

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



**"Desarrollo de un Prototipo de una Unidad de Control de Fluido Hídrico para
un Proceso de Mezclado en una Empresa Embutidora"**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniería en
Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Mario Alberto Valenciano Rojas

San Carlos, 2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN

Defensa de Proyecto de Graduación
Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica
Grado Académico de Licenciatura
Instituto Tecnológico de Costa Rica

El Tribunal Evaluador aprueba la defensa del proyecto de graduación denominado "Desarrollo de un Prototipo de Unidad de Control de Fluído Hídrico para el Proceso de Mezclado en una Empresa Embutidora", realizado por el señor Mario Alberto Valenciano Rojas y, hace constar que cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal Evaluador



Ing. Leonardo Cardinale Villalobos
Profesor lector



Dr.-Ing. Juan José Montero Rodríguez
Profesor lector



Ing. Luis Miguel Esquivel Sancho
Profesor asesor

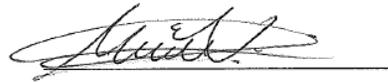
San Carlos, 02 de setiembre de 2019

Declaratoria de autenticidad:

Yo, Mario Alberto Valenciano Rojas, número de cédula 207410196, declaro que el presente documento de la formulación del Anteproyecto para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Electrónica es producto de mi propia investigación, análisis e ideas. De lo contrario, menciono la bibliografía consultada.

Por lo cual, me hago responsable por su contenido o por el incumplimiento a lo que declaro.

Alajuela, 1 de febrero del 2018.



Mario Valenciano Rojas

Cédula: 2-0724-0926

Resumen

El proyecto se llevará a cabo en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, en el Campus Tecnológico Local San Carlos, en el primer semestre del año 2019, en combinación con una empresa embutidora en San Antonio del Tejar de Alajuela, tomando como referencia los estándares y niveles de calidad de la empresa Cinta Azul Ltd. , la cual fue adquirida por la Multinacional Cargill en 1999 y en donde actualmente a diario se produce un gran porcentaje de los embutidos que se consumen en el país.

Para producir embutidos la planta necesita agua como materia prima, la cual debe ser trasladada hasta una máquina que se encarga de mezclarla con otros productos para formar una pasta. Para trasladar el agua utilizan unos recipientes tipo “contenedor” (ver en la figura 1.1), los cuales son llenados manualmente y deben ser elevados hasta vaciar su contenido. La manera actual de transportar el agua genera inconvenientes, ya que, no controlar de manera exacta el peso de los recipientes tipo “contenedor” cargados de agua, origina pérdidas de tiempo, de recurso hídrico e incluso de dinero, afectando las operaciones de la planta Cinta Azul.

El proyecto está enfocado en la necesidad de controlar la cantidad necesaria de recurso hídrico para la elaboración de la pasta en la producción de embutidos, mediante un método de control y medición electrónico que permita estandarizar el proceso de dispensar agua y sea más eficaz que las técnicas utilizadas actualmente en la empresa, además se busca crear un registro de los pesos utilizados diariamente en una base de datos.

En este informe se muestra la ejecución del diseño de un sistema prototipo de control de dosificación y registro de la cantidad de agua aplicada en el área de proceso, mediante un sistema electrónico de control, así mismo la ejecución y comprobación de su funcionamiento, mediante simulaciones y pruebas en la celda FESTO presente en el Laboratorio SIMTEC en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, en el Campus Tecnológico Local San Carlos.

Palabras clave: dosificación, base de datos, sistema electrónico de control, recurso hídrico.

Abstract

The project will be published in the Technological Institute of Costa Rica, at the headquarters of San Carlos, in the first semester of 2019. In a combination with the company Cinta Azul Ltd., in San Antonio del Tejar located in Alajuela and which one was acquired by the multinational Cargill in 1999 where currently a large percentage of the sausages consumed in the country are produced.

To produce sausages, the plant needs water as raw material, which must be transferred to a machine that is responsible for mixing it with other products to make a paste. In this process the water is carrying by a kind of "container" (see figure 1.1), which is filled manually and must be lifted until it gets empty. The current way of transporting the water generates inconveniences, mainly because it does not control in an efficient way the weight of the "container" filled with water and this generates waste of time, hydric resources and money. Affecting straight the operations of Cinta Azul plant.

The project is focused on control the amount of hydric resource used to produce the paste necessary in the production of sausages by an electronic method which controls and manages the amount of water used. Also, this project allows the standardization of the dispensing water process to make the whole process more effectively than the techniques already used in the company. In addition, we seek to create a record of the weights into a database.

This report shows the design process of the dosage control system and the registration of the amount of water applied in the process area through the electronic control system. The execution and the verification of its performance by simulations and tests in the cell FESTO present in the SIMTEC Laboratory at the Technological Institute of Costa Rica, at the headquarters of San Carlos.

Keywords: dosage, database, electronic control system, hydric resource.

Dedicatoria

Dedico este proyecto primeramente a Dios por bendecirme con la vida, la salud y por todo lo que me ha regalado para llegar a esta etapa de mi vida.

En memoria de mi padre Mario Valenciano Morera, que a pesar de que no lo pueda ver físicamente, sé que nunca nos has abandonado; además por el ejemplo que me dejó, porque gran parte de lo que soy es gracias a él. En especial a mi madre, Margarita Rojas Rodríguez, que siempre ha sido una guerrera y que ha querido lo mejor para nosotros; por inculcarme el ejemplo de esfuerzo, trabajo y honradez y por todo el apoyo, dedicación y paciencia durante estos años. A mi hermano Esteban, que indiscutiblemente ha sido mi mano derecha a lo largo de mi vida, por ser todo un ejemplo para mí, por enseñarme que hay que tener constancia y rendir mucho esfuerzo para alcanzar metas y por todo su amor incondicional que me ha brindado. A mi hermana Priscila, que también ha sido un gran ejemplo, por todo su esfuerzo, amor, cariño y apoyo, aportándome mucho como ser humano. Ellos son mis pilares de vida, les dedico muy orgullosamente este título.

A toda mi demás familia, que nunca me negó una mano cuando la necesité y que me han apoyado tanto. ¡Los estimo muchísimo y gracias por nunca dudar de mi capacidad!

También a mis compañeros y amigos de la universidad que me acompañaron en el transcurso de la carrera. ¡Gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad!

Agradecimientos

Agradezco al Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de la Empresa Cinta Azul, por abrirme las puertas para realizar el proyecto, especialmente a los ingenieros a cargo y también al Departamento Administrativo por toda la información que me brindaron. También, a los operarios de la Planta de Proceso por la ayuda y por responder a mis dudas de la mejor manera.

A mi profesor asesor Luis Miguel Esquivel Sancho, por orientarme y brindarme consejos en el desarrollo del proyecto. A todos los profesores que me han visto crecer como persona y profesionalmente. ¡Mil gracias por sus conocimientos y por apoyarme también con mi trabajo!

Agradezco a mis amigos dentro y fuera de las aulas y a todas esas personas que de una u otra manera me ayudaron con un granito de arena tanto en el estudio como en el trabajo, o por simplemente brindarme un poquito de apoyo o motivación.

A Dios por acompañarme siempre y guiarme en mi camino.

Al ingeniero y amigo Francisco Elizondo Rodríguez, y al colega Javier Acevedo Arias por la ayuda brindada en el desarrollo de este proyecto.

A Kevin Hernández Cordero, técnico del Laboratorio SIMTEC San Carlos, por su amabilidad y disposición.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Problema existente e importancia de su solución.....	1
1.2 Solución seleccionada	4
Capítulo 2: Meta y Objetivos	5
2.1 Meta	5
2.2 Objetivo General.....	5
2.3 Objetivos Específicos	5
Capítulo 3: Marco Teórico	7
3.1 Descripción del proceso a mejorar.....	7
3.2 Antecedentes bibliográficos.....	9
3.2.1 Proceso de elaboración de embutidos.....	9
3.2.2 PLC.....	20
3.2.3 HMI	22
3.2.4 Celda FESTO.....	24
3.2.5 Tasa interna de rendimiento (TIR).....	27
3.2.6 Valor actual neto (VAN).....	27
3.3 Principios físicos y electrónicos relacionados con la solución del problema	27
3.3.1 Efecto Hall.....	27
3.3.2 Densidad del agua caliente y fría y su conversión de litros a kg	28
Capítulo 4: Procedimiento metodológico	31
4.1 Reconocimiento y definición del problema.....	31
4.2 Obtención y análisis de información	31
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.....	32
4.4 Implementación de la solución.....	34
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución	35
5.1 Análisis de soluciones y selección final	35
5.2 Descripción del hardware	36
5.2.1 Controlador PLC.....	38
5.2.2 Pantalla Táctil HMI.....	39
5.2.3 Actuadores.....	46
5.2.4 Detector de caudal	50

5.3. Descripción del software.....	54
Capítulo 6: Análisis de resultados	67
6.1 Análisis económico	67
6.2 Análisis ambiental.....	73
6.3 Análisis técnico	74
6.3.1 Pruebas antes de la simulación	74
6.3.2 Pruebas finales de la simulación al utilizar agua	89
7.1 Conclusiones.....	112
7.2 Recomendaciones.....	113
Capítulo 8: Bibliografía.....	114
Capítulo 9: Apéndices y anexos	117
A.1 Análisis económico Cinta Azul.....	117
A2. Manual de Usuario	119
A.3 Requerimientos para una simulación exitosa y un diseño de control de dosificación válido para la empresa.....	126
A.4 Programa completo para sistema de dosificación	127
A.5 Análisis ambiental: Plantilla Unión Europea para Cinta Azul	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Recipiente para transporte de agua	1
Figura 1. 2 Sistema manual de llenado de los recipientes	3
Figura 3. 1 Celda FESTO SIMTEC.....	8
Figura 3. 2 Diagrama tubería e instrumentación del transporte actual.....	10
Figura 3. 3 Solenoide en posición abierto y cerrado	12
Figura 3. 4 Electroválvula de accionamiento neumático.	13
Figura 3. 5 Funcionamiento de una válvula hidráulica.....	14
Figura 3. 6 Dimensiones Recipiente Transporte de agua	15
Figura 3. 7 Romana digital	16
Figura 3. 8 Sistema de elevación de cargas	18
Figura 3. 9 Sistema de mezclado	19
Figura 3. 10 Diagrama del sistema de mezclado	19
Figura 3. 11 Controlador lógico programable S7-300	20
Figura 3. 12 SIMATIC HMI TP700 Comfort	23
Figura 3. 13 Dimensiones SIMATIC HMI TP700 Comfort.....	24
Figura 3. 14 Celda FESTO del laboratorio SIMTEC-SC.....	25

Figura 3. 15	Densidad en base a la temperatura.....	29
Figura 3. 16	Densidad en base a la salinidad.....	29
Figura 3. 17	Densidades del agua a diferentes temperaturas.....	30
Figura 4. 1	Diseño General de Prototipo para el control de agua.....	33
Figura 5. 1	Diagrama de la tubería e instrumentación del diseño propuesto.....	35
Figura 5. 2	Diagrama de bloques del sistema de control de dispensación.....	37
Figura 5. 3	PLC modelo s7- 300 ubicado en SIMTEC.....	38
Figura 5. 4	Conexión entre en PLC y la pantalla HMI.....	39
Figura 5. 5	Pantalla de visualización y manipulación del usuario.....	40
Figura 5. 6	Botón de START.....	41
Figura 5. 7	Botón de STOP.....	41
Figura 5. 8	Botón de Registro.....	42
Figura 5. 9	Botón de Agua Temperatura Ambiente.....	42
Figura 5. 10	Botón de Agua Temperatura Caliente.....	43
Figura 5. 11	Plantilla para introducir la cantidad Agua Temperatura Ambiente.....	44
Figura 5. 12	Sistema de dosificación para agua a temperatura ambiente.....	45
Figura 5. 13	Sistema de dosificación para agua a temperatura caliente.....	46
Figura 5. 14	Electroválvula de bola FESTO de 2 vías de accionamiento neumático.....	47
Figura 5. 15	Código electroválvula Festo.....	48
Figura 5. 16	Válvula de accionamiento neumática Bürkert tipo 2000/2002.....	49
Figura 5. 17	Conexión 1 normalmente cerrada (en posición desactivada).....	50
Figura 5. 18	Medidor de caudal de precisión IR-Opflow.....	51
Figura 5. 19	Caudalímetro tipo 8030.....	52
Figura 5. 20	Sensor de caudal Bürkert 8030.....	53
Figura 5. 21	Diagrama de flujo que toma el PLC junto con la interfaz HMI.....	55
Figura 5. 22	Bit “start”.....	56
Figura 5. 23	Variable de “Inicio” de bloque Set/Reset.....	57
Figura 5. 24	Bit de “stop”.....	57
Figura 5. 25	Variable de “Paro” de bloque Set/Reset.....	58
Figura 5. 26	Instrucción de seleccionar agua a temperatura ambiente.....	59
Figura 5. 27	Instrucción de seleccionar agua a temperatura caliente.....	59
Figura 5. 28	Instrucción de Paro de electroválvulas.....	60
Figura 5. 29	Instrucción de activar electroválvula A.....	61
Figura 5. 30	Instrucción de activar electroválvula B.....	61
Figura 5. 31	Bloques de función para el agua a temperatura ambiente.....	62
Figura 5. 32	Bloques de función para el agua a temperatura caliente.....	64
Figura 5. 33	Función SCALE: señal analógica a digital.....	65
Figura 5. 34	Función integrativa para calcular la cantidad de kilogramos dispensados de agua caliente.....	65
Figura 5. 35	Instrucción de lectura de flujo y su integración para calcular la cantidad de kilogramos dispensados de agua a temperatura ambiente.....	66
Figura 6. 1	Gráfico del agua utilizada anualmente en el proceso de mezclado.....	70
Figura 6. 2	Tarifa del servicio de acueducto AyA periodo 2019.....	71
Figura 6. 3	Módulo de entradas enlazado al PLC.....	75

Figura 6. 4	Activación de bits en las simulaciones.....	76
Figura 6. 5	Activación electroválvula A.....	77
Figura 6. 6	Activación y desactivación de las memorias de “Tfria” o “Tcaliente” al presionar las válvulas en el HMI	78
Figura 6. 7	Puesta en marcha para dosificar 3 Kg de agua fría.....	79
Figura 6. 8	Entrada analógica en la dirección %IW0 para representar el flujómetro	80
Figura 6. 9	Aumento de voltaje para representando señal del flujómetro.....	80
Figura 6. 10	Aumento en la tasa de transferencia según la señal del flujómetro.....	81
Figura 6. 11	Lectura señal flujómetro fría	82
Figura 6. 12	Comparación de valores para la apertura del flujo de agua fría	83
Figura 6. 13	Dosificación completada.....	83
Figura 6. 14	Dosificación completada a nivel de software.....	84
Figura 6. 15	Prueba dosificación antes de simulación final del agua caliente	85
Figura 6. 16	Activación del bit para seleccionar agua a temperatura caliente	85
Figura 6. 17	Apertura de electroválvula B en prueba antes de la simulación.....	86
Figura 6. 18	Lectura de flujo para el agua caliente a nivel de software	87
Figura 6. 19	Comparación de valores para la apertura del flujo de agua caliente.....	88
Figura 6. 20	Dosificación completada a nivel de software para prueba agua caliente.....	88
Figura 6. 21	Segmento que se encarga del reinicio del conteo al finalizar la dosificación	90
Figura 6. 22	Condiciones que se deben cumplir para la apertura y cierre de las electroválvulas .	91
Figura 6. 23	Encendido bomba motor y paro al dosificar la cantidad exacta	92
Figura 6. 24	Proceso en donde al apagarse el motor activa señal para que reinicie el conteo	93
Figura 6. 25	Lectura del flujómetro en cero al activar el bloque bit de “resetfria”	94
Figura 6. 26	Lectura del flujómetro en cero al activar el bloque bit de “resetcaliente”	94
Figura 6. 27	Prueba física del funcionamiento de la Unidad de control de dosificación antes de iniciar el proceso 2,00 Kg de agua fría	95
Figura 6. 28	Prueba física del funcionamiento de la Unidad de control de dosificación para 2,00 Kg de agua fría.....	96
Figura 6. 29	Historial de lectura de flujo de agua para prueba de 2 kg	97
Figura 6. 30	Tanque “201” al dosificar los 2 Kg de agua fría	98
Figura 6. 31	Mediciones con vernier electrónico	99
Figura 6. 32	Cantidad práctica (ml) respecto a la cantidad teórica (g) de agua ambiente dosificada	100
Figura 6. 33	Histograma de la cantidad práctica (g) respecto a la cantidad teórica (g) de agua ambiente dosificada.....	101
Figura 6. 34	Tanque de recibimiento al dosificar 1 Kg de agua fría	102
Figura 6. 35	Prueba física del funcionamiento de la Unidad de control de dosificación antes de iniciar el proceso 1,00 Kg de agua caliente	103
Figura 6. 36	Prueba física del funcionamiento de la Unidad de control de dosificación para 1,00 Kg de agua caliente	104
Figura 6. 37	Historial de lectura de flujo de agua caliente para prueba de 1 kg.....	105
Figura 6. 38	Tanque “B202” al dosificar 1 Kg de agua caliente	106
Figura 6. 39	Cantidad práctica (ml) respecto a la cantidad teórica (g) de agua caliente dosificada	108

Figura 6. 40	Histograma de la cantidad práctica (g) respecto a la cantidad teórica (g) de agua ambiente dosificada.....	109
Figura 6. 41	Registro al dosificar dos kg de agua caliente.....	110
Figura 6. 42	Tanque “B202” al dosificar 2 Kg de agua caliente	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1	Formas utilizadas de etiquetar datos en el proyecto.....	63
Tabla 6.1	Gastos Económicos para el funcionamiento del proyecto.....	68
Tabla 6.2	Estudio del consumo de agua del 09/01/2019 al 08/05/2019.....	69
Tabla 6.3	Consumo y desperdicio de agua diaria, mensual y anualmente.....	69
Tabla 6.4	Dinero que se ahorraría al implementar el proyecto en estudio anualmente..	72
Tabla 6.5	Costo del proyecto y medidas financieras.	72
Tabla 6.6	Cantidad de Kg de CO ₂ que no se liberan al medio ambiente al sugerir la implementación del sistema de dosificación	74
Tabla 6.7	Pruebas de la cantidad de agua a temperatura ambiente dosificada.	99
Tabla 6.8	Pruebas de la cantidad de agua caliente dosificada.....	107
Tabla 6.9	Pruebas de la cantidad de agua caliente dosificada en gramos.	107
Tabla A.1	Requerimientos para una simulación exitosa y un diseño de control de dosificación válido para la empresa.....	127

Capítulo 1: Introducción

En este capítulo, se detalla el problema existente sobre el manejo de agua en un proceso para la elaboración de pasta de embutidos en la Planta Cinta Azul, ubicada en San Antonio del Tejar de Alajuela. Se da a conocer el problema que se genera y la relevancia de buscar una solución.

1.1 Problema existente e importancia de su solución.

Antes de llegar al usuario final las líneas de embutidos pasan por un largo proceso donde deben cumplir con muchas normas de seguridad y de calidad, por lo que la empresa se ve afectada si no se satisfacen con las especificaciones del producto. Una de las principales causas de afectación en dicha industria es que no se tiene establecido la manera correcta de dispensar la cantidad precisa de agua necesaria para hacer la pasta de los embutidos, ya que actualmente se hace manualmente el llenado de un recipiente grande tipo “contenedor” mostrado en la figura 1, el cual se deja debajo de un grifo abierto hasta que llene.



Figura 1. 1 Recipiente para transporte de agua

Dependiendo de la necesidad, se utiliza agua caliente o temperatura ambiente. La primera se encuentra a una temperatura de 55 °C y es capaz de dispensar agua a una razón de producción de 62 kg/min promedio, pero para el agua a temperatura ambiente la razón promedio es de apenas 15 kg/min, tardando cerca de 19:01 min en llenar el recipiente, a causa de esto muchas veces el operario continúa realizando otras labores y no se percata que ya está lleno, lo cual genera un considerado desperdicio de agua al desbordarse alrededor de 3469,99 litros diarios hasta que logre cerrarse el grifo.

Posterior a esto, se gasta mucho tiempo al pesar el contenido para buscar un aproximado de lo que necesitan, según la receta proveniente del Departamento de Investigación y Desarrollo de la empresa, por lo cual en la mayoría de los casos le tienen que sacar agua al recipiente que no es aprovechada.

En los contenedores se disuelven grandes cantidades de condimentos y aditivos para luego ser transportadas y elevadas a una máquina que se encarga de mezclar los ingredientes hasta formar la pasta del embutido.

En el caso de los recipientes de transporte de agua, siempre los llenan incumpliendo las normas de seguridad al sobrepasar la capacidad máxima de peso que soporta la grúa encargada de llevarlos hasta la mezcladora, ya que un contenedor para transporte de agua tiene una masa de 49 kg, y al llenarlo de agua puede llegar a pesar cerca de 327 kg y 334 kg si contiene agua caliente o a temperatura ambiente respectivamente, lo que produce que se rompan las cadenas de la elevadora, ya que tiene una capacidad máxima de 200 kg, pero los operarios para acelerar el proceso sobrepasan el límite.

El principal problema es que no hay una manera eficiente de llenar los recipientes, por lo cual, actualmente el llenado se realiza de una manera manual, con un sistema que puede observarse en la figura 2, el operario si desea echar agua a temperatura ambiente al recipiente, debe abrir la llave encerrada en el círculo azul, y si desea abrir o cerrar el paso de agua caliente, debe accionar la llave encerrada en el círculo rojo:



Figura 1. 2 Sistema manual de llenado de los recipientes

Para la empresa es necesario buscar una solución, ya que a causa del llenado manual de los contenedores se desperdician diariamente alrededor de 3469,99 litros porque se rebalsan los recipientes o si están muy llenos el operario debe sacar cierta cantidad de agua hasta que pesen alrededor de 180 Kg. Por lo cual, el problema radica en que uno de los indicadores de consumo mayor de la planta es el agua, donde actualmente (mes de febrero del 2019) está en 3.4 litros por libra. La meta de la empresa es llegar a 2.5 litros por libra en todo el proceso de producción, ya que tiene un compromiso mundial respecto a la conservación del agua y este proyecto ayudaría en gran parte a disminuir el indicador.

Además, el mantenimiento por romperse las cadenas de la elevadora tiene un costo de alrededor de \$5 000 y al caerse el recipiente se paraliza la producción y puede provocar accidentes. Por otra parte, el transporte de los contenedores genera pérdidas de tiempo al tener que llevarlos de una zona a otra constantemente.

Otro beneficio de realizar la dosificación de manera automática es que el operario solamente tiene que ingresar la cantidad de agua requerida y escoger el tipo de

temperatura, disminuyendo del proceso posibles errores humanos y mejorando el manejo de los recursos al hacerlo más preciso y eficiente.

1.2 Solución seleccionada

Se le planteó a la empresa, para cubrir la necesidad, la implementación de un sistema de control de dosificación y registro de la cantidad de agua aplicada en el área de proceso, para solventar el problema existente sobre el manejo del recurso hídrico.

Además de dispensar el agua de una manera más directa, al eliminar los riesgos provenientes en el traslado y elevado de los recipientes hasta la mezcladora, se propuso una manera eficaz y más precisa de permitir el flujo de agua según la cantidad que desee el operario en kilogramos. También, se estableció una base de datos para documentar las cantidades dispensadas diarias.

Capítulo 2: Meta y Objetivos

2.1 Meta

Elaborar un prototipo de control electrónico que dispense la cantidad necesaria de agua para un proceso industrial y que sea capaz de disminuir y registrar el consumo de recurso hídrico.

2.2 Objetivo General

Diseñar un sistema de control de dosificación y registro de la cantidad de agua aplicada en el área de proceso en una planta de embutido en San Antonio del Tejar de Alajuela, mediante un sistema electrónico de control que cumpla las normas y requerimientos de la empresa.

Indicador: El sistema controla la cantidad de agua especificada por el usuario según los requerimientos de la empresa (componentes con protección contra humedad y polvo, antisépticos, industriales, de acero inoxidable o material similar y que cumplan los niveles de seguridad) y además registra la cantidad de agua aplicada.

2.3 Objetivos Específicos

- a. Diseñar un sistema de control que permita escoger, registrar y controlar la cantidad de agua dosificada al sistema según el proceso.

Indicador: El sistema permite escoger temperatura y cantidad de agua mediante una interfaz. Además de demostrar que se lleva el registro de agua aplicada.

- b. Evaluar el funcionamiento del sistema mediante una simulación con ayuda del software TIA PORTAL y al utilizar el equipo a disposición en la celda FESTO, presente en el Laboratorio SIMTEC del ITCR, Campus Tecnológico Local San Carlos.

Indicador: El prototipo funciona de forma correcta según las premisas requeridas en el área de proceso de la Planta Cinta Azul.

- c. Realizar un estudio de prefactibilidad de aplicación de la solución planteada para determinar la viabilidad del proyecto.

Indicador: El análisis económico indica que el proyecto es factible.

Capítulo 3: Marco Teórico

En este capítulo, se detallan las principales secciones físicas en donde se desarrolla actualmente el problema. Además, se presenta una explicación de los componentes presentes en el diseño de control de dosificación y sus funciones.

3.1 Descripción del proceso a mejorar

La empresa Cinta Azul cuenta con un proceso de dosificación manual, el cual necesita ser automatizado para tener un mejor control del recurso hídrico y ayudar a disminuir el tiempo de los procesos. Actualmente, no se registra ningún dato del proceso de dosificación, por lo que es importante para la compañía contar con el acceso para realizar consultas del registro de agua procesada en cada lote de producto.

El método que se utiliza para controlar el llenado de los recipientes es colocar un contenedor debajo del grifo que se abre manualmente y observar hasta que el líquido alcance el límite del recipiente, o hasta que se desborde y posterior a eso cerrar manualmente la llave.

La planta cuenta con una romana electrónica industrial que se encarga de pesar los recipientes cargados de agua requerida para cada receta. Además, cuentan con una plataforma mecánica encargada de elevar y vaciar el contenido de los recipientes en una mezcladora.

Debido a que la empresa exige ciertos requerimientos que se mencionarán más adelante en esta sección y debe pasarse un árduo proceso administrativo para la compra de los componentes requeridos en el proyecto que suele tardar meses. Se optó por generar la simulación del proyecto funcionando en la celda FESTO, presente en el Laboratorio de Sistemas Integrados de Manufactura (SIMTEC) en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, en el Campus Tecnológico Local San Carlos, debido a que en la embudidora manejan muchos de sus procesos con PLC marca SIEMENS y el interfaz si es el mismo modelo, además a esto, cuenta con un sistema de electroválvulas y un flujómetro, lo que permitió simular el proyecto y empezar a

trabajar inmediatamente en el desarrollo el sistema de control de caudal. Además la universidad facilitó el acceso a los programas y licencias legales que permiten programar el software del sistema, la Celda Festo puede observarse en la figura 3.1:



Figura 3. 1 Celda FESTO SIMTEC

Para una simulación exitosa y un diseño de control de dosificación válido para la empresa deben contemplarse los siguientes requerimientos:

- 1) HMI completamente desarrollado en donde se pueda visualizar y manipular las variables de cantidad y tipo de temperatura a controlar.
 - Para esto debe mostrarse en el HMI, una pantalla principal en donde se aprecie la fecha y hora y botones que pueden

seleccionarse mediante la pantalla táctil. La función de cada uno se detalla a continuación:

- El primer botón permite escoger la temperatura del agua ambiente. Al seleccionarlo se despliega una interfaz para ingresar la cantidad en kg a desplegar.
 - El segundo botón permite escoger la temperatura del agua caliente. Al seleccionarlo se despliega una interfaz para ingresar la cantidad en kg a desplegar.
 - El tercer botón permite visualizar el registro de datos.
 - El cuarto botón permite realizar un paro de emergencia.
- 2) Diseño del prototipo cumple con todos los estándares y niveles de calidad de la empresa.

En este apartado, tomar en cuenta que los componentes deben ser antisépticos, con protección contra agua y polvo mayor o igual al grado IP67, que sean de grado industrial, de acero inoxidable y sean seguros para el operario.

- 3) Sistema dispensa la cantidad precisa de agua ingresada por el usuario.
- 4) Se registra la cantidad de agua aplicada.
- 5) Correcta activación de las electroválvulas y el proceso de llenado de los contenedores de manera automatizada.
- 6) Sistema se enciende y se apaga cuando se le indica.

3.2 Antecedentes bibliográficos

3.2.1 Proceso de elaboración de embutidos

El proceso para realizar embutidos tiene una serie de etapas que siguen un estándar establecido en el flujo de producción y que busca optimizar el proceso, el control de sanidad y la seguridad de los operarios para que sea rentable y ofrecer la mejor calidad posible. Estas etapas llevan una línea que constituye principalmente

en la recepción de la materia prima, mezclado, emulsificación, embutido, ahumado, cocimiento, enfriamiento, corte, empaçado, etiquetado, almacenamiento y finalmente en la distribución del producto. [16].

Se debe transportar agua como materia prima hasta el área de mezclado. Se conoce que el agua es el disolvente universal, por lo cual en la planta es muy necesaria para disolver condimentos y aditivos que, al mezclar los ingredientes junto con la materia prima en una máquina, da la contextura hasta formar la pasta del embutido.

Para transportar el agua hasta la máquina es necesario que primeramente se bombee el agua. Luego se llenan recipientes con el líquido para ser pesados y finalmente se transportan hasta la mezcladora. En la figura 3.2 se muestra un esquema del proceso en la planta, el diagrama de la tubería y la instrumentación del transporte actual de agua hasta la mezcladora y posteriormente se detallan los componentes:

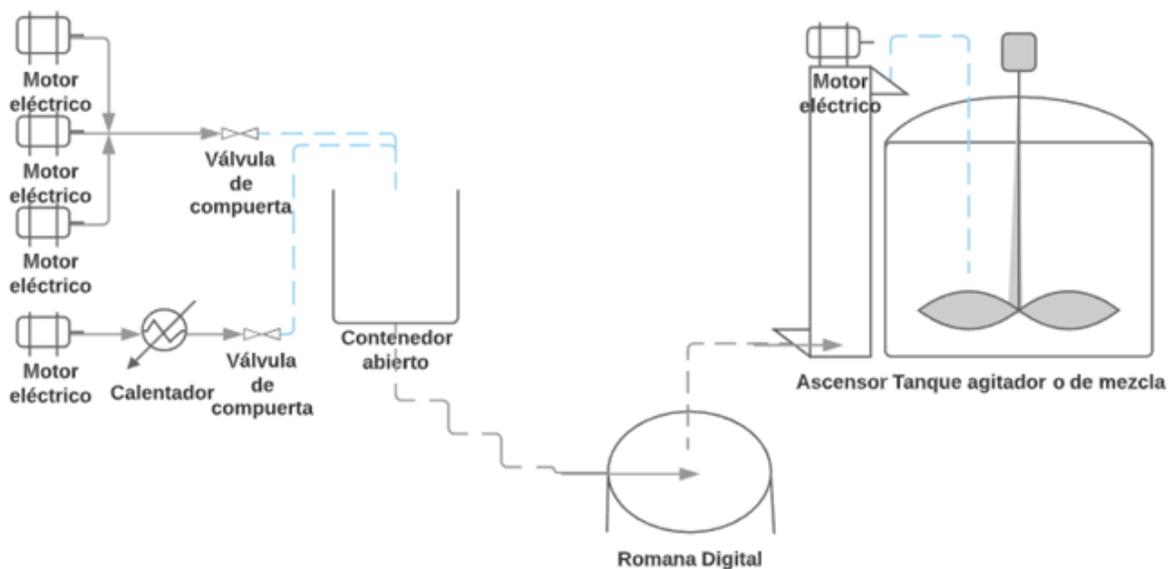


Figura 3. 2 Diagrama tubería e instrumentación del transporte actual.

3.2.1.1 Bucle de bombas

Es un sistema que se encarga de proveer un flujo constante de agua a la planta mediante una red de bombas eléctricas. Es importante mencionarlo, debido a que, en años anteriores, se tenía una presión y flujo variable, la empresa realizó un bucle de bombas para evitar que se presentara una demanda variable de caudal y al mismo tiempo conseguir el máximo ahorro de energía.

El control del caudal se realiza mediante un controlador PID electrónico que, al tomar el agua de la red de suministro, realiza variaciones en la frecuencia de los motores, según sea la demanda del agua, para mantener un flujo constante de agua a una presión de 60 psi en la salida de una válvula para el agua a temperatura ambiente, eliminando las pérdidas de presión en toda la cañería y dispensando líquido a una razón promedio de 15 kg/min, cuando la válvula del agua a temperatura ambiente se encuentra totalmente abierta y de una razón promedio de 62 kg/min para la red de agua a temperatura caliente.

3.2.1.2 Válvulas

Una válvula es un dispositivo diseñado para controlar el flujo o paso de un fluido por una tubería. Normalmente, cuenta con dos posiciones: cerrado o abierto. Se utilizan para el control del flujo de todo tipo de fluidos.

Si se añaden accesorios o pilotos puede construir sistemas que realizan regulaciones automáticas para funciones específicas, o un determinado proceso y así manejar a voluntad el funcionamiento de la válvula. Si los accesorios intervienen de manera directa, se le llama pilotos. [18].

Existen también accesorios como los solenoides que se instalan en las válvulas, estos dispositivos forman un conjunto al que se le denomina electroválvula. El solenoide es un dispositivo formado por una bobina de cobre que cuenta en su interior con un núcleo ferromagnético, permite convertir una señal eléctrica en una señal hidráulica de presión capaz de abrir o cerrar la válvula, debido a que cuando la bobina no percibe un cambio de potencial, el núcleo adopta una posición de reposo y al recibir tensión cambia su posición, pasando al estado de excitación. [18].

Puede observarse en la figura 3.3 el comportamiento cuando se genera un cambio de posición en el núcleo y producto de esto se da la apertura o cierre de la electroválvula:

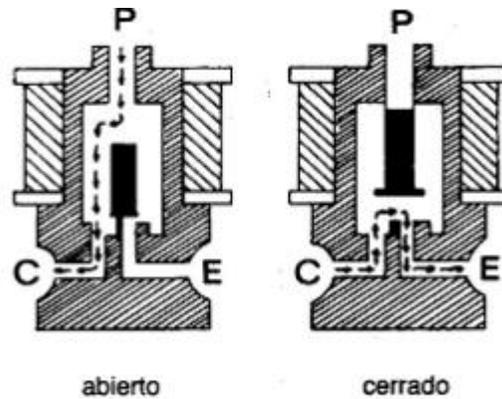


Figura 3.3 Solenoide en posición abierto y cerrado [18].

Respecto a las dos posiciones que se ejercen estos dispositivos normalmente están cerrados o abiertos. En el primer caso, se le conocen como de tipo directo porque se mantienen cerrados en reposo y solo se activan cuando se le aplica una tensión. Esto tiene la ventaja de que, si se produce un fallo en la alimentación eléctrica, quedan en la posición cerrada. La válvula se va a encontrar cerrada por la acción del muelle y para que este se abra y supere la fuerza del muelle, el solenoide debe estar consumiendo energía para ser activado y que la electroválvula permita el paso del fluido. [18]. En el caso de las que normalmente se encuentran abiertas, sucede lo contrario y quedan en ese estado cuando no hay alimentación.

Respecto a la activación, por temas de simplicidad en el diseño y construcción y porque se descarta en casi su totalidad el mantenimiento, se le une el carácter multifuncional que convierte a las electroválvulas por activación hidráulica o neumática en dispositivos indispensables para evitar un buen número de problemas respecto a electroválvulas que se activan diferente. Por lo que en la empresa Cinta Azul solo se utilizan válvulas que se activan neumáticamente.

Un solenoide en términos de ingeniería es aquel que describe un proceso o mecanismo de transducción al convertir una señal en otro tipo de señal o respuesta específica, ya que se utilizan estos dispositivos para convertir energía en movimiento mediante una bobina que produce campos magnéticos, por lo cual si al solenoide se le aplica corriente normalmente hace que la válvula se abra. Pero en el caso del solenoide neumático se controla utilizando la fuerza neumática mediante el uso de aire comprimido. [5].

Normalmente para sistemas de control, se envía una señal eléctrica al posicionador que va en un rango de 4 a 20 mA, en donde 4 es el mínimo y 20 el máximo de apertura o cierre según sea normalmente abierta o cerrada. En base a esa señal eléctrica y al conocer la posición en la que se encuentra la válvula, se ajusta el paso de aire que le llega al actuador para que este lleve la válvula a la posición que se desea. Se puede observar en la figura 3.4 [12]. el funcionamiento de una electroválvula de accionamiento neumático:



Figura 3. 4 Electroválvula de accionamiento neumático.

También se pueden encontrar válvulas por accionamiento hidráulico, su función de paso se realiza de igual manera por una membrana, se produce el flujo cuando la parte superior de la membrana (cámara de la válvula) está conectada a la atmósfera, esto produce que la presión del agua que se encuentra dentro de la tubería empuje la membrana hacia arriba, provocando la apertura de la válvula y el paso del agua o fluido, por otra parte si se desea regular el flujo se necesita la conexión de un piloto. Se puede observar en la figura 3.5 [18]. el funcionamiento de una válvula hidráulica:

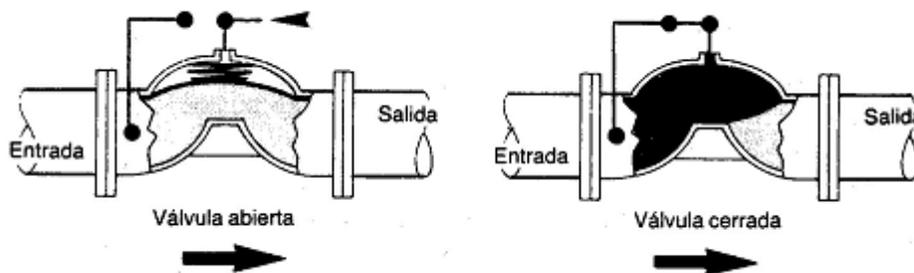


Figura 3. 5 Funcionamiento de una válvula hidráulica

3.2.1.3 Contenedor abierto

Un contenedor es un recipiente reutilizable que es diseñado específicamente para trasladar carga de mercadería, cumpliendo normas de seguridad y resistencia.

En la empresa, se utiliza un contenedor abierto construido en el taller de la misma de material de acero inoxidable, presentando una altísima resistencia al ser de un calibre grueso pero con un peso estructural de 49 kg y con un costo de fabricación alto, al ser aproximadamente 200 mil colones. Para el transporte de la mercadería es necesario agregarle 4 llantas que le dan un buen equilibrio y un fácil desplazamiento, así como 2 agarraderas. Dicho recipiente tiene dimensiones internas de 62cm x 68 cm x 75cm de altura para la versión de transporte de agua, el contenedor se puede observar en la figura 3.6:



Figura 3. 6 Dimensiones Recipiente Transporte de agua

Este recipiente cumple con todas las normas y estándares que exige la empresa. Existen varios recipientes en la empresa de las mismas dimensiones y peso que cumplen la función de transportar el agua desde el grifo, pasando por una romana, luego en un elevador que finalmente lo voltea para vaciar su contenido en una mezcladora, proceso que se puede observar en la figura 3.2.

Debido a que se utiliza constantemente en la producción, suele requerir reparaciones que hace que el mantenimiento sea costoso y no baje de un promedio mínimo de 35 mil colones cuando se puede reparar, o también verse la necesidad de sustituirlo.

3.2.1.4 Romana digital

La báscula digital mostrada en la figura 3.7 es un sistema que sirve para pesar. Está compuesta por una plataforma horizontal de acero inoxidable, que la hace muy resistente al uso en el tiempo, y con capacidad para pesar objetos muy pesados o grandes, como animales o vehículos de gran tonelaje, debido a que pueden colocarse encima de la plataforma y determinar el peso mediante un sistema electrónico de lectura directa en gramos con toda la fiabilidad, siendo más precisas y exactas que una romana común, en la que se necesita guindar el objeto a medir para que la romana compare la masa.



Figura 3. 7 Romana digital

Normalmente, las romanas electrónicas o básculas (con plataforma) utilizan un muelle elástico que mide la fuerza que realiza el objeto acompañado a la fuerza de gravedad, mediante un resorte que se comprime al tener soportar la fuerza que realiza el objeto a medir. En donde se sabe que la masa multiplicada por la gravedad da la relación del peso. Al estar relacionados y al conocer que la fuerza de gravedad tiene un valor constante, la masa va a ser directamente proporcional al peso.

La romana digital funciona mediante sensores de celdas de carga, las cuales son piezas de metal acompañadas del sensor, que mide la fuerza o presión de la carga, las cuales cambian su resistencia cuando se comprime al soportar el peso

del objeto; en la salida entregan un voltaje proporcional a la fuerza aplicada en el metal que es procesado y mostrado en una pantalla.

La báscula de la empresa se encarga de pesar los recipientes cargados de agua para que el usuario manualmente agregue o retire este líquido del contenido del contenedor, para ajustar los valores necesarios en la receta del producto. Un recipiente como el mostrado en la figura 3.6, al llenarlo de agua pesa aproximadamente 330 kg, en el de contener agua caliente, pesa cerca de 2.5 kg menos.

3.2.1.4 Ascensor

Es un sistema capaz de elevar cargas útiles hasta los 200 kg, se encarga de vaciar el contenido de los recipientes en la mezcladora. Se compone de una estructura alta de acero inoxidable con un molde en su base que se acopla a los contenedores, para que se queden sujetos y permita elevarlos con la mayor seguridad posible. El sistema de elevación se compone de un motor DC síncrono en la parte superior de la columna de 120 V, diseñado especialmente para ascensor, el cual evita movimientos descontrolados y frenos homologados que se usan como dispositivos de seguridad. En conjunto al motor, para elevar, cuenta con una cadena que se adhiere a un sistema tipo tornillo del motor que permite el funcionamiento de este en el engranaje. Todo el sistema de elevación de cargas que nombramos elevador se puede observar en la figura 3.8



Figura 3. 8 Sistema de elevación de cargas

En cuanto al mantenimiento del sistema, cada 2 años la empresa debe sustituir el sistema tipo tornillo del motor, tiene un costo de \$20 000, además anualmente el motor recibe mantenimiento por \$10 000. Además, por el uso del sistema y por exceder el límite de peso permitido, en lo que va del año, se ha reventado dos veces la cadena, esto con un costo de reparación de \$5000 y teniendo que reducir los pesos en los recipientes, provocando que se dispararan los tiempos de producción, por ser menos eficientes y tener que invertir en más recipientes para mantener el ritmo de producción.

3.2.1.5 Tanque agitador o de mezcla

Es una máquina tipo tanque, mostrada en la figura 3.9, hecha de acero inoxidable, encargada de mezclar, cortar y vaciar mezclas mediante un plato móvil, en la tolva de la misma se coloca el agua, carnes, aditivos y grasas, que al pasar por la máquina, procede en un correcto mezclado; como resultado final se elaboraran pastas finas y emulsiones, perfectamente homogéneas, con ausencia total de burbujas de aire.



Figura 3. 9 Sistema de mezclado

Este tipo de mezcladora en la empresa es muy eficiente porque permite preparar todo tipo de pastas, de jamones y de salchichas y de una amplia gama de preparados cárnicos. Cuenta con un elevador mencionado en la sección 3.2.1.4 y una plataforma de trabajo en la cual se controla el proceso mediante un panel de control, este contiene un microprocesador capaz de brindar múltiples velocidades de mezcla, mostrar la temperatura del producto y además a esto controla el elevador y permite vaciar el tanque para pasar la pasta a un proceso de emulsificación. Este sistema se ejemplifica en la figura 3.10 [8].:

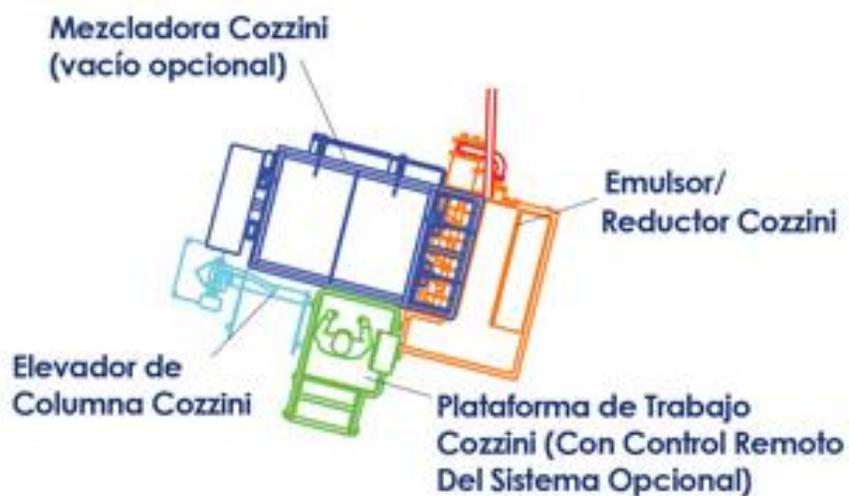


Figura 3. 10 Diagrama del sistema de mezclado

3.2.2 PLC

Denominado en idioma inglés “Programmable Logic Controller”, es una computadora que se utiliza para automatización industrial. Un controlador lógico programable está diseñado para procesar múltiples señales de entrada y salida. Se compone fundamentalmente de una unidad central de proceso o CPU, y las interfaces de entrada y salida. En el caso de la empresa, y para la simulación se utilizó un PLC como el mostrado en la figura 3.11 de marca SIEMENS modelo S7-300 CPU 314C-2 PN/DP, específicamente la versión 6ES7314-6EH04-0AB0. [17].



Figura 3. 11 Controlador lógico programable S7-300

Estos equipos son muy confiables y se utilizan muy a menudo empresarialmente. Este modelo cuenta con un CPU compuesto por una memoria programable y un procesador diseñado para ejecutar la lectura y programación, permitiendo realizar funciones lógicas, aritméticas, realizar conteos secuenciales o temporizadores para automatizar procesos según lo que desee el usuario. Además es capaz de comunicarse con otros sistemas externos mediante puertos de comunicación, para el modelo utilizado se cuenta con 2 salidas y 5 entradas analógicas, 24 entradas y 16 salidas digitales, es compatible con el protocolo para conexión PROFIBUS, cuenta también con una interfaz de conexión MPI/DP de 12 Mbits/s, otra interfaz Ethernet y finalmente una PROFINET, se alimenta con una fuente DC integrada de 24 V. Mediante el programa interno puede enviar señales

que al utilizar una interfaz de salida se puede administrar la potencia necesaria para realizar comandos o procesos de automatización. [15].

Una ventaja de utilizar un PLC es que se ahorra mucho tiempo en la elaboración de proyectos, además que permite realizar modificaciones o reutilizarlos en otros, sin costos adicionales y optando por programarlos de diferentes maneras. Respecto a la estética, es un dispositivo pequeño que cumple todos los requisitos empresariales y que no requiere un mantenimiento costoso. Con el uso de este sistema puede ahorrarse dinero por tema de mano de obra y contar con la posibilidad de controlar varios equipos con el mismo mecanismo.

Un PLC es un dispositivo emblemático e integral para los procesos industriales, debido a que tiene a cargo gran cantidad de responsabilidades, funciones y es capaz de automatizar muchos trabajos. Este sistema es capaz de ejecutar gran cantidad de instrucciones, entre ellas se encuentran las de conteo, almacenamiento de memoria, tiempos, lógica en bloques de relé y cálculos matemáticos. Esto ocasiona que al realizar múltiples tareas y deberes, los PLC sean fundamentales y dominantes en el ámbito de control de procesos complejos.

Respecto al sistema operativo del PLC, este es capaz de realizar múltiples funciones, entre ellas se destacan la transferencia de datos entre los bloques de las funciones internas del PLC, además se encarga de la comunicación de las interfaces de entrada y salida, así como de supervisar y ejecutar los programas del usuario, los elementos internos y el uso de la memoria.

También, al realizar funciones lógicas es importante conocer que trabaja con dos símbolos, que son el 1 y el 0, conocidos como bits o dígitos binarios y que eléctricamente o en términos de contactos, un 0 significa apagado y un 1 significa encendido. Estas operaciones permiten realizar relaciones lógicas entre operandos, como ejemplo, una operación de este tipo es capaz de consultar si se satisfacen simultáneamente los bits correspondientes a dos operandos digitales. También, es capaz de realizar comparaciones si se considera la nomenclatura de los bits internos en el desarrollo de la programación en los PLC. Al alternar las señales de estado de 1 y 0 se pueden producir combinaciones y generar resultados lógicos. Entre las

posibles alternativas de señales de estado en las operaciones lógicas se tienen contactos que se encuentran con normalidad abiertos, contactos normalmente cerrados que se representan como ---| |--- y ---| / |--- respectivamente. Por su parte, se representan los contactos de salida como ---()--- , a estos se les pueden agregar operaciones se SET (S) o Reset (R) que reaccionan ante una salida de 1, para el primer caso el SET produce que se active la salida y para el segundo que se desactive. [15].

3.2.3 HMI

HMI significa en inglés Human Machine Interface, es una interfaz hombre-máquina que funciona como un panel de control y logra comunicar un tipo de proceso y los operadores. Es utilizada como herramienta principal de los supervisores u operadores en procesos de control industriales para comunicarse con la máquina y que esta pueda acceder al valor de las variables como información útil del proceso. La función principal es mostrar la información operativa en tiempo real, así como permitir el control y el perfeccionamiento al permitir la regulación de los parámetros del proceso y la producción. También cuenta con muchas funciones que le permiten un mejor aprovechamiento de los recursos al usuario, entre ellas destacan: [14].

- 1) Puesta en marcha y apagado.
- 2) Control de las funciones manipulables del equipo.
- 3) Manipulación de archivos y directorios.
- 4) Herramientas de desarrollo de aplicaciones.
- 5) Comunicación con otros sistemas.
- 6) Información de estado.
- 7) Configuración de la propia interfaz y entorno.
- 8) Intercambio de datos entre aplicaciones.
- 9) Control de acceso.
- 10) Sistema de ayuda interactivo.

En el caso de la empresa, y para la simulación se utilizó un HMI como el mostrado en la figura 3.12 marca SIEMENS modelo SIMATIC HMI TP700 Comfort, específicamente la versión 6AV2124-0GC01-0AX0: [14].



Figura 3. 12 SIMATIC HMI TP700 Comfort

El HMI utilizado es una versión moderna que se adapta perfectamente para la visualización de la interfaz a utilizar. Se revisó la ficha técnica para el modelo del SIMATIC HMI TP700 Comfort, este cuenta con una pantalla TFT de operación táctil de 7 pulgadas que permite visualizar 16 millones de colores. Además, se puede conectar mediante una interfaz PROFINET o interfaz MPI / PROFIBUS DP. La memoria de configuración es de 12 MB. Cuenta con un Sistema operativo Windows CE 6.0 (con Soporte de Microsoft incluido) y configurable desde WinCC Comfort V11. [20].

También se puede observar en la figura 3.13 las dimensiones para el modelo SIMATIC HMI TP700 Comfort, el cual es muy utilizado empresarialmente: [20].

Dimension drawings of the TP700 Comfort

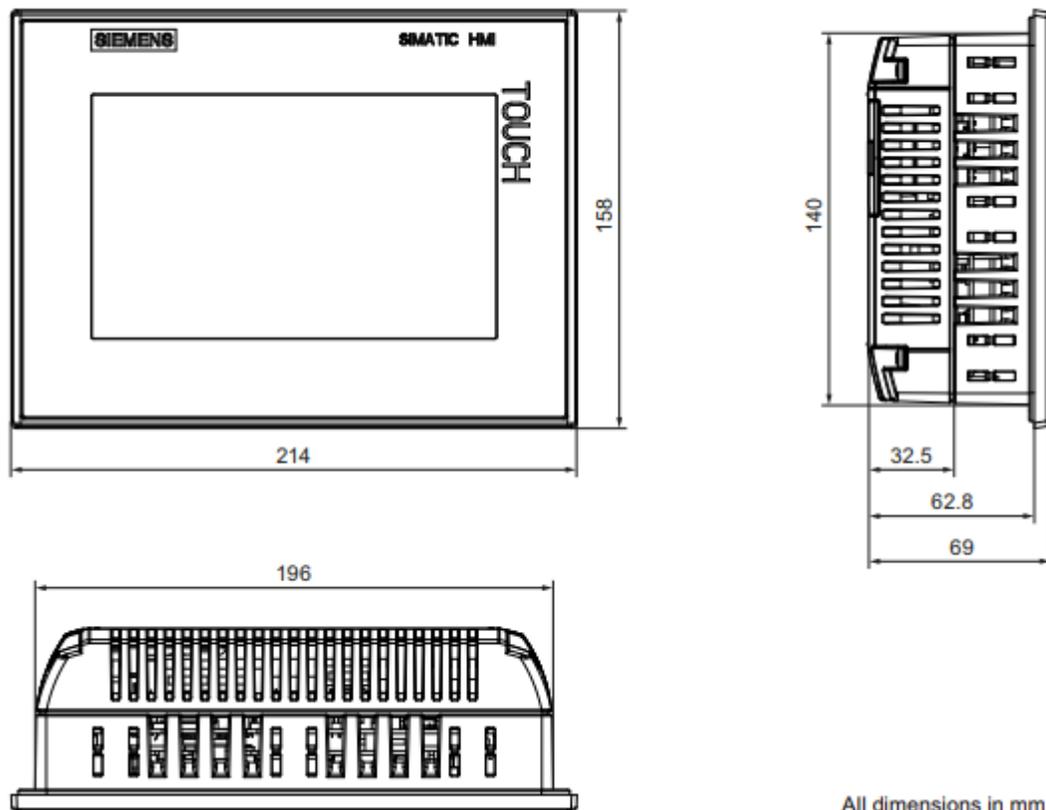


Figura 3. 13 Dimensiones SIMATIC HMI TP700 Comfort

3.2.4 Celda FESTO

La celda FESTO es una estación de mezcla de marca y modelo FESTO AFB del laboratorio SIMTEC-SC como la mostrada en la figura 3.14, ubicada en la escuela de producción industrial en el Tecnológico de Costa Rica sede San Carlos:

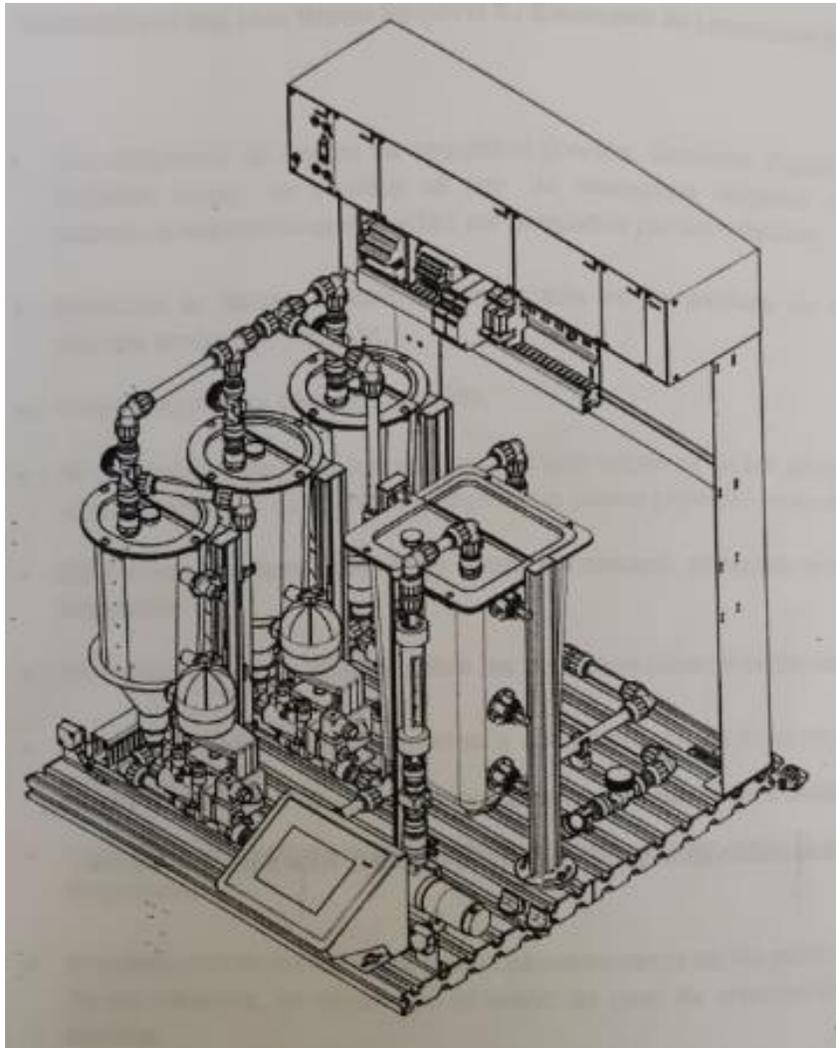


Figura 3. 14 Celda FESTO del laboratorio SIMTEC-SC

Este equipo es una estación de automatización de procesos, específicamente diseñada para cumplir la función de mezcla, dicho sistema permite el estudio o perfeccionamiento profesional mediante simulaciones que se asemejan a la realidad y que son procesos que se realizan actualmente en plantas industriales. Antes de utilizar el equipo, es indispensable conocer las indicaciones y normas de seguridad.

El sistema permite adquirir conocimientos técnicos de trabajo al interactuar con componentes industriales, permitiendo abordar temas como de planificación, montaje, programación, puesta en marcha, optimización, mantenimiento y localización de fallas. En el equipo se puede encontrar los siguientes componentes:

3.2.1.4 Componentes:

1) Detectores:

- Detector de caudal de aletas (eléctrico)
- Cuatro flotadores con interruptor para medición del nivel de llenado (no utilizados)
- Seis detectores de posición capacitivos (no utilizados)
- Detector de caudal flotante (mecánico) (no utilizado)

2) Actuadores:

- Bomba mixta
- Tres válvulas de bola de 2 vías de accionamiento neumático (se utilizan dos)

3) Componentes adicionales:

- Placa de conexiones/Convertidor de medición frecuencia/tensión
- Pantalla táctil con escuadras de fijación

4) Unidades de control:

- PLC
- Unidad de control y regulación

5) Elementos pasivos:

- Tuberías
- Depósito principal
- Tres depósitos de dosificación (se utilizan dos)
- Acanaladuras para cables
- Placa perfilada con bastidor
- Mesa móvil

3.2.5 Tasa interna de rendimiento (TIR)

“La ganancia anual, que tiene cada inversionista se puede expresar como una tasa de rendimiento o de ganancia anual llamada tasa interna de rendimiento”. Además, el TIR se utiliza para saber cuánto dinero se tendrá en un futuro.

(Bacca, 2007, p.92).

3.2.6 Valor actual neto (VAN)

“El valor actual neto (VAN) es un indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad de un proyecto. Si tras medir los flujos de los futuros ingresos y egresos y descontar la inversión inicial queda alguna ganancia, el proyecto es viable.”. [9].

El VAN es un indicador que se encarga de evaluar posibles eventos o situaciones que la empresa pueda tener en el futuro. El valor actual neto se puede calcular mediante la siguiente formula

$$\text{VAN} = \text{Beneficio Neto} - \text{Inversión} \quad (3.1)$$

Donde el Beneficio Neto son las ganancias proyectadas, “es la tasa de rendimiento o rentabilidad mínima que se espera obtener.” [9].

Pueden tenerse dos posibles casos, cuando el VAN es igual o mayor a cero indica que el proyecto es rentable y satisface las proyecciones, debido a que el beneficio neto es igual o mayor a la inversión. Por otro lado, cuando el VAN es menor que cero, esto indica que el proyecto no es rentable.

3.3 Principios físicos y electrónicos relacionados con la solución del problema

3.3.1 Efecto Hall

El efecto Hall se puede definir como la aparición de un campo eléctrico (campo de Hall) producto de la separación de cargas, cuando este se da en el interior de un conductor que conduce corriente, así existe un campo magnético que presenta su componente perpendicular al movimiento de las cargas. [22].

Para el caso de sensores electrónicos, se detecta la velocidad mediante sensores magnetostáticos debido a que la señal de salida va a depender del campo magnético y es independiente de la velocidad de rotación, esto facilita y simplifica el cálculo para velocidades elevadas. Además, son sistemas muy pequeños, por lo cual se realizan cómodamente sistemas múltiples como un sistema de detección integrada del sentido de rotación. La única desventaja es que estos sensores tienen problemas cuando la temperatura es muy elevada, por tener componentes de silicio que no resisten altas temperaturas.

Respecto al utilizado en el proyecto, puede argumentarse que su funcionamiento se ve afectado según su fabricación. Cuenta con partes mecánicas en forma de molino con aspas transversales a la circulación de flujo, cabe destacar que el molino tiene en un extremo un imán permanente. Esto provoca que cuando este imán gire, se genere un campo magnético variable que es leído por un sensor de efecto de campo magnético (sensor de efecto Hall).

3.3.2 Densidad del agua caliente y fría y su conversión de litros a kg

La relación entre masa y volumen se llama densidad, y mide la cantidad de masa que cabe en un volumen determinado. La unidad de volumen de un líquido es el litro (hace referencia al espacio que ocupa), mientras que la unidad de la masa es el kilogramo (la cantidad de materia). La densidad del agua es uno de los parámetros más importantes del agua, debido a que de ella depende toda la circulación del agua y las corrientes alrededor del planeta.

La densidad del agua pura a 4 °C de temperatura es 1 kg/l. Esto equivale a que 1 litro de agua tiene una masa de 1 kilogramo. A cualquier otra temperatura su densidad es menor que uno. Para fines prácticos, se acostumbra a tomar la densidad del agua igual a uno. [7].

El valor de 1000 gramos/L (1Kg/L) corresponde al agua destilada, que no tiene ningún contenido en sal. El agua del grifo contiene 3 g/L de salinidad, por lo que a 4°C de temperatura la densidad es de 1,002 kg/l. Por ejemplo, al aumentar la

temperatura a 20°C, la densidad del agua sería 0,998 Kg/L para el agua destilada y de 0,9982 Kg/L para el agua de grifo. En la gráfica 3.15 se observan los efectos al mantener la salinidad, pero se varía la densidad en base a la temperatura: [11].

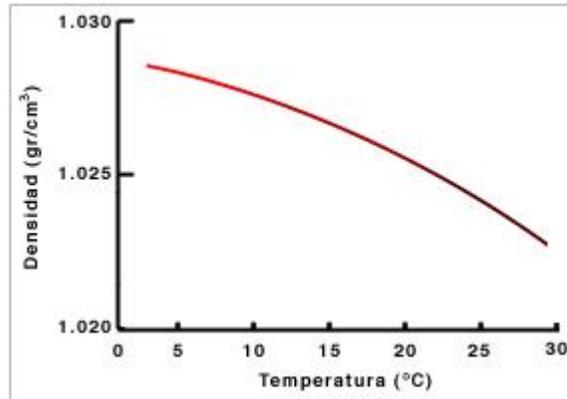


Figura 3. 15 Densidad en base a la temperatura

En la gráfica 3.16 se observan los efectos al mantener la temperatura, pero se varía la densidad, en base a la salinidad: [11].

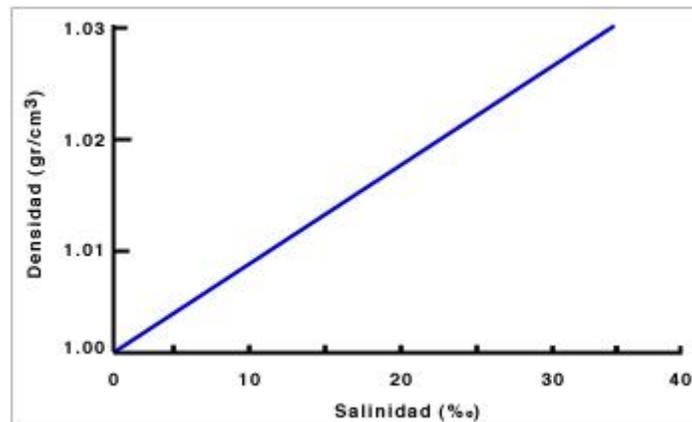


Figura 3. 16 Densidad en base a la salinidad

El problema se da cuando no hay agua a temperatura a 4 °C, pero esto puede resolverse sencillamente al conocer la densidad de la unidad expresada en litros o m³, debido a que la densidad tiene unidades de kg/l, al percibir este valor la cantidad

de litros, solo se hace una conversión multiplicando estos valores y como resultado se cancelan los litros y se obtiene unidades en kg.

En la figura 3.17 se presentan las densidades del agua a diferentes temperaturas, expresados en Kg/m³, equivalente a Kg/L, de la figura es importante conocer el valor de agua caliente, la cual en la empresa está a una temperatura de 50 °C, la cual tiene una densidad de 988,02 Kg/L: [10].

Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

Figura 3. 17 Densidades del agua a diferentes temperaturas

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

En esta sección se detalla el proceder del proyecto, se define el problema y su reconocimiento. Seguido, se especifica la obtención y análisis de la información, así como la evaluación de las posibles alternativas. Finalmente, se especifica el diseño escogido, la implementación de este y sus rediseños.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

En lo que respecta al proyecto, en el área de ingeniería de la empresa se tenía como misión realizar un proyecto general para toda la empresa llamado Operaciones Estables, con el objetivo de buscar la estandarización y mejoramiento de los procesos. En conjunto al proyecto también tienen como compromiso mundial la conservación del agua. Por lo cual, se buscó con los ingenieros de la Planta Cinta Azul, atacar los dos motivos mencionados anteriormente en un mismo objetivo.

En el área de proceso de la Planta, hay un proceso que es completamente manual y depende de un operario para realizarlo, en el cual debe llenar un recipiente de agua, trasladarlo para obtener la masa del contenido y anotarlo en una hoja y finalmente volver a trasladarlo hacia una máquina. Puede llenarse con dos tipos de temperatura de agua. En el caso del agua a temperatura ambiente, este proceso tarda un mínimo de 23:05 s cuando el operario está al tanto de que el recipiente ya está lleno. Al tener un operario para la función, no hay confiabilidad en el proceso por posibles errores humanos.

4.2 Obtención y análisis de información

Antes de obtener la información, fue necesario realizar una inducción para conocer todo lo relacionado con seguridad en la empresa, ya que las normas son muy estrictas y además que deben cumplirse protocolos de higiene constantemente.

Al contar con el equipo de protección debidamente reglamentado, se optó por ingresar a planta y estar en la etapa del proceso alrededor de tres semanas,

solamente recolectando información y analizando la mejor manera de resolver el problema.

Se procedió a estudiar el proceso antiguo para definir cuales detalles estaban afectando el desempeño de este, de las actividades relacionadas con la dispensación y transporte de agua en el área de proceso. Asimismo, se plantearon pequeñas ideas para mejoras o alternativas de menor costo.

De igual manera se establecieron los alcances y limitaciones del proyecto, con el fin de reconocer cuales requerimientos y restricciones deben considerarse para el desarrollo del proyecto.

Por sucesos previos y por experiencia de los ingenieros en mantenimiento sobre electroválvulas, que no se acondicionaban a las temperaturas y la humedad se recomendó utilizar electroválvulas marca Bürkert tipo 2000 de activación neumática y el medidor de caudal de la misma marca modelo 8030, por lo cual fue necesario estudiar los manuales del fabricante.

En la empresa manejan unidades de control PLC marca SIEMENS, al tener a disposición el modelo s7-300 en la Universidad y al comprobar que sí cubre todo lo requerido sobre el control del proceso, se optó por utilizarlo y para ello se estudiaron los manuales y las guías de programación.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

En esta sección se comentará la elección de la solución. Para ello debió tomarse en cuenta la que se adaptaba mejor a las necesidades, la que tenía el menor costo-beneficio y primordialmente que cumpliera el objetivo del proyecto.

Cabe destacar que en la empresa hay alta presencia de humedad y que además a esto deben cumplirse ciertos estándares y niveles de calidad e higiene. De igual manera hay que resaltar que se busca reducir el consumo de agua. Debido a ello, primero debe pensarse cuál es el mejor método por utilizar para determinar el diseño del prototipo, para que así se cumplan todas las funciones y además se abastezca todas las necesidades del problema del proyecto, ya que de eso depende de que tan preciso se va a realizar el control y medición electrónica del recurso hídrico, ya que como requerimiento se debe aproximar con la cantidad en

kilogramos, con un máximo de incertidumbre de 2 kg y además poder observar la cantidad dispensada y almacenarla en una base de datos, siempre cumpliendo los niveles y estándares de calidad que maneja la empresa. La idea general del diseño del proyecto se puede observar en la figura 2:

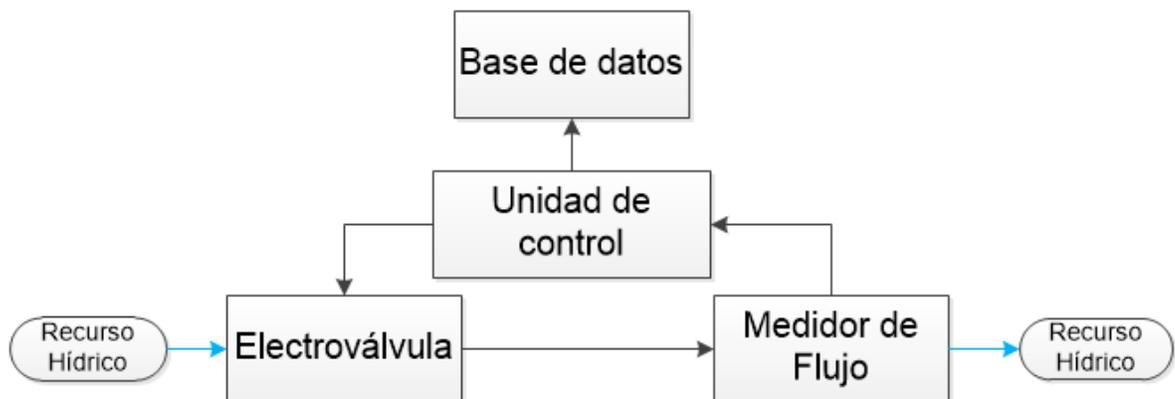


Figura 4. 1 Diseño General de Prototipo para el control de agua

Inicialmente, se pensó la implementación del proyecto, pero debido a que la Empresa debe hacer muchos trámites sobre las cotizaciones y pedir permisos a la central, que no se encuentra en el país, podía tardarse alrededor de un año hasta confirmar el proceder del proyecto, además que ciertos componentes hay que importarlos, al no contar con ellos en el país. Eso se traduce a tiempo, el cual se extendía sobre el lapso de 4 meses que se podía estar en la empresa, por dicha razón se optó por realizar el diseño y simularlo, con el equipo presente en el laboratorio del Instituto Tecnológico de Costa Rica, para utilizarlo para comprobar el correcto funcionamiento del proyecto.

Se planteó realizar el diseño de un prototipo de control de dosificación electrónico en la misma empresa, para evitar comprar el software a terceros y además, al ser un proceso tan específico, adaptarlo de la mejor manera para lograr que se trabaje sin interrupciones y se agiliza por la ejecución automática y que permite obtener un reporte diario del consumo de agua.

Se propuso desarrollar un dispositivo que mediante un controlador PLC logre dispensar agua en una mezcladora marca Cozzini directamente, para evitar usar los recipientes de llenado, pesado y traslado del recurso hídrico y que además almacenara los datos de la masa que dispensó en cada lote.

A través del aparato electrónico a diseñar se prevé la disminución de los costos del consumo del agua en la empresa. Además, al no tener que invertir en costos por el mantenimiento de la máquina elevadora al evitar levantar sobrepesos se ahorrarían cerca de \$10.000 anualmente, solo en este aspecto. Asimismo, al evaluar esta alternativa y verificar todas las condiciones y variables en estudio se pretende el aumento de la eficiencia del proceso y así disminuir los tiempos en la producción.

4.4 Implementación de la solución

El proceso de implementación se realizó de acuerdo con un cronograma de actividades, el cual se estableció previamente para el desarrollo del proyecto.

Con el diseño del sistema electrónico y el control de variables se prevé ejecutar las pruebas del prototipo electrónico de control de fluido hídrico. Al garantizar el correcto funcionamiento, la solución deberá eliminar por completo los problemas en el paro de la producción, al no tener que elevar ni transportar contenedores, esto genera la ganancia de mucho tiempo que se traduce a dinero, y se decide optar por un controlador PLC, ya que este dispositivo es más utilizado en la industria actualmente y genera más confiabilidad. También, al dispensar la misma cantidad de agua siempre, no llega a desperdiciarse; esto produce el ahorro de gran cantidad del consumo de recurso hídrico, visto un ahorro en dinero y contribuyendo al compromiso de ser amigable con el ambiente.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

En este capítulo se explica tanto el diseño del sistema como el del programa de control. Se detalla la solución plantada y se describe el equipo utilizado.

5.1 Análisis de soluciones y selección final

La solución para el control de dosificación se basa en un programa que se encarga de abrir y cerrar una electroválvula respectiva siguiendo una rutina según la cantidad de agua requerida y el tipo de temperatura. El sistema es capaz de drenar agua directamente en una mezcladora, así se evita usar los recipientes de llenado y traslado, de esta forma se ahorra mucho tiempo en el proceso, no se desperdicia agua y se elimina por completo el problema de los contenedores sobrecargados que dañan la elevadora y provocaban un paro en la producción. El principal reto de este método fue encontrar una manera en la cual siempre se dispense la misma cantidad de agua, ya que en la fábrica esta materia prima debe ser pesada antes del mezclado, por lo cual se buscó optimizar y estandarizar el proceso de llenado. Puede observarse en la figura 5.1 un diagrama de la tubería e instrumentación del diseño propuesto para el transporte de agua hasta la mezcladora:

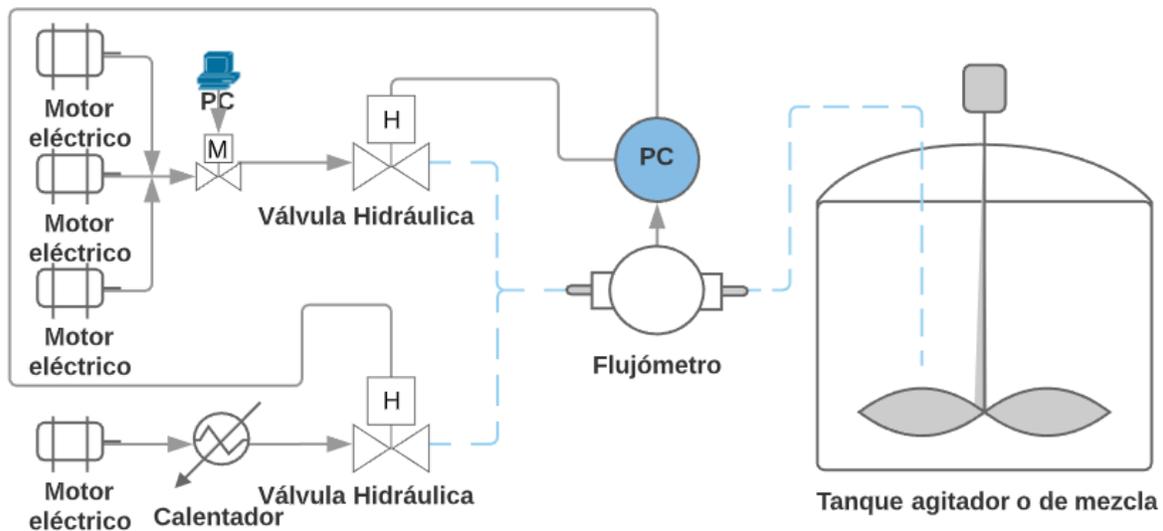


Figura 5. 1 Diagrama de la tubería e instrumentación del diseño propuesto.

5.2. Descripción del hardware

Se analizaron distintas maneras de realizar el control de dosificación, se pensó en utilizar un microcontrolador marca Asus y modelo Tinker Board como unidad de control. Gracias a ser básicamente una PC completa, permitía ejecutar las funciones necesarias para realizar el control y automatización del sistema, ya que es un sistema de código abierto que ofrece el doble de desempeño, a comparación con la Raspberry Pi3 y el precio era muy similar con éste y más bajo en comparación con un PLC. Pero debido a las condiciones en que se encuentra la planta, debía cumplir niveles de calidad e higiene, en donde primeramente no era un sistema con normas IP67 para la protección con el polvo y el agua, además que no cumplía las normas en sanidad, y en la empresa nunca habían trabajado con este tipo de sistema, por lo cual se descartó esa opción.

Respecto a la solución final, debido a que se cuenta con dos valores de temperatura en el agua, lo primero fue darle al usuario la opción de elegir si desea dosificar agua a temperatura ambiente o caliente por medio de un selector en una pantalla, esas señales las tomará como entrada un PLC SIEMENS S7-300, ya que estaba a disposición en el TEC y además que en la empresa utilizan unidades HMI de la misma marca que pueden manipularse con este PLC. Posterior a recibir las entradas y procesarlas, se envía una señal a la electroválvula correspondiente, de ahí se retroalimenta el controlador con un dispositivo capaz de medir el flujo del recurso hídrico, esa señal la unidad de control la convierte en kilogramos. Además, puede ingresarse y visualizar la cantidad de agua requerida por medio de una interfaz hombre-máquina SIEMENS HMI, para el manejo y visualización, desde la que se envía una señal de cerrado a la correspondiente electroválvula; cuando se llegue a la cantidad seleccionada por el usuario y además a esto, se almacena en una base datos para que la empresa pueda llevar un control diario, semanal y mensual del registro de consumo hídrico en los lotes de producción. También, se le agrega al sistema un interruptor para encender o apagar el circuito y diodos led para

visualizar cuando el sistema está en marcha o apagado. El diagrama general se puede observar en la figura 5.2:

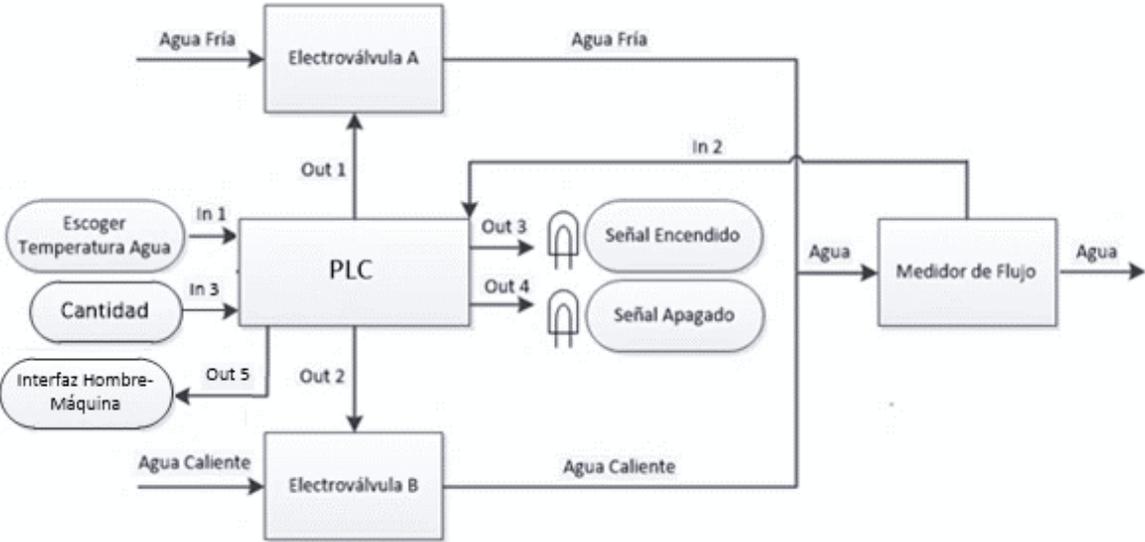


Figura 5. 2 Diagrama de bloques del sistema de control de dispensación.

El sistema regulador de caudal que se diseñó es capaz de realizar automáticamente la apertura o cierre de electroválvulas que regulan el caudal presente en la tubería antigua. Se puede observar en la figura 5.3 el diagrama eléctrico más detallado:

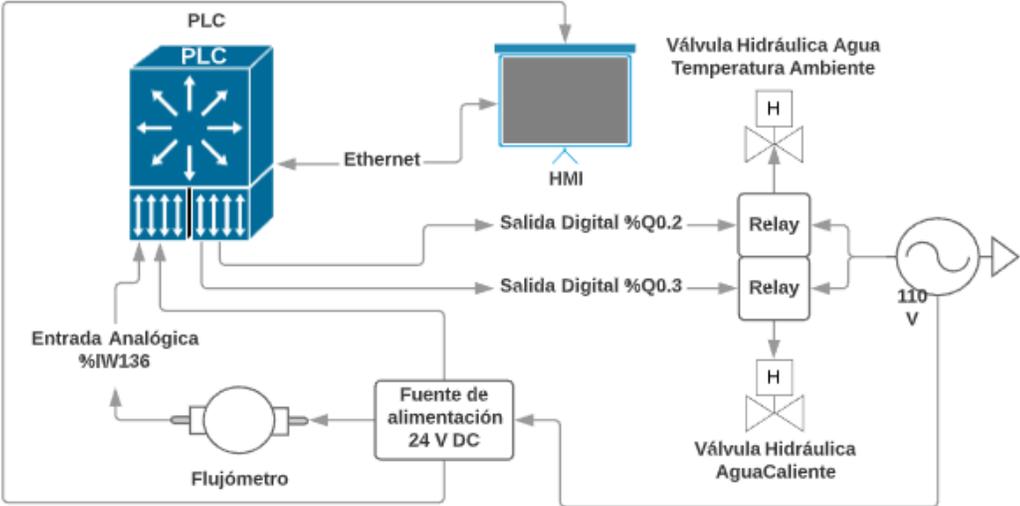


Figura 5. 3 Diagrama eléctrico del sistema de control de dispensación.

También es de suma importancia detallar el funcionamiento y especificaciones de los dispositivos que conforman el sistema de control, así como del sistema en donde se va a simular el proyecto en la Celda Festo que se encuentra en el ITCR.

5.2.1 Controlador PLC

Se buscó la mejor opción para el controlador buscando que cumpliera todas las especificaciones de la planta y que estuviera disponible para realizar el proyecto. Debido a que en Cinta Azul en varias máquinas se trabaja con la marca SIEMENS y que en el ITCR se tenía la disponibilidad inmediata de un PLC de la marca mencionada anteriormente y modelo s7-300, versión CPU 314C-2 PN/DP, se optó por éste. En el dispositivo se tiene un programa de control con módulos de entrada y salida, con los cuales se pueden enviar señales analógicas a las electroválvulas para su apertura o cierre y recibir datos digitales del sensor de flujo para procesarlos y controlar la dosificación.

Con el PLC se estará almacenando en una base de datos la información de la medida en kg utilizados por lote de producto y se mostrará por hora y fecha en la que se dispensó. Hay que destacar que el PLC también tiene comunicación con la pantalla táctil, la cuál es el mando de control y permite dar órdenes o visualizar datos en tiempo real. En la figura 5.4 se puede observar el PLC s7- 300 junto con sus módulos de entrada y salida:



Figura 5. 4 PLC modelo s7- 300 ubicado en SIMTEC.

5.2.2 Pantalla Táctil HMI

La pantalla táctil trabaja como mando de control del PLC, es una interfaz hombre máquina, de la cual puede enviarse señales al PLC para que este se encargue de procesarlas. Es la encargada de mandar el número real de la cantidad de kg necesaria en la dosificación y además a esto escoger el tipo de temperatura de agua mediante un usuario.

Se utilizó una pantalla táctil con escuadras de fijación marca SIEMENS de 7 pulgadas modelo Simatic HMI TP700 Comfort, el hardware utilizado fue el de la versión 6AV2 124 0GC01-0AX0, que sirve tanto para los componentes en la simulación como en la empresa ya que son los mismos componentes en el diseño.

La conexión entre el PLC y la pantalla es por un cable de dos hilos MPI, se utilizó la topología tipo BUS. Se hizo conexión mediante software para asignar la dirección a cada módulo, se puede observar la conexión en la figura 5.5

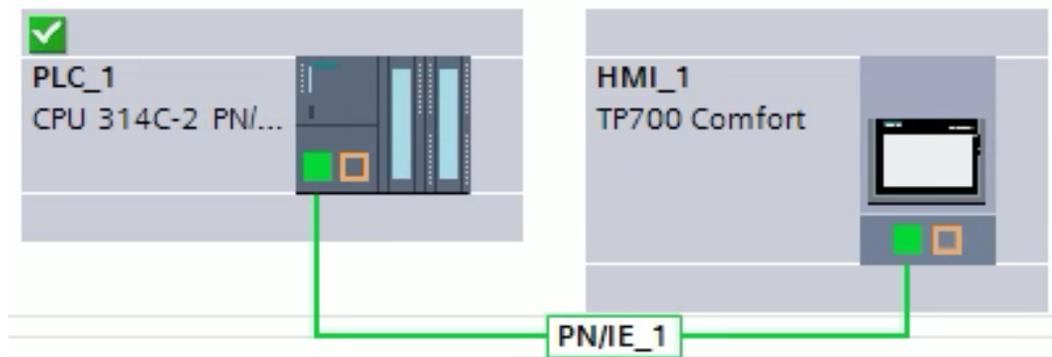


Figura 5. 5 Conexión entre en PLC y la pantalla HMI.

La pantalla final de visualización y manipulación del usuario puede observarse en la siguiente figura 5.6:

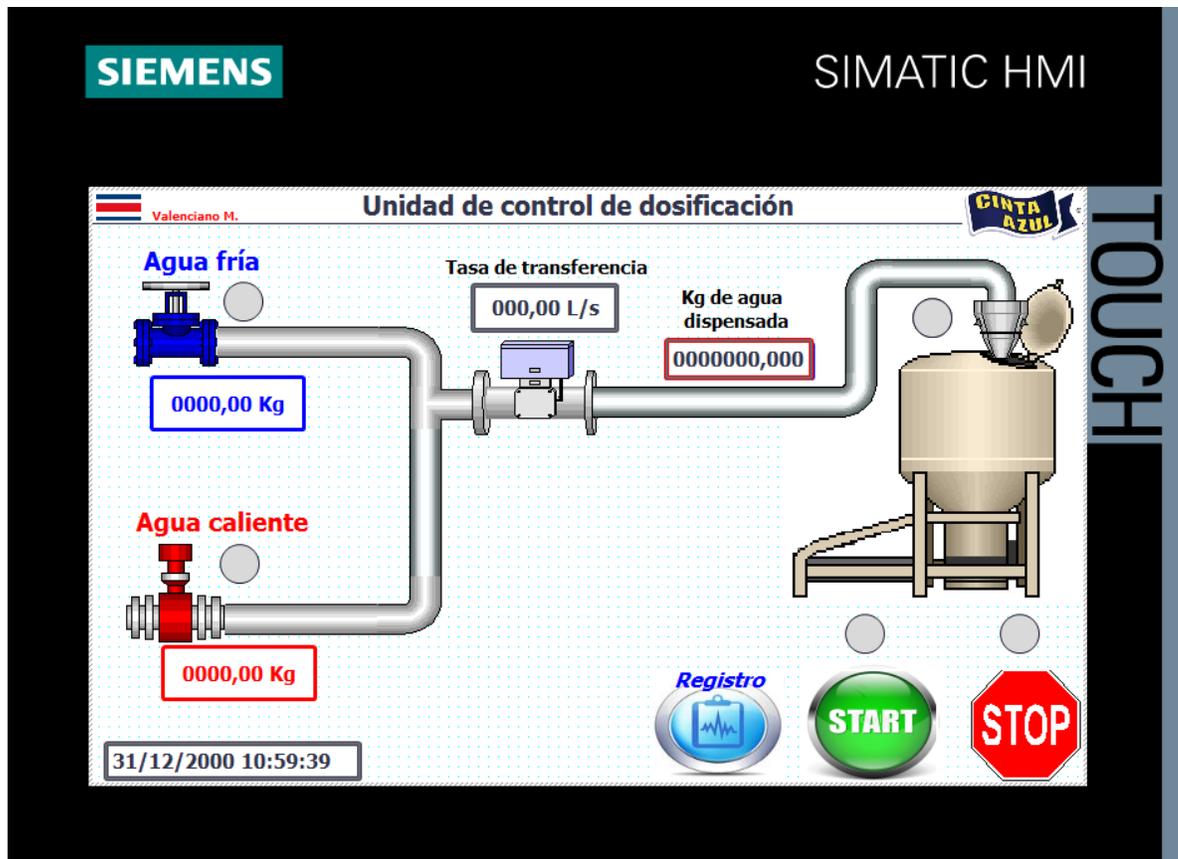


Figura 5. 6 Pantalla de visualización y manipulación del usuario.

En la figura 5.6 se observa la pantalla de control, la cual se nombró “Unidad de Control de Dosificación”. Desde esta pantalla principal se controla todo el sistema, cuenta con siete botones que cumplen distintas funciones:

5.2.2.1 Botón de START:

El botón está asignado a una memoria, el cual al seleccionarlo, activa un bit que a nivel de software enciende el sistema y además a esto enciende una luz verde sobre él para indicar que el sistema está en curso. Es el botón más importante debido a que si no se selecciona el equipo no funciona, se puede observar en la figura 5.7, como se enciende cuando se activa el bit:



Figura 5. 7 Botón de START.

5.2.2.2 Botón de STOP:

Al igual que el botón START, está asignado a una memoria. Al seleccionarlo, activa un bit que a nivel de software apaga el sistema y además a esto enciende una luz roja sobre él para indicar que el sistema está parado. Este botón funciona como un paro de seguridad, al seleccionarlo el equipo deja de funcionar, puede observarse en la figura 5.8 como se enciende la luz roja cuando se activa el bit:



Figura 5. 8 Botón de STOP.

5.2.2.3 Botón de Registro:

El botón de Registro tiene la función de anotar los valores seleccionados de la cantidad de agua en un archivo en la memoria SD del PLC y además abre una pantalla en donde se observa la cantidad de agua dosificada, y que así posteriormente pueda accederse a estos datos, e incluso observar la fecha y hora con la cantidad registrada. Puede observarse el botón Registro en la figura 5.9:



Figura 5. 9 Botón de Registro.

5.2.2.4 Botón de Agua Temperatura Ambiente:

Este botón se selecciona al presionar el grifo azul, produce que se active un bit y además a esto indica mediante un círculo que pasa de color gris a azul que se ha seleccionado el grifo de agua a temperatura ambiente. Puede observarse el funcionamiento al ser activado en la figura 5.10:



Figura 5. 10 Botón de Agua Temperatura Ambiente.

5.2.2.5 Botón de Agua Temperatura Caliente:

Similar al botón de agua a temperatura ambiente, pero difiere en que para seleccionar agua a temperatura caliente, debe presionarse el grifo rojo, al hacerlo se activa un bit y además a esto indica, mediante un círculo que pasa de color gris a rojo que se ha seleccionado el grifo de agua a temperatura caliente. Puede verse el funcionamiento al ser activado en la figura 5.11:



Figura 5. 11 Botón de Agua Temperatura Caliente.

5.2.2.6 Selector Cantidad Agua Temperatura Ambiente:

Mediante este botón el usuario puede introducir la cantidad requerida de agua a temperatura ambiente, al seleccionarlo se abre una ventana como la de la figura 5.12, en dicho panel se ingresa la cantidad exacta a dispensar. Cabe destacar que se admiten valores reales de un máximo de siete dígitos y dos decimales, el valor real ingresado es el que toma el sistema para compararlo posteriormente con la lectura del flujo, así se dispensa la cantidad solicitada. En la figura 5.12, se observa el panel que se le muestra al usuario para que ingrese el valor, es un sistema de diez números y que permite borrar valores, así como introducir valores decimales y también definir el valor mediante el botón que comúnmente se conoce como "Enter":

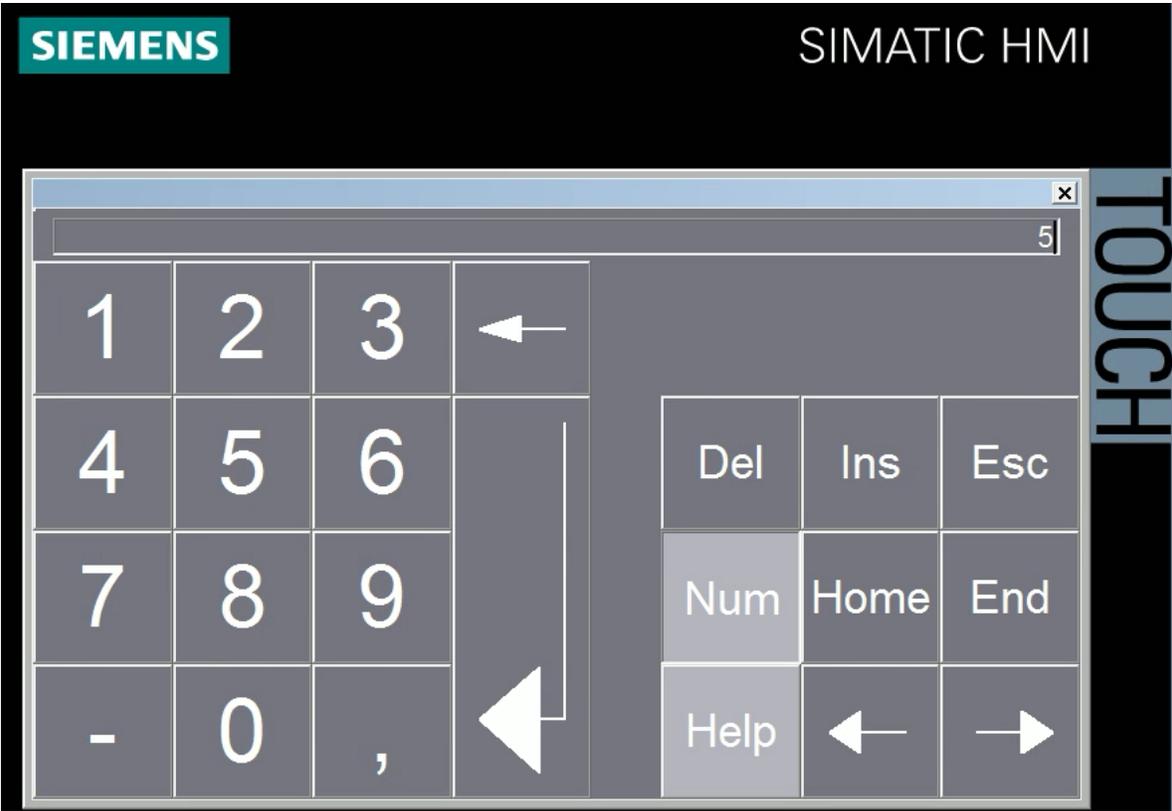


Figura 5. 12 Plantilla para introducir la cantidad Agua Temperatura Ambiente.

Además, en la figura 5.13 puede observarse como al presionar el grifo de agua a temperatura ambiente el círculo azul ubicado al costado del mismo indica que el sistema se encuentra listo para dosificar la cantidad introducida mediante la interfaz de la figura 5.12:

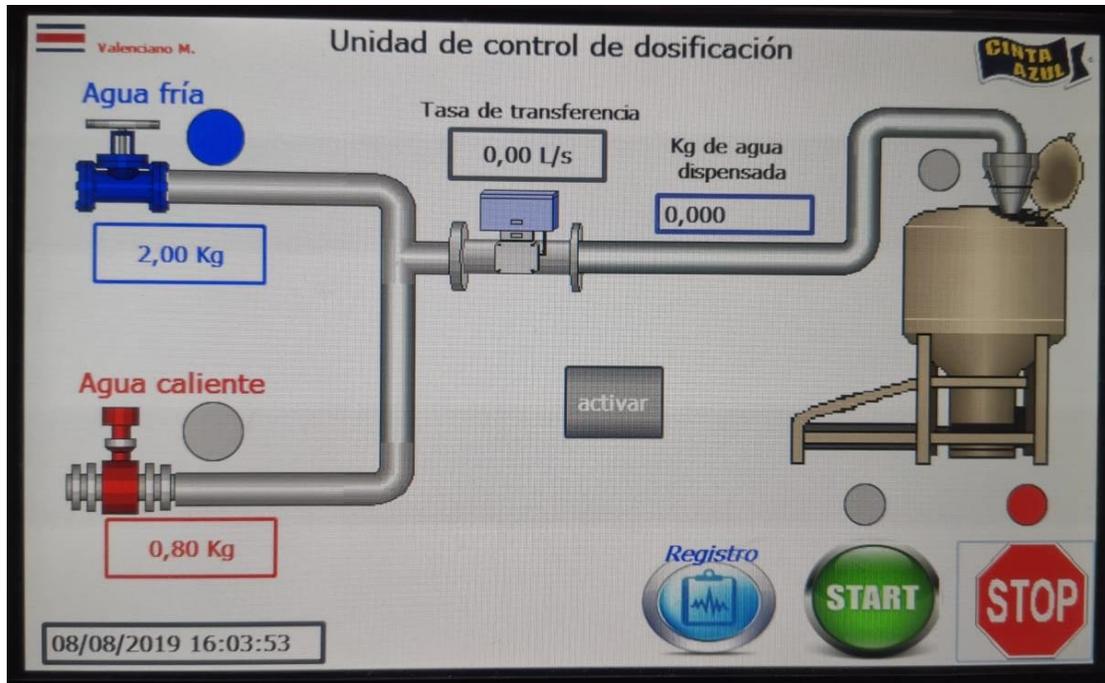


Figura 5. 13 Sistema de dosificación para agua a temperatura ambiente.

5.2.2.7 Selector Cantidad Temperatura Caliente:

Al igual que el selector para el agua a temperatura ambiente, se estableció un campo en la pantalla debajo del tubo del grifo rojo para introducir la cantidad requerida de agua a temperatura caliente, al seleccionarlo se abre una ventana como la de la figura 5.12, en dicho panel se ingresa la cantidad exacta a dispensar de agua caliente. Al establecer el valor y seleccionar el grifo rojo de agua a temperatura caliente se aprecia un círculo rojo ubicado al costado del mismo indicando que el sistema se encuentra listo para dosificar la cantidad introducida de agua caliente mediante la interfaz de la figura 5.12. Complementario a esto, se aprecia en la figura 5.14 el valor introducido y el sistema funcionando, el cual fue de 1 kg como parámetro de prueba:

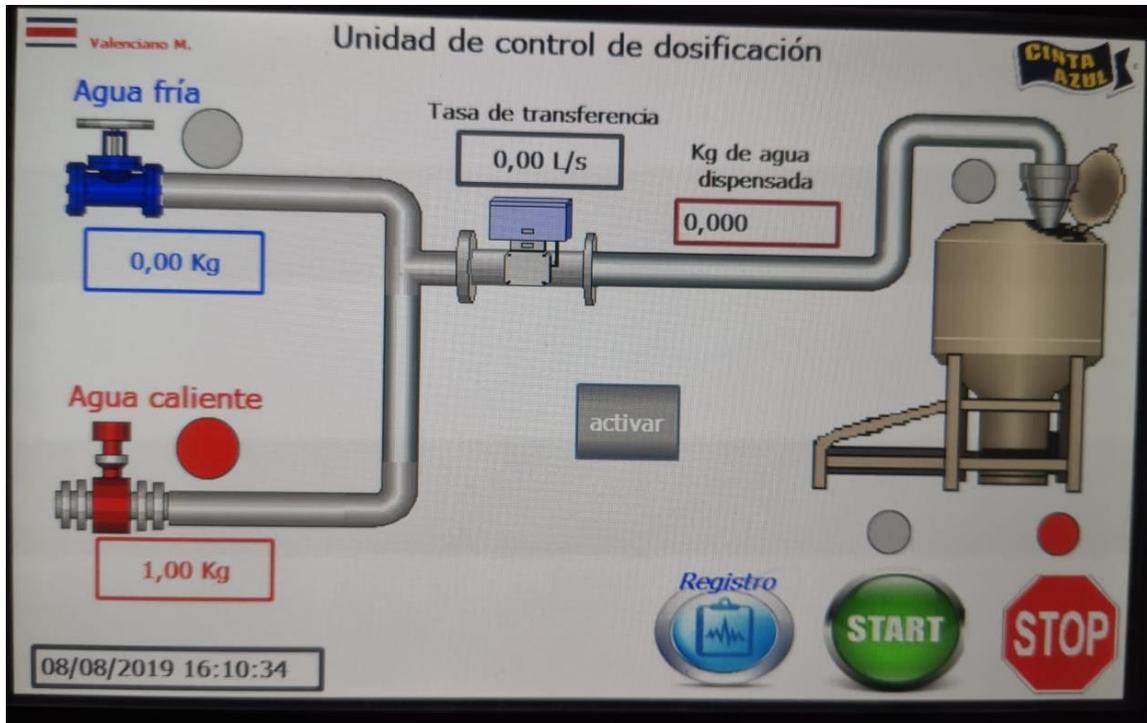


Figura 5. 14 Sistema de dosificación para agua a temperatura caliente.

5.2.3 Actuadores

En este apartado se definen el tipo de activación o comunicación y se especifica el funcionamiento de los respectivos actuadores tanto para la simulación como para la versión final.

5.2.3.1 Servoválvula neumática simulación

Para el funcionamiento del sistema en el área del Instituto Tecnológico de Costa Rica, se utilizaron 2 electroválvulas de bola de 2 vías de accionamiento neumático como la mostrada en la figura 5.15:



Figura 5. 15 Electroválvula de bola FESTO de 2 vías de accionamiento neumático.

Este equipo tiene la función de abrir y cerrar la válvula que permite el paso del agua correspondiente para permitir la dosificación. La llave electrónica es de marca Festo, modelo DAPZ-SB-M 250AC-DR. Este tipo de servoválvula se activa neumáticamente al igual que la recomendada a utilizar en la empresa, pero se ve limitada únicamente en el factor de protección al ser IP65, por lo que el software se mantiene igual.

Fue importante conocer la versión del modelo para comprender el funcionamiento, tanto el principio de medición como la tensión de funcionamiento y su activación. En la figura 5.16 se muestra el código detallado de la electroválvula Festo: [13].

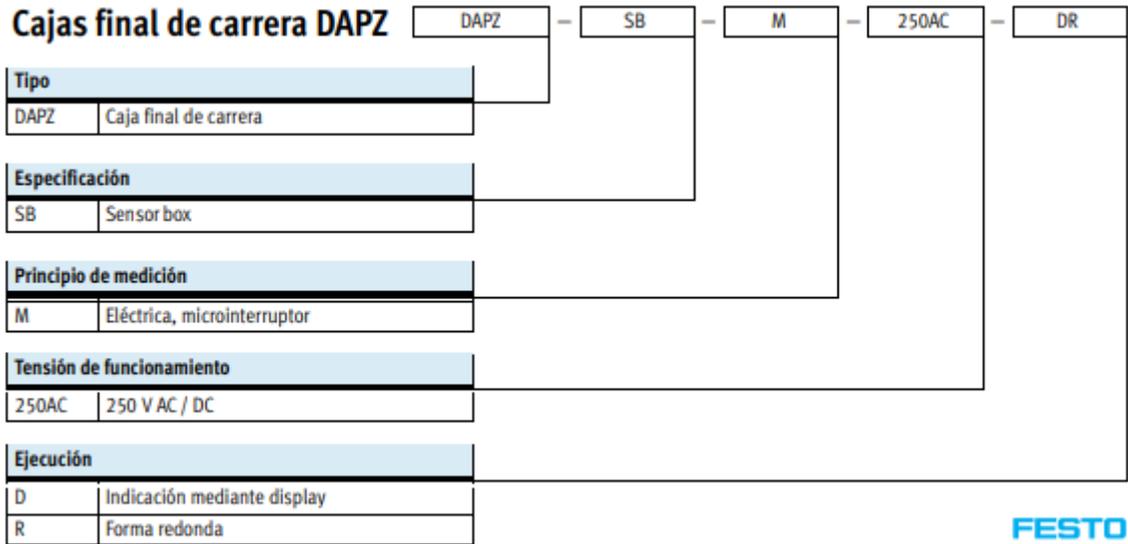


Figura 5. 16 Código electroválvula Festo.

5.2.3.2 Servoválvula neumática empresa

Por temas de experiencia en los operarios de mantenimiento en dispositivos instalados anteriormente y que funcionaron deficientemente, se recomendó para el proyecto el uso de una electroválvula de accionamiento neumática marca Bürkert modelo tipo 2000/2002. Este equipo se adapta perfectamente al software, ya que su activación es igual a la servoválvula usada en la simulación y cumple con los estándares y niveles de calidad de la empresa y los operarios han tenido una buena experiencia con el uso en otros procesos anteriormente.

Este equipo se compone de un accionamiento por émbolo neumático y de un cuerpo de válvula de 2 vías de ½ pulgada fabricado en acero inoxidable de fundición de precisión antiséptico que permite obtener altos valores de flujo y cumplir las normas higiénicas y soportar los rangos de temperatura del agua. Puede observarse el modelo de la válvula de accionamiento neumática Bürkert tipo 2000/2002 en la figura 5.17: [4].



Figura 5. 17 Válvula de accionamiento neumática Bürkert tipo 2000/2002.

Según datos técnicos, la válvula se puede instalar en cualquier posición, pero por experiencia de los operarios es preferible que el actuador se coloque hacia arriba.

En cuanto al funcionamiento para la apertura y cierre, la válvula funciona normalmente cerrada. Para permitir el paso de fluido debe enviar una señal analógica desde el centro de control PLC para activarla neumáticamente. Puede observarse en la figura 5.18, el esquema de la válvula normalmente cerrada por la acción de un muelle (1) en posición desactivada cerrando el paso de fluido de 3 a 2: [4].

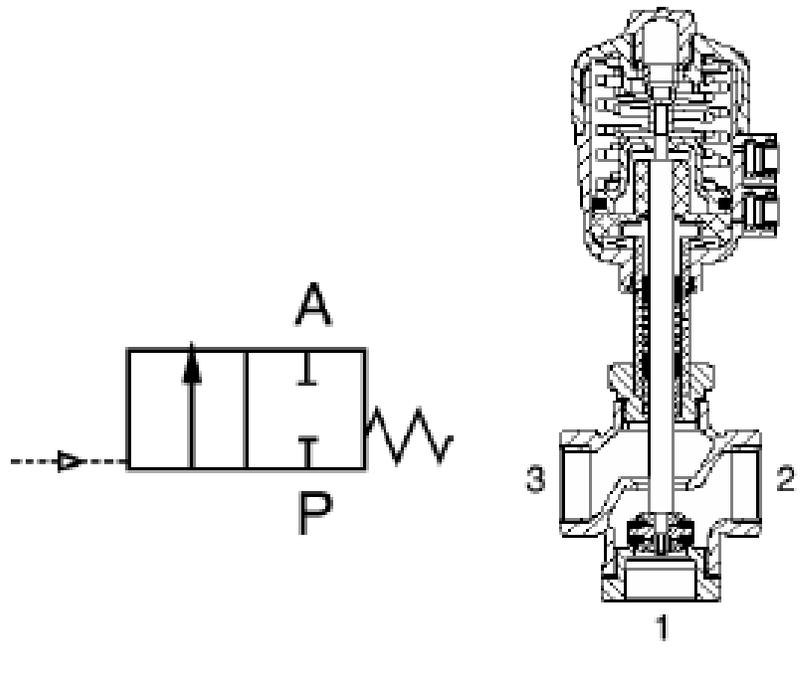


Figura 5. 18 Conexión 1 normalmente cerrada (en posición desactivada).

5.2.3.3 Bomba mixta

En la empresa existe todo un sistema de bombas con control PID para que siempre se dispense agua a una presión y velocidad constante, por lo que no hubo que preocuparse en este ámbito, ya que solamente tiene que conectarse el sistema de control a la tubería antigua.

En el laboratorio del TEC sí se debe enviar la señal desde el PLC para que el sistema arranque, la bomba mixta se encarga del bombeo del líquido del depósito principal hasta los depósitos de dosificación. Cabe destacar que el software en la empresa es innecesario porque el fluido es constante, entonces solo se controla la apertura y cierre de las válvulas.

5.2.4 Detector de caudal

Para conocer el peso del agua, debía medirse de alguna manera el flujo del recurso hídrico que pasaba por la tubería. Para esto, optó por medirse el paso del

agua mediante un detector de caudal. Para ello se investigó cual era la mejor opción para recomendarlo a la empresa. A continuación, se detalla tanto el diseño como el funcionamiento de los detectores de caudal seleccionados tanto para el uso en el sistema de la empresa como el presente en la celda Festo para simulación.

5.2.4.1 Detector de caudal simulación

En cuanto al equipo, se eligió por disposición el ubicado en la celda Festo. Es un medidor de caudal de precisión IR-Opflow type 2 con diámetro de ½ pulgada para acople en la tubería como el mostrado en la figura 5.19



Figura 5. 19 Medidor de caudal de precisión IR-Opflow.

El funcionamiento de este dispositivo es muy parecido a comparación al dispositivo recomendado a la empresa. El agua al pasar por la entrada del sensor provoca el movimiento de una aleta tipo espiral. Dentro del dispositivo se encuentra un optoelectrónico que genera un haz de luz infrarroja, cada vez que el rotor gira la pala interrumpe la luz y provoca que se genere un pulso en la salida muy preciso. Esta señal analógica es la que se toma como entrada en el PLC, pero a diferencia que es una señal de voltaje de 0 a 10 V, este sensor asimila un voltaje de 0 como una tasa de transferencia de 0.3 L/min y de 10 V para 9 L/min y el mismo la transforma digitalmente a un valor real de kg de agua dispensados al instante.

5.2.4.2 *Detector de caudal para la empresa*

En cuanto al detector de caudal recomendado a utilizar en la empresa, es de la marca de la electroválvula y se eligió por recomendación de los ingenieros de mantenimiento de la empresa, la marca es Bürkert, modelo tipo 8030. Este equipo puede observarse en la figura 5.20, es apto y compatible para trabajar interconectado con el PLC propuesto para Cinta Azul, mismo modelo de la simulación. Cuenta con una carcasa de acero inoxidable, trabaja con fluidos con rangos de temperatura entre -15°C a $+60^{\circ}\text{C}$, cuenta con protección grado IP65 y es adaptable a tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada de grosor. Las características anteriores hicieron de este elemento la mejor opción para recomendarlo en el proceso, ya que cumple con todos los estándares y normas de calidad reglamentadas en la empresa.



Figura 5. 20 Caudalímetro tipo 8030.

Para comprender mejor el funcionamiento fue necesario pedir el manual de uso directamente al proveedor, por lo cual es importante mencionar parte del diseño y el principio de medición.

El sensor de caudal 8030 está compuesto por dos módulos. El primer segmento consta de un módulo electrónico SE30 asociado al segundo, siendo este un fitting S030 con rodetes integrados como los mostrados en la figura 5.21 [3].

Sensor de caudal 8030

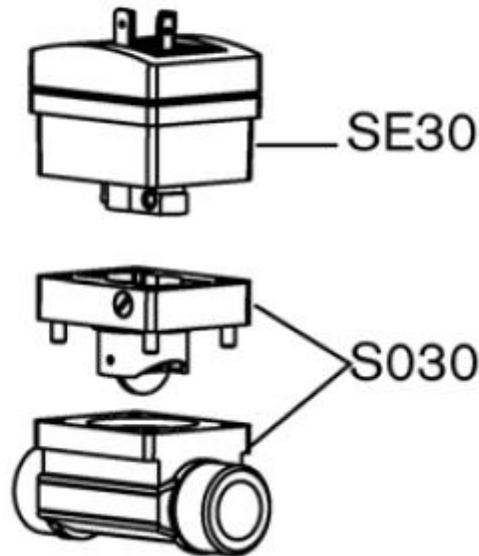


Figura 5. 21 Sensor de caudal Bürkert 8030.

El principio de medición se basa al movimiento de unas paletas internas, el sensor detecta el movimiento de las aspas y genera una señal cuya frecuencia F es proporcional al caudal Q , conforme a la ecuación 5.1: [3].

$$f = K * Q \quad (5.1)$$

El fluido, al circular por la tubería, hace que las paletas rueden y provoquen, por medio del efecto Hall, que los 4 imanes insertados en él creen una señal de medición. La tensión inducida es modulada en frecuencia [f , en Hertz (Hz)], la cual es proporcional a la velocidad del caudal [Q , en litros por segundo (l/s)]. En la salida se envía una señal estándar de 4 a 20 mA, proporcional a la velocidad de caudal. Para calcular la velocidad del flujo también se necesita un coeficiente de correlación [K , en pulsos/l], el cual es constante y específico de cada módulo fitting S030 y viene indicado en el dispositivo.

Esta versión de sensor mide el caudal por el movimiento de unas paletas internas cuando hay paso de fluido, este movimiento provoca que se envíe una señal de salida por efecto Hall. Esta señal de 4 a 20 mA la lee y procesa el PLC, ya que dependiendo de la frecuencia en que da cada vuelta la paleta se transfiere estos valores de corriente a kg de agua. En la salida, se tiene una señal analógica que se envía por medio de las terminales del módulo electrónico, el PLC convierte la señal de medición y procesa el valor instantáneo en kg/s.

5.3. Descripción del software

Para el desarrollo del software fue necesario utilizar la computadora personal y una computadora ubicada en el laboratorio de Sistemas Integrados de Manufactura del Tecnológico de Costa Rica (SIMTEC). El programa que se utilizó, bajo licencia legal para el desarrollo del algoritmo de control de dosificación, fue TIA Portal V13.

Mediante la utilización del programa TIA Portal, se programó el PLC Siemens S7-300 en conjunto con la interfaz de visualización HMI Siemens, en la cual se controla la cantidad de kilogramos de agua que se desea dispensar, para eso se monitorea la señal variable generada por el flujómetro que se traduce en términos de peso del recurso hídrico dispensado, hasta llegar al valor indicado por el usuario. En la figura 5.22 puede observarse el diagrama de flujo que puede tomar el software como respuesta a la elección que da el usuario

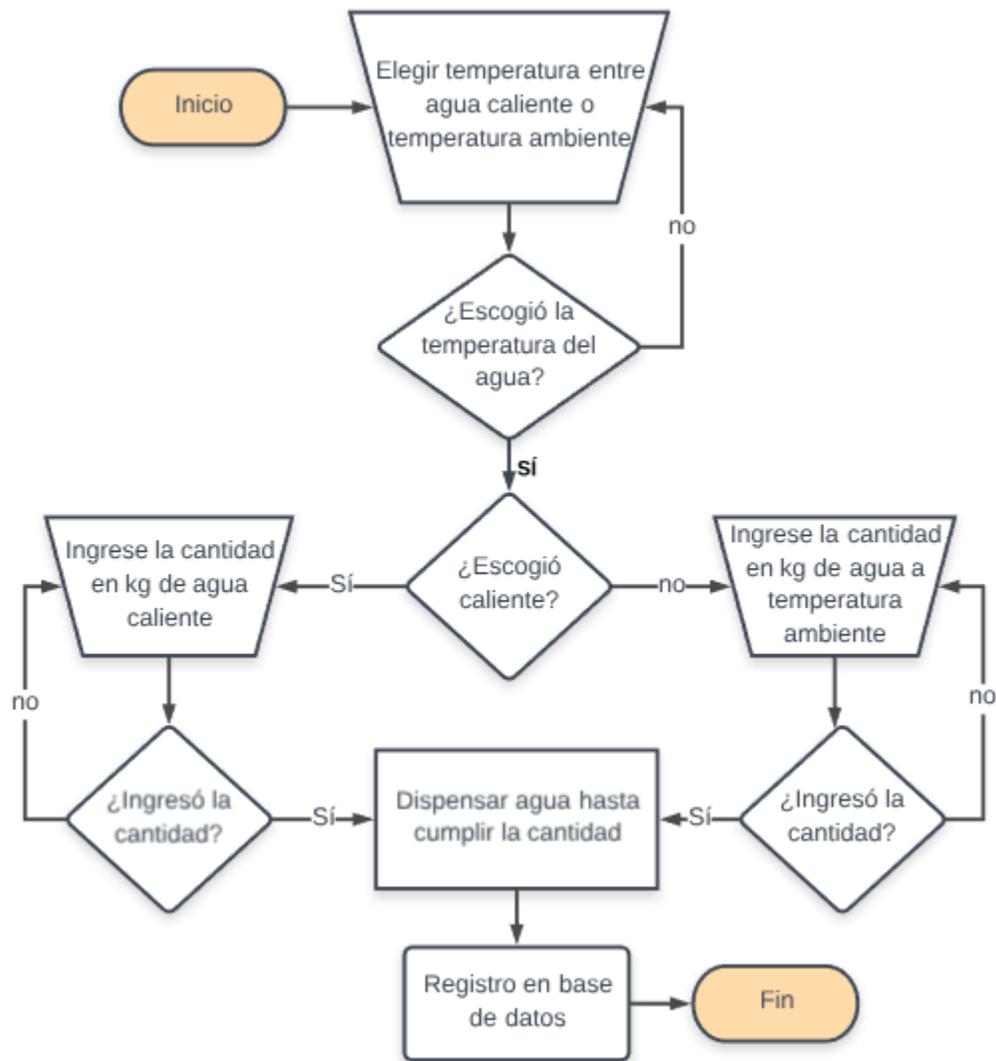


Figura 5. 22 Diagrama de flujo que toma el PLC junto con la interfaz HMI.

A continuación, se explican las principales funciones realizadas por el software de programa del dosificador, las cuales tienen variables que están ligadas directamente al HMI que controla el usuario:

5.3.1 Instrucción de Inicio

Puede considerarse como una de las funciones principales más importantes, ya que el sistema se encuentra inactivo y no realiza ninguna operación hasta que se active el bit nombrado “start” de la figura 5.23.



Figura 5. 23 Bit “start”.

Al activar el bit de “start” pasa la señal por un bloque de “set y reset” mostrado en la figura 5.24, en donde se asigna una variable de “Inicio” para inicializar el programa, siempre y cuando “stop” esté en cero o en False, deshabilitando al mismo tiempo la condición inversa de “Paro”, que se explica en la sección 5.3.2. Para activar inicio, debe cumplirse la siguiente condición: “start” debe estar activo (uno lógico) y “stop” debe estar inactivo (cero lógico). El bloque de Inicio está relacionado con los demás bloques del sistema, ya que al inicializarlo permite poner en operación a los demás bajo ciertas parámetros o variables, que deben cumplir para que la planta entre en funcionamiento de forma segura.

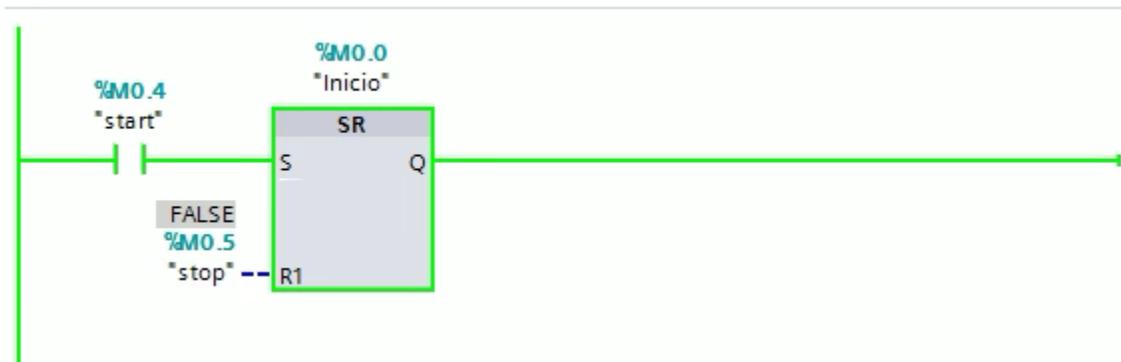


Figura 5. 24 Variable de “Inicio” de bloque Set/Reset.

5.3.2 Instrucción de Paro

Al igual que la instrucción de inicio, esta función está relacionada a todos los demás bloques del programa, debido a que estos se mantienen en operación hasta que se active el bit de “stop”. En la figura 5.25, puede observarse como la variable “start” se encuentra activa, y por ende el sistema se encuentra funcionando al estar la variable stop inactiva:

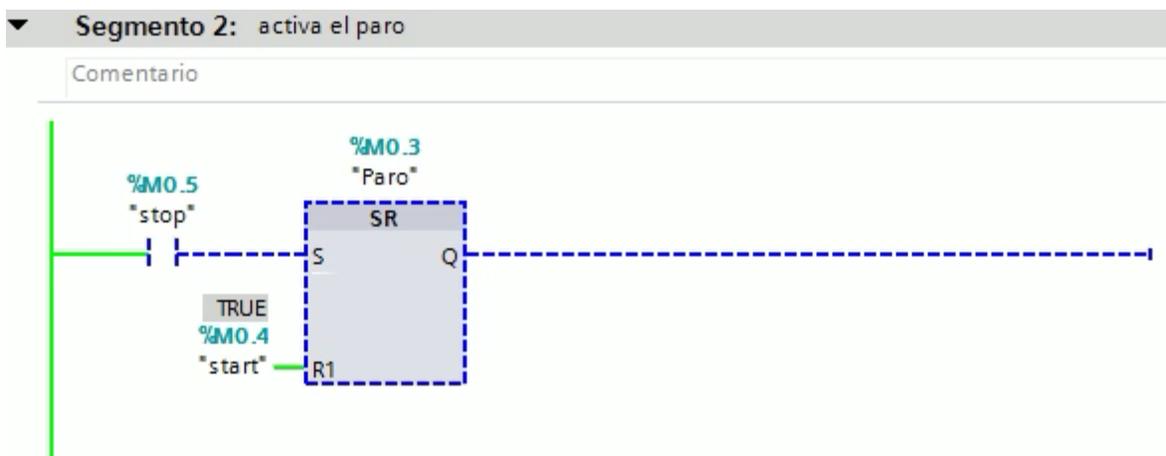


Figura 5. 25 Bit de “stop”.

Al activar el bit de “stop” pasa la señal por un bloque de “set y reset” mostrado en la figura 5.26, en donde se asigna una variable de “Paro” para detener el programa, deshabilitando al mismo tiempo la condición inversa de “Inicio”.

Puede garantizarse que cuando el sistema se inicia desactiva la función de paro y viceversa, y que estas señales cambian de estado, tanto manualmente por el usuario al indicarlo en el HMI como un paro de emergencia, o cuando exista un paro programado o se produzca un fallo en el sistema.

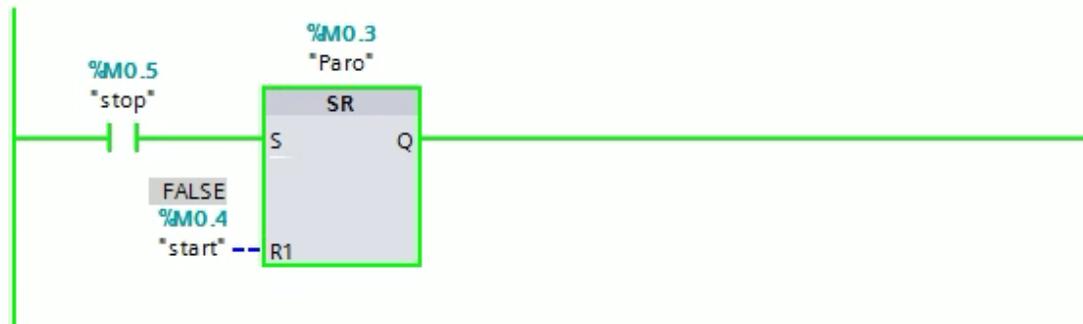


Figura 5. 26 Variable de "Paro" de bloque Set/Reset.

5.3.3 Instrucción de seleccionar agua

Las instrucciones de seleccionar agua a temperatura ambiente (también nombrada agua fría para efectos de la programación) y caliente se realizan únicamente por el usuario mediante la interfaz táctil HMI. En la empresa solo necesitan estas dos temperaturas, y funcionan independientemente en dos segmentos distintos, pero no pueden seleccionarse en conjunto, como al igual que los bloques mencionados anteriormente de Set/Reset, por lo cual, en el software del programa, se garantiza que si se selecciona la temperatura ambiente, se deshabilita el agua a temperatura caliente y viceversa. En la figura 5.27 se detallan las variables a controlar para activar el bloque de agua a temperatura ambiente:

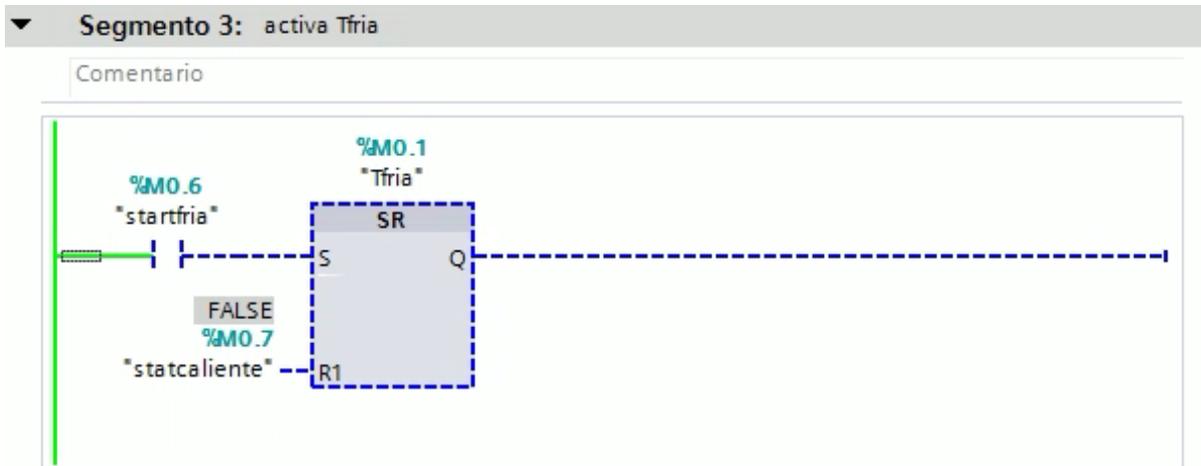


Figura 5. 27 Instrucción de seleccionar agua a temperatura ambiente.

En la figura 5.28 se muestran los parámetros a controlar para activar el bloque de agua a temperatura caliente y como se desactiva la de temperatura ambiente:

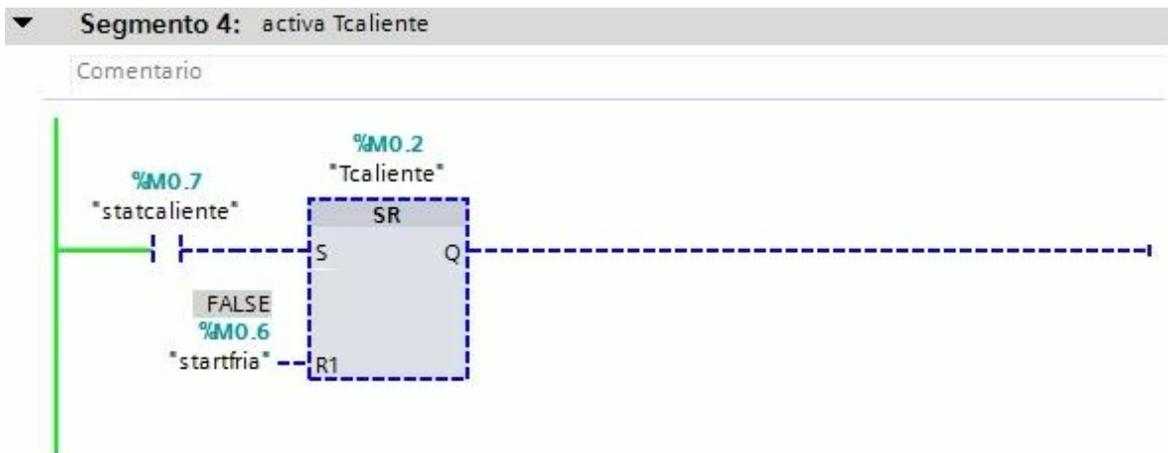


Figura 5. 28 Instrucción de seleccionar agua a temperatura caliente.

5.3.4 Instrucción de Paro de electroválvulas

La instrucción de Paro de electroválvulas es la encargada de detener el flujo de agua. Para ello, cuando se activa la variable de paro, se envía una señal que logra pasar de un estado de set, en donde funciona normalmente en los segmentos seis y siete que corresponden a activar la electroválvula A y la electroválvula B

respectivamente, para asignar una condición de Reset a estas, para que se cierren y así corten el paso del fluido hídrico. En la figura 5.29 se muestra el funcionamiento

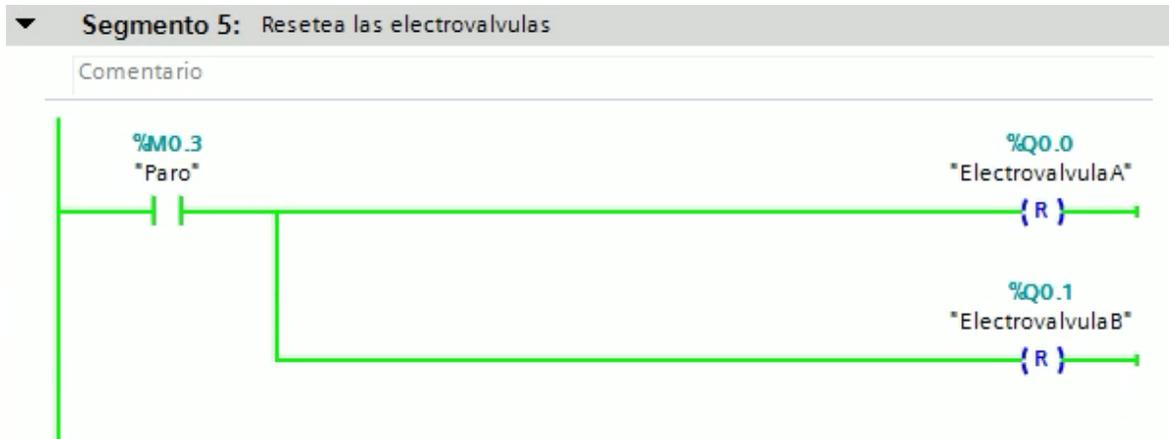


Figura 5. 29 Instrucción de Paro de electroválvulas.

5.3.5 Instrucción de activar electroválvulas

Al trabajar con dos temperaturas de agua distintas en la empresa, el flujo del agua viene por dos tuberías diferentes, la primera es la del agua a temperatura ambiente, a lo que se le asignó una electroválvula llamada "A" y la segunda es la del agua a temperatura caliente, a esta se le asignó el nombre de "B".

Antes de abrir el paso de agua, deben cumplirse tres parámetros, para ambas temperaturas se debe contar con el bit de "Inicio" activo y el de "Paro" en cero, esto garantiza que el sistema se encuentra en funcionamiento y no hay ningún error, por lo cual puede operarse sin ningún problema.

El siguiente parámetro si difiere según el tipo de temperatura, ya que si el usuario selecciona el agua de temperatura ambiente en la interfaz del usuario, esto provoca que se active el bit de "Tfría" mostrado en la figura 5.30 y se envía una señal analógica para que se dé la apertura de la electroválvula A, provocando el paso de fluido en la tubería del agua a temperatura ambiente:

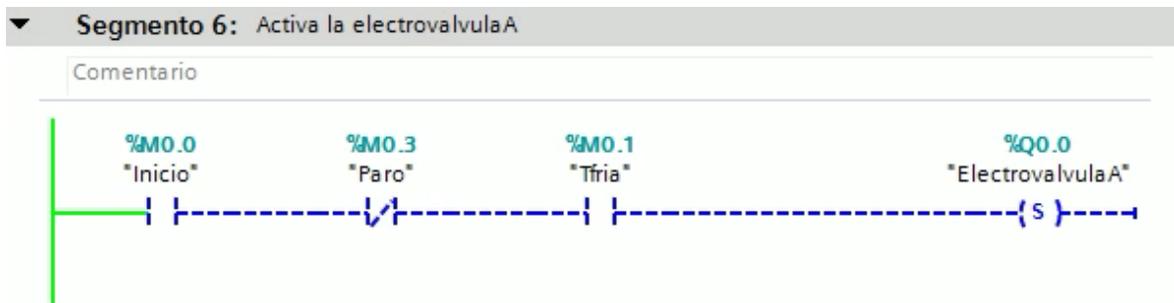


Figura 5. 30 Instrucción de activar electroválvula A.

Si el usuario selecciona el agua de temperatura caliente en la interfaz del usuario, se activa el bit de “Tcaliente”, el cual se muestra en la figura 5.31, esto provoca que se envía una señal analógica a la electroválvula B, que permite el paso de fluido en la tubería del agua a temperatura caliente:

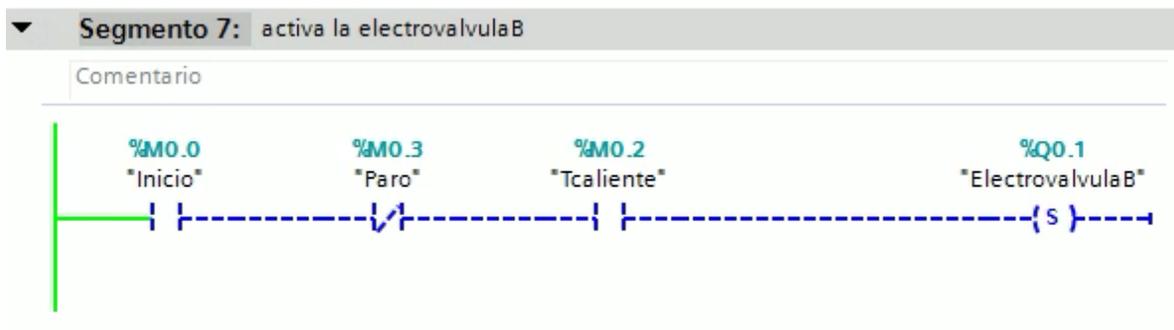


Figura 5. 31 Instrucción de activar electroválvula B.

5.3.6 Instrucción de Conversión y comparación de la cantidad de agua

Para entender el funcionamiento de este bloque, es necesario mencionar que el segmento está dividido en dos bloques principales: el primero se encarga de realizar una conversión de parámetros y el segundo compara la cantidad de agua que pasa por el flujómetro con un valor asignado. Cabe destacar que, tanto para el agua a temperatura ambiente y la de temperatura caliente, funcionan igual, lo que varía es el segmento seleccionado al elegir entre ellas, esta selección se detalló en la sección 5.3.3, donde se explica la instrucción de seleccionar la temperatura del

agua, por lo que en esta sección solo se detalla los dos bloques de “CONV” y el comparador de valores reales.

Para activar las electroválvulas deben cumplirse ciertos requerimientos, el primero es seleccionar la temperatura, enseguida, cuando el usuario ingresa la cantidad requerida en kilogramos de agua, este valor se almacena en una memoria (“ValorFria” o “ValorCaliente” según la temperatura seleccionada), se etiqueta como un tipo de dato de Dint en el sistema, pero para poder comparar ese valor con el dato generado por el flujómetro, debe convertirse a un tipo de datos Real, ya que así, al ser el mismo parámetro, puede compararse. En la figura 5.32, se muestran los bloques de función que se ejecutan para el agua a temperatura ambiente:

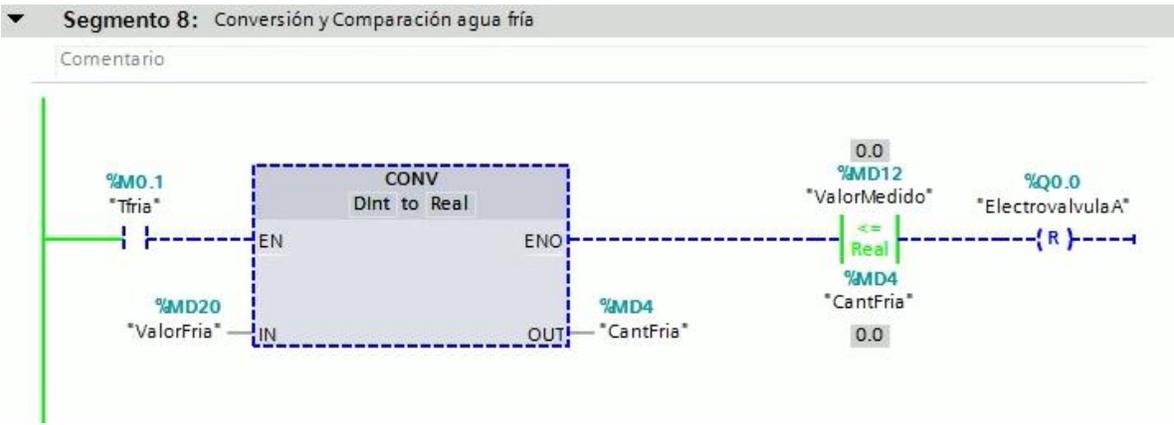


Figura 5. 32 Bloques de función para el agua a temperatura ambiente.

Para entender de una mejor manera el funcionamiento, es importante señalar que las variables que se almacenan como memoria tienen diferentes formas de ser, etiquetadas según el tipo de datos. En la tabla 5.1 se detallan las principales formas de etiquetar datos utilizadas en el proyecto: [21].

Tabla 5.1 Formas utilizadas de etiquetar datos en el proyecto.

Tipo de etiqueta de datos	Rango de datos
BOOL	BOOL (0 or 1). Un valor booleano es VERDADERO / FALSO. Ejemplos: 0 o 1, ON u OFF, MIN o MAX
Signed INT (16-bit)	-32768 to +32767. Un tipo de datos INT es un entero de 16 bits (sin punto decimal). Ejemplo: 32767
Unsigned INT (16-bit)	0 to 65535. Un tipo de datos INT es un entero de 16 bits (sin punto decimal y solo valores positivos). Ejemplo: 65535
Signed DINT (32-bit)	-2147483647 to +2147483647. Un tipo de datos DINT es un entero de 32 bits con signo (+/-) (sin punto decimal). Ejemplo: 2147483647
REAL	Un tipo de datos REAL es un entero de 32 bits que proporciona una aproximación de un número real. Suele llamarse punto flotante. Ejemplo: 32.611328

Para el caso del agua a temperatura caliente es similar. En la figura 5.33 se muestran los bloques de función que se ejecutan para convertir el tipo de etiqueta de datos. Como segundo bloque se muestra una comparación, esta sirve como referencia para cerrar las electroválvulas, ya que el sistema va a estar en funcionamiento al seleccionar e ingresar la cantidad de kilogramos de agua requeridos por el usuario hasta que la variable real “valormedido” es igual a la variable “Cantcaliente” que es la ingresada por el usuario, esto provoca que en el sistema se va a estar dando el paso de flujo hasta que el valor medido iguala el valor establecido y así se envía una señal analógica a la electroválvula para que entre en un estado de Reset y cierre el flujo de líquido. Esto sucede similar en ambas temperaturas, lo que cambian son las variables ingresadas por el usuario, según el tipo de temperatura requerida en el agua.

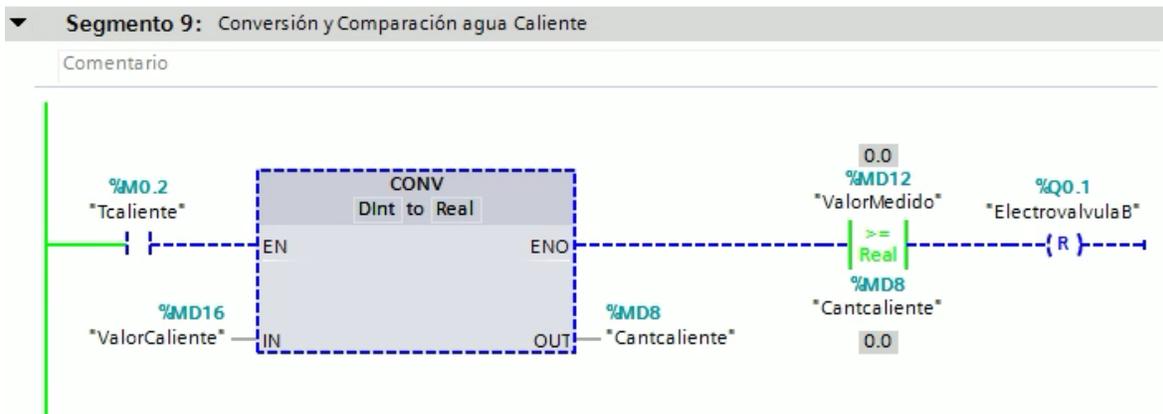


Figura 5. 33 Bloques de función para el agua a temperatura caliente.

5.3.7 Instrucción de lectura de flujo

Para una correcta lectura del flujo hídrico se implementó un segmento que se divide en tres bloques. Primeramente, debe interpretarse la señal de salida analógica del flujómetro para que pueda manipularse digitalmente, el funcionamiento del detector de caudal para la empresa y para la simulación se detalla en la sección 5.2.4 de este documento. En la figura 5.34 se muestra el bloque de “SCALE” que permite traducir una señal analógica a una digital y además escalar estos valores según el valor de la entrada, para esto se le asignaron los dos valores límites, ya que el flujómetro permite obtener la lectura de datos del agua dentro de rango de 0.3 a 9 L/min, pero lo representa en la salida como una señal analógica de 0 a 10V (por este motivo es necesario establecer que es una señal unipolar asignando una etiqueta con un dato que entrega un “uno” lógico, el “cero” es para Bipolar y contempla valores negativos). Dependiendo de la señal de voltaje del flujómetro que se ve en la entrada del bloque, en un rango de 0 a 32767 para un tipo de etiqueta “INT (16-bit)”, así va a ser el valor de salida, pero representado en el rango establecido para los L/min, además a esto, el bloque cuenta con una señal que indica cuando se da error en la lectura, debido a que el flujómetro salga del rango de los 0.3 a 9 L/min. Para una mejor interpretación en tiempo real de los datos, se hace una conversión de L/min a L/s dividiendo por un valor real fijo de 60, que

es el número de segundos que representa un minuto tanto para el caso de agua a temperatura ambiente como para la caliente.

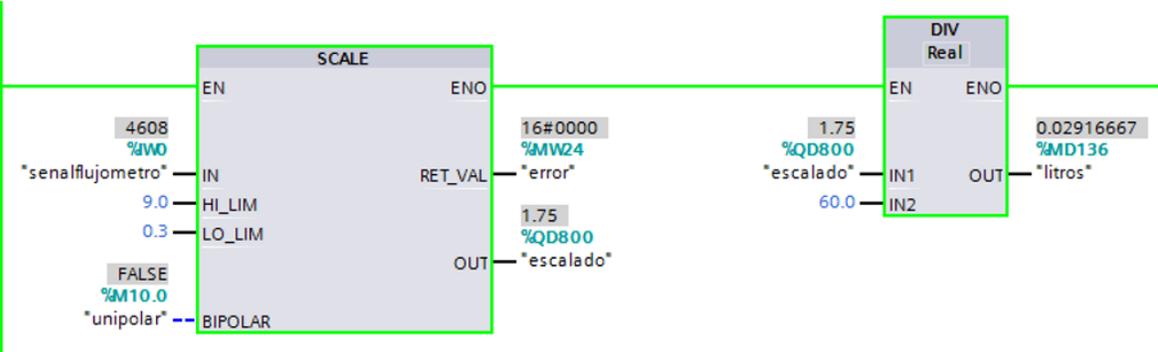


Figura 5. 34 Función SCALE: señal analógica a digital.

En la salida del bloque de la figura 5.34 se obtiene el valor instantáneo del flujo del agua en litros por segundo. Por lo cual, para conocer el valor del agua dispensada en el tiempo, se necesita sumar el valor instantáneo de cada segundo que ha pasado. Matemáticamente, se conoce que, al integrar estos valores en el tiempo se obtiene el volumen de agua dispensada hasta el momento, por esta razón fue necesario establecer el bloque de “Integ” mostrado en la figura 5.35:

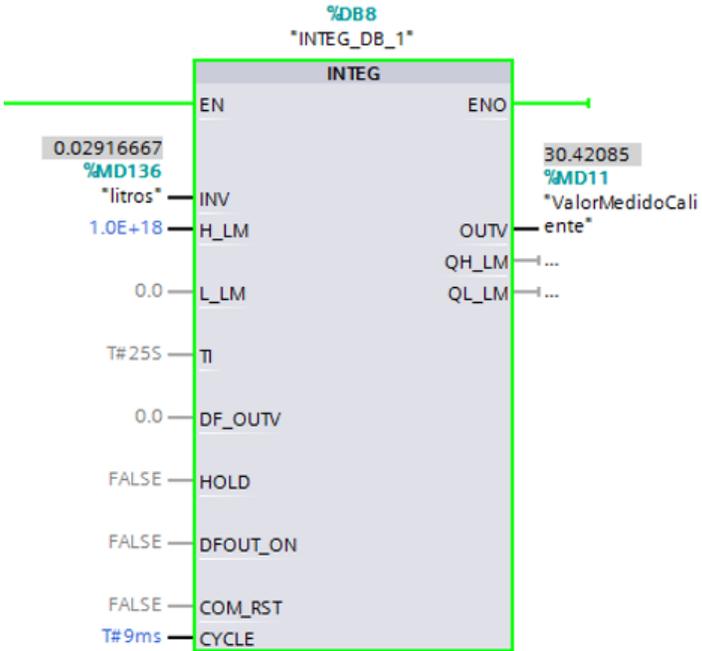


Figura 5. 35 Función integrativa para calcular la cantidad de kilogramos dispensados de agua caliente.

Se estableció el bloque con parámetros de lectura de entrada entre el rango enorme de 0 a 1E+18 litros para que no haya ningún inconveniente a futuro. Además, una etiqueta tipo Bool en la entrada COM_RST que se mantiene en estado de cero lógico hasta que se desee reiniciar el conteo cuando se le establece un “uno lógico”. El parámetro de CYCLE es el que varía dependiendo si está leyendose el flujo de agua a temperatura ambiente o caliente, en el caso de la figura 5.35 se muestra cada 9 ms debido a que la densidad del agua a temperatura caliente es menor y se explica en la sección 3.3.2 donde se detalla la densidad del agua caliente y fría y su conversión de litros a kg, por lo cual en la salida del bloque se obtiene el valor total leído de kg de agua caliente, el cual sirve para comparar con el valor requerido por el usuario. En la figura 3.36 se muestra la instrucción completa para el caso del agua fría, la cual solo difiere en el tiempo de muestreo que es de 8 ms que se guarda el valor total de kg en una memoria diferente llamada “ValorMedidoFria”:

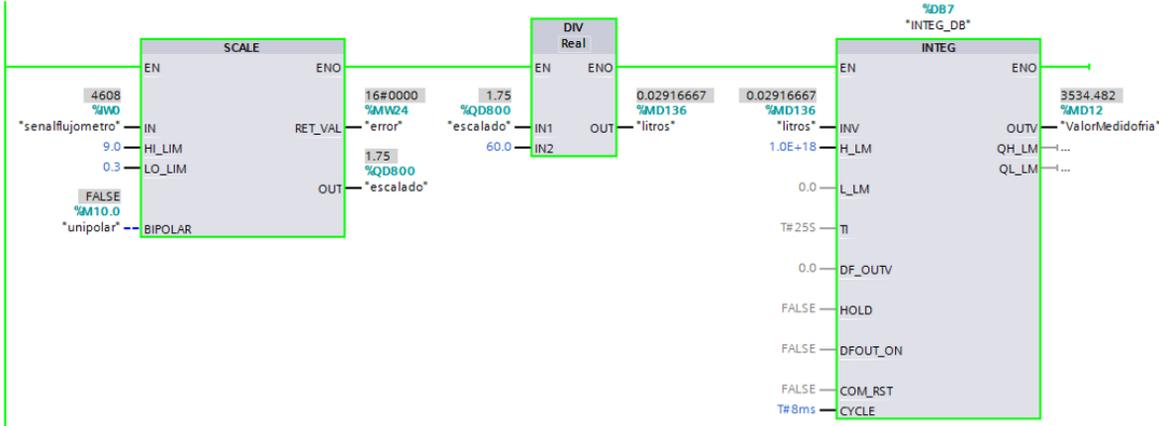


Figura 5. 36 Instrucción de lectura de flujo y su integración para calcular la cantidad de kilogramos dispensados de agua a temperatura ambiente.

Capítulo 6: Análisis de resultados

En este capítulo se hace un análisis del proyecto. Primeramente, se realiza un estudio económico para identificar la viabilidad del proyecto y posterior a este se realiza un estudio sobre el impacto ambiental, ya que si solo se toma en cuenta el aspecto económico el análisis será incompleto, porque su viabilidad no es fiable al no tomar en cuenta la huella ambiental.

Además a esto, se realiza un análisis técnico sobre los resultados obtenidos al implementar la solución.

6.1 Análisis económico

Para comprobar la viabilidad del proyecto, fue necesario realizar un estudio de prefactibilidad, sobre una futura aplicación de la solución planteada con el propósito de analizar si su puesta en marcha es rentable o no. Estimar el costo generó que se pueda obtener una buena formulación del proyecto, el cual es un factor vital para el futuro del mismo.

También es importante destacar que para este proyecto se plantearon diversas alternativas de solución, al momento de buscar los componentes del sistema, que generan un monto de inversión, tomando en cuenta los requerimientos de la empresa para dichos dispositivos, así como las condiciones ambientales.

Primeramente, fue necesario investigar acerca de los componentes requeridos que se adaptaban a los requerimientos y necesidades del proyecto. Así como los recursos personales que se necesitaron para el desarrollo de la investigación. Los gastos económicos que se mencionan corresponden a los costos de inversión que se incurren en la adquisición de los activos necesarios para dar inicio al proyecto. En la tabla 6.1 se puede observar el desglose de los gastos económicos que conlleva poner en funcionamiento el proyecto. [20]., [4].,[19].

Tabla 6.1 Gastos Económicos para el funcionamiento del proyecto

Recurso	Cantidad	Tipo	Precio (\$)
Computador HP Ultrabook Envy 4	1	Equipo	300.00
PLC SIEMENS S7-300	1	Equipo	2183,51
HMI SIEMENS	1	Equipo	1351,20
Electroválvula A, Bürkert tipo 2000/2002	1	Material	354,80
Electroválvula B, Bürkert tipo 2000/2002	1	Material	354,80
Cables de conexión	1	Material	4.99
Codo PVC 1/2	1	Material	2.00
Interruptores	1	Material	5.95
Tubo PVC 1/2	1	Material	8.54
Medidor de caudal Bürkert tipo 8030	1	Material	846,15
Transporte	1	Recursos Personales	179.08
Alimentación	1	Recursos Personales	104.57
TOTAL	12	-----	5698.59

Cabe destacar que el presupuesto puede cambiar, debido al momento de compra, variación del tipo de cambio o por gastos adicionales que no se han complementado, como lo son el trabajo del ingeniero en la elaboración o por la instalación del sistema funcionando.

Además de cotizar los gastos para poner en funcionamiento el proyecto, se realizó una investigación por un lapso de cuatro meses en las instalaciones de la empresa, desde el 09/01/2019 hasta el 08/05/2019. En donde se llevó el control de noventa y cinco tipos de pastas y mezclados, gracias a las recetas provenientes del Departamento de Investigación y Desarrollo de la empresa. Se contaba con el dato de agua necesaria en kilogramos para cada tipo de mezclado en varios lotes de producción, de este dato se generó una proporción del agua requerida entre la cantidad entregada de producto. Al conocer esos datos se tabularon y se asignaron a las 2301 órdenes que se produjeron en dicho periodo. Debido a una relación

proporcional directa, fue posible conocer el consumo total de agua requerida como materia prima en la producción de embutidos. De igual manera, pudo conocerse el valor exacto de cuánta agua se desperdició en los 106 días de trabajo, debido al traslado y llenado de los recipientes, ya que si se necesita menos agua de lo que contiene un contenedor lleno, deben botar el sobrante hasta llegar al peso requerido por la receta. En la tabla 6.2 puede observarse un resumen del consumo de agua promedio que se genera diaria y mensualmente en la empresa Cinta Azul, específicamente en el área de mezclado para la producción de pastas, con este líquido como materia prima. Además, se detalla el promedio diario de agua desperdiciada en el mismo proceso.

Tabla 6.2 Estudio del consumo de agua del 09/01/2019 al 08/05/2019

Parámetro	Unidad (KG)
Consumo total agua para producción en 4 meses	1033769,24
Cantidad agua desperdicio 4 meses	367819,94

Al obtener los valores de la tabla 6.2, pueden representarse los valores mediante una lista que indican el consumo y desperdicio diario, mensual y anualmente para una mejor visualización. Lo anterior se observa en la tabla 6.3:

Tabla 6.3 Consumo y desperdicio de agua diaria, mensual y anualmente

Parámetro	Consumo (Kg)	Desperdicio (Kg)
Promedio diario producción	9 752,54	3 469,99
Promedio mensual producción (26,5 días en promedio trabajados)	258 442,31	91 954,74
Promedio Anual (301 días efectivos)	2 935 514,33	1 044 468,11

Mediante un gráfico, puede visualizarse de una mejor manera el comportamiento estadístico. El gráfico se observa en la figura 6.1:

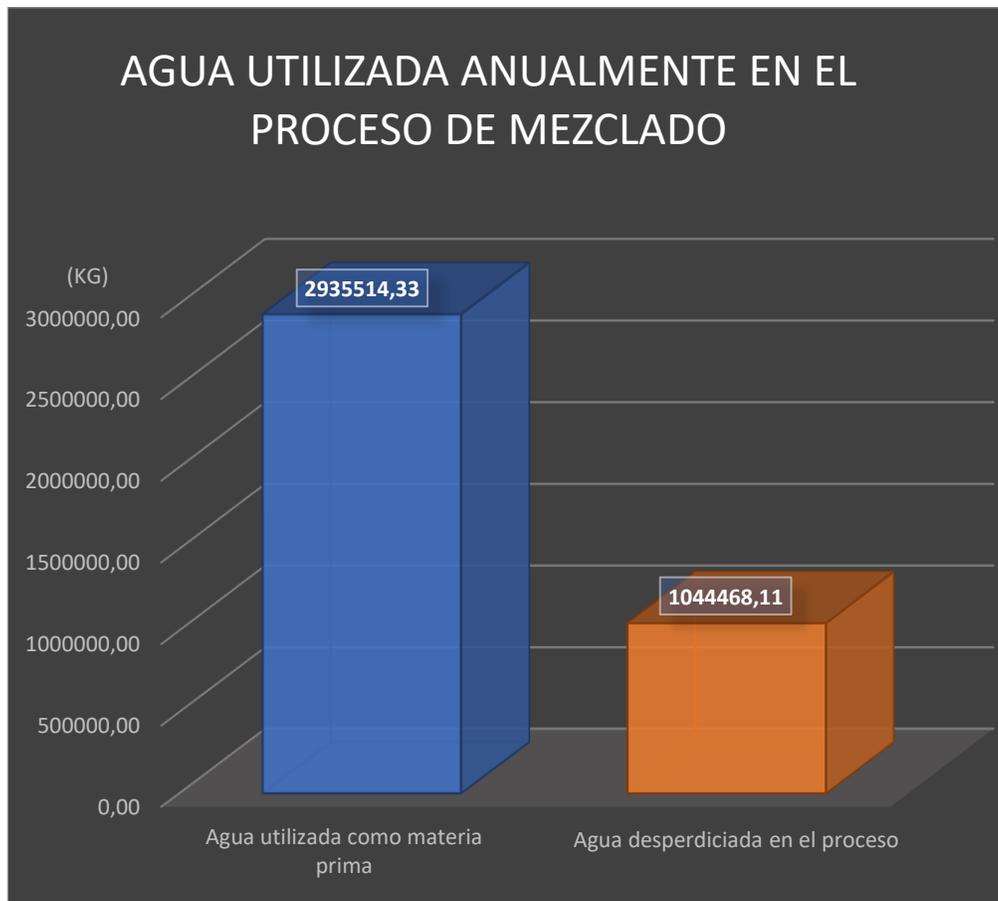


Figura 6. 1 Gráfico del agua utilizada anualmente en el proceso de mezclado

Al apreciar la figura 6.1, se observa que actualmente está desperdiciándose un **35,58 %** de agua, con respecto al consumo total requerido en la producción, que equivale aproximadamente a 1044468,11 Kg de agua anuales desperdiciados si se toma el valor promedio diario y se multiplica por los 301 días efectivos, que se trabajan en la empresa anualmente (no se trabajan 52 domingos, ni 12 días feriados en Costa Rica).

Para conocer el valor económico que representan los **1044,47 m³** de agua, fue necesario consultar en la página oficial de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), especialmente por la tarifa del Acueducto AYA para el periodo 2019. En la figura 6.2 se muestra la tarifa establecida por la entidad en el periodo 2019 según la resolución RIA-08-2017 publicada en la Gaceta N° 179: [1].

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
Pliegos tarifarios del Servicio de Acueducto
(colones por metro cúbico consumido mensualmente)

Fecha inicio: 01/01/2019
Fecha final: 31/12/2019

BLOQUE	DOMICILIAR	EMPRESARIAL	PREFERENCIAL	GOBIERNO
1 a menos 16 m ³	355	1.403	355	1.403
16 a menos 26 m ³	712	1.703	712	1.703
26 a menos 41 m ³	783	1.703	712	1.703
41 a menos 61 m ³	927	1.703	712	1.703
61 a menos 81 m ³	1.703	1.703	783	1.703
81, a menos 101 m ³	1.703	1.703	783	1.703
101 a menos 121 m ³	1.703	1.703	783	1.703
121 m ³ y más	1.790	1.790	783	1.790
Tarifa fija mensual	9.724	32.983	28.552	124.259
Cargo fijo mensual ^{1/}	2.000	2.000	2.000	2.000

Figura 6. 2 Tarifa del servicio de acueducto AyA periodo 2019

Al conocer estas tarifas puede aproximarse el valor que se gasta anualmente con el desperdicio de agua, ya que mensualmente por la mala utilización que se le da al recurso se despilfarran cerca de 87 m³ en el área de mezclado, pero se consumen más de 300 m³, al sumar el agua desperdiciada junto a la que se utiliza como materia prima en dicha área. Al observar la figura 6,1 puede determinarse que la tarifa, para un bloque en donde se consume más de 121 m³, tiene un costo de 1790 colones por metro cúbico consumido mensualmente. Al multiplicar el costo de la tarifa de un metro cúbico por los 1044,47 m³ anuales, se obtiene un costo total por el servicio de 1 869 601,3 colones al año (3152,79 dólares, según el tipo de cambio del BNCR al día 03/06/2019) [23]. que se pueden ahorrar solamente en el recibo del agua al implementar el sistema propuesto en este documento, ya que, al aplicar la dosificación directa en la mezcladora, no estaría desperdiciándose nada de agua por el llenado de recipientes, ni al botar agua por sobrepasar el peso indicado en la receta.

En la tabla 6,4 se muestran los gastos que actualmente se están generando por no desarrollar el proyecto, ya que con la solución planteada la empresa se ahorraría la siguiente cantidad de dinero anualmente:

Tabla 6.4 Dinero que se ahorraría al implementar el proyecto en estudio anualmente.

Parámetro	Unidad (\$)
1044,47 m ³ de agua desperdiciada anualmente	3152,79
Reparación y mantenimiento por romperse las cadenas del elevador al año	10000,00
Total	13 152,79

Con base al anexo A.1 sobre el análisis económico en la empresa, se realizó un estudio del impacto económico, en la tabla 6.5 se muestra un resumen de la viabilidad del proyecto al proyectarlo en un futuro. Este estudio es muy importante, ya que una inversión tiene como objetivo determinar el rumbo de la empresa; sin embargo, si no se realiza un estudio adecuado se puede tender a que la inversión no sea apropiada o necesaria para la empresa incurriendo en consecuencias. [2].

Tabla 6.5 Costo del proyecto y medidas financieras.

PROJECT COSTS AND FINANCIAL MEASURES:	
Capital Allocation	\$6
Incremental Operating Working Capital	\$0
Initial Start-up Expenses Before Tax	\$0
Total Funds Requested	\$6
Present Value of Free Cash Flows (Planning Horizon)	\$45
Present Value of Terminal Value	\$0
NPV	\$40
IRR	165,1%
Payback on Fixed Investment	0,6

Con respecto a la información recolectada, procedió a realizarse distintos cálculos cuyo resultado se muestra en el anexo A.1 para determinar la viabilidad del proyecto, como es el Valor Actual Neto (Net present value “NPV”), la Tasa Interna de Retorno (Internal Rate of Return “IRR”) y el tiempo para la recuperación de la inversión, los cuales permiten determinar si las inversiones son factibles.

Puede observarse de la tabla 6.5 que se obtiene un NPV positivo, lo que indica que es factible la implementación de la propuesta partiendo del hecho que como se comentó en la teoría; cuando el valor actual neto es igual o mayor a cero indica que el proyecto es rentable y satisface las proyecciones a futuro, ya que se solventa los gastos de la inversión inicial y se cuenta con una vida útil de 7 años según las estadísticas de la empresa en proyectos anteriores similares, al realizar una inversión cercana a los tres mil dólares con una tasa de interés establecida en la empresa y mostrada en el anexo A.1, y al proyectar los gastos anuales que se ahorrarían durante los siete años se obtiene un Valor Actual Neto de \$40 000, esto indica que la inversión es sumamente rentable y le conviene el proyecto al obtener un retorno muy elevado. En la misma tabla, puede observarse que la inversión se pagaría en un lapso de 0,6 años que equivalen a solamente 7 meses y 6 días, por lo cual se estarían generando ganancias durante 6 años y 6 meses más, ya que según la empresa, el equipo tiene vida útil de 7 años, debido a esto la Tasa Interna de Retorno tiene un porcentaje muy elevado de 165,1 % que indica, según la teoría, que el proyecto es rentable.

6.2 Análisis ambiental

Para realizar el análisis ambiental fue necesario identificar las variables ambientales que se veían afectadas al sugerir la implementación del sistema de dosificación.

Para la empresa el impacto representa el ahorro de aproximadamente 1044,47 m³ de agua anualmente, según el estudio económico y esta cifra se va a ver relacionada con la reducción de la emisión de dióxido de carbono.

Es oportuno indicar que la empresa tiene un compromiso mundial respecto a la conservación del agua y además que con este proyecto ayuda en gran parte a disminuir el indicador de consumo de agua, ligado con la emisión de CO₂. Actualmente, se sabe que por el exceso de emisiones de CO₂ se está provocando el calentamiento global, ya que este gas es una de las principales causas del efecto invernadero, por lo cual es muy importante para el ambiente reducir este impacto.

Con ayuda de una plantilla facilitada por la Unión Europea se realizó el análisis ambiental mostrado en el anexo A.5; en la tabla 6.6 se muestra la cantidad de kg de CO₂ eq que no se liberan a la atmósfera al economizar anualmente más de mil metros cúbicos de agua.

Tabla 6.6 Cantidad de Kg de CO₂ que no se liberan al medio ambiente al sugerir la implementación del sistema de dosificación [6].

Producto	Consumo anual	Unidades de medida física	Factor de emisión (Kg CO ₂ eq/ud)	Kg de CO ₂ eq
Agua	1044,47	m ³	0,788	Kg de CO ₂ eq/m ³ de agua 823,042

6.3 Análisis técnico

6.3.1 Pruebas antes de la simulación

En esta sección se muestran los resultados obtenidos antes de simular el programa con los componentes finales en la Celda Festo. Para ello, se programó el software del PLC y se cargó a un PLC del mismo modelo mediante una conexión PN/IE a la dirección IP 192.168.10.88. El dispositivo está empotrado en un sistema que se muestra en la figura 6.3; cuenta con entradas de voltaje analógicas que pueden variarse y que sirvieron para simular el paso del flujo de agua y así realizar las pruebas. También, se cargó el software del HMI mediante una conexión PN/IE a la dirección 192.168.10.111. Mediante el software, se enlazó la pantalla de la celda con las variables del sistema para realizar las pruebas:

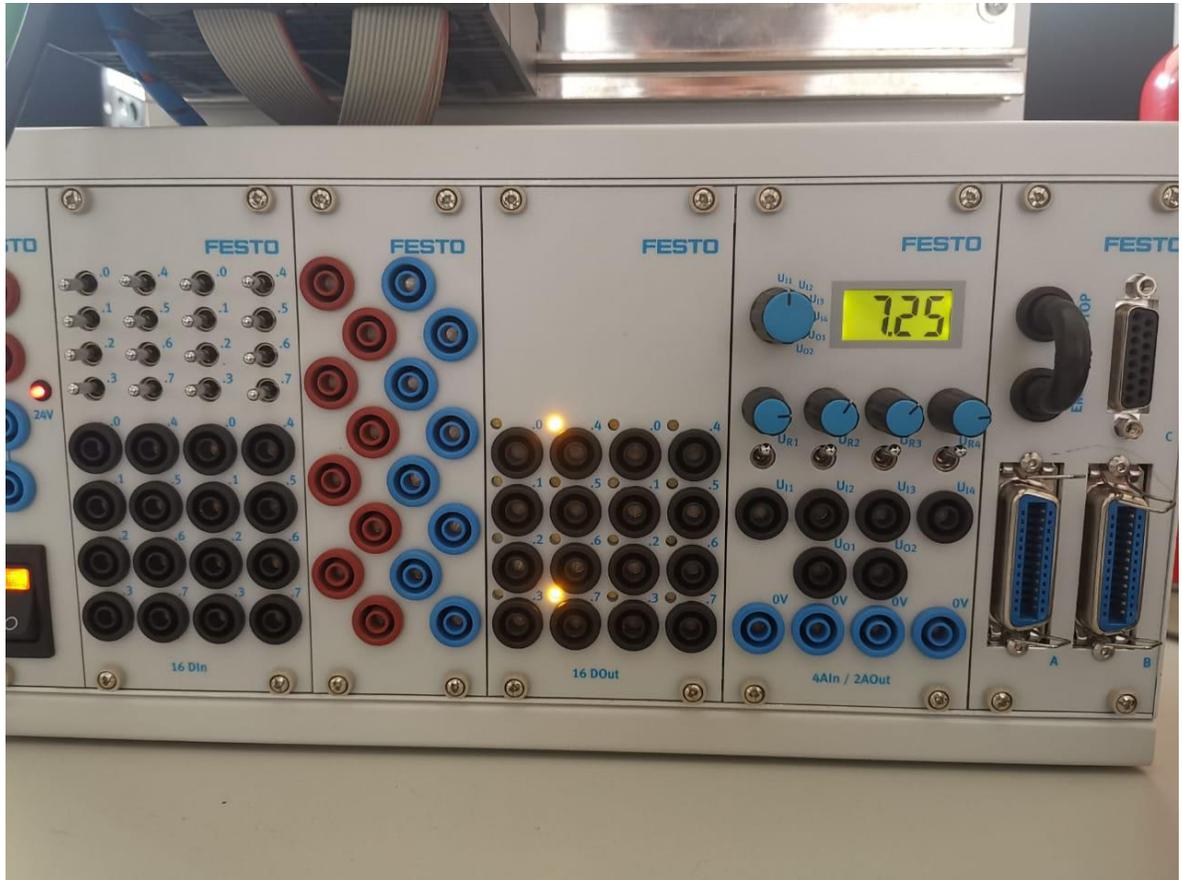


Figura 6. 3 Módulo de entradas enlazado al PLC

6.3.1.1 Activación electroválvula A (Agua a temperatura ambiente)

Se realizaron varias pruebas antes de implementar el software en la Celda Festo, para estos casos se utilizó un PLC que tenía adaptado un sistema de entradas tanto digitales como analógicas, únicamente se utilizó una entrada analógica para simular el comportamiento de la lectura de flujo, ya que el flujómetro real entrega en la salida un voltaje entre 0 a 10 V, según sea la tasa de transferencia del agua.

Para ver el correcto funcionamiento del software, se compiló el programa y se simuló en TIA Portal, el cual cuenta con una herramienta en la que se pueden activar los bits de las memorias manualmente, por ejemplo, para asignarle un uno digital

para el caso de “INICIO” debe seleccionarse el recuadro de la memoria MB 0 en la casilla del bit 0, así se pasa el estado de la dirección de memoria %M0.0 de un cero lógico a un uno lógico. Para seleccionar el agua a temperatura fría, debe activarse la dirección de la memoria %M0.1 que pertenece a “Tfria”; en el mismo recuadro de la memoria MB 0 se activa el bit uno. Puede observarse en la figura 6.4 como se activaron los bits en las simulaciones:

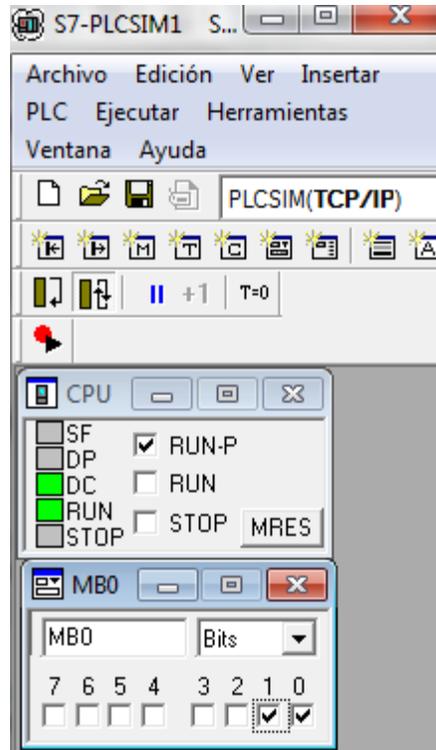


Figura 6. 4 Activación de bits en las simulaciones

El asignarle un uno lógico a estas dos memorias, provocó que según la programación del segmento se abriera la electroválvula A, pasando de un estado de Reset (R) a Set (S) la salida de la misma, que puede interpretarse que se abrió el paso de la electroválvula. El resultado se muestra en la figura 6.5:

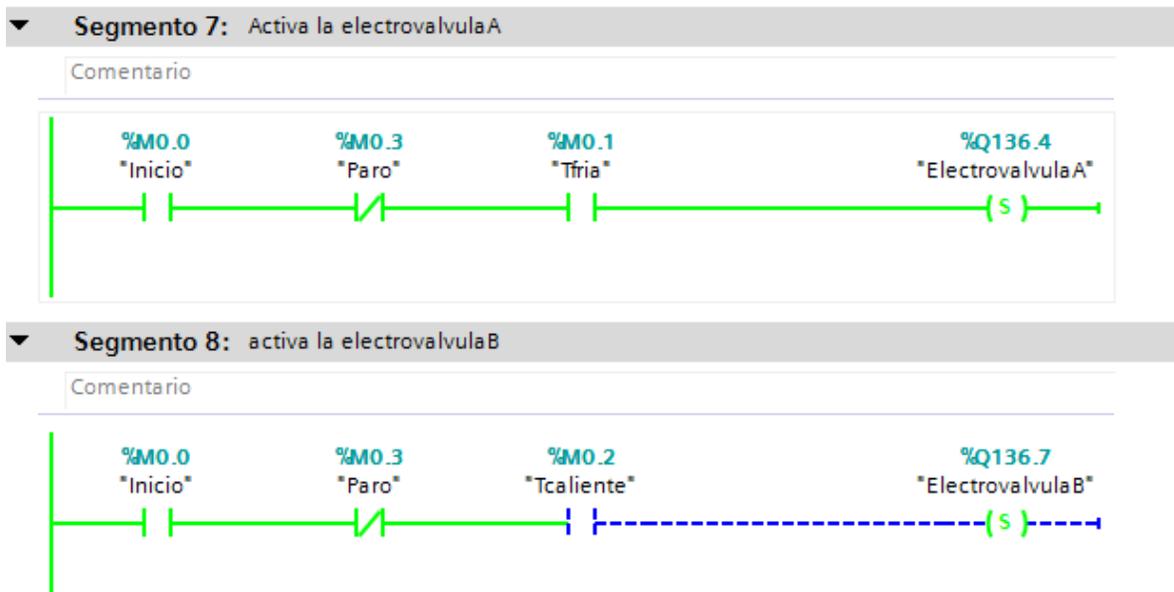
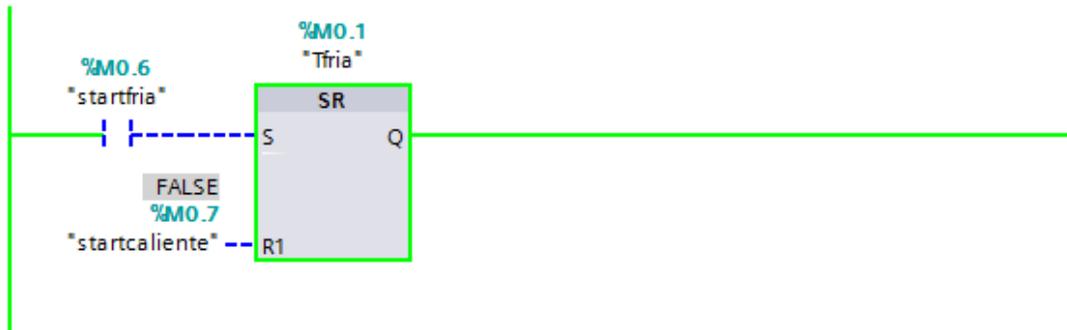


Figura 6.5 Activación electroválvula A

Primero se probaron todas las direcciones de memoria y se simularon mediante software, como en la figura 6.4 y 6.5, logrando un correcto funcionamiento al asignar los bits, pero como se tenía la facilidad de contar con una unidad HMI que se adaptaba al sistema anterior, se cargó la imagen de la unidad de control de dosificación y se enlazaron las variables para así realizar una simulación más enfocada al objetivo. Para seleccionar entre temperatura fría o caliente, se crearon dos segmentos más, que en la simulación al pulsar en la pantalla sobre la válvula de color azul se activaba el bit %M0.6 “startfria” y al soltar se desactivaba, esto envió una señal que asignaba un set (uno lógico) en el bit %M0.1 y al mismo tiempo desactivaba el de la temperatura caliente y viceversa en el siguiente segmento para asegurar que si se seleccionaba la apertura de una válvula se cerraba la otra, estos resultados de la prueba se muestran en la figura 6.6:

Segmento 5: activa Tfria

Comentario



Segmento 6: activa Tcaliente

Comentario

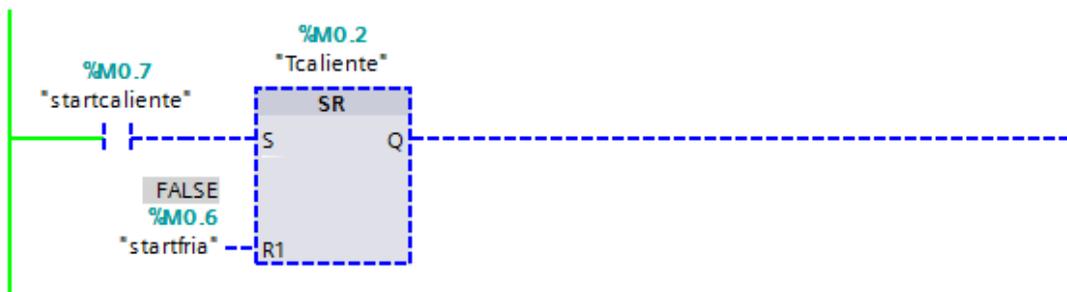


Figura 6. 6 Activación y desactivación de las memorias de “Tfria” o “Tcaliente” al presionar las válvulas en el HMI

Para verificar el funcionamiento y tener una mejor perspectiva de la simulación, se va a mostrar como actúa el sistema al introducir un valor de 3 kg en la unidad HMI.

Primero se introdujo el valor de 3 kg, luego se seleccionó la válvula azul que hace referencia al agua a temperatura ambiente y finalmente se seleccionó el botón de “start”. En la figura 6.7 puede observarse como el sistema entró en funcionamiento y como resultados puede verse que se enciende un círculo azul sobre el tanque mostrando que está dosificando agua fría, además se muestra la tasa de transferencia en litros por segundo (L/s), la cantidad de Kg de agua dispensada hasta el momento que se tomó la foto y la hora y fecha en la que se realizó la prueba:

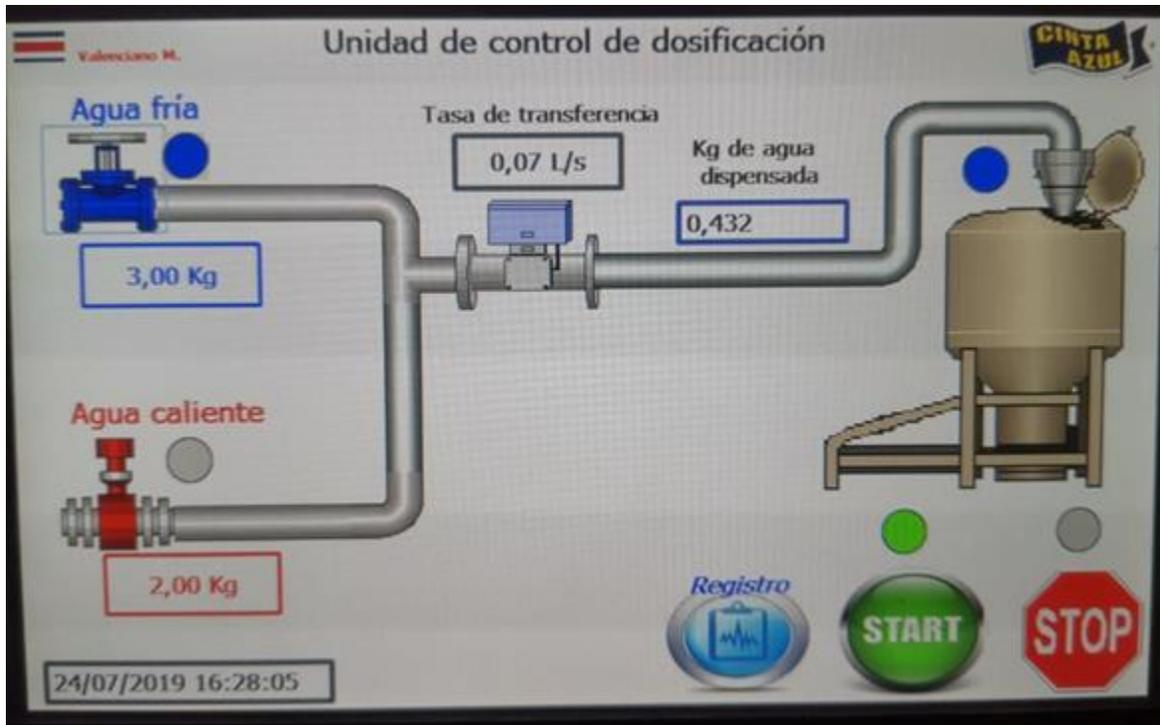


Figura 6. 7 Puesta en marcha para dosificar 3 Kg de agua fría

La tasa de transferencia responde según sea el dato de la señal de salida en el flujómetro; en la simulación se tiene una entrada analógica en la dirección %IW0 que entrega un valor según sea el voltaje de entrada para el caso, mostrado en la figura 6.7, en donde se aprecia que es de 0,07 L/s, este valor representa o hace referencia, al dato escalado de 4,31 V de la señal analógica mostrado en la figura 6.8:



Figura 6. 8 Entrada analógica en la dirección %IW0 para representar el flujómetro

Al aumentar el valor del voltaje a 7,6 V, visto en la figura 6.9, para simular una tasa de transferencia de flujo mayor, resulta una tasa de 0,11 L/s, que es equivalente a 6,96 L/min, tomando en cuenta que 10 V representa el valor máximo de transferencia permitido por el flujómetro de 9 L/min; esto indica que el escalamiento se encuentra en el rango adecuado.



Figura 6. 9 Aumento de voltaje para representando señal del flujómetro

En la figura 6.10 de la unidad HMI se puede observar como la tasa de transferencia incrementa proporcionalmente a la señal de voltaje tomada como la del flujómetro:

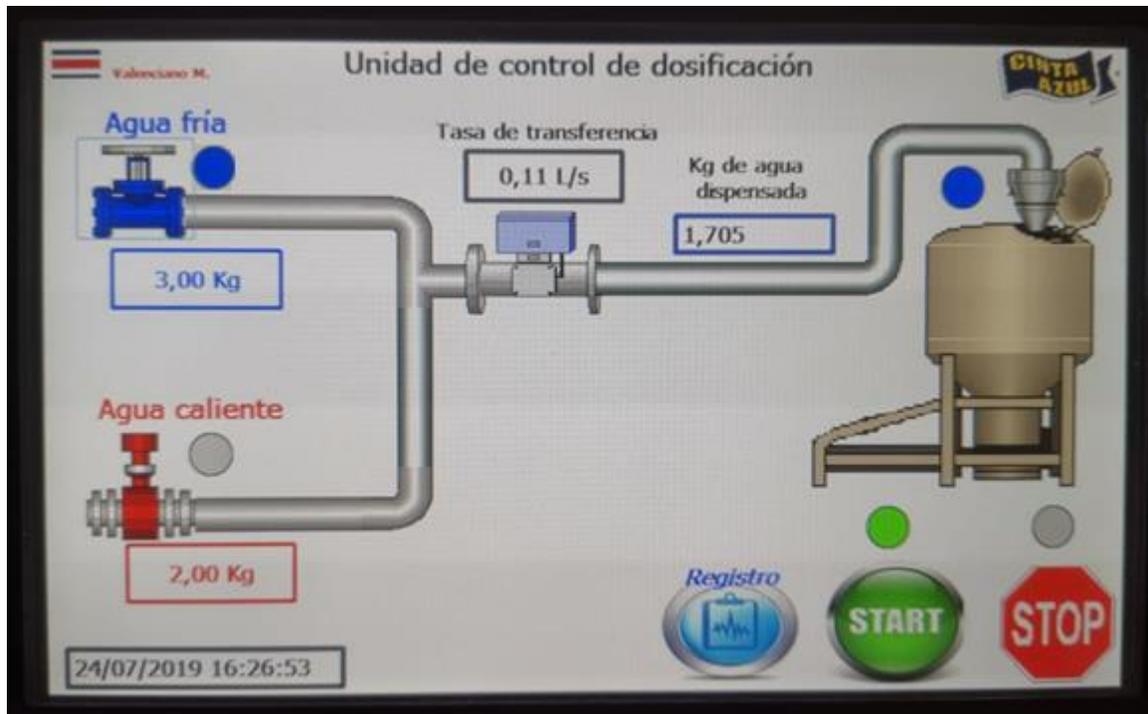


Figura 6. 10 Aumento en la tasa de transferencia según la señal del flujómetro

También, se recolectaron los resultados obtenidos en el software, donde al activar el agua fría empieza a recibirse el valor del flujómetro en la entrada. Puede observarse en la figura 6.11 que el valor asignado para la memoria %QD800 “escalado” es el valor de la etiqueta de datos reales para litros por minuto; para una fácil interpretación se divide entre 60 para observar el valor de litros por segundo dispensados, guardado en la memoria %MD136, la cual se va a ir integrando al realizar un muestreo cada 8 ms para entregar en la salida el valor en kg dispensado. El valor de tiempo de muestreo se obtuvo al seleccionar como entrada 10 V, lo que debería entregar un conteo de 9 kg al pasar un minuto por ser los valores máximos, por lo cual mediante simulaciones de prueba y error se llegó a asignar el tiempo de muestreo correcto tomando el equivalente de “1 litro = 1 kg” para el agua fría.

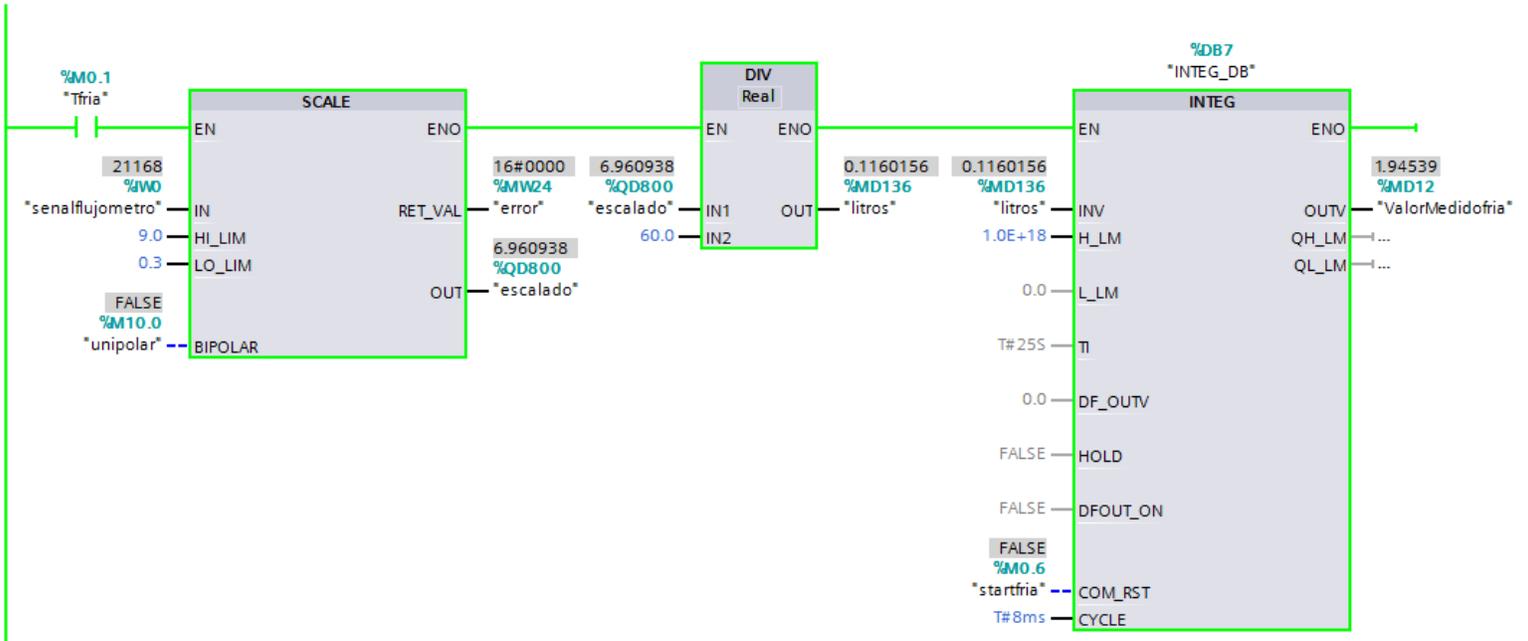


Figura 6. 11 Lectura señal flujómetro fría

Existe un bloque que se encarga de abrir o cerrar las electroválvulas dependiendo de la cantidad de kg necesario por el operario; en la figura 6.12 se observa como al introducir el valor como dato Dint de tres numérico, este lo interpreta como 300 al llevar dos decimales, al pasar por el bloque que lo convierte a 300 como número real, se divide entre 100 para correr la coma, así se leería como 3,00 Kg en el sistema, y es el valor correcto introducido. Posterior a esto, se muestra la puesta en marcha de uno de los bloques más importantes, el cual es el encargado de comparar el valor requerido por el usuario que se asigna a la memoria %MD70 "CantFriaDecimales" respecto al valor dosificado que se muestra en la lectura del flujo en la dirección %MD12 "ValorMedidoFria", al ser un dato menor o igual deja pasar la señal y así se mantiene en "Set" la electroválvula A (abierto el paso de flujo

Por último, puede apreciarse en la figura 6.14 como actúa el software cuando cumple su objetivo, ya que al ser el valor real de la memoria “Valormedidofria” (agua dosificada) es mayor al valor real de la memoria “CantFriaDecimales”, este cierra el paso de la señal, logrando asignar un “reset” a la electroválvula A, lo cual es equivalente a cerrar el paso del flujo.

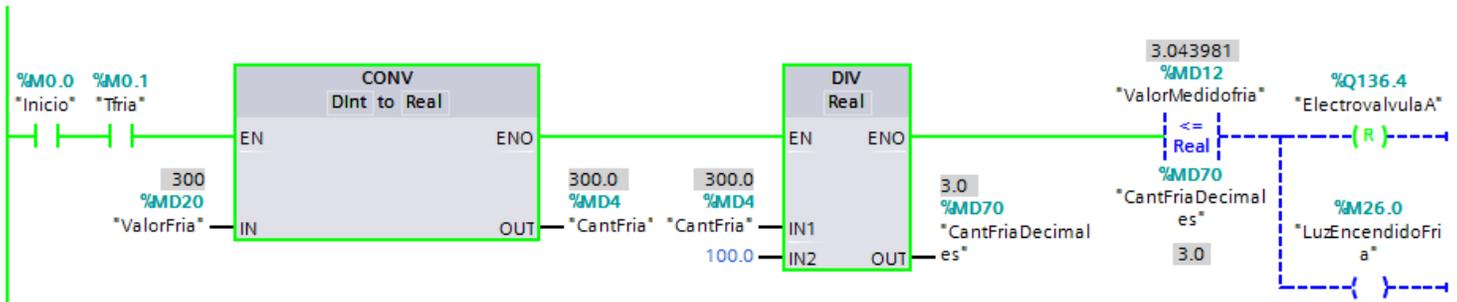


Figura 6. 14 Dosificación completada a nivel de software

6.3.1.2 Activación electroválvula B (Agua caliente)

Se realizaron pruebas para seleccionar la cantidad de agua a temperatura caliente que se requería. A continuación, se muestra el proceso que debió llevarse y los resultados pertinentes de la prueba.

El sistema se controla totalmente por el usuario, por lo cual todo debe manipularse desde la pantalla HMI. Primeramente, se debe introducir en la pantalla la cantidad de kg de agua necesaria. Al tocar el recuadro rojo, se abrió una ventana como la de la figura 5.11, se ingresó un valor de 2 kg y posterior a eso se tocó el botón sobre la figura de la válvula roja; por último, debe asegurarse que el sistema está encendido al observar que, sobre el recuadro de “Start”, se visualiza un círculo de color verde, esto hace que el sistema envíe una señal que abre la electroválvula. De igual manera puede notarse en la pantalla como al abrirse la electroválvula tanto el círculo que está al costado de la figura de la electroválvula pasa a color verde y el que está sobre el tanque cambia a color rojo, para visualizar que se está depositando agua a temperatura caliente dentro de la mezcladora. En la figura 6.15

se observa como al realizar los pasos mencionados anteriormente el sistema automáticamente empieza el conteo de kg de agua dispensada:

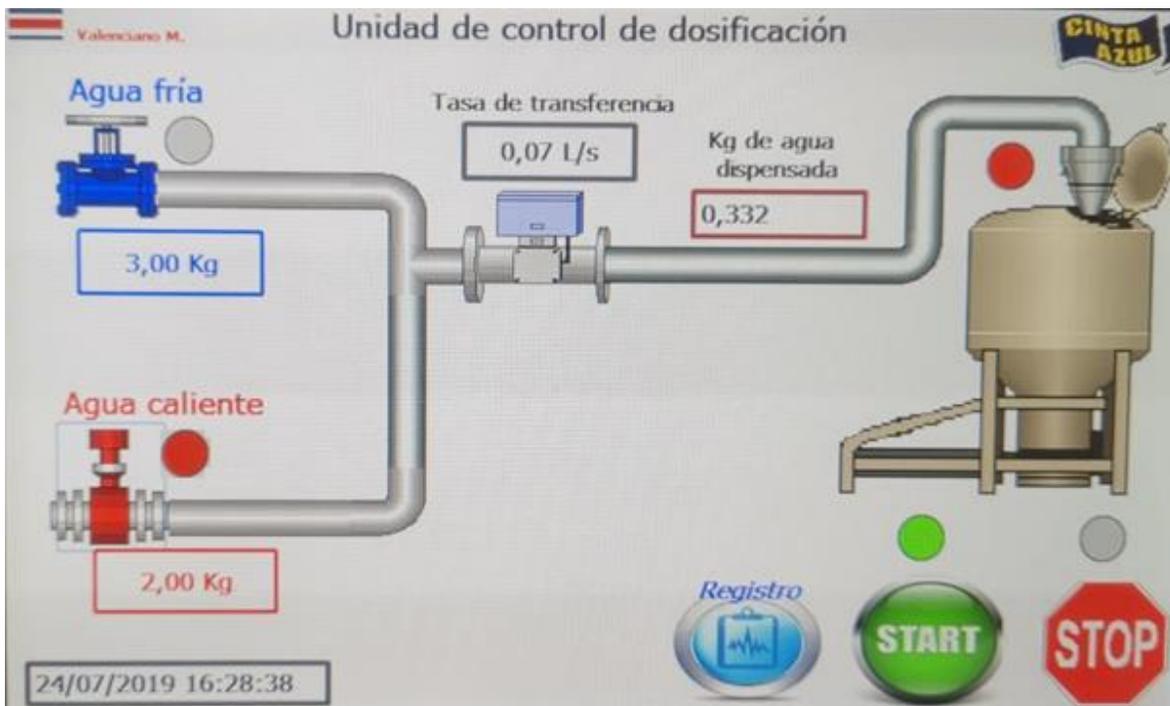


Figura 6. 15 Prueba dosificación antes de simulación final del agua caliente

También, puede observarse el estado del software del programa, para el mismo valor de 2 kg introducido. En la figura 6.16 se ve como al presionar sobre la válvula roja se activa el bit de “Tcaliente”:

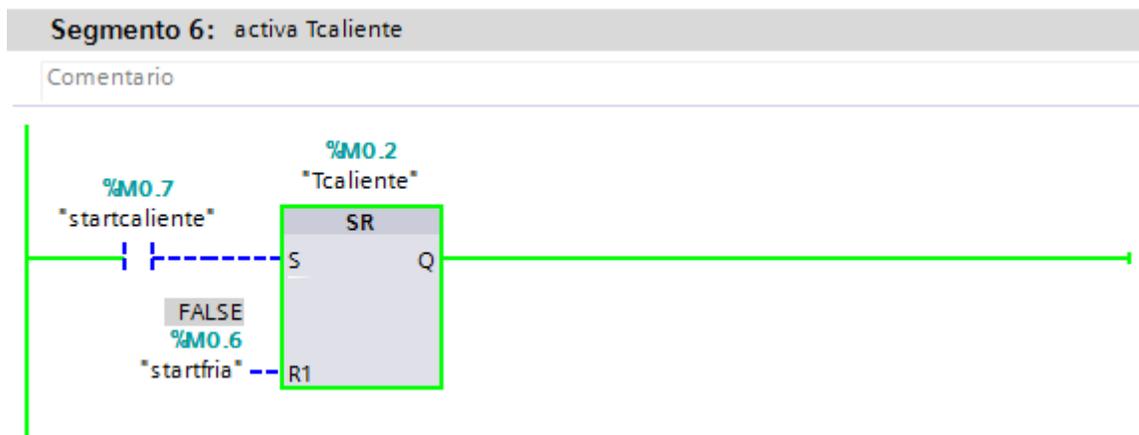


Figura 6. 16 Activación del bit para seleccionar agua a temperatura caliente

Al presionar el botón de “start”, visto en la figura 6.15, se activa el bit de inicio que provoca que la Electroválvula B pase de un estado de Reset a Set, esto representa la apertura de la electroválvula B y, por ende el paso de flujo de agua caliente. Este proceso se observa en la figura 6.16:

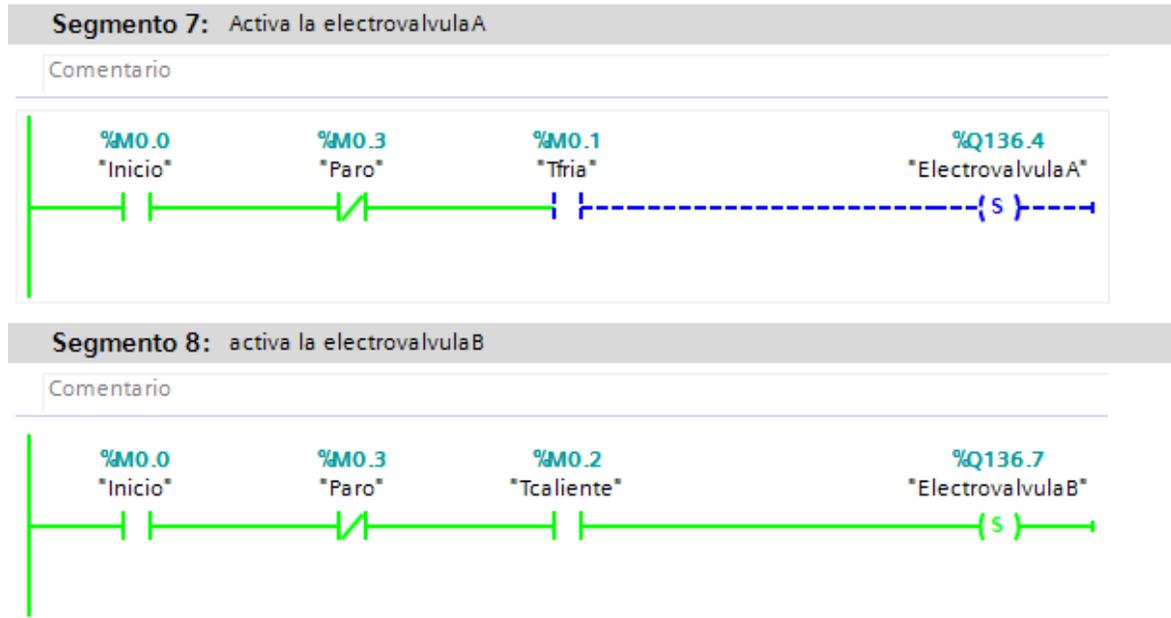


Figura 6. 17 Apertura de electroválvula B en prueba antes de la simulación

Para el caso de la lectura del flujo del agua caliente, se realizaron las pruebas similares al de agua fría; lo que diferencia uno de otro son las memorias en las que se guarda, por ser dos procesos independientes, pero la lógica del software es igual. Al activar el agua caliente, empieza a leerse en la simulación el valor de voltaje que entrega el flujómetro, puede observarse en la figura 6.18 que el valor asignado para la memoria %QD800 “escalado” es el mismo valor de la etiqueta de datos reales que el asignado para el del agua, porque solo se utiliza un flujómetro para ambos procesos, por lo cual la lectura de litros se da igual, pero la de kg varía en el tiempo de muestreo, por tratarse de agua caliente y la densidad es menor a una temperatura de 50 °C; el tiempo de muestreo obtenido para una correcta dosificación es de 7 ms para entregar en la salida el valor en kg dispensado y almacenarlo en la dirección de memoria “ValorMedidoCaliente”. Mediante pruebas

y error, llegó a asignarse el tiempo de muestreo correcto, tomando el equivalente de “1 litro = 988,02 g” para el agua caliente.

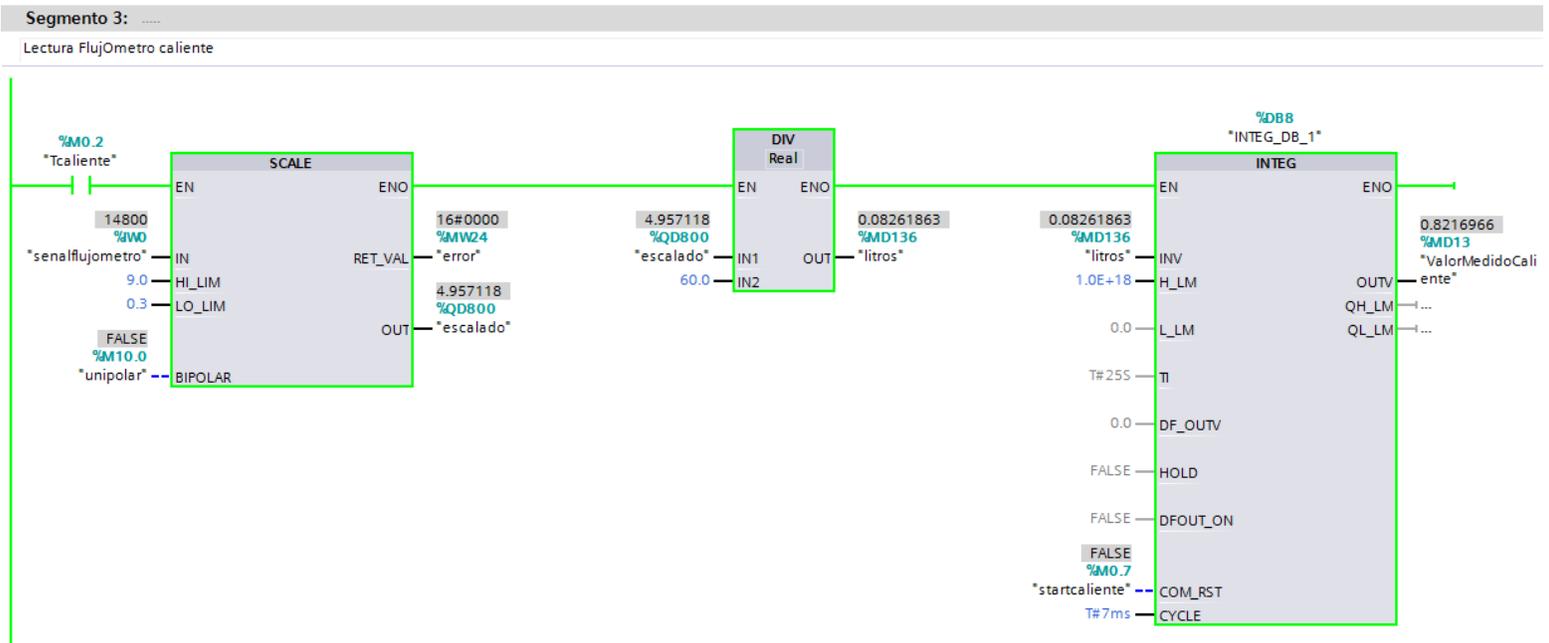


Figura 6. 18 Lectura de flujo para el agua caliente a nivel de software

Al igual que para temperatura fría, se cuenta con un segmento a nivel de software que se encarga de abrir o cerrar la electroválvula B, dependiendo de la cantidad de kg necesario por el operario. En la figura 6.19 se observa como al introducir el valor de 2 kg en la prueba, el sistema lo interpreta como un 2,00 en números reales y este sirve como límite superior, ya que la electroválvula va a estar abierta hasta que se llegue a ese valor, permitiendo el flujo de agua caliente y hasta cumplir la comparación.

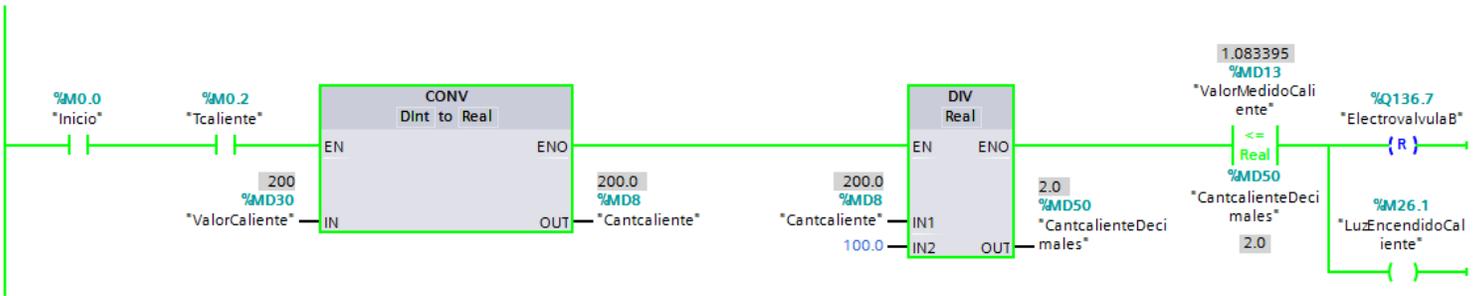


Figura 6. 19 Comparación de valores para la apertura del flujo de agua caliente

Finalmente, puede observarse en la figura 6.20 como actúa el software cuando cumple su objetivo, ya que en la prueba, cuando la comparación del valor real de la memoria “Valormedidocaliente” (agua dosificada) supera al valor real de la memoria “CantCalienteDecimales” (valor requerido y que ingresó el usuario), se corta el paso de la señal, por lo cual se le asigna un estado de “reset” a la electroválvula B, que en la simulación es equivalente a cerrar el paso del flujo. Para este ejemplo, cuando la lectura del flujómetro marcó que se habían dispensado los 2 kg de agua caliente el proceso termina. Esto puede observarse en la figura 6.20 en donde el proceso de dosificación ya se ha completado satisfactoriamente:



Figura 6. 20 Dosificación completada a nivel de software para prueba agua caliente

6.3.2 Pruebas finales de la simulación al utilizar agua

Para realizar estas pruebas fue necesario hacer cambios en el software, ya que en la empresa se cuenta con un bucle de bombas que siempre mantiene el mismo nivel de presión en las tuberías, pero en la Celda Festo se requería activar una bomba que se encargaba de hacer fluir el agua para poder realizar el proceso de dosificación, además debía cargarse la programación en otro PLC distinto, por lo cual se conectó directamente con un adaptador, mediante una conexión PN/IE que recibía la dirección del PLC automáticamente.

Al implementar el sistema en el software también era necesario que, cuando no se estaba dosificando agua, la lectura del flujo no se realizara, ya que el lector de flujo de la Celda Festo siempre medía un mínimo de flujo, porque el sistema de la tubería quedaba con agua.

Para evitar este problema se crearon dos variables nombradas como “resetfria” y “resetcaliente” para mantener en reinicio el bloque del integrador, estas siempre van a estar activas si las variables de “activatimer1” y “activatimer2” se encuentran en estado de cero lógico respectivamente y en la simulación puede verse el funcionamiento del segmento presentado en la figura 6.21. Se utiliza un bloque tipo Timer para mantener activa la señal por 0.01 s, este corto periodo de tiempo es suficiente para el software para enviar la señal de reset:

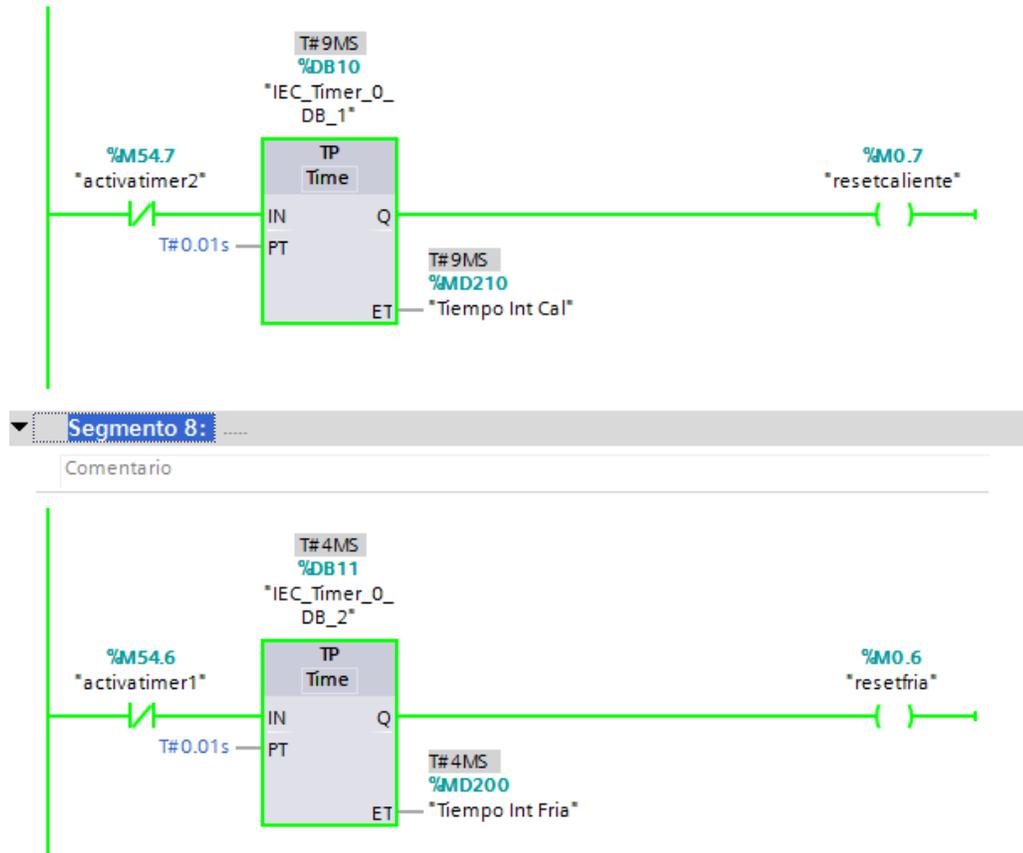
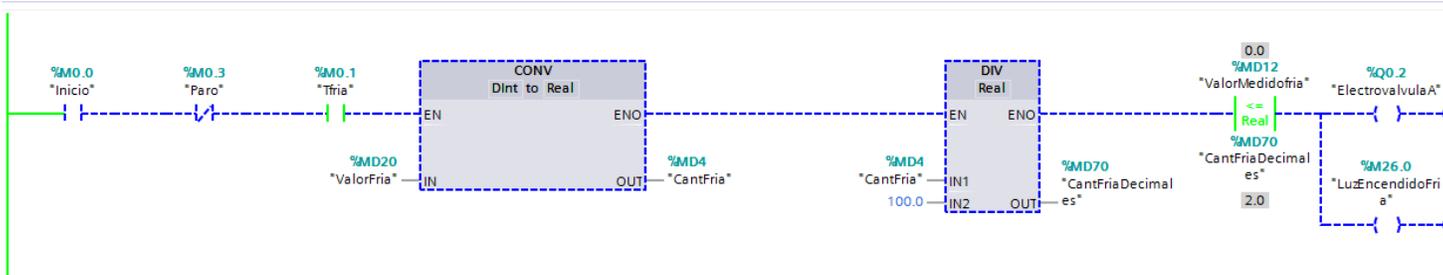


Figura 6. 21 Segmento que se encarga del reinicio del conteo al finalizar la dosificación

En la figura 6.22 puede observarse como en la prueba, tanto el valor medido de agua para la temperatura ambiente como para la caliente, se mantienen en cero, si no está realizándose ninguna dosificación y además se muestra los bloques de comparación de cantidades y las condiciones que deben cumplirse para la apertura y cierre de las electroválvulas:

Segmento 11: Comparación Cantidades y cierre Electroválvula A

Comentario



Segmento 12: Comparación Cantidades y cierre Electroválvula B

Comentario

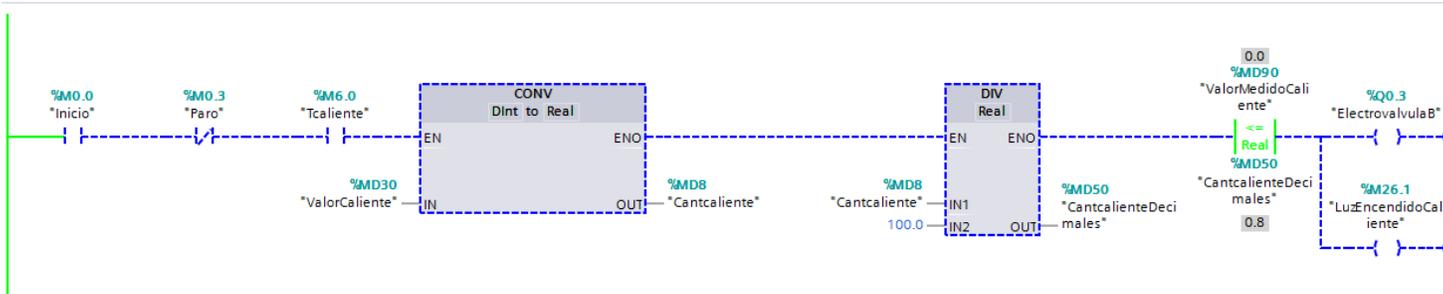


Figura 6. 22 Condiciones que se deben cumplir para la apertura y cierre de las electroválvulas

Cuando se cumplen las condiciones para la apertura y cierre de las electroválvulas, mostradas en la figura 6.22, se va a activar la salida, logrando pasar de un estado de cero lógico a un uno lógico ya sea el caso de la “Electroválvula A” para el agua fría o la “Electroválvula B” para la caliente. Como en la celda se necesita utilizar un motor, la activación de cualquier electroválvula va a hacer que se envíe una señal de voltaje en la dirección “Q0.0” que activa el motor. Además, cuando se dosifica la cantidad requerida, se van a desactivar las electroválvulas y estas a su vez desactivan la señal del motor, por lo cual se introdujo un bloque llamado “N_Trig” que guarda en un flanco el estado anterior del bit y cuando se pasa de un uno lógico a un cero lógico, devuelve en la salida un bit con estado de uno lógico provocando que se active el stop y pare todo el proceso. Lo anterior hace referencia al encendido de la bomba de motor y el paro al dosificar la cantidad exacta y se muestra en la figura 6.23:

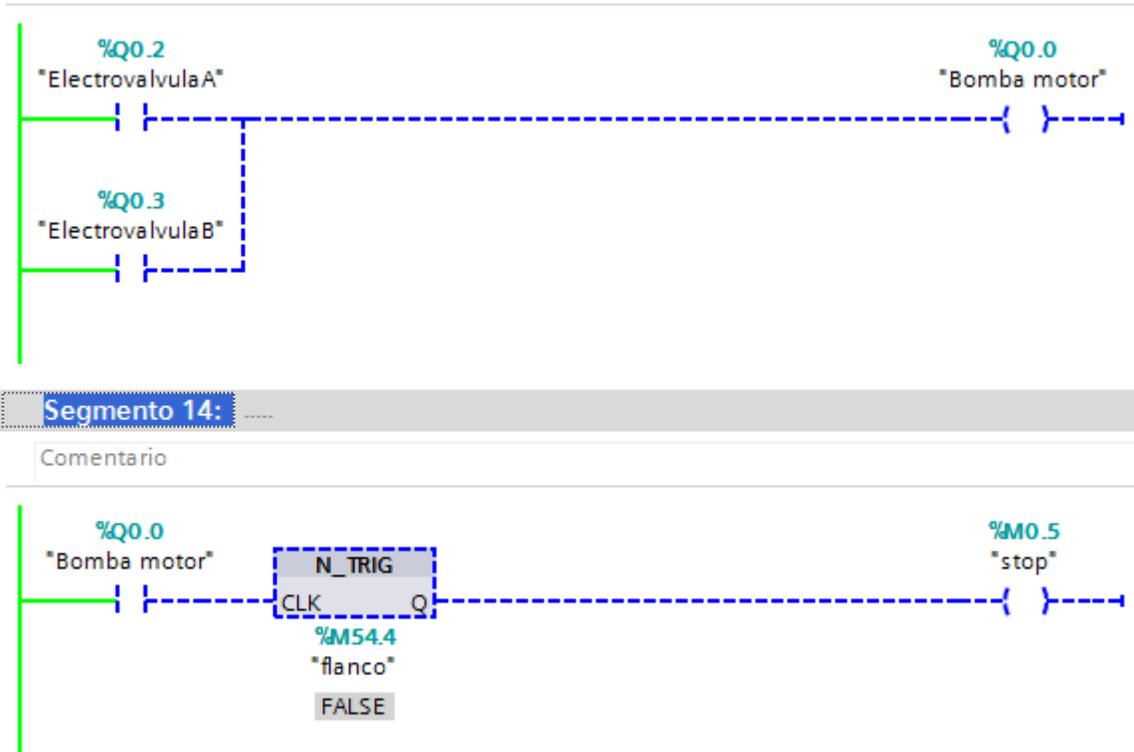


Figura 6. 23 Encendido bomba motor y paro al dosificar la cantidad exacta

También, debió agregarse un segmento en donde si la bomba de motor está funcionando es porque está cumpliéndose la condición de que una electroválvula está activa, según el segmento de la figura 6.23, por lo cual si se añade un segmento nuevo en donde el primer bloque trabaja bajo la condición de estar normalmente cerrado, este se activará únicamente cuando la bomba pasa de un estado de uno a cero lógico, por lo cual si se agrega a continuación un bloque tipo “N_Trig” que guarda en un flanco el estado anterior del bit y cuando se pasa de un uno lógico a un cero lógico (para este caso que se apagó el motor), devuelve en la salida un bit con estado de uno lógico provocando que este active las direcciones de “activatimer”, el funcionamiento de la lógica del software de este segmento se puede observar en la figura 6.24:

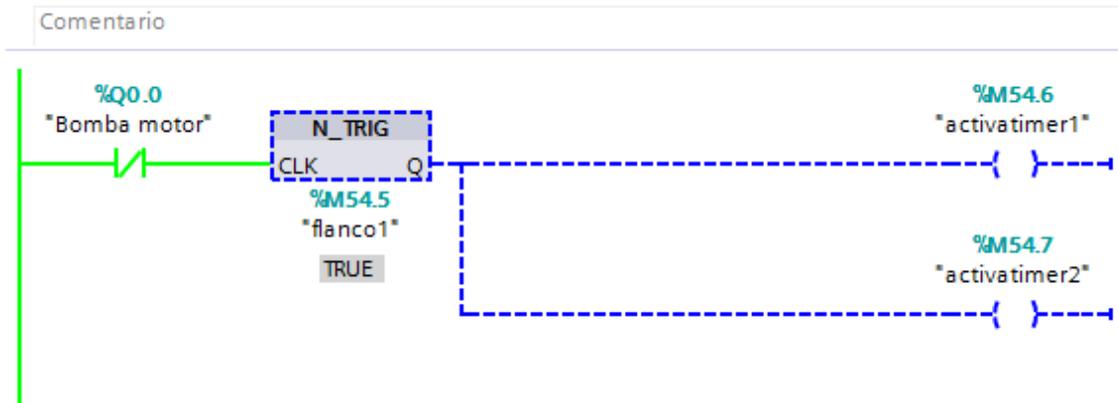


Figura 6. 24 Proceso en donde al apagarse el motor activa señal para que reinicie el conteo

Al activar los bloques de “activatimer” estos se encargan de mantener una lectura de flujómetro en cero al activar el bloque bit de “resetcaliente” o “resetfria” según sea el caso y que se muestra en la figura 6.21, asegurándose un correcto registro de datos cuando no está en funcionamiento el sistema, ya que el valor medido en la salida se va a mantener en cero porque el bloque del integrador estará reiniciado constantemente mientras estén cumpliéndose las condiciones mencionadas anteriormente y esto causa que aunque el flujómetro detecte esa pequeña cantidad de agua en la tubería no se detecte ningún valor medido. En la figura 6.25 se muestra el resultado obtenido para el caso de las pruebas de agua fría y en la figura 6.26 el resultado para las pruebas de agua caliente:

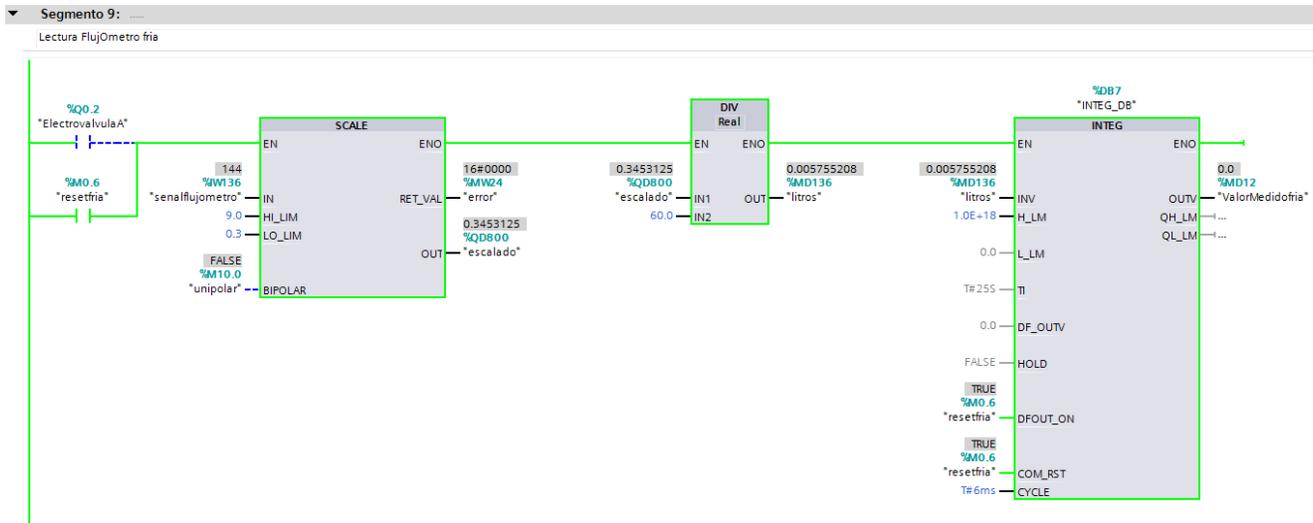


Figura 6. 25 Lectura del flujómetro en cero al activar el bloque bit de “resetfria”

6.3.2.1 Pruebas finales para agua a temperatura ambiente

En la sección 6.3.2 se explicó, mediante pruebas, el funcionamiento del software al dosificar agua a temperatura ambiente. En esta sección se muestran los resultados físicos, para esto se utilizaron dos tanques de la Celda Festo, el primero es un tanque con capacidad de 3 litros y es el que se encarga de almacenar agua

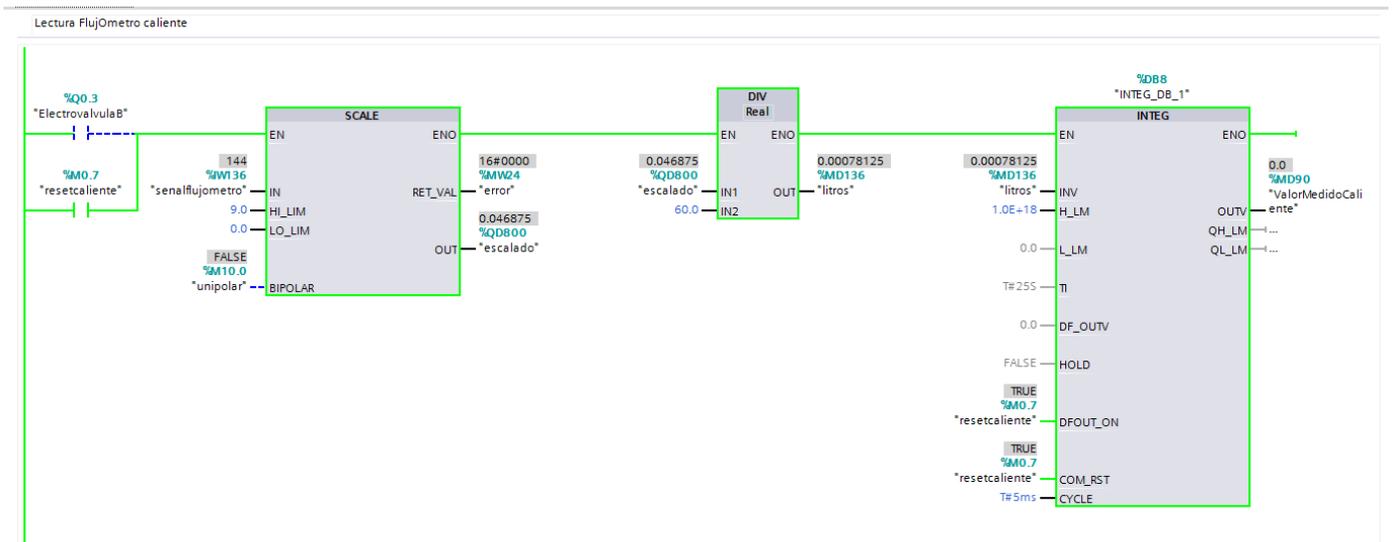


Figura 6. 26 Lectura del flujómetro en cero al activar el bloque bit de “resetcaliente”

fría y está etiquetado como “Tank 201” y el segundo es un tanque con capacidad de 10 litros y cumple la función de recibir el agua dosificada.

6.3.2.1.1 Pruebas para dosificar 2 kg de agua a temperatura ambiente

Como primera prueba en la figura 6.27 se muestra como al insertar 2,00 kg en la casilla de agua a temperatura ambiente en la pantalla del usuario indica que se ha insertado la instrucción de 2,00 kg y al presionar sobre la válvula azul en la pantalla el círculo que se encuentra a un costado de la válvula pasa de color gris a azul indicando que el sistema está listo para iniciar la dosificación de 2 kg de agua fría, pero se mantendrá sin funcionar hasta que el usuario presione el botón verde que dice “START” que se encuentra en la esquina inferior derecha

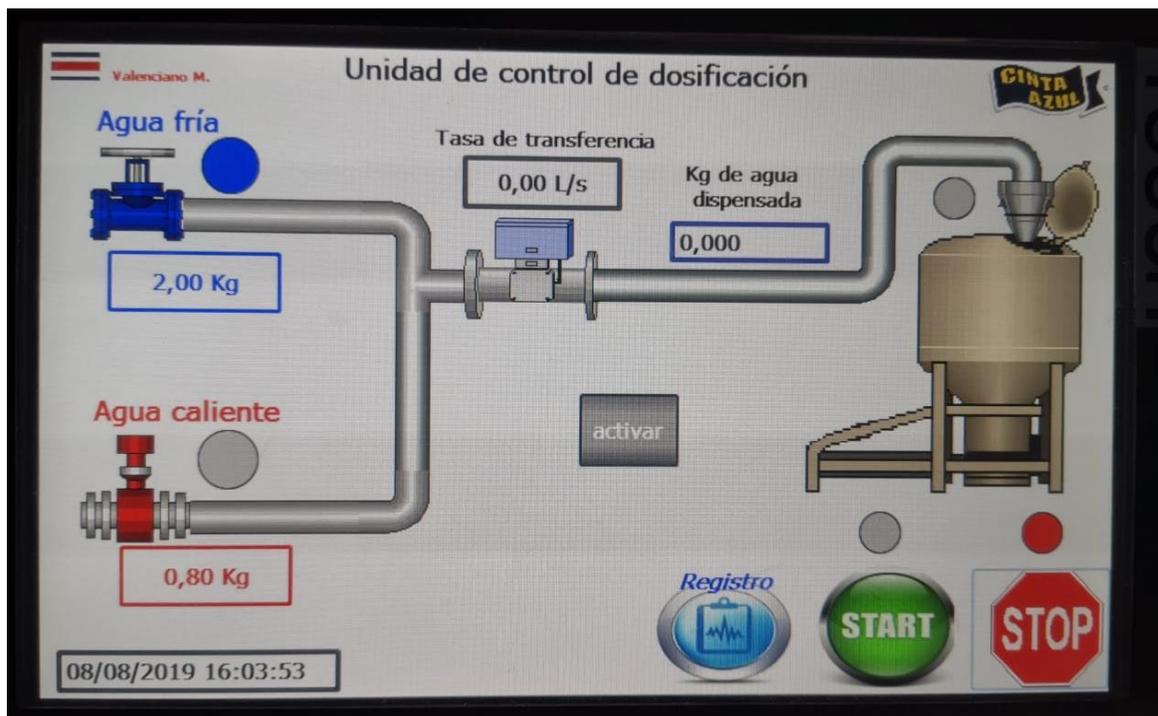


Figura 6. 27 Prueba física del funcionamiento de la Unidad de control de dosificación antes de iniciar el proceso 2,00 Kg de agua fría

En la figura 6.28 se muestra el resultado de la prueba física del funcionamiento de la Unidad de control de dosificación para 2,00 Kg de agua fría, ya que cuando el usuario presionó el botón de “START” se inició el proceso y en la pantalla se muestra que el círculo que se encuentra sobre el mismo botón pasa de color gris a verde y

el que se encuentra sobre el botón de “STOP” pasa de rojo a gris indicando que el sistema ya no está detenido e inició el proceso de dosificación, además sobre el tanque el círculo pasa de color gris a azul indicando que se está depositando agua a temperatura ambiente. En la misma figura se muestra como al transcurrir 68 s del día 08/08/2019 se depositaron 1,877 kg de agua y continuará hasta llegar a los 2,00 kg para finalmente cuando ya se cumplió el proceso volver a un estado igual al de la figura 6,27

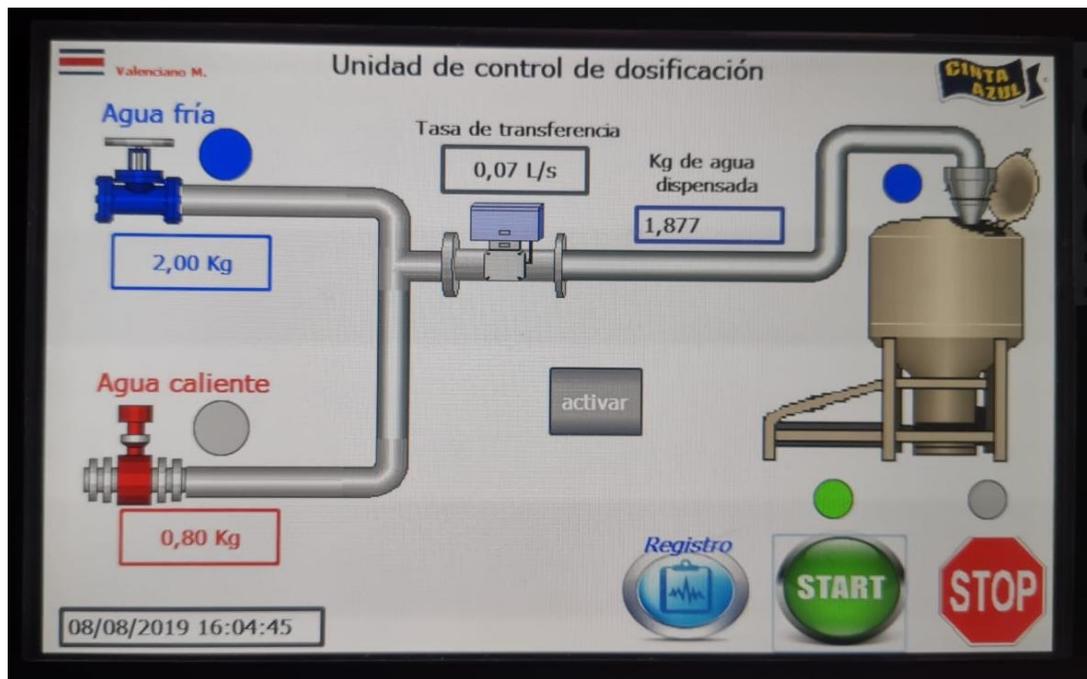


Figura 6. 28 Prueba física del funcionamiento de la Unidad de control de dosificación para 2,00 Kg de agua fría

Al presionar el botón de Registro que se encuentra en la parte inferior de la pantalla de la unidad de control de dosificación se abre otra pantalla llamada Historial de lectura de flujo de agua, ahí se registra la cantidad de agua que se ha dosificado, en la figura 6.29 se muestra como se registró en la prueba los 2 Kg dosificados de agua a temperatura ambiente mediante una línea azul según la cantidad y la hora que se llevó a cabo el proceso, en donde antes y después de la dosificación el valor medido de agua fría se mantuvo en cero:



Figura 6. 29 Historial de lectura de flujo de agua para prueba de 2 kg

Además, se muestra en la figura 6.30 como, antes de iniciar el proceso, el tanque llamado “Tank 201” de la Celda Festo colocado a la izquierda de la figura se encontraba en su capacidad máxima con 3 litros de agua fría y al finalizar el proceso de dosificar los 2 Kg marca en el tanque colocado a la derecha de la figura 1 litro, esto porque el sistema ya se hizo cargo de depositar 2 litros en el tanque que recibe el agua que en el caso de la empresa sería el tanque de la mezcladora, recordando que para el caso de agua fría 1 litro equivale a 1 kg por la densidad del agua entonces los resultados de la prueba fueron exitosos.

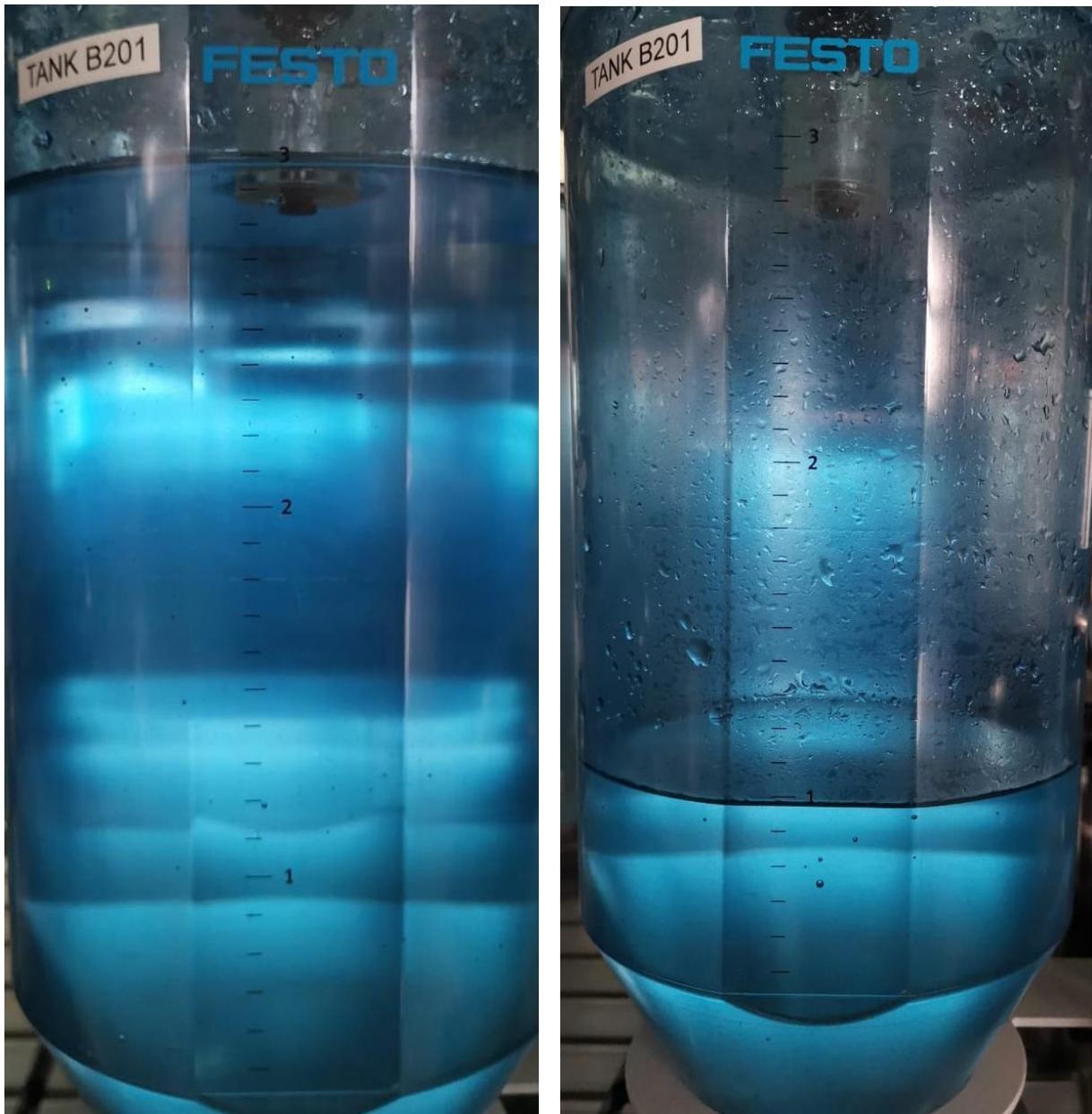


Figura 6. 30 Tanque “201” al dosificar los 2 Kg de agua fría

Para validar las mediciones, se realizaron 20 pruebas con diferentes cantidades a dosificar, debido a que el tanque solo contaba con divisiones cada 100 ml se utilizó un vernier electrónico para poder observar más preciso las mediciones. En la figura 6.31 se muestra que 100 ml de agua en el tanque se comparan con 7.39 mm, por lo cual 0.74 mm equivale a 1 ml:

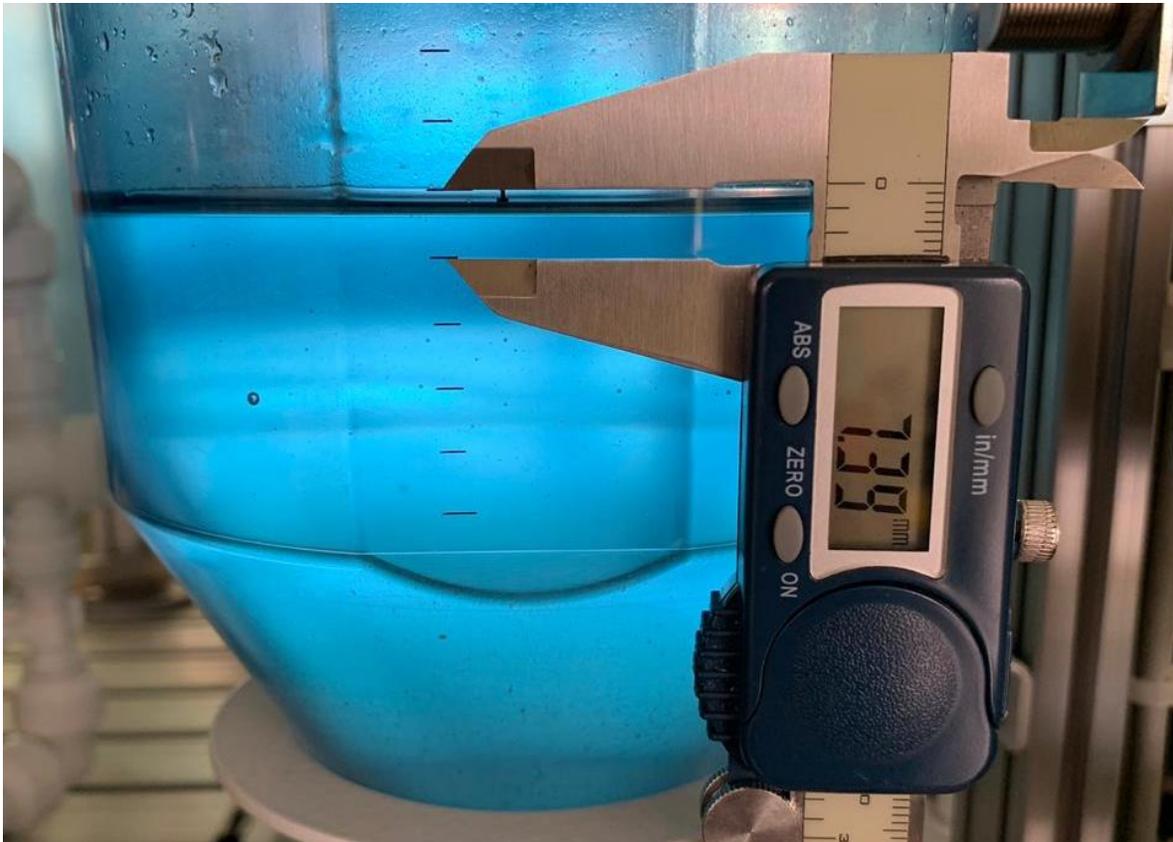


Figura 6. 31 Mediciones con vernier electrónico

Respecto a las pruebas realizadas, se generó una tabla para mostrar los resultados; en el caso del agua fría se muestran en la tabla 6.7:

Tabla 6.7 Pruebas de la cantidad de agua a temperatura ambiente dosificada.

Valor Ingresado (g)	Valor obtenido en las pruebas prácticas (ml)					Mediana	Promedio	% de Error
500	541,18	515,84	553,70	520,51	538,16	538,16	533,88	6,78
1000	1028,21	1091,55	1037,10	1029,41	1053,85	1037,10	1048,02	4,80
1500	1559,43	1541,48	1486,88	1446,76	1568,78	1541,48	1520,66	1,38
2000	2014,03	2011,16	2041,18	2037,41	2011,61	2014,03	2023,08	1,15
% Error Promedio = 3,53%								

De acuerdo con el valor teórico (la cantidad de kilogramos que el usuario ingresa para dosificar) respecto a los datos experimentales (valor obtenido al dosificar en las pruebas prácticas en litros) se obtiene un porcentaje de error promedio de 3,53 % que indican que las mediciones fueron muy precisas y que el sistema dispensa satisfactoriamente la cantidad ingresada. Además, se observa que el porcentaje de error disminuye conforme se dosifica más cantidad de agua, por lo que si se escala en la empresa, al dosificar cerca de 200 kg por lote, este porcentaje disminuiría notablemente.

Con ayuda de la herramienta de Microsoft Excel, se tomaron los datos de la tabla 6.7 y se graficaron en la figura 6.32 para comparar la cantidad de litros que se dispensaron respecto a la cantidad de kg que el usuario ingresó. Según la línea de tendencia se indica que prácticamente es proporcional, ya que un litro de agua fría equivale a un kilogramo de esta y el coeficiente de correlación R2 con valor de 0,997, muestra que de mil muestras, novecientos noventa y siete se acercan al valor indicado.

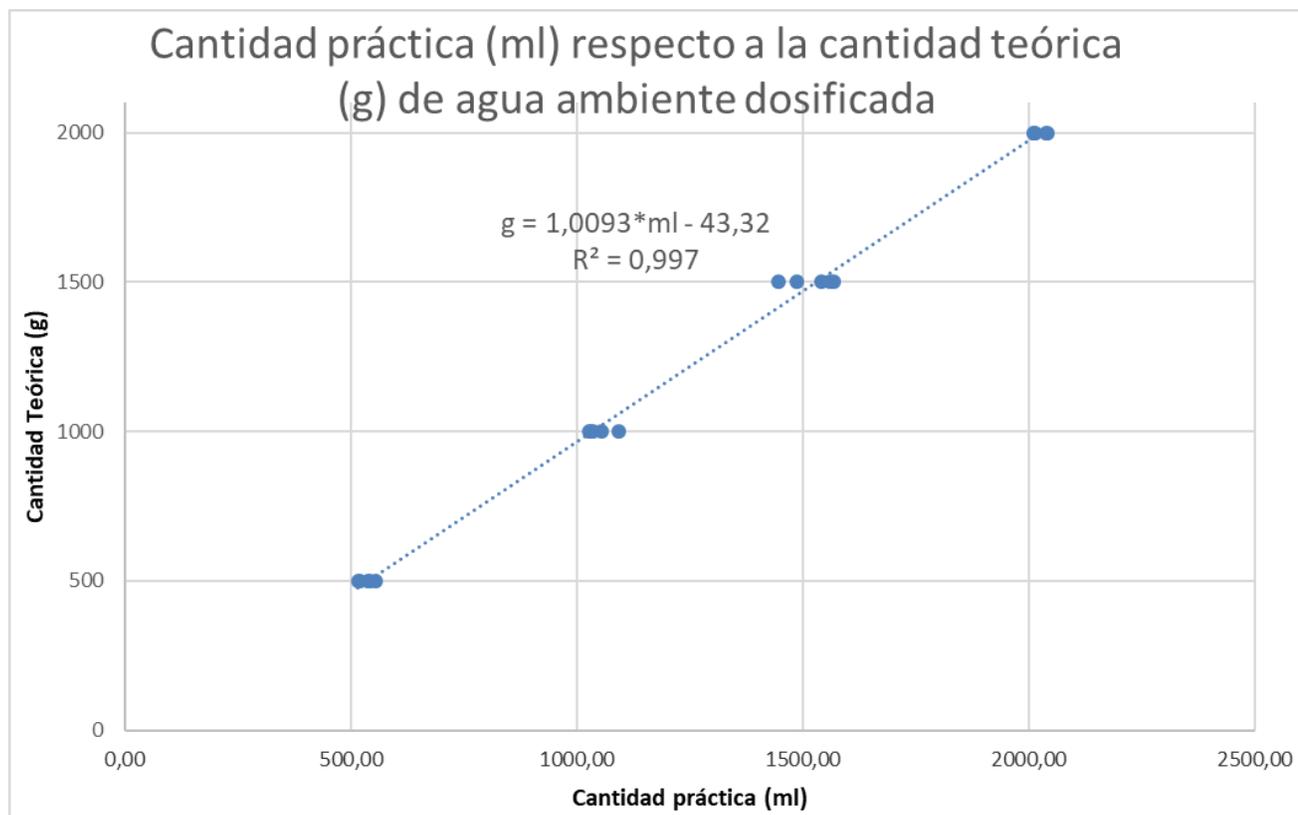


Figura 6. 32 Cantidad práctica (ml) respecto a la cantidad teórica (g) de agua ambiente dosificada

Con los valores obtenidos en las pruebas mostradas en la tabla 6.7, se realizó un histograma para visualizar mejor el comportamiento de los puntos, del valor obtenido en gramos respecto al valor de referencia en gramos, para el caso del agua a temperatura ambiente, por la densidad del agua a temperatura ambiente la relación entre las unidades de gramos y mililitros son proporcionales. En la figura 6.33 se muestra el histograma:

