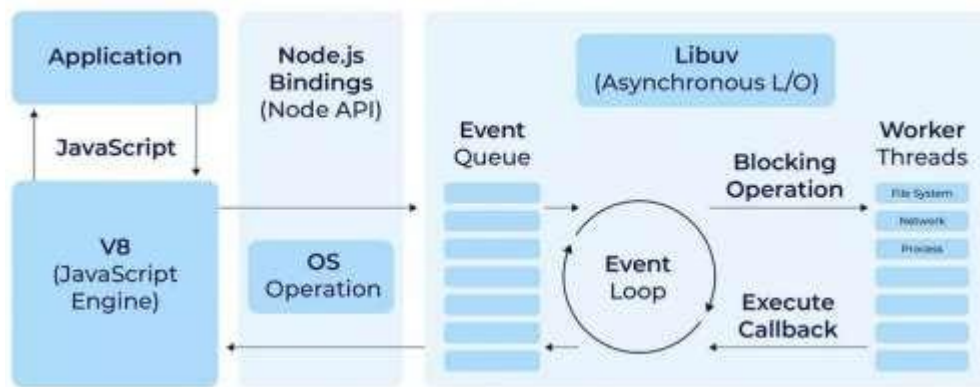


Figura 9. Arquitectura Node-RED. (médium,2021)

Node-RED se compone de diversos elementos:

2.14.1.1. Flujos

Las aplicaciones en Node-RED se expresan como flujos, que son secuencias de nodos interconectados. Estos flujos representan la ruta de procesamiento de los datos a través de la aplicación. En la figura 10 se puede apreciar la pantalla principal de un flujo, del lado izquierdo se observa las diferentes secciones en donde se puede encontrar cada nodo de interacción. (Pulache Huertas, 2023)

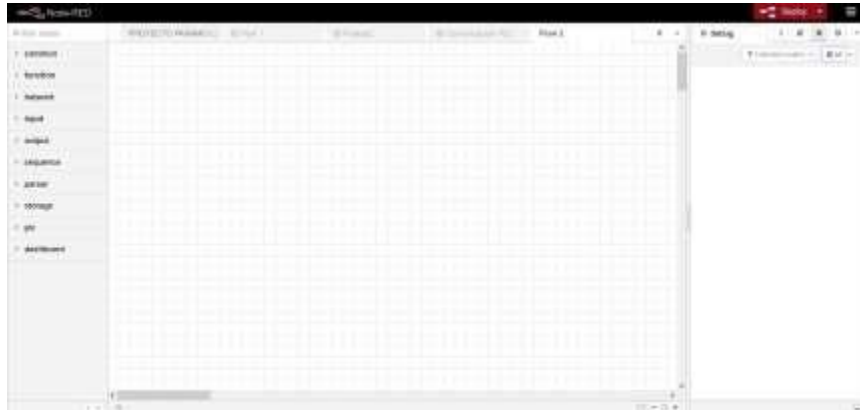


Figura 10. Interfaz Node-RED (Flujo)

2.14.1.2. Nodos

Los nodos son los componentes fundamentales de los flujos. Cada nodo representa una función específica y puede realizar tareas como manipulación de datos, acceso a bases de datos, interacción con servicios web, entre otras funcionalidades. (Pulache Huertas, 2023)

2.14.1.3. Paleta de nodos

Sección de plataforma donde se encuentra las librerías instaladas para la comunicación entre el TIA Portal, Node-RED y Ubidots.

En el lado derecho de la plataforma se encuentra un menú desplegable donde se debe seleccionar la opción de “Manage palette” para acceder a la pantalla de configuración de librerías. (Pulache Huertas, 2023)



Figura 11. Menú de librerías Node-RED.

En la figura 12, se presenta una imagen de las librerías incorporadas en la plataforma de Node-RED. Entre ellas, adquiere especial importancia la librería SNAP7, que desempeña un papel fundamental al facilitar la comunicación entre el entorno TIA Portal y dicho sistema. Además, se identifica la librería de Ubidots, que habilita la comunicación entre las plataformas de Ubidots y Node-RED. (Pulache Huertas, 2023)

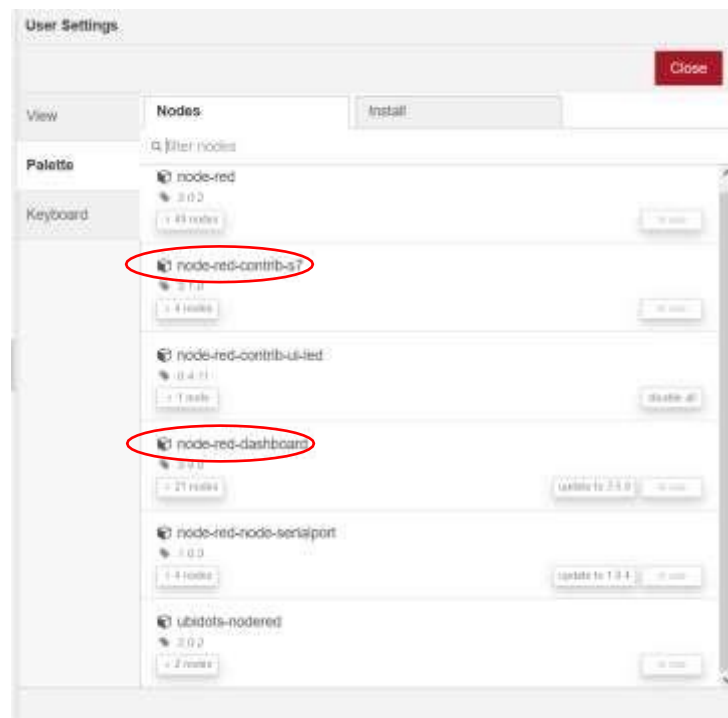


Figura 12. Menu Palette (Librerías)

2.14.1.4. Librerías de configuración

2.14.1.4.1. SNAP 7

SNAP7 o "node-red-contrib-s7" es una librería (ver la figura 13) de nodos que se une con Node-RED, una plataforma IoT de programación visual basada en flujos utilizada para la automatización control y monitoreo de procesos. Estos nodos permiten la comunicación con los equipos de Siemens S7, que son dispositivos ampliamente utilizados en la automatización industrial para controlar procesos y maquinaria industrial. (Francescon, 2016)



Figura 13. Librería SNAP 7.

SNAP7 proporciona varios tipos de nodos para comunicarse con PLC de Siemens en Node-RED. A continuación, se realiza una descripción de los nodos de entrada y salida, así como de los nodos de configuración que ofrece esta librería: (Francescon, 2016)

2.14.1.4.2. S7 Endpoint (Nodo de Configuración)

Este nodo se utiliza para configurar la conexión con un controlador Siemens S7. Cada endpoint representa un punto de conexión a un PLC específico. Tal como se ve en la figura 14 este nodo permite configurar la dirección IP y el número de puerto del PLC. Además, permite especificar el tiempo de ciclo para la lectura de variables. (Francescon, 2016)

Cada conexión a un PLC (ver la figura 14) se representa mediante un nodo de configuración S7 Endpoint. Los nodos de entrada y salida se asocian con un nodo S7 Endpoint para acceder a las variables del PLC. (Francescon, 2016)

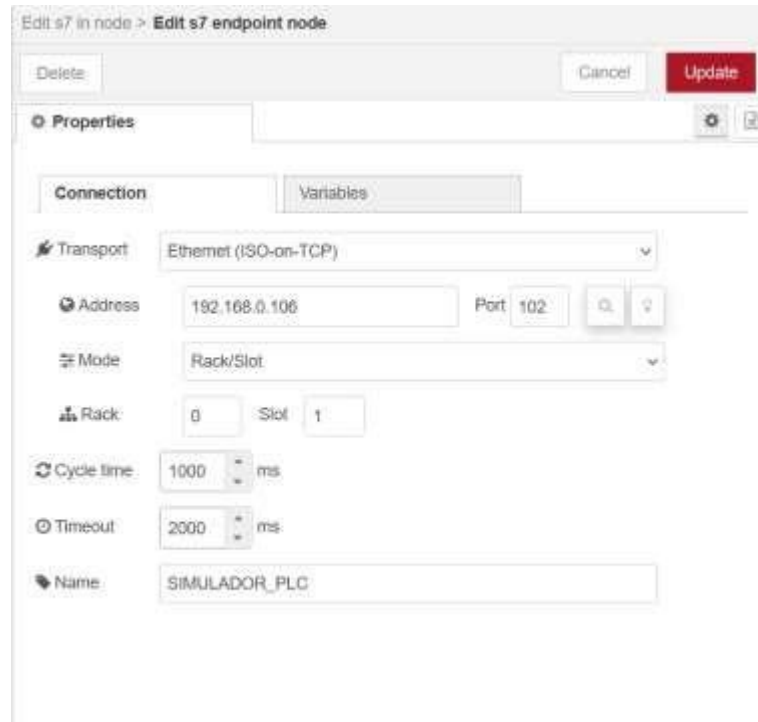


Figura 14. Configuración S7 endpoint. (Francescon, 2016)

2.14.1.4.3. S7 In (Nodo de Entrada)

El nodo de entrada se utiliza para leer cualquier tipo de variable del controlador S7 1500 y enviar sus valores al flujo de Node-RED.

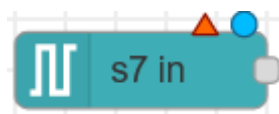


Figura 15. Nodo S7 IN.

Permite configurarse en tres modos:

Variable individual: Envía un mensaje con el valor de una variable en cada ciclo o cuando cambia.

Todas las variables, una por mensaje: Envía mensajes para todas las variables configuradas en cada ciclo, con la opción de enviar solo cuando cambian.

Todas las variables: Envía un mensaje con un objeto que contiene todas las variables configuradas y sus valores.

2.14.1.4.4. S7 Out (Nodo de Salida)

El nodo de salida se utiliza para escribir valores en variables del controlador Siemens S7 desde el flujo de Node-RED. Tal como se ve en la figura 16 permite enviar valores a variables específicas en el PLC. Los valores se toman de los mensajes en el flujo de Node-RED y se envían a las variables correspondientes en el PLC(ver la figura 16).



Figura 16. Nodo S7 Out.

2.14.1.4.5. Direccionamiento de variables

En la tabla 1, se visualiza una guía de direccionamiento de las variables en los controladores Siemens S7. Se incluyen ejemplos de direcciones y sus equivalentes en TIA Portal, junto con los tipos de datos asociados.

Address	Step7 equivalent	JS Data type	Description
DB5,X0.1	DB5.DBX0.1	Boolean	Bit 1 of byte 0 of DB 5
DB23,B1 or DB23,BYTE1	DB23.DBB1	Number	Byte 1 (0-255) of DB 23
DB100,C2 or DB100,CHAR2	DB100.DBB2	String	Byte 2 of DB 100 as a Char
DB42,I3 or DB42,INT3	DB42.DBW3	Number	Signed 16-bit number at byte 3 of DB 42
DB57,WORD4	DB57.DBW4	Number	Unsigned 16-bit number at byte 4 of DB 57
DB13,DI5 or DB13,DINT5	DB13.DBD5	Number	Signed 32-bit number at byte 5 of DB 13
DB19,DW6 or DB19,DWORD6	DB19.DBD6	Number	Unsigned 32-bit number at byte 6 of DB 19
DB21,R7 or DB21,REAL7	DB21.DBD7	Number	Floating point 32-bit number at byte 7 of DB 21

Tabla 1. Direccionamiento y equivalencias de variables.

2.14.1.5. UBIDOTS

La librería "Ubidots" de Node-RED contiene nodos que permite interactuar con el servicio Ubidots. Ubidots es una plataforma que ayuda a potenciar las aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) y en la nube. La librería proporciona nodos específicos para la publicación y suscripción de datos a través de MQTT en Ubidots. A continuación, se mencionan los nodos y sus funciones principales: (MIT license, 2020)

2.14.1.5.1. Nodo Ubidots In (Suscripción)

Este nodo se utiliza para suscribirse a variables en la plataforma Ubidots mediante el protocolo MQTT. Lee y envía nuevos valores a través del mensaje ``msg.payload``. Puede suscribirse a varias variables y ofrece opciones de configuración como tipo de cuenta, token de autenticación, etiqueta de dispositivo, uso de temas personalizados y más. (MIT license, 2020)

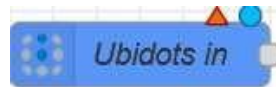


Figura 17. Nodo Ubidots IN

2.14.1.5.2. Nodo Ubidots Out (Publicación)

Este nodo permite publicar valores en variables de Ubidots. Recibe datos desde un nodo anterior y los envía a una variable específica en Ubidots a través de MQTT. La configuración incluye opciones como tipo de cuenta, token de autenticación, etiqueta de dispositivo y TLS. Los valores se estructuran en el mensaje ``msg.payload``, utilizando la etiqueta de variable como clave y el valor como valor. (MIT license, 2020)

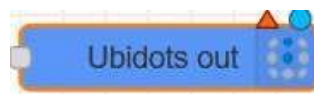


Figura 18. Nodo Ubidots OUT.

2.15. Ubidots

Ubidots es una plataforma de IoT (Internet de las Cosas) que brinda herramientas para la obtención, visualización y análisis de datos provenientes de sensores y actuadores conectados a un microcontrolador. Permite de manera sencilla recopilar información en tiempo real y tomar decisiones informadas basadas en los datos obtenidos. Ubidots permite a los usuarios crear

proyectos personalizados, agregar dispositivos, definir variables y establecer conexiones con dispositivos a través de protocolos como MQTT y API REST. (MIT license, 2020)

2.15.1. Crear Proyecto

Para crear un proyecto en Ubidots, comienza por iniciar sesión en tu cuenta. Una vez dentro, dirígete al apartado de " Add new Device" en el panel principal. Desde allí, selecciona "New Device" y configura el proyecto proporcionando un nombre descriptivo y una etiqueta. Una vez que hayas ajustado estos detalles, confirma la creación del proyecto. Esto te llevará a la página del proyecto, donde podrás comenzar a agregar variables según tus necesidades específicas. En la figura 19 se puede observar la pantalla principal para crear un nuevo dispositivo. (Pelaez, 2023)

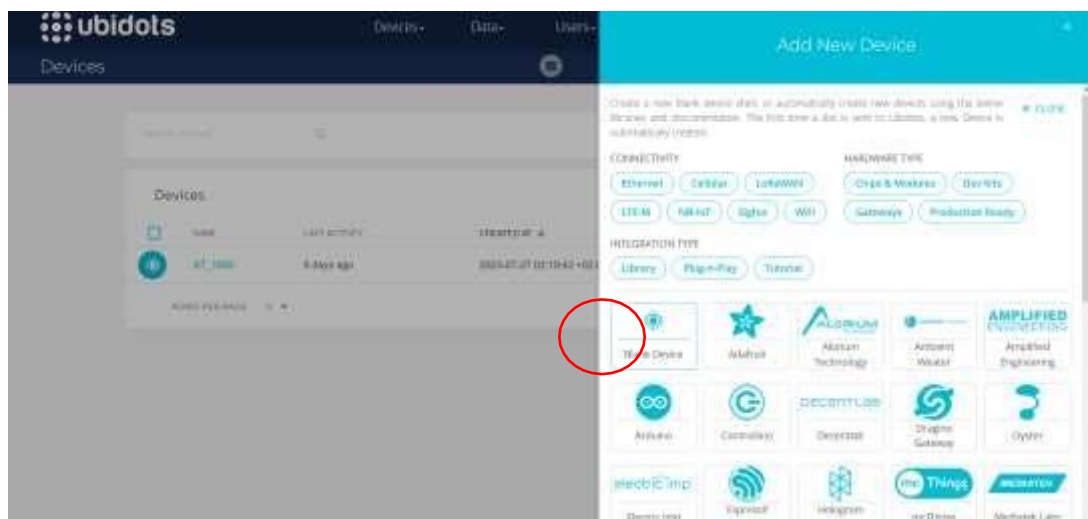


Figura 19. Plataforma Ubidots.

2.15.2. TOKEN

Un TOKEN es una cadena alfanumérica única y confidencial funciona como una clave de acceso para conectarse con la plataforma Ubidots a través de su API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) o protocolos como MQTT. Cada dispositivo en Ubidots tiene su propio Token asignado. (Pelaez, 2023)

Para poder verificar el TOKEN se debe ir a Perfil y seleccionar API Credentials tal como se ve en la figura 20. (Pelaez, 2023)

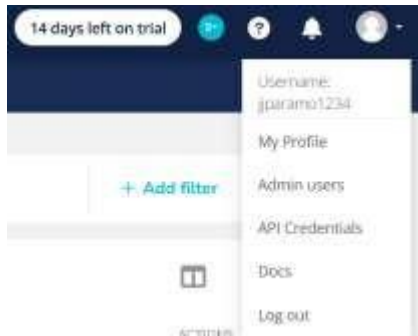


Figura 20. Perfil Ubidots.

Entonces, en la figura 21 se puede observar la ubicación del TOKEN del proyecto lo que se coloca en el nodo de Node-RED para establecer una comunicación. (Pelaez, 2023)

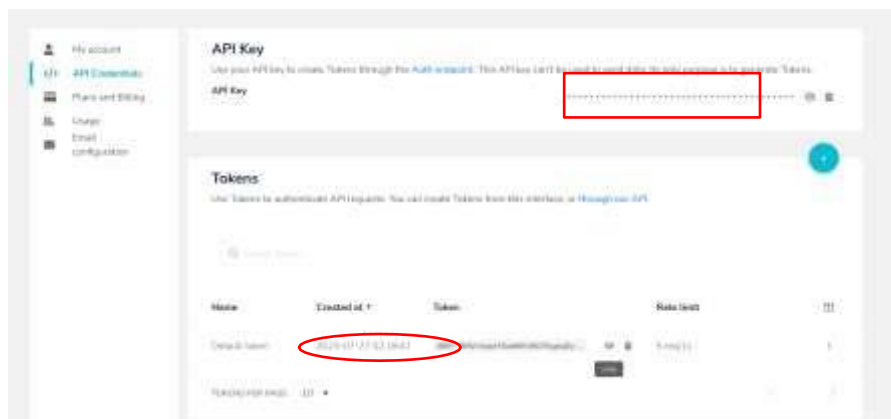


Figura 21. TOKEN

2.15.3. Dashboard

El panel frontal o interfaz gráfica permite a los usuarios visualizar y observar datos en tiempo real provenientes de dispositivos conectados. Estos paneles son creados en la plataforma Ubidots y ofrecen una manera intuitiva de presentar datos mediante gráficos, tablas y otros elementos visuales. Para poder acceder a crear un Dashboard se debe ir a data y luego al apartado de Dashboard tal como se ve en la figura 22. (Pelaez, 2023)

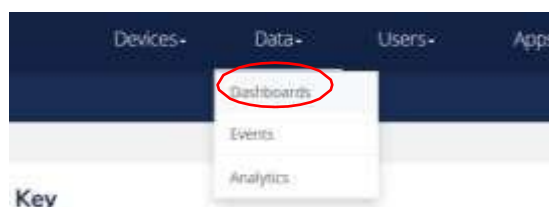


Figura 22. Crear Dashboard.

Entonces, del lado derecho se encuentra un botón flotante con un “+” en el centro al presionar se debe ingresar el nombre del Dashboard, luego se deben añadir los widgets que se enlazarán con cada variable del PLC. Como se ve en la figura 23 el panel de usuario para nuestro proyecto cuenta con widgets de control y metrics para cada sensor y variable. (Pelaez, 2023)

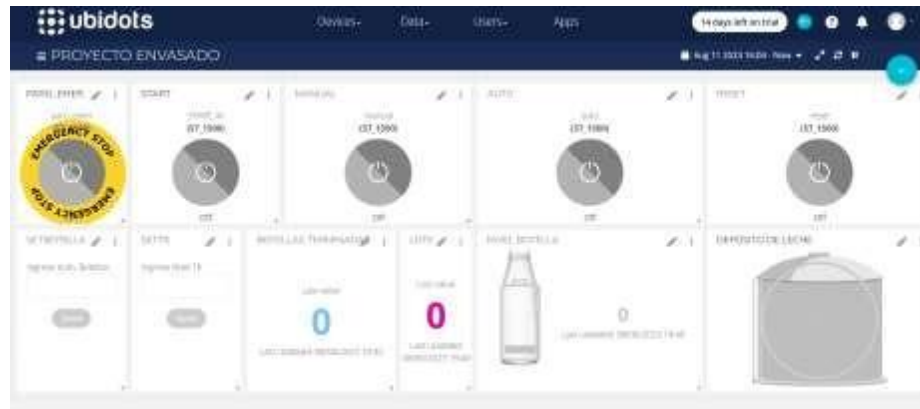


Figura 23. Dashboard Ubidots

Fuente: Obtenido de Ubidots.

3. Marco metodológico

El desarrollo de este proyecto se lleva a cabo siguiendo una metodología estructurada y detallada. A continuación, se describe la metodología propuesta:

3.1. Diseño del sistema de envasado

En esta etapa, se realiza un análisis de los pasos y requisitos necesarios para el proceso de envasado de leche. Se establecen las etapas y secuencias específicas que conforma el sistema de envasado, teniendo en cuenta aspectos como el llenado, sellado y etiquetado.

3.1.1. Diagrama de bloques del proceso

Para realizar la secuencia se debe analizar el diagrama de bloques del proceso de envasado para luego programar el PLC en el software TIA PORTAL.

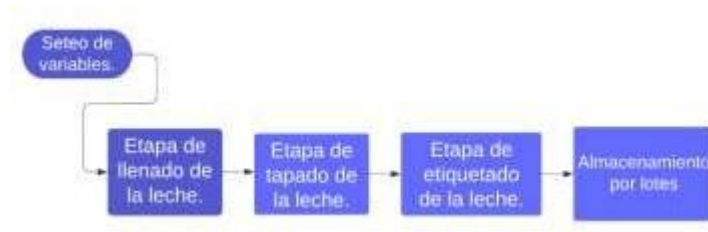


Figura 24. Diagrama de bloques envasado.

3.2. Programación del PLC

Utilizando el software TIA PORTAL, se desarrollan los programas y bloques de función necesarios para controlar los sensores, actuadores y demás componentes del sistema. Se establecen las condiciones, alarmas y protocolos de comunicación requeridos para garantizar un control preciso del proceso de envasado.

3.2.1. Práctica 1: Configuración de parámetros para el enlace entre TIA Portal y Node-RED

En esta práctica se realizan los ajustes necesarios para establecer la comunicación entre el software de programación TIA PORTAL y la plataforma de desarrollo gráfico Node-RED.

3.2.1.1. Paso 1: Configuración PLC SIM advance

Para empezar, se debe configurar el acceso como “PLCSIM Virtual Eth. Adapter” para crear un adaptador de red virtual mediante una instancia que, en este caso, tiene como nombre “TESISPRUEBA”, luego se ingresa la dirección ip “192.168.0.106” que es asignada al controlador en el TIA PORTAL. Por último, como se ve en la figura 25 se agrega la máscara de subred “255.255.255.0”.

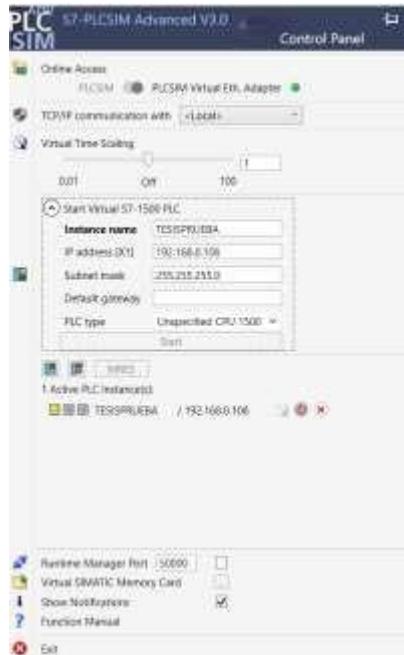


Figura 25. Configuración PLC sim advance.

3.2.1.2. Paso 2: Configurar propiedades del controlador

En el software TIA PORTAL se debe configurar el mismo direccionamiento (ver figura 26) ip para enlazar el programa con la instancia virtual del PLC.

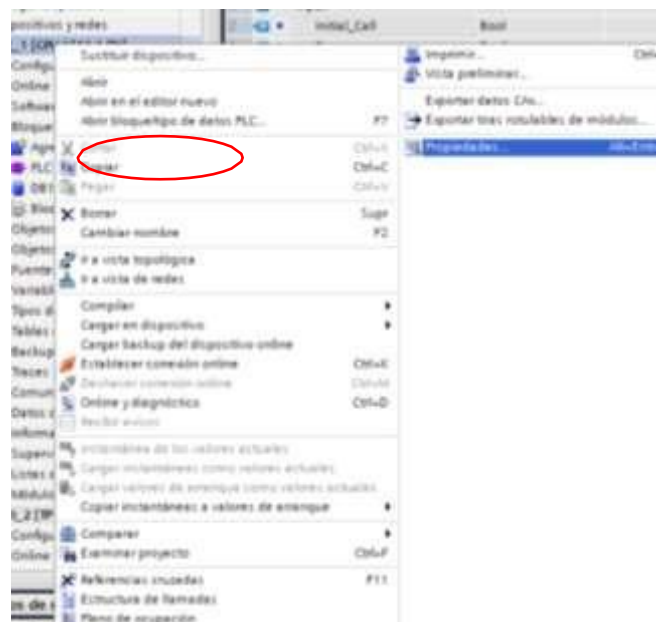


Figura 26. Propiedades PLC

Entonces, se guarda la misma dirección ip, la misma mascara de subred y luego se da clic en aceptar para guardar los cambios.

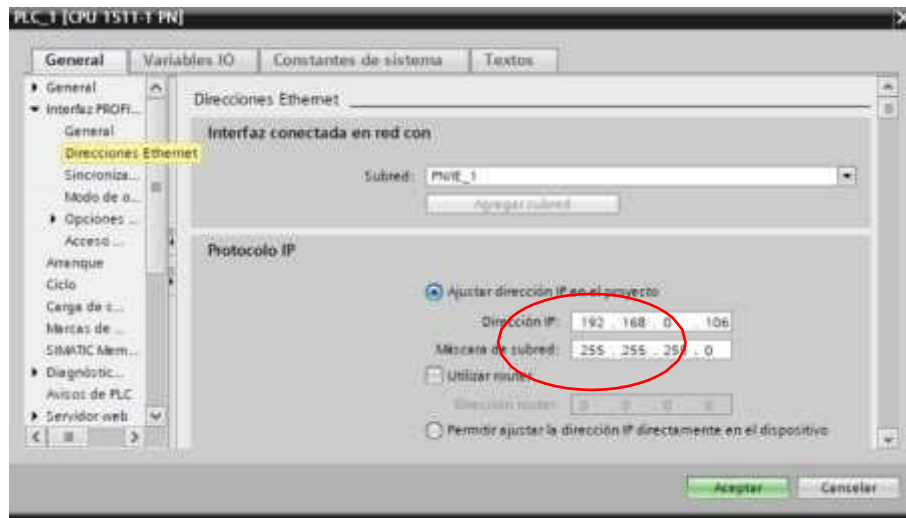


Figura 27. Configuración de propiedades.

Luego se procede a cargar el firmware en el dispositivo virtual como se ve en la figura 28.

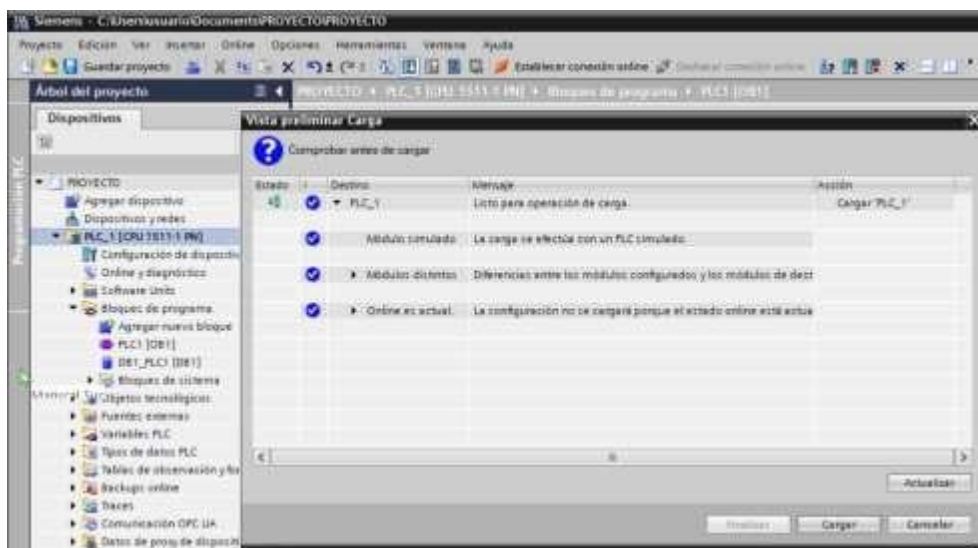


Figura 28. Cargar firmware en controlador.

En caso de algún error se debe verificar la configuración de red del adaptador de red virtual en el centro de redes y recursos compartidos tal como se ve en la figura 29.

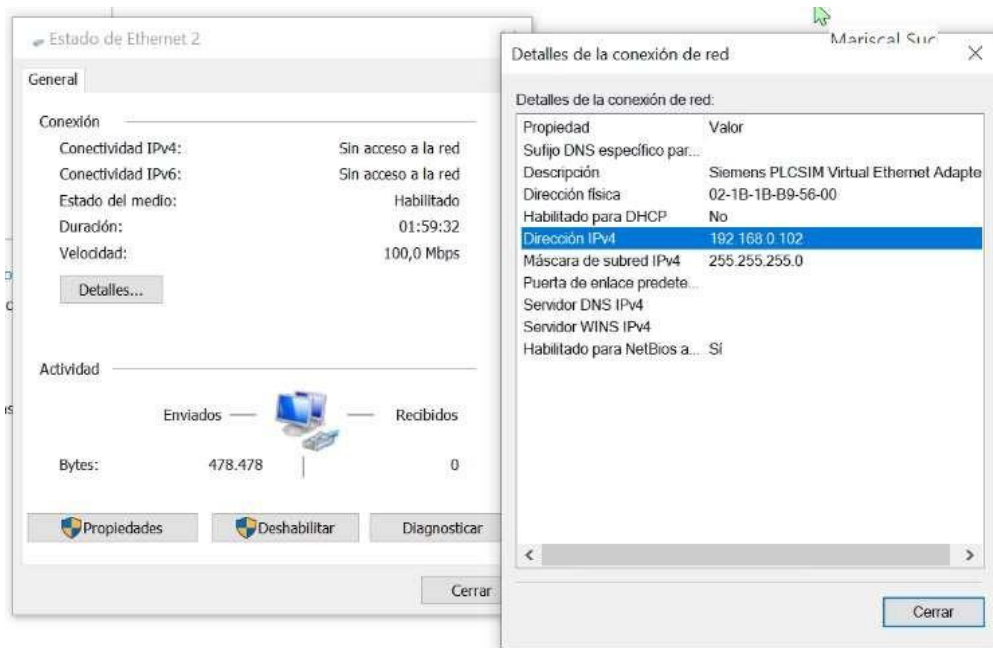


Figura 29. Detalles de la red.

3.2.2. Práctica 2: Configuración de parámetros para el enlace entre Node-RED y Ubidots

Para configurar el enlace entre Node-Red y Ubidots se deben seguir los siguientes pasos:

3.2.2.1. Paso 1: Ejecutar Node-RED.

Para este paso se requiere iniciar la consola de Windows, presionando la tecla Windows + R, se escribe “CMD” y luego ingresar el comando “Node-Red” tal como se muestra en la figura 30.



Figura 30. Node-RED

Una vez ejecutado se debe acceder a través de cualquier navegador al servidor local que genera Node-RED mediante la siguiente dirección ip: “**http://127.0.0.1:1880**”



Figura 31. Interfaz Node-RED.

3.2.2.2. Paso 2: Configuración de Endpoint.

Tal como se muestra la figura 32 se realiza la configuración del endpoint ingresa la dirección ip, puerto de comunicación, rack y nombre del equipo virtual.

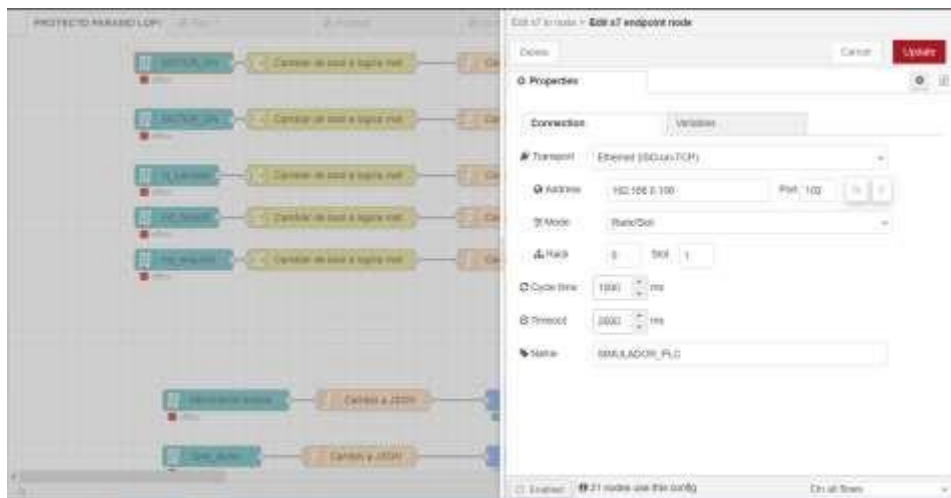


Figura 32. Endpoint.

3.2.2.3. Paso 3: Configuración de variables

Una vez definido el dispositivo se realiza la configuración de las variables a interactuar con Ubidots y Node-RED, siguiendo las equivalencias de la tabla 1, página 56. Tal como se muestra en la figura 33.



Figura 33. Configuración de variables.

3.2.2.4. Paso 4: Configuración nodos Ubidots.

Se debe seleccionar un nodo de Ubidots, dar doble clic y luego entrar a la configuración del nodo.



Figura 34. Nodo Ubidots out.

Ahora en la configuración del nodo out de Ubidots se tiene que configurar tanto la etiqueta del proyecto como el token de la cuenta de Ubidots tal como se puede apreciar en la figura 35.

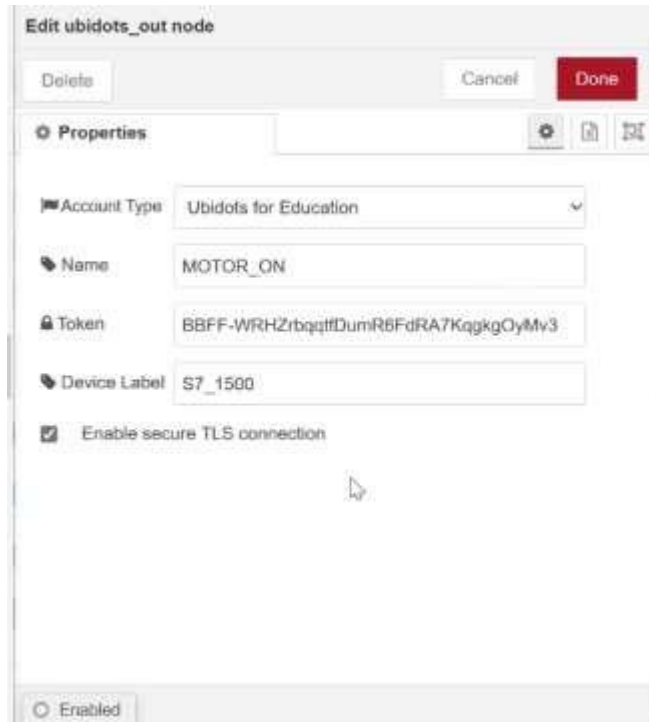


Figura 35. Configuración nodo Ubidots.

3.2.3. Práctica 3: Proceso de llenado

En la siguiente práctica se muestra el proceso de llenado de botellas tanto el HMI como la programación en escalera del sistema.

3.2.3.1. HMI: Llenado Botella.

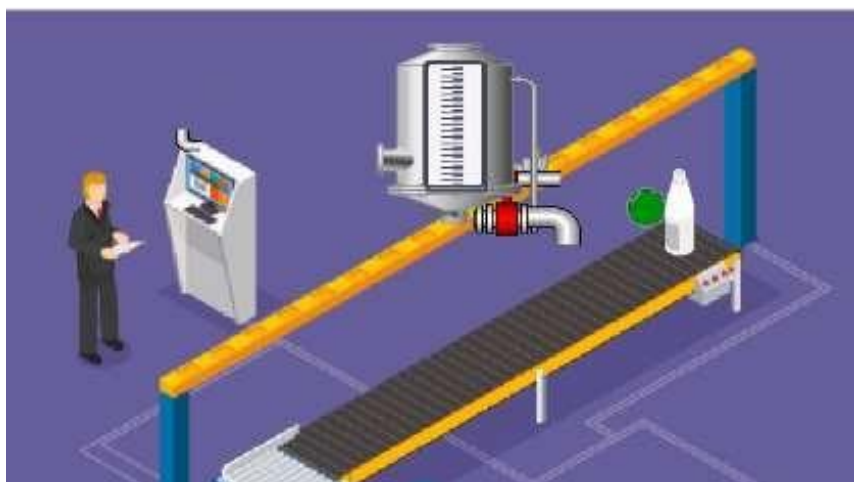


Figura 36. Etapa de llenado.

3.2.3.2. Programación PLC: Inicio del sistema.

Segmento que permite la activación y ejecución primaria del sistema tal como se puede observar en la figura 35.

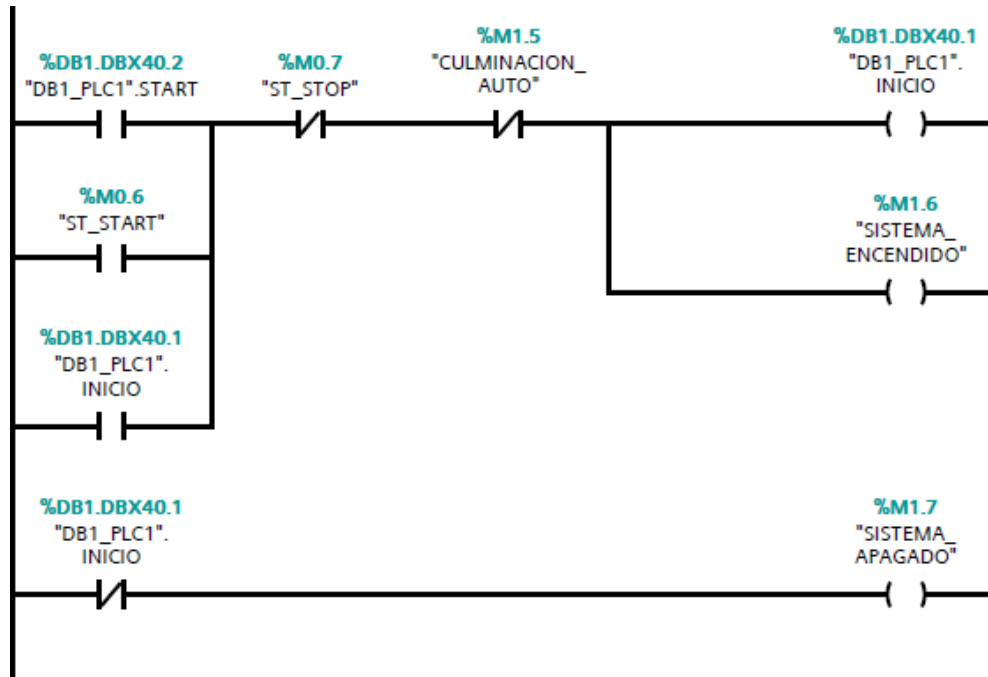


Figura 37. Programación Inicio.

Entonces, Para desarrollar la secuencia de llenado de la botella se utiliza variables booleanas y se activa en secuencia cada parte de la etapa de llenado tal y como aparece en la figura 37.

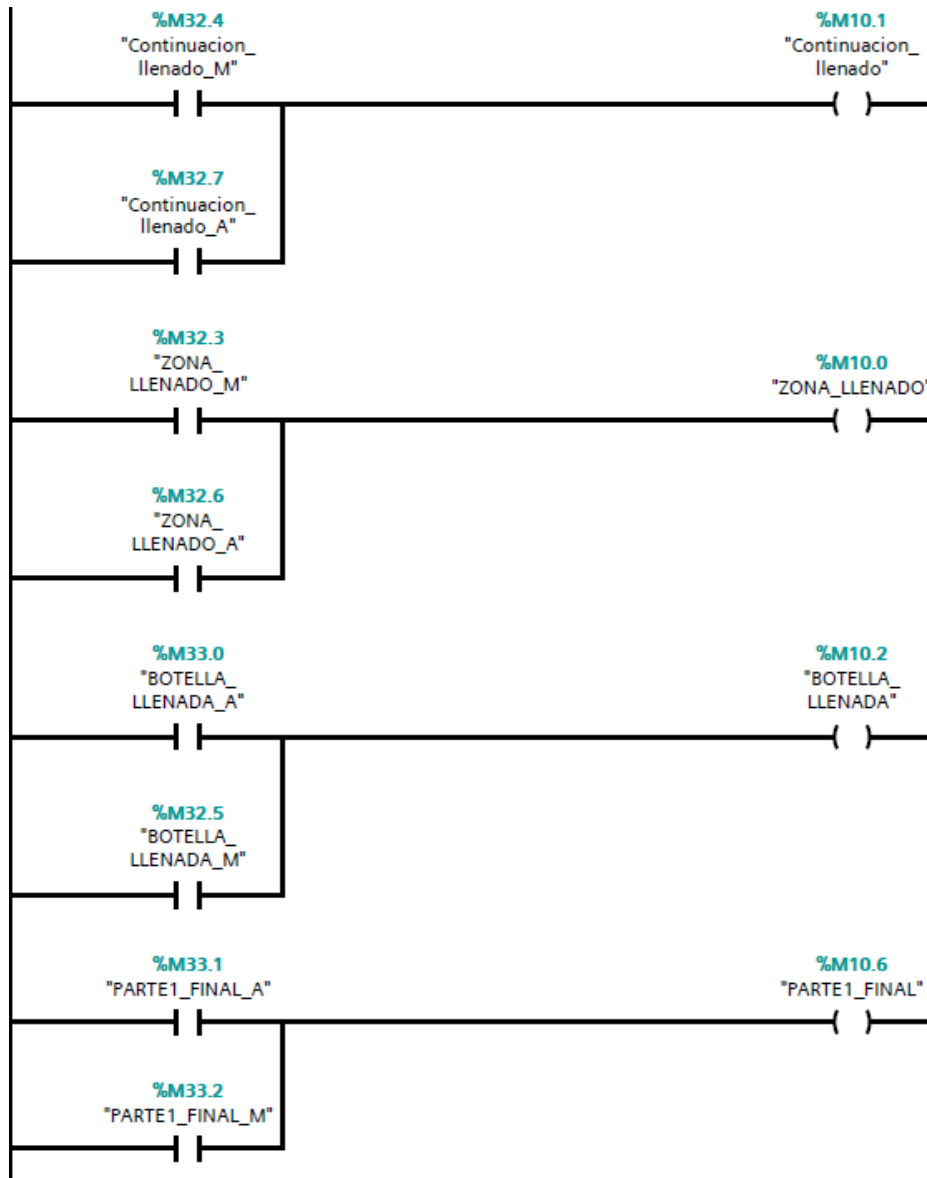


Figura 38. Secuencia Llenado de botella.

Para el desarrollo de cada etapa del proceso de envasado se consideró un arreglo de cambio de variable según el modo seleccionado se envía directamente la variable mediante el bloque move.

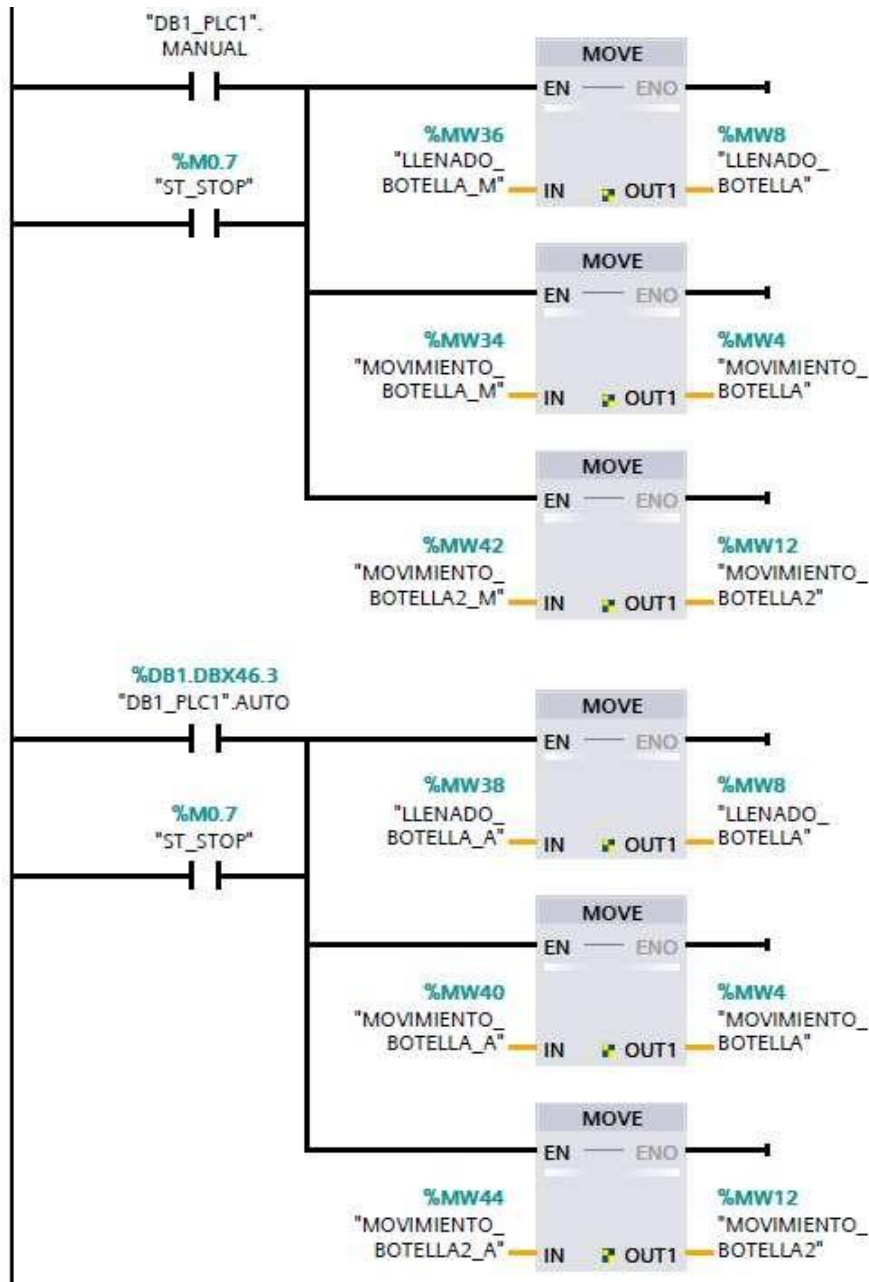


Figura 39. Cambio de variable.

Una vez terminado el proceso de llenado se utiliza el contacto “ESPERA_SB.Q” tal como se ve en la figura 39 que lee la salida de un contador que reinicia el ciclo un número definido de veces el mismo que resetea las variables del proceso de llenado a 0.

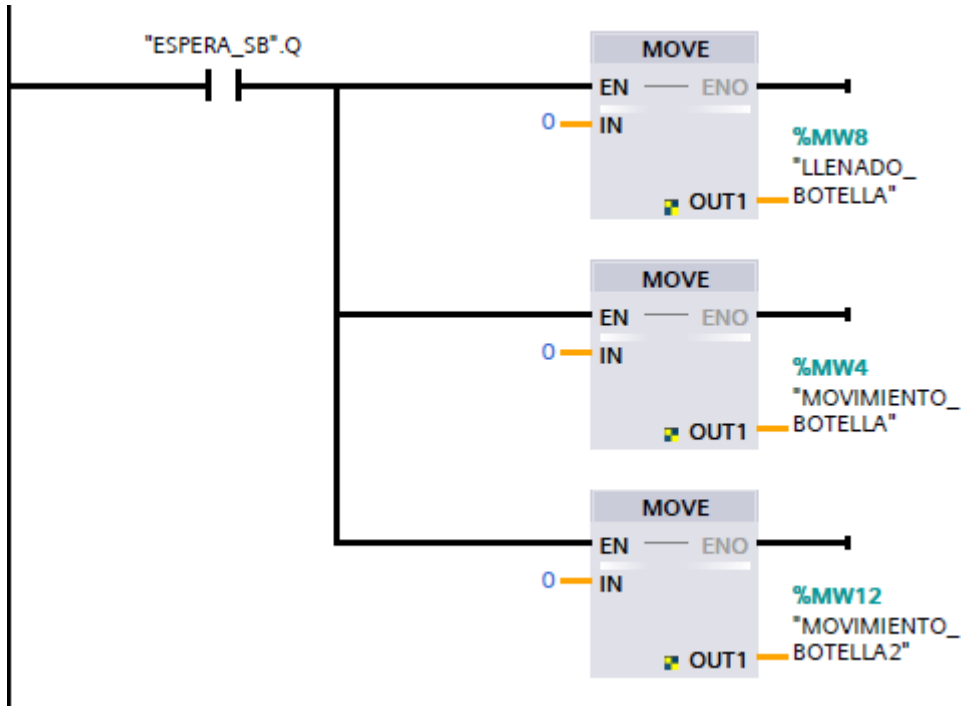


Figura 40. Reset variables.

Luego de esto se procede a definir el rango de funcionamiento del número de botellas que se desean llenar, se realiza una resta con el bloque ‘SUB’ ya que se debe considerar uno menos para la cuenta porque en este tipo de programación el cero también cuenta una posición.

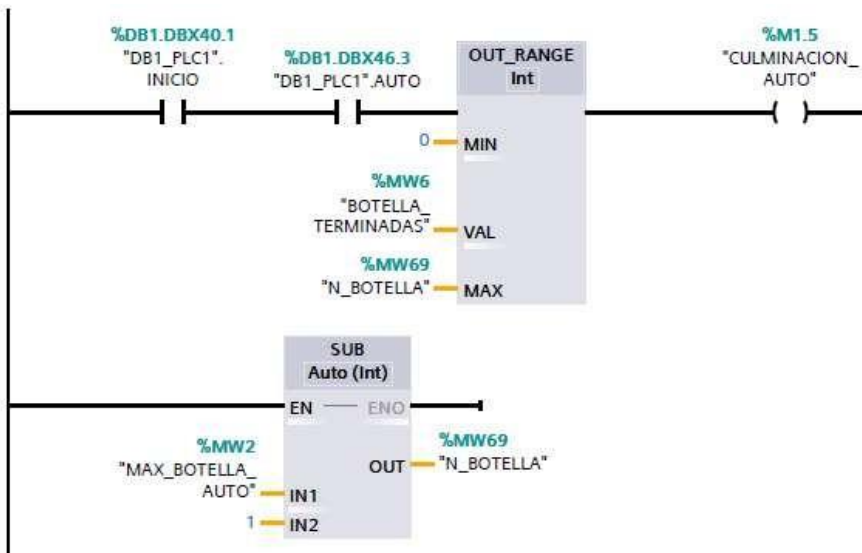
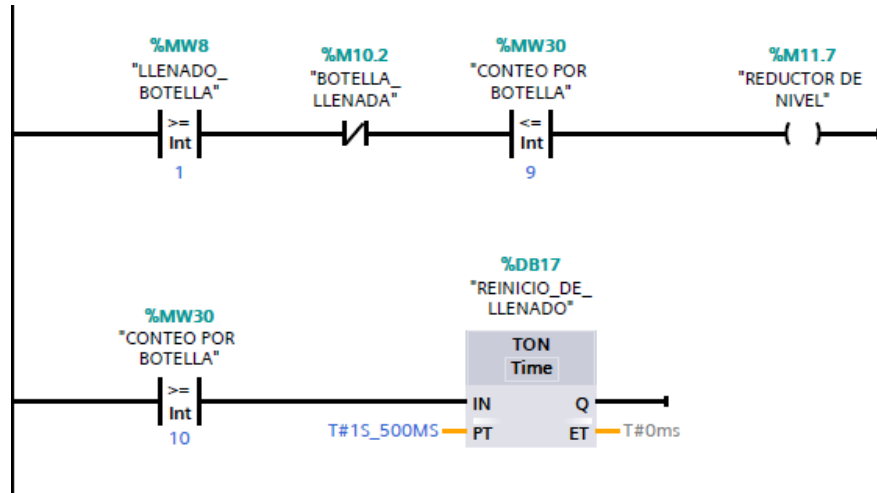


Figura 41. Ajuste de número de botella.

También en los siguientes segmentos se realiza la programación para el llenado de cada botella que consiste en reducir el nivel del depósito grande cada vez que la botella se llena este ciclo se reinicia.



En este segmento se puede observar el contador del depósito de leche que va disminuyendo a medida se va llenando cada botella.

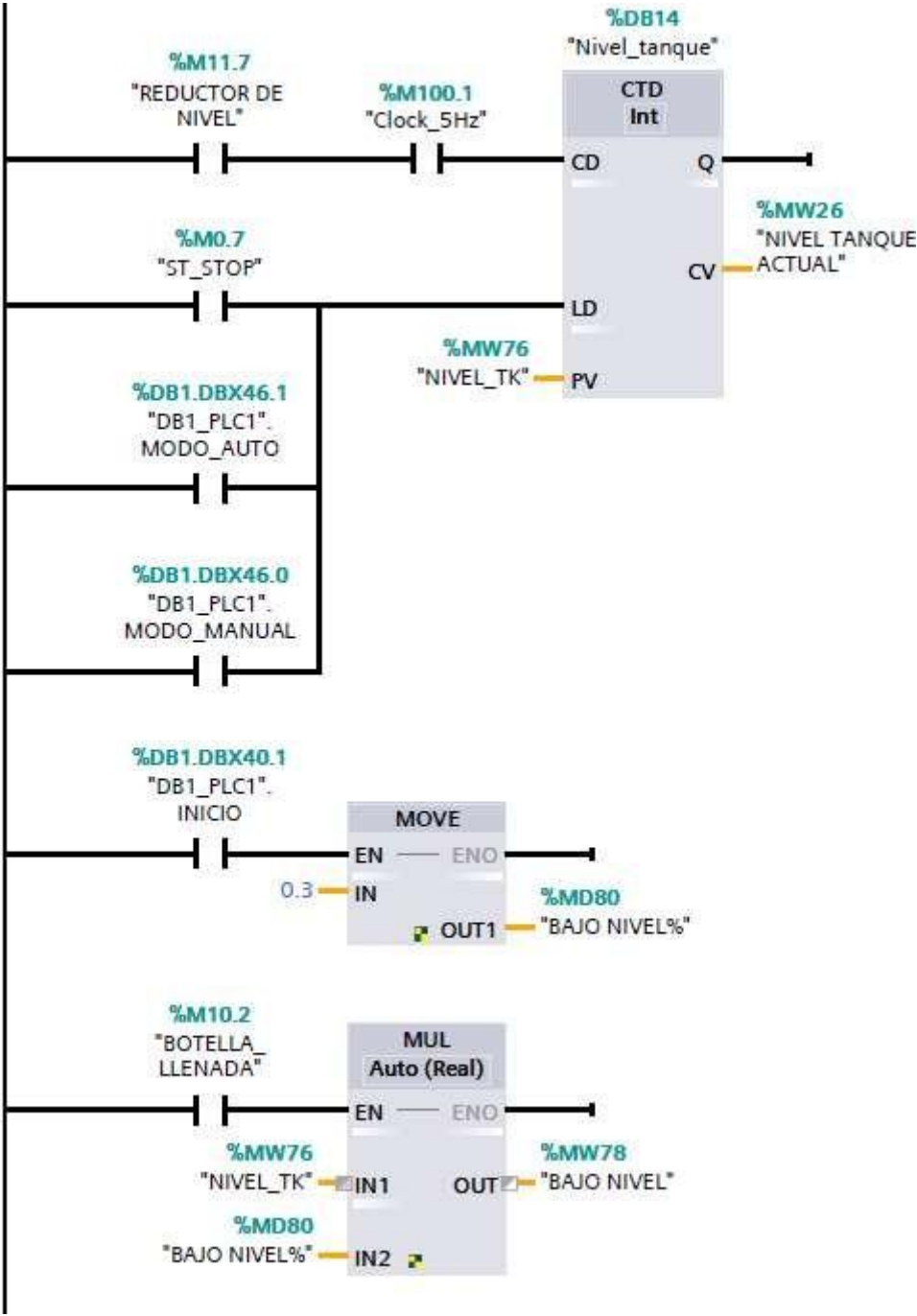


Figura 44. Reductor depósito de leche.

El siguiente segmento muestra los contadores usados para cada animación de movimiento, llenado y desplazamiento de la botella en esta parte.

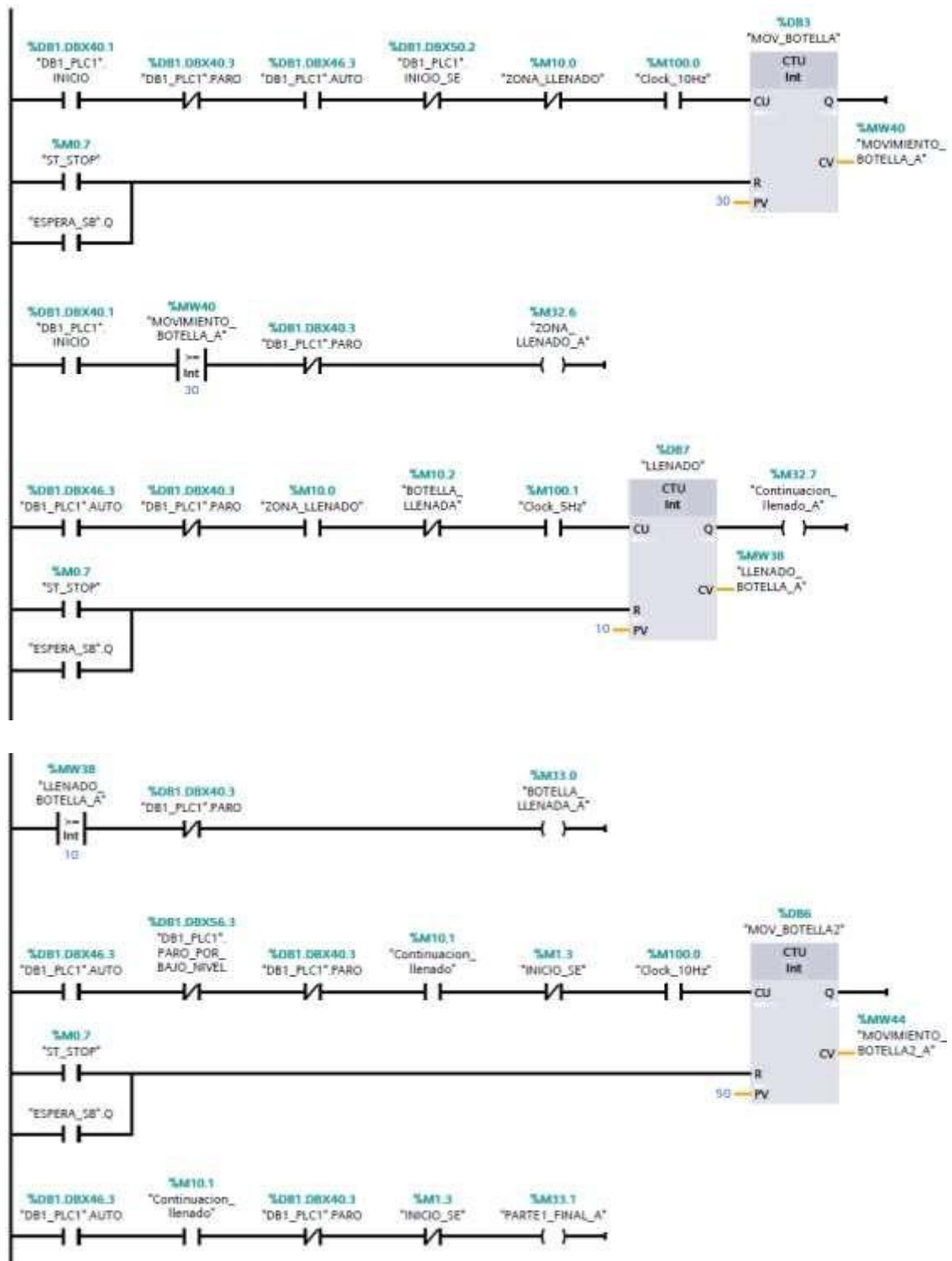


Figura 45. Contadores de animación.

3.2.4. Práctica 4: Proceso de tapado

3.2.4.1.1. HMI: Tapado de la botella.

En la siguiente práctica se procede a simular el tapado de la botella, el cual se puede visualizar en la figura 44.



Figura 46. Diseño Tapado de botella.

Para la programación se procede con la secuencia de tapado en partes y luego se muestran los segmentos de los contadores del proceso.

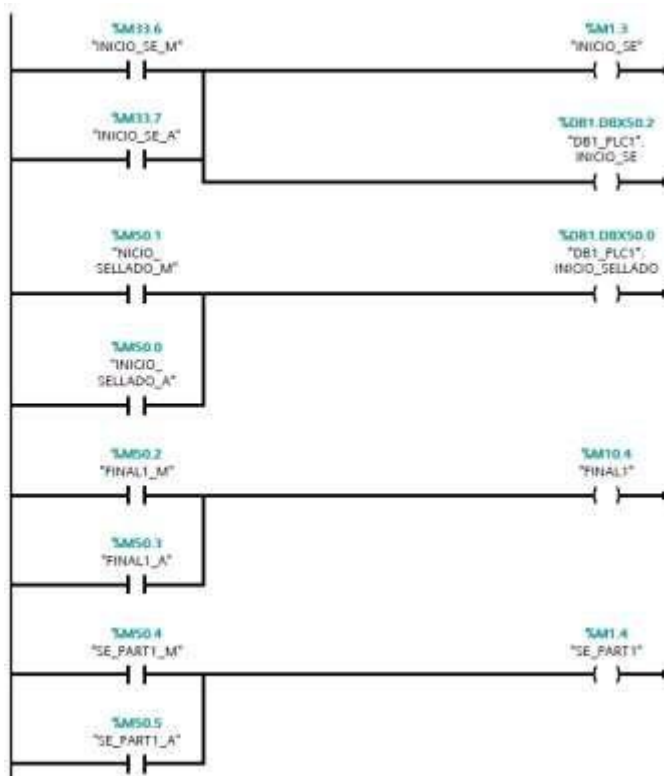


Figura 47. Secuencia de tapado.

Continuación de la secuencia de tapado de la botella.

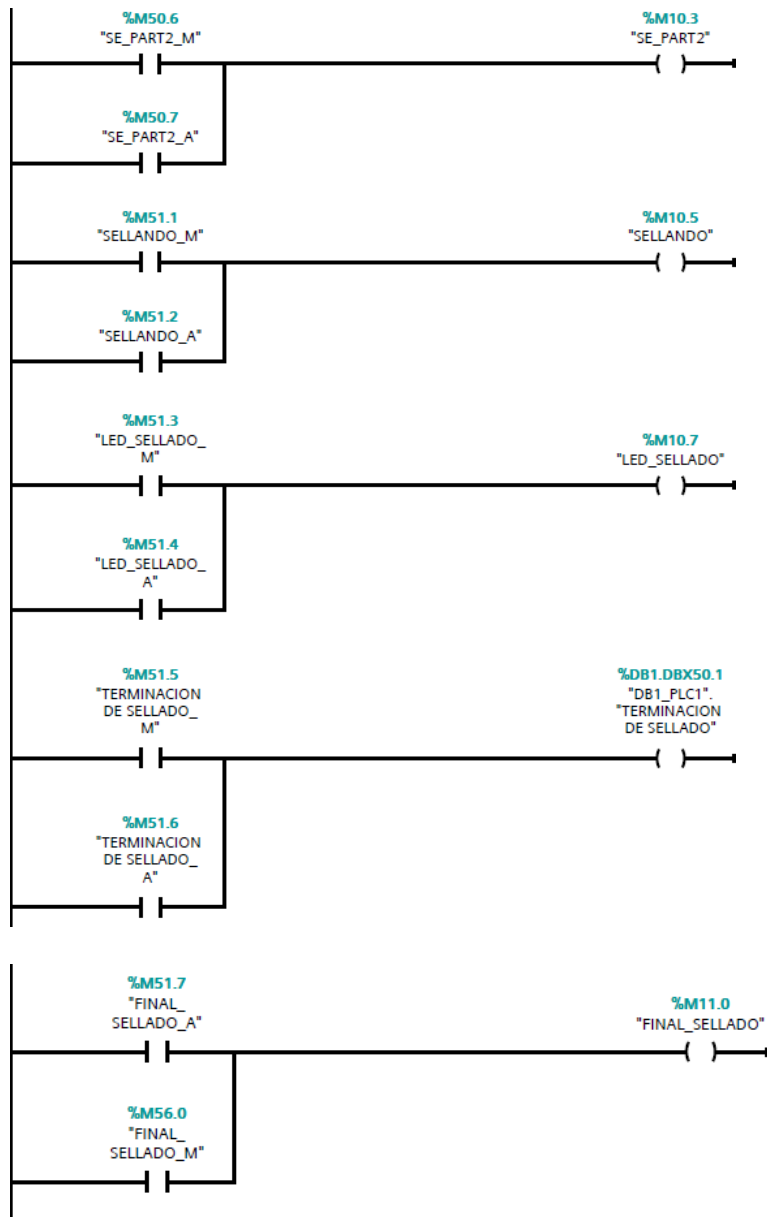


Figura 48. Secuencia tapado parte 2.

Ahora igual que en la etapa de llenado se procede a reiniciar las variables según el modo de uso auto o manual. Para ello se usa los bloques MOVE que según el modo seleccionado ajusta las variables correspondientes o les envía las variables a cero cuando se activa la salida del reinicio de ciclo como se ve en la figura 48.

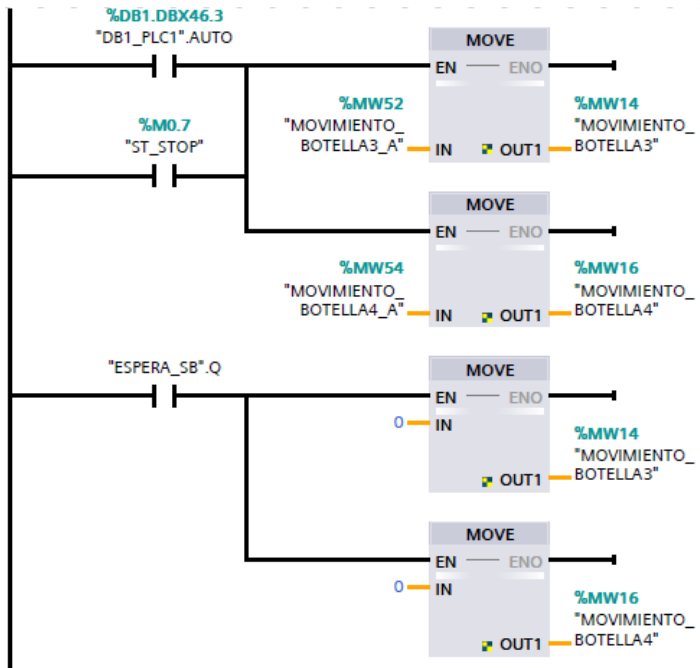


Figura 49. Reset Etapa 2.

En el siguiente segmento se visualiza la programación del movimiento de la botella.

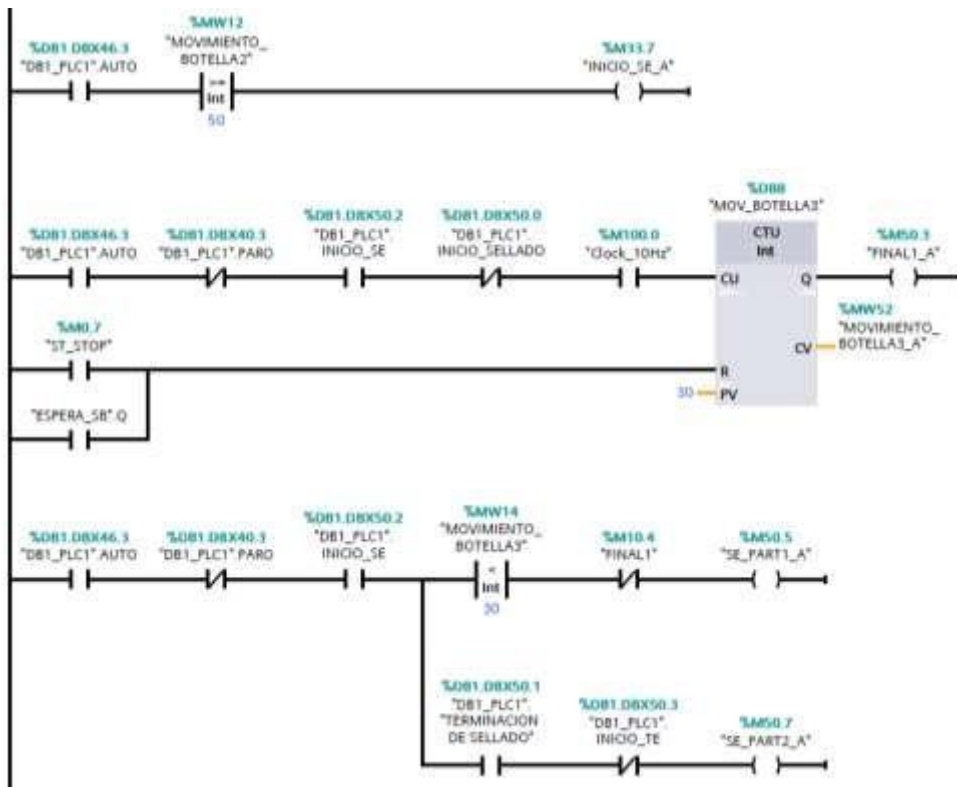


Figura 50. Tapado parte 3.

Por último, el desplazamiento final del proceso de sellado.

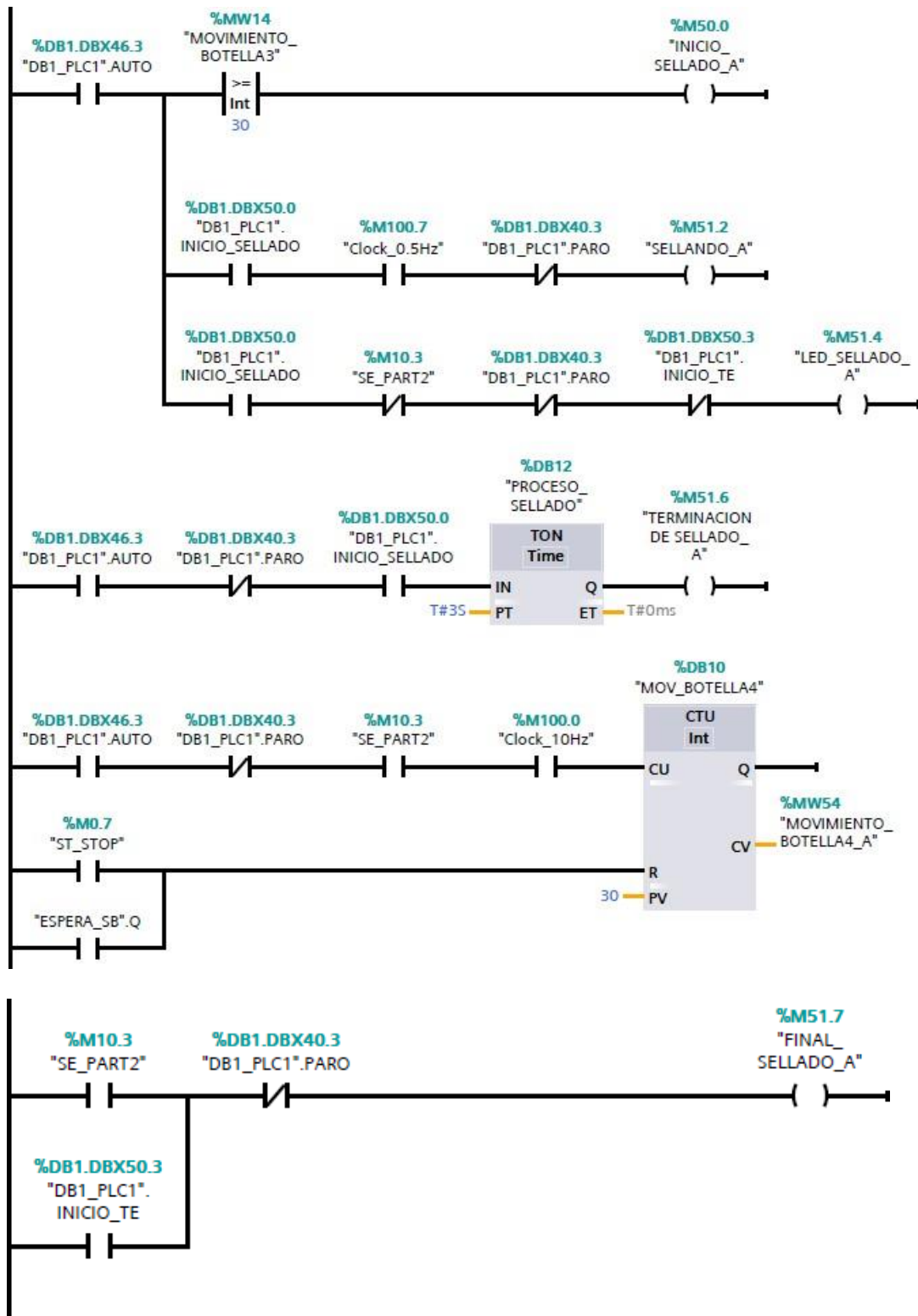


Figura 51. Sellado de botella parte final.

3.2.5. Práctica 5: Proceso de etiquetado y empaquetado

3.2.5.1. HMI: Etiquetado de botella.

Tal como se ve en la figura 51, el diseño del etiquetado se muestra el proceso de etiquetado de la botella de leche luego de verificar su correcto sellado pasa a ser etiquetado y empacado para luego ser almacenado por lotes.



Figura 52. Etiquetado de botella.

El proceso comienza partiendo del tapado de la botella una vez se tapa avanza en la banda transportadora hacia la etiquetadora.

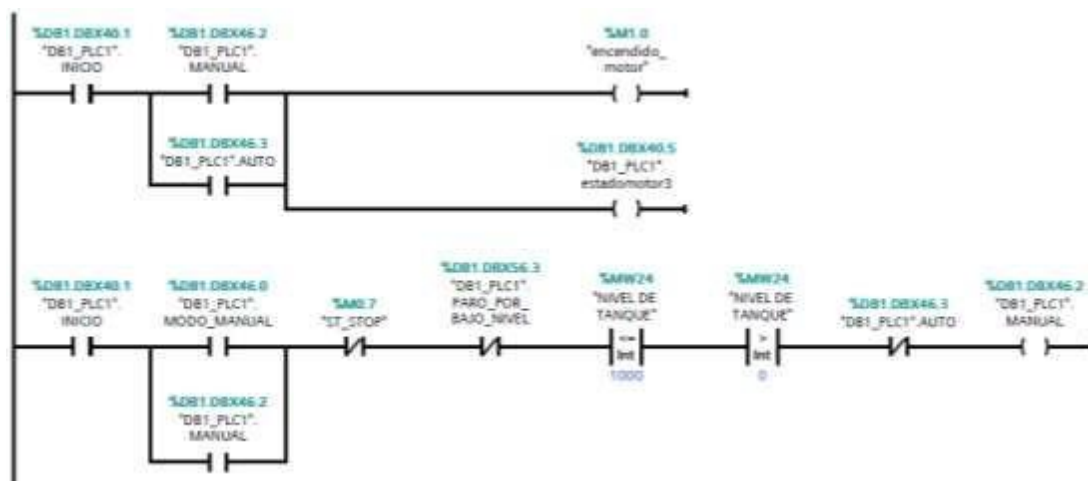


Figura 53. Proceso de etiquetado parte 1.

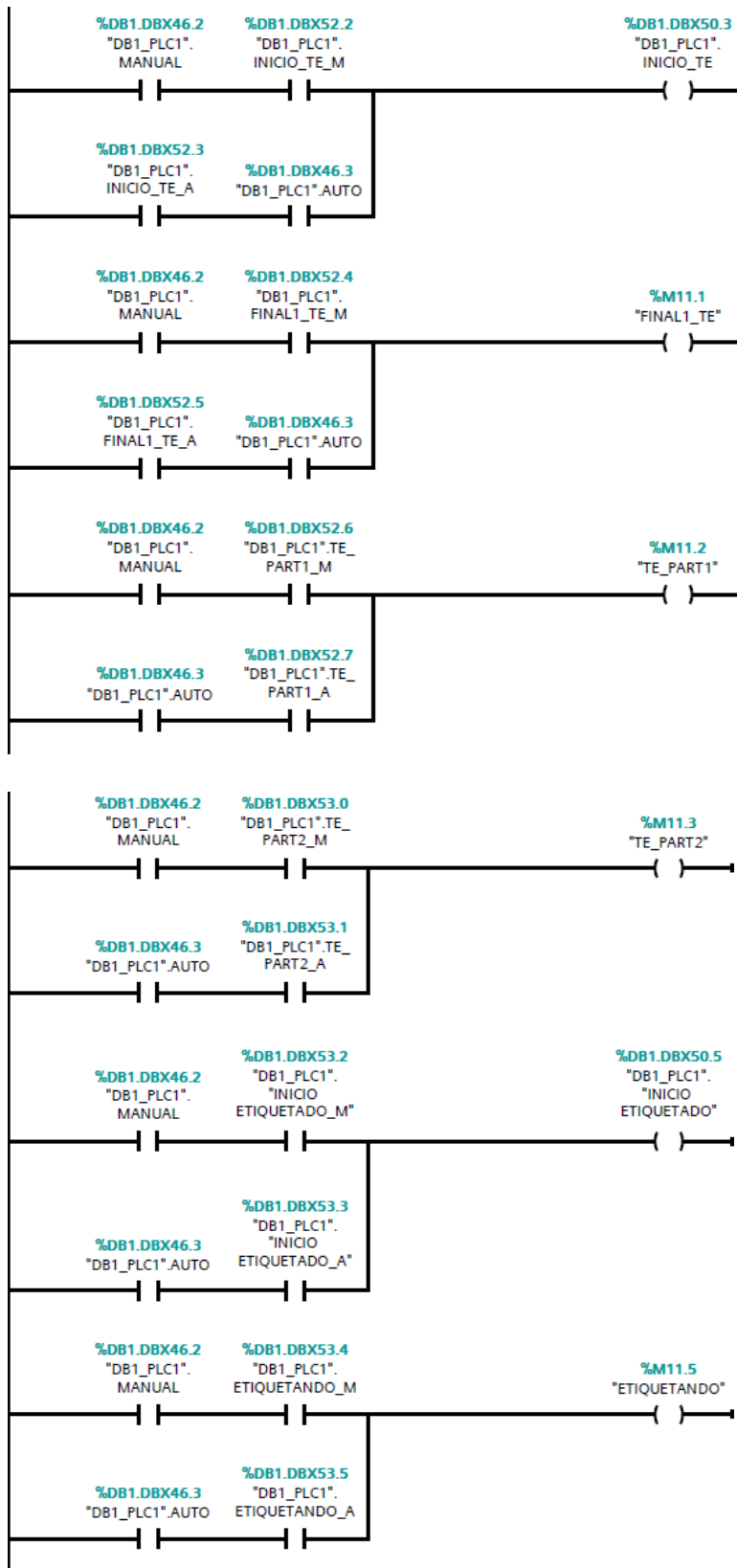


Figura 54. Proceso de etiquetado parte 2.

Luego se procede a reiniciar las variables.

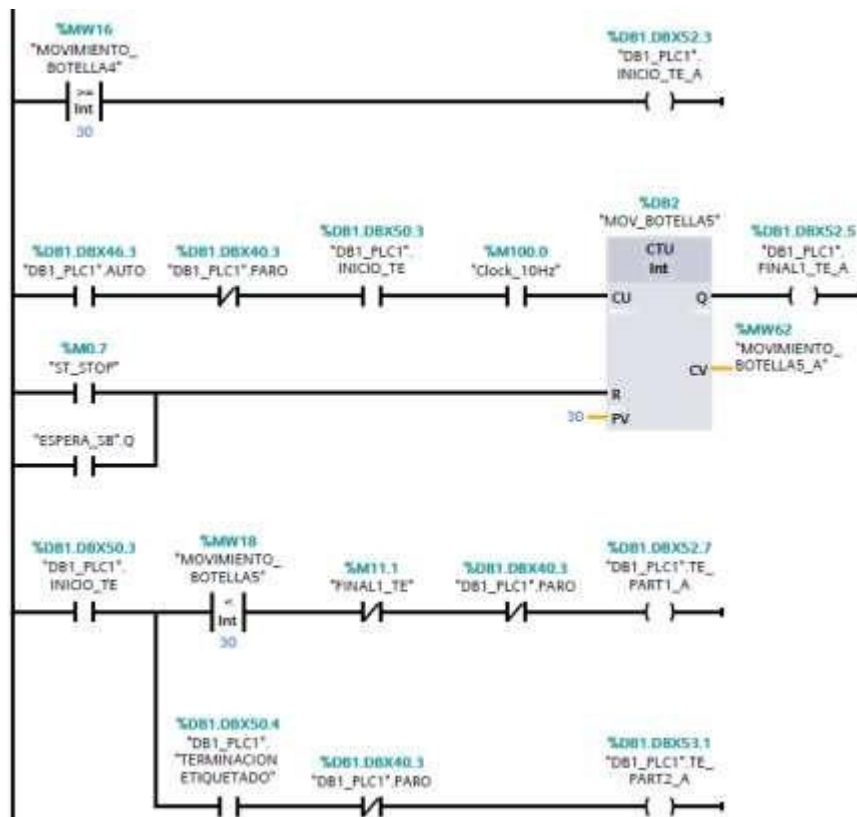
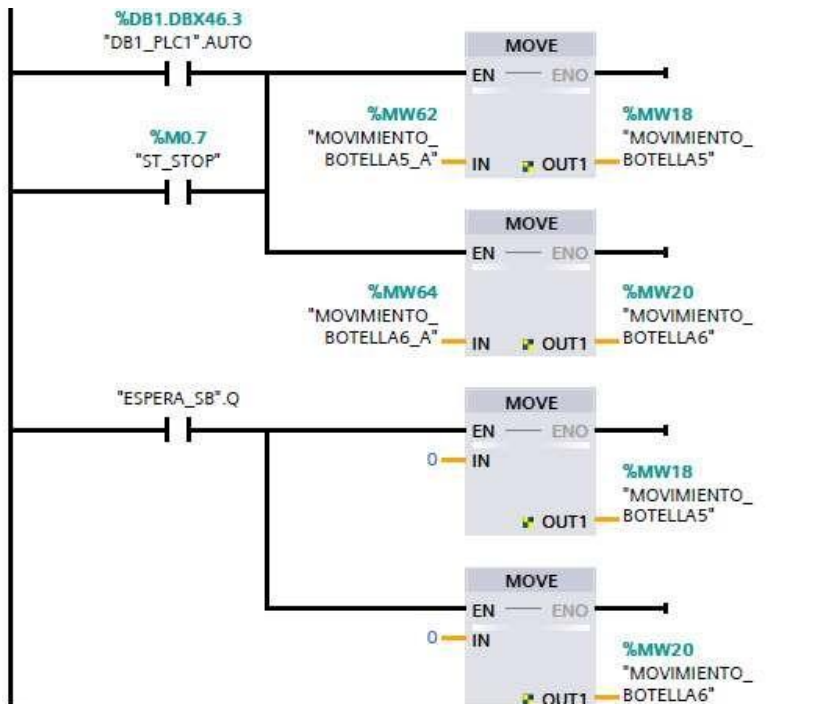


Figura 55. Reiniciar variables.

En este segmento se muestra el movimiento de la botella antes de pasar a la parte del empaquetado y almacenado.

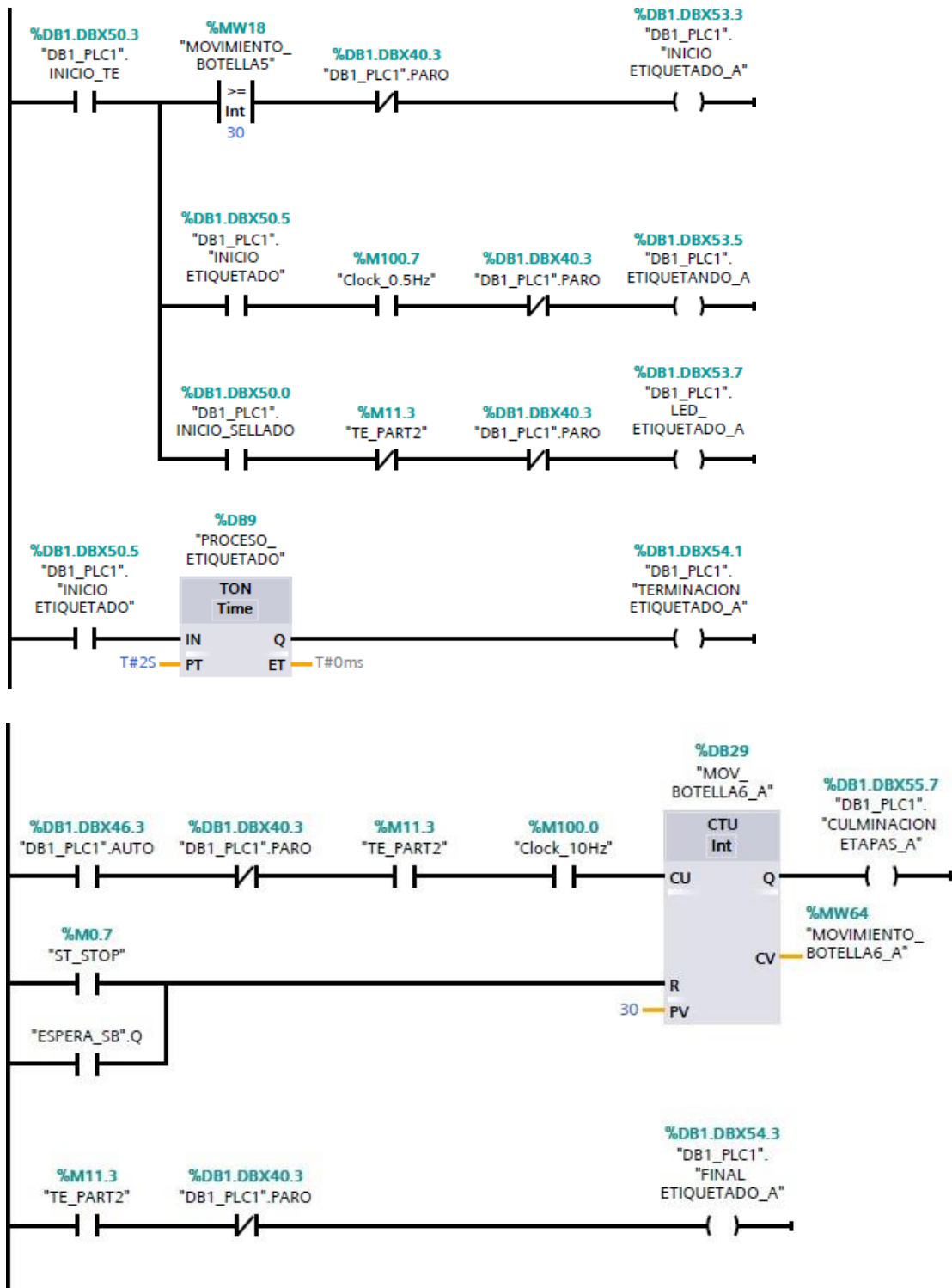


Figura 56. Etiquetado y empaquetado de la botella.

Luego del proceso de empaquetado de botellas tal como se observa la figura 56 donde se da paso al proceso final de almacenado del proceso.

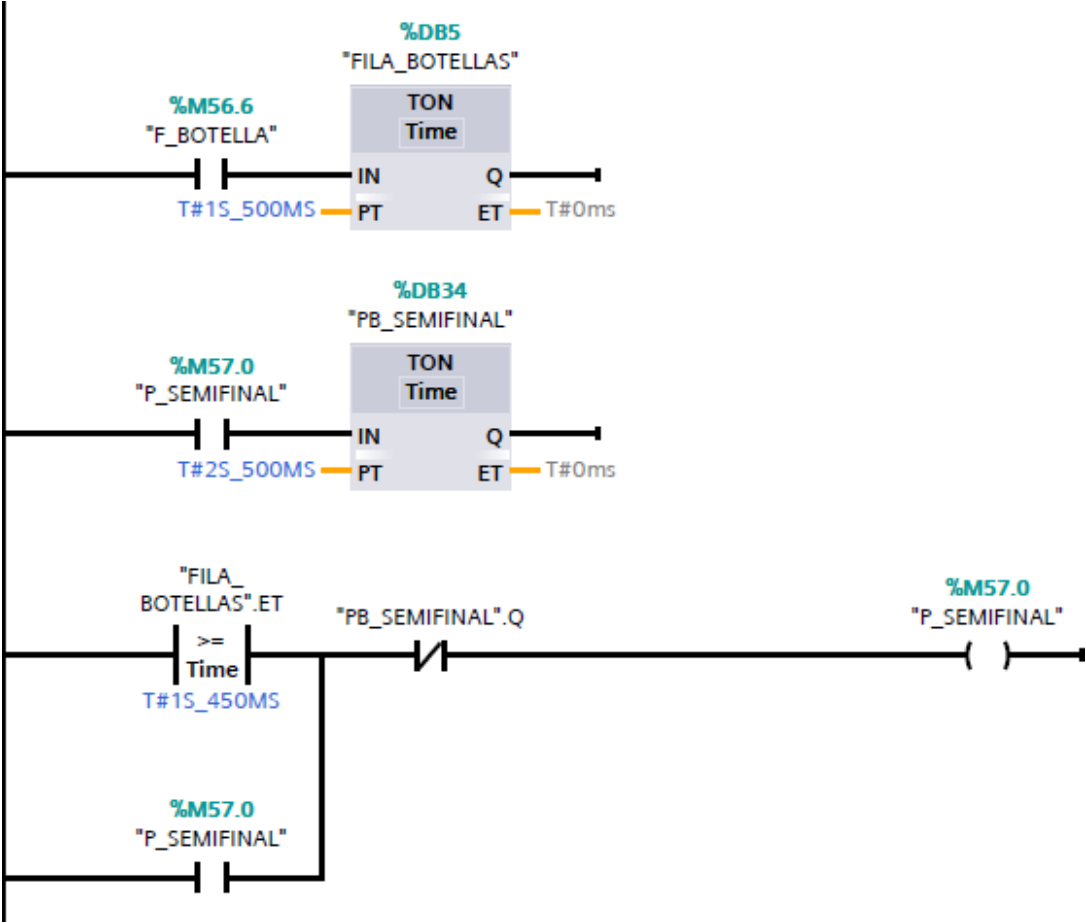


Figura 57. almacenamiento de la botella.

3.3. HMI

3.3.1. Pantalla principal

En la interfaz de usuario se puede observar el total de imágenes utilizadas en diseño para el desarrollo del sistema, así como los mensajes de alerta que aparecerán en caso de que sea requerido.

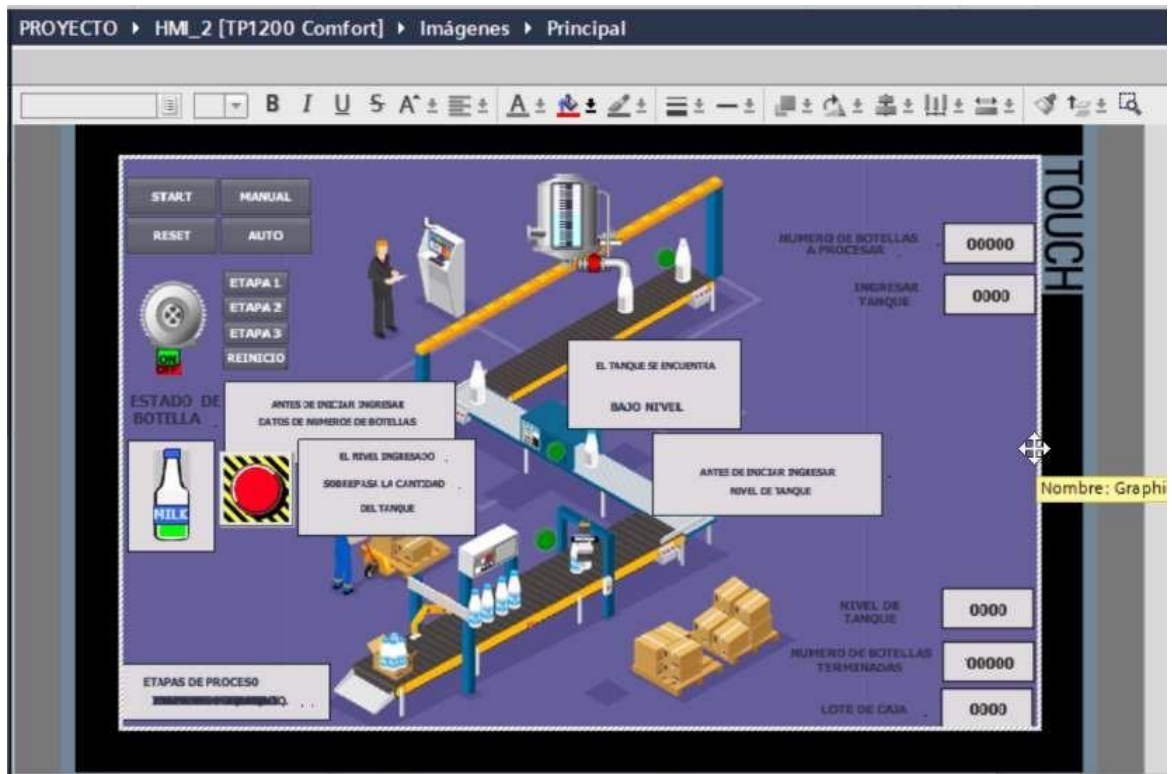


Figura 58. Pantalla principal.

Ahora se hará referencia a la tabla de direccionamiento de variables usadas y enlazadas entre la programación del main principal con la configuración de las propiedades de los componentes de la pantalla HMI.

3.3.2. Tabla de direccionamiento HMI

Para el caso de la tabla de direcciones HMI se verifica todas las variables y su enlace con PLC_1

Nombre	Tipo de datos	Conexión	Nombre del PLC	Variable PLC	Dirección
Auto	Bool	HMI_Conne...	PLC_1	DB1_PLC1.MODO_AU...	%DB1.DBX46.1
Auto activado	Bool	HMI_Conne...	PLC_1	DB1_PLC1.AUTO	%DB1.DBX46.3
B terminadas manual	Int	HMI_Conne...	PLC_1	BOTELLA_TERMINADAS_M	%M068
Botella sellando	Bool	HMI_Conne...	PLC_1	BOTELLA_SELLANDO	%M564
CAJA BOTELLA	Int	HMI_Conne...	PLC_1	CAJA_COMPLETA	%M864
Clock 10hz	Bool	HMI_Conne...	PLC_1	Clock_10Hz	%M100.0
Clock 5hz	Bool	HMI_Conne...	PLC_1	Clock_5Hz	%M100.1
CT_LOTE	Int	HMI_Conne...	PLC_1	CT_LOTE	%M074
CULMINACION_TEMP	Bool	HMI_Conne...	PLC_1	DB1_PLC1.CULMINACION...	%DB1.DBX55.4
ET1_PART1	Bool	HMI_Conne...	PLC_1	DB1_PLC1.ET1_PART1	%DB1.DBX50.6
ET1_PART2	Bool	HMI_Conne...	PLC_1	DB1_PLC1.ET1_PART2	%DB1.DBX50.7
ET1_PART3	Bool	HMI_Conne...	PLC_1	DB1_PLC1.ET1_PART3	%DB1.DBX51.0
ET2_MV_BOTELLA	Int	HMI_Conne...	PLC_1	MOVIMIENTO_BOTELLAS	%M014
ET2_PART1	Bool	HMI_Conne...	PLC_1	DB1_PLC1.ET2_PART1	%DB1.DBX51.2
ET2_PART2	Bool	HMI_Conne...	PLC_1	DB1_PLC1.ET2_PART2	%DB1.DBX51.3
ET2_PART3	Bool	HMI_Conne...	PLC_1	DB1_PLC1.ET2_PART3	%DB1.DBX51.4
ET3_PART1	Bool	HMI_Conne...	PLC_1	DB1_PLC1.ET3_PART1	%DB1.DBX51.6

Tabla 2. Tabla de dirección HMI.

3.3.3. Mensajes de alarma

Se realiza la programación de cada mensaje de alerta según los niveles limitantes de cada variable.

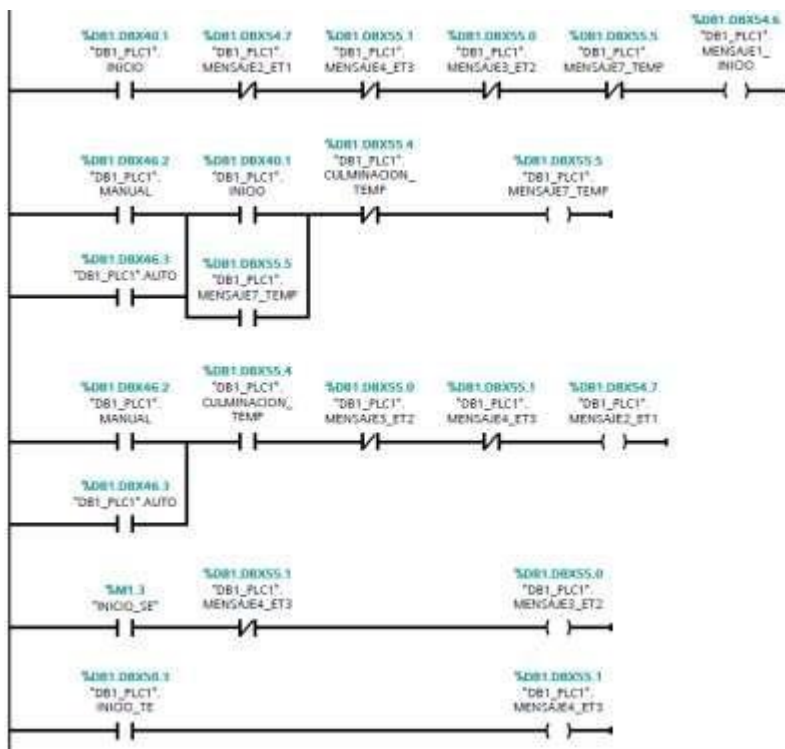


Figura 59. Programación de PLC para mensajes y alertas.

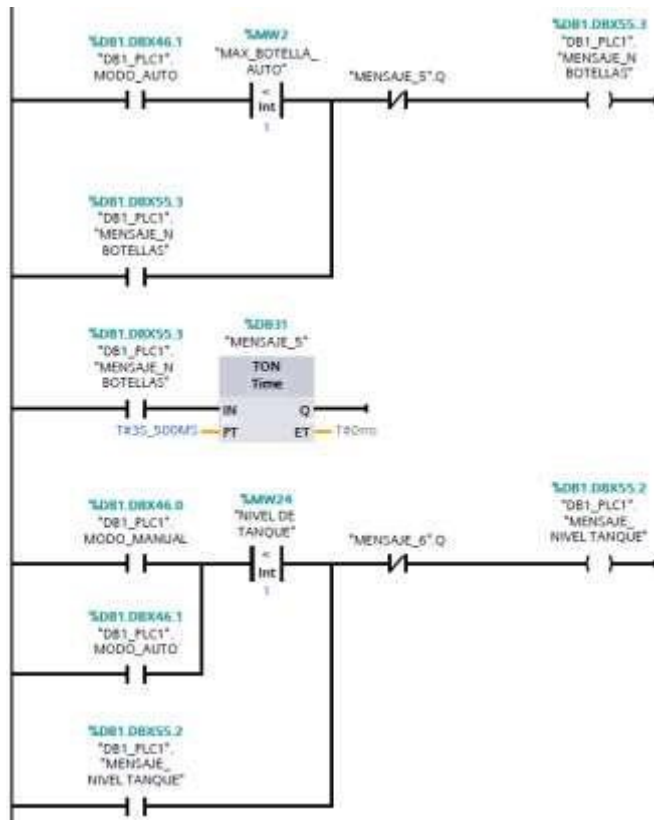


Figura 60. Programación de PLC para mensajes y alertas.

Ahora se muestran los temporizadores para cada mensaje de alerta.

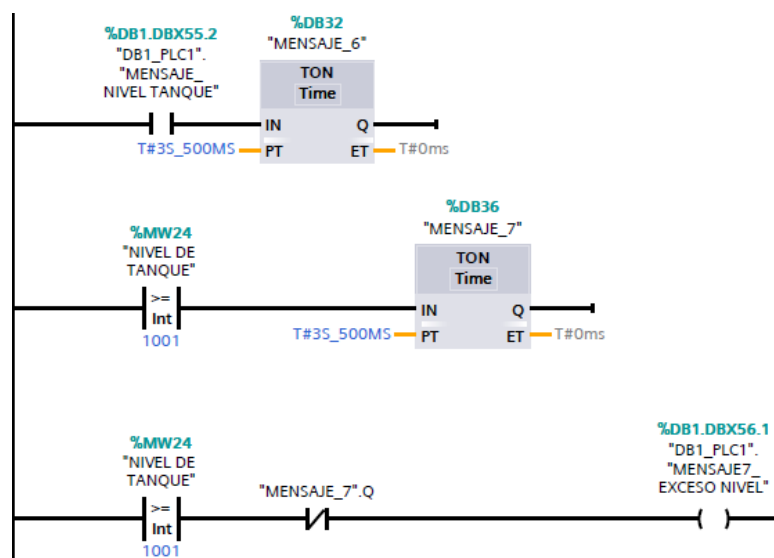


Figura 61. Programación PLC mensajes.

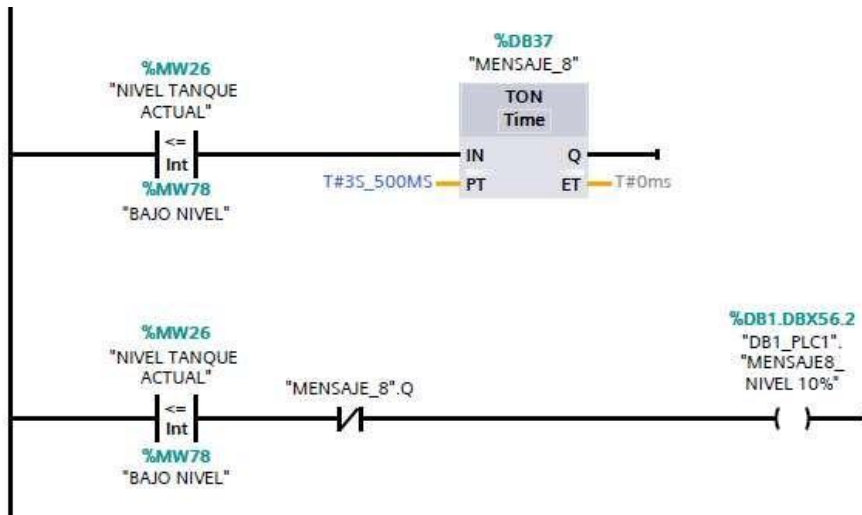


Figura 62. Programación PLC mensajes.

3.3.4. Reinicio del ciclo automático

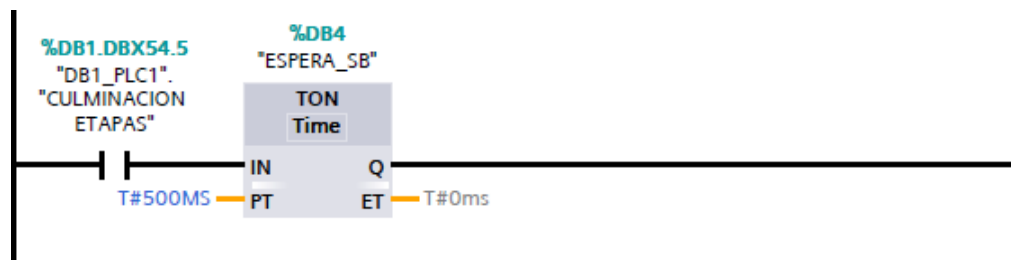


Figura 63. Segmento de reinicio de ciclo.

3.4. Programación Node-RED

En cuanto a la programación de Node-RED se debe mencionar las diferentes secciones como son:

- Flujo
- Nodos

3.4.1. Flujo

El flujo hace referencia a la pantalla principal en donde se puede encontrar toda la configuración, las librerías o nodos, la sección de debug, configuración, Manage pallette y deploy.

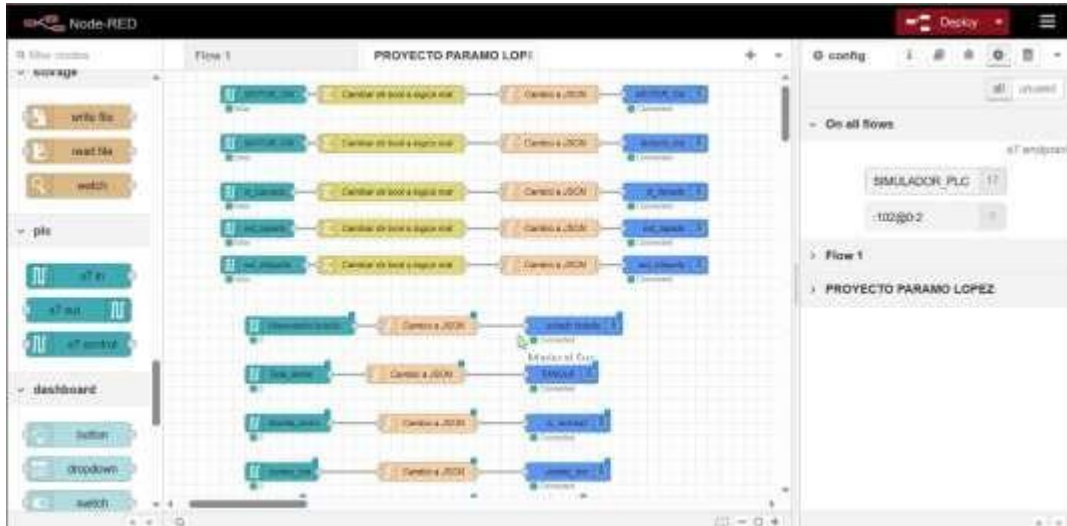


Figura 64. Interfaz principal Node-RED.

Para el análisis de los nodos de configuración en Node-RED se debe considerar el punto de vista. Si se basa en un análisis desde los nodos del PLC, es posible validar nodos de lectura y escritura.

3.4.2. Nodos de lectura

Se refieren a los nodos que se lee desde el PLC y lo envía a UBIDOTS tal como se ve en la figura 62.



Figura 65. Nodos de lectura Node-RED.

3.4.3. Nodos de escritura

Para el caso de los nodos de escritura se considera los nodos de PLC y que en este caso las variables que son modificadas.

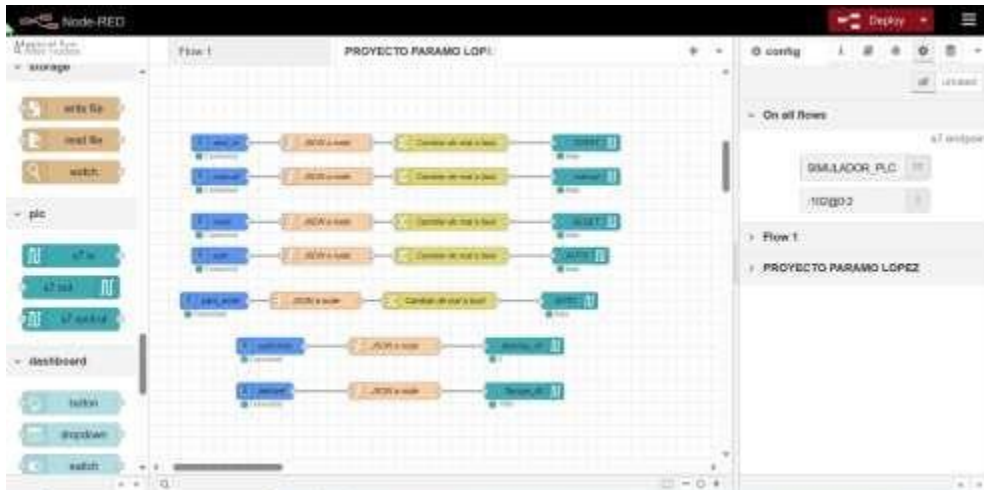


Figura 66. Variables de escritura.

3.5. Programación Ubidots

En el caso de Ubidots al ser una Plataforma intuitiva y requiere una configuración básica en cuanto dos aspectos claves:

- Variables
- Dashboard
- Widgets

3.5.1. Variables

Para las variables se deben crear las variables que se van a enviar desde Ubidots. Las variables que se reciben son variables que no necesitan ser creadas desde la plataforma.



Figura 67. Variables Ubidots.

3.5.2. Dashboard

Para el Dashboard se tiene que tener en cuenta que deben estar configuradas todas las variables en el apartado de “Devices” para poder enlazar cada widget. En este proyecto se usa los siguientes tipos de Widgets en la implementación del Dashboard:

- Widgets Metrics.
- Widgets Control.

Así como se puede apreciar en la figura 65 se muestra la interfaz final del proyecto de titulación.



Figura 68. Dashboard final del proyecto.

3.5.3. Widgets

3.5.3.1. Metrics

Dentro de los widgets se puede encontrar el apartado de Metrics que permite mostrar las variables cuantitativas de diferentes formas para una mejor observación.

Los formatos más comunes tal como se muestra en la figura 66 son:

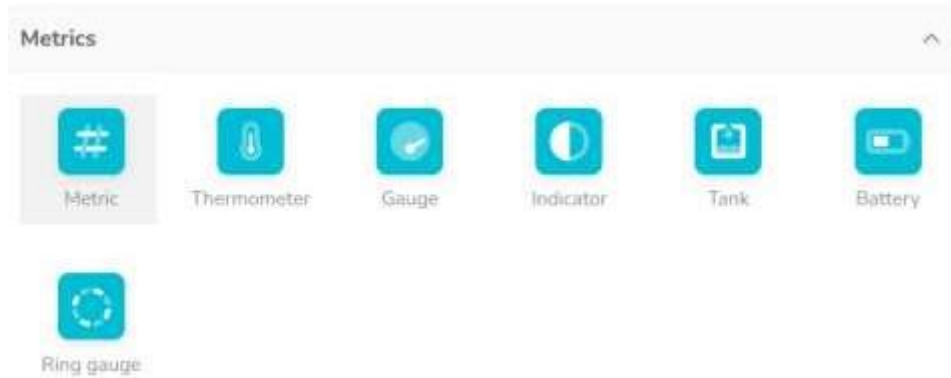


Figura 69. Widgets Metrics de Ubidots.

Dentro de los widgets de Metrics se puede mencionar los siguientes:

- **Metric:** Se refiere al valor exacto de la variable mostrado como número.
- **Thermometer:** Muestra los valores como un sensor de temperatura en este caso como un termómetro para ayudar a la comprensión visual de los datos.
- **Indicator:** Muestra el estado de las variables booleanas con dos colores diferentes.
- **Tank:** Muestra las variables numéricas como nivel de un tanque.
- **Battery:** Muestra las variables de manera similar a una batería.

3.5.3.2. Control

En el caso de los widgets de control se usa los actuadores como switch y la entrada manual de datos para ajustar los parámetros de simulación tal como se puede apreciar en la figura 67 se puede observar los diferentes widgets de control.

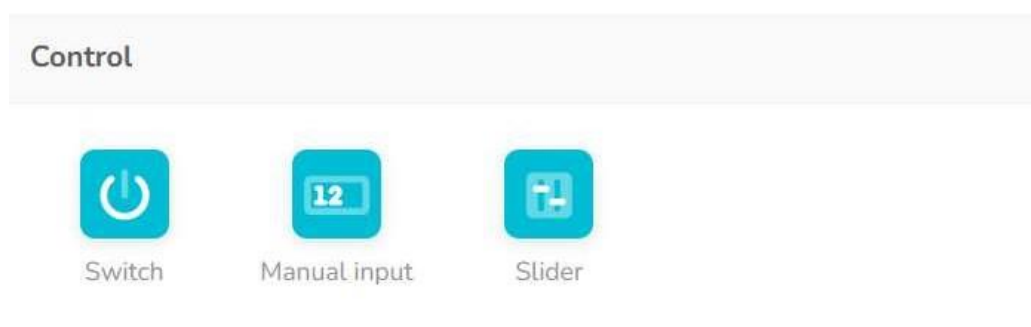


Figura 70. Widgets de control.

En lo que respecta al control, Se puede explorar aquellos componentes utilizados en el contexto de este proyecto.

Interruptor (Switch): Cumpliendo la función de una representación virtual de un interruptor booleano, el componente Switch desempeña un papel fundamental al emular la activación o desactivación de una variable designada.

Entrada Manual (Manual Input): Como un elemento dinámico en el conjunto de herramientas de control, el componente Entrada Manual facilita la asignación de valores numéricos precisos a variables específicas. Al ofrecer la capacidad de ingresar caracteres numéricos directamente, se convierte en una herramienta versátil para controlar y ajustar variables de acuerdo con requisitos específicos.

4. RESULTADOS

Para ejecutar un correcto análisis de resultados se deben considerar un análisis de las variables de interés tanto de entrada como salida.

4.1. Análisis de Variables

En el análisis de las variables del proceso de envasado se dividen en dos tipos que son: variables de entrada y salida en dichos apartados se valida la necesidad de tener un registro de monitoreo en tiempo real para generar datos estadísticos que permitan reducir tiempos no productivos y mantenimientos innecesarios.

4.1.1. Variables de entrada

En las variables de entrada se describen las siguientes:

- “SETBOTELLA” representa el número de botellas que se desean procesar.
- “SETTK” representa el nivel del depósito principal de la leche.

En la figura 68 se puede observar los widgets de control que permiten el envío de datos remoto en tiempo real.

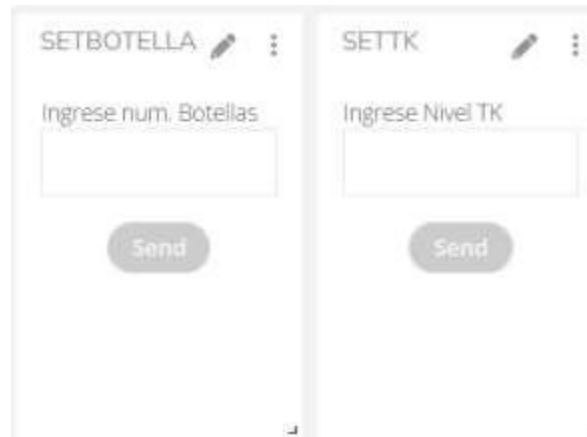


Figura 71. Widgets de entrada.

A continuación, se realiza un análisis de los gráficos obtenidos en la plataforma de Ubidots de cada una de estas variables para poder validar la importancia de registrar los cambios de los parámetros en tiempo real.

4.1.1.1. Análisis variable de número de botellas

En la figura 69 obtenido de la plataforma Ubidots para la variable "setbotella", que representa el número de botellas que se desean procesar en el proceso de envasado de leche en tiempo real, se describe una representación visual que ofrece una perspectiva clara y continua de la evolución de este parámetro a lo largo del tiempo. Este gráfico permite observar de manera eficiente las fluctuaciones y cambios en la cantidad de botellas establecidas para el proceso de envasado, ofreciendo una instantánea actualizada del estado de producción en tiempo real.



Figura 72. Gráfica de la variable setbotella.

El control y monitoreo de la variable "setbotella" es importante por varias razones. En primer lugar, esta variable es base para la planificación y programación eficiente de la línea de producción. Asegurarse de que el número de botellas configurado coincida con la capacidad y la demanda del proceso evita el desperdicio de recursos y tiempo, alineando la producción con las necesidades reales.

Además, otro aspecto importante radica en la optimización de recursos y la maximización de la productividad. Al analizar los gráficos de "setbotella", es posible identificar patrones y tendencias en la demanda, lo que facilita la adaptación de la producción según las fluctuaciones de la demanda. Esto ayuda a evitar la subproducción o la sobreproducción, lo que puede resultar en costos innecesarios o la falta de productos disponibles.

4.1.1.2. Análisis del nivel del depósito de leche.

En el gráfico 2 obtenido de la plataforma Ubidots para la variable "SETTK", que representa el nivel del depósito de leche en el proceso de envasado en tiempo real, que brinda una visión clara y continua de cómo varía este parámetro a lo largo del tiempo. Este gráfico permite observar de manera efectiva las fluctuaciones y cambios en el nivel de leche en el depósito, ofreciendo una instantánea actualizada y precisa del estado de llenado en tiempo real.



Figura 73. Nivel de depósito de leche.

El control y monitoreo de la variable "SETTK" es de importancia debido a diversas razones. En primer lugar, esta variable juega un papel crítico en la garantía de un proceso de envasado sin interrupciones. Mantener un nivel óptimo de leche en el depósito es esencial para evitar problemas como la falta de materia prima durante la producción, lo que podría detener la línea de envasado y afectar la eficiencia general.

El seguimiento constante de esta variable a través de los gráficos en tiempo real de Ubidots permite la detección temprana de cualquier disminución significativa en el nivel del depósito. Si los gráficos muestran una caída inusual en el nivel de leche, se pueden tomar medidas preventivas de inmediato para recargar el depósito y evitar situaciones de emergencia que podrían afectar la continuidad del proceso.

4.2. Variables de salida

En el análisis de las variables de salida se cuenta con 3 variables clave que analizar serían las siguientes:

- Botellas terminadas
- Lote
- Depósito de leche

En la siguiente figura 69 se visualiza el widget de botellas terminadas y el de lote que van aumentando y se van registrando en las gráficas según el tiempo transcurrido del control y monitoreo en Ubidots.



Figura 74. Widgets variables de salida.

En la figura 70 se muestra el widget de tanque que representa el depósito principal de leche.



Figura 75. Nivel de depósito de leche.

4.2.1.1. Análisis de la variable conteo de botella

La variable "conteo_bot" es un indicador que se muestra en el gráfico 3 para el proceso de envasado de leche que representa el número de botellas de leche que han sido completamente procesadas y envasadas. Esta variable refleja la cantidad exacta de botellas que han pasado por todas las etapas del proceso de envasado y que están listas para ser distribuidas. La plataforma de Ubidots muestra en tiempo real la evolución de esta variable en un widget que ilustra claramente cómo el número de botellas de leche terminadas se incrementa a medida que el proceso avanza.

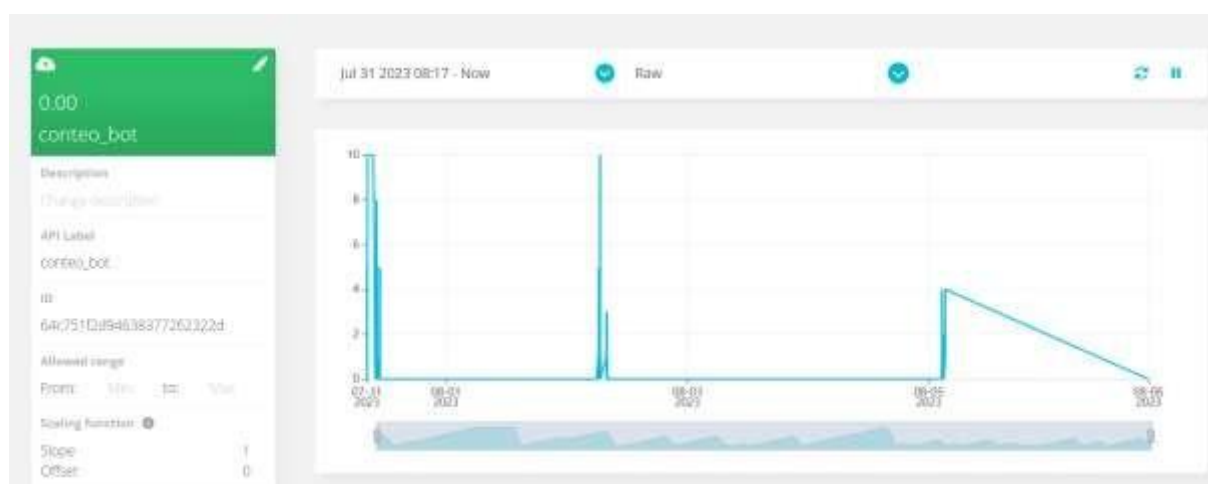


Figura 76. Variable conteo de botella.

El control y monitoreo preciso de la variable "conteo_bot" resulta crucial en el proceso de envasado de leche por diversas razones. En primer lugar, esta variable proporciona información sobre la eficiencia del proceso. Al observar el aumento gradual del conteo de botellas terminadas, los operadores y el personal de supervisión pueden evaluar la velocidad de producción y asegurarse de que el proceso esté funcionando de acuerdo con las expectativas y estándares establecidos.

Además, el control de la variable "conteo_bot" permite detectar rápidamente cualquier anomalía o interrupción en el proceso de envasado. Si el conteo de botellas terminadas se detiene o disminuye, esto podría indicar un problema en alguna de las etapas del proceso, como un atasco en la línea de envasado o un mal funcionamiento de una máquina.

4.2.1.2. Análisis de la variable lote

El gráfico 4 de la variable "lote" es una representación clave en el proceso de envasado de leche, indicando el número de cajas empaquetadas, cada una conteniendo 4 botellas de leche envasadas y etiquetadas. Esta variable refleja la cantidad precisa de lotes completos, listos para su distribución y venta. La plataforma Ubidots muestra en tiempo real la evolución de esta variable en un gráfico, ilustrando cómo el número de lotes empaquetados aumenta con el tiempo a medida que el proceso avanza.



Figura 77. Gráfico de la variable lote.

El control y monitoreo preciso de la variable "lote" es de vital importancia en el proceso de envasado de leche por varias razones. En primer lugar, esta variable proporciona una medida concreta de la producción. Cada lote empaquetado representa un conjunto completo y verificable de botellas de leche listas para ser distribuidas. Al mantener un registro detallado de los lotes empaquetados, los operadores y supervisores pueden tener un seguimiento riguroso de la producción total, lo que es esencial para la gestión de inventario y la planificación logística.

Además, el control de la variable "lote" facilita la detección temprana de posibles problemas en el proceso de envasado. Si el número de lotes empaquetados disminuye o se detiene repentinamente, podría indicar una interrupción en la línea de producción, un fallo en la maquinaria o una posible escasez de material de empaque. El monitoreo constante de esta variable permite una respuesta rápida para identificar y resolver problemas, evitando retrasos significativos en la producción y asegurando la continuidad operativa.

4.2.1.3. Análisis de la variable tanque.

La gráfica 5 llamada "tanque" es una representación esencial en el proceso de envasado de leche, que refleja el nivel de leche almacenada en un depósito. Esta variable proporciona una medida cuantitativa del volumen total de leche disponible en el tanque en un momento dado, y a través de un gráfico en tiempo real en la plataforma Ubidots, muestra cómo este nivel disminuye gradualmente con el tiempo a medida que se lleva a cabo el proceso de envasado.



Figura 78. Variable tanque.

El control y monitoreo de la variable "tanque" reviste una importancia crítica en el proceso de envasado de leche debido a varias razones clave. En primer lugar, esta variable proporciona una visión en tiempo real de la cantidad actual de leche disponible para el envasado. Mantener un control preciso del nivel del tanque es esencial para evitar interrupciones en la producción debido a la falta de materia prima. El monitoreo constante permite a los operadores tomar decisiones informadas sobre cuándo es necesario reponer el tanque, evitando posibles paros no planificados en la línea de producción.

Además, el control de la variable "tanque" está intrínsecamente relacionado con la eficiencia operativa y la planificación. Al analizar el gráfico en tiempo real de esta variable, los supervisores pueden identificar tendencias en la disminución del nivel del tanque. Estas tendencias pueden estar vinculadas a la velocidad de producción, los patrones de demanda y la eficacia de la línea de envasado. Utilizando esta información, se pueden realizar ajustes para optimizar la programación de reabastecimiento del tanque y garantizar una producción continua y sin interrupciones.

5. Conclusiones

Mediante la implementación detallada en el entorno de programación TIA Portal, se ha logrado un sistema de control y monitoreo estructurado del proceso de envasado de leche. Cada etapa y fase del proceso ha sido secuenciada, lo que ha permitido obtener una representación virtual fiel del proceso completo de envasado.

La integración exitosa de las variables de interés del proceso en la pantalla HMI simulada brinda una pauta clave a una supervisión y control en tiempo real efectiva. La visualización en tiempo real de estas variables proporciona a los operadores una visión integral del proceso de envasado, permitiendo tomar decisiones informadas y ajustar los parámetros en función de las necesidades cambiantes.

La perfecta integración entre el entorno de desarrollo TIA Portal, el enlace con Node-RED además del envío y recepción de datos a la plataforma Ubidots ha dado como resultado un monitoreo y control en tiempo real robusto. La transmisión continua de datos desde el proceso de envasado hasta la plataforma IoT garantiza una vigilancia remota, posibilitando la detección temprana de anomalías y la toma de decisiones basadas en datos precisos.

La creación de una guía didáctica es un recurso educativo y útil. Los diagramas detallados y la programación brindan una comprensión de cada faceta del proyecto, lo que facilita a estudiantes y profesores adentrarse en la aplicación práctica de tecnologías de automatización y control.

El despliegue del proyecto completo en las 5 prácticas de laboratorio simuladas en software ha complementado el valor educativo del proyecto. Estas prácticas brindan a los estudiantes la oportunidad de interactuar con situaciones reales en un entorno virtual, fomentando la comprensión y el desarrollo de habilidades prácticas en el campo de la automatización industrial.

6. Recomendaciones

Se recomienda verificar los tiempos de envío de datos para obtener los mejores resultados y obtener un tráfico de red fluido en el enlace.

Es importante destacar que se debe configurar correctamente el PLCSIM advance teniendo en cuenta el direccionamiento ip en cada componente para evitar conflictos.

Para el proceso de envasado es clave activar los mecanismos de conexión permitiendo el acceso mediante PUT/GET.

En la configuración de la plataforma de Node-RED se debe considerar que para la recepción de variables desde Ubidots se tiene que recibir primero las variables desde Ubidots para que se registre el envío correctamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo Gómez, D. A. (2005). *Composición nutricional de la leche de ganado vacuno*. Revista Lasallista de Investigación, 2(1), 38-42. .
- Barrera Palacios, O. A. (2019). *Selección de leche de vaca para UHT aplicando su perfil analítico como método predictivo*. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4275>
- Bonilla, I., Tavison, A., Morales, M., Guajardo, L. &, & Laines, C. (2016). *IOT, El Internet de las Cosas y la Innovación de sus Aplicaciones*.
- cursosaula21. (s.f.). *AS-Interface: qué es y cómo funciona*. Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-es-as-interface/>
- Díaz, M. d. (10 de Septiembre de 2005). PROCESO BÁSICO DE LA LECHE Y EL QUESO. *Revista Digital Universitaria Vol. 6 Num. 9*.
- Gutiérrez Agüero, E. (06 de 2023). *Automatización y monitorización de una línea de producción mediante Factory I/O y TIA Portal con comunicación PROFINET entre PLCs*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10902/29504>
- López Flores, M. X. (2019). *Industria 4.0 para la monitorización de un proceso industrial*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29852>
- microautomacion. (s.f.). *La automatización industrial es una disciplina de la ingeniería encargada de controlar máquinas o procesos industriales de forma óptima, mejorando la calidad del producto y su productividad*. Obtenido de <https://co.microautomacion.com/es/tec/comando-bimanual-2/>
- Obregón Gutiérrez, J. O., & Moreno Balladares, L. A. (2022). *Desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad de energía en la planta industrial Rhinoplast empleando internet de las cosas industrial*. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57437>
- Paredes Verástegui, M. T., & Reynoso Espinoza, N. Z. (2016). *Propuesta de mejora para reducir las no conformidades en el proceso de envasado de leche UHT en bolsa aplicando la herramienta AMFE*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2575>

Sandoval Lope, A. Y., & Sencie Cazal, J. J. (2021). *Implementación de las 5S para mejorar la productividad en el área de envasado UHT de la Empresa Gloria SA*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/85944>

Satoshi. (29 de 06 de 2017). *¿Qué es Modbus?* Obtenido de <https://www.opiron.com/que-es-modbus/>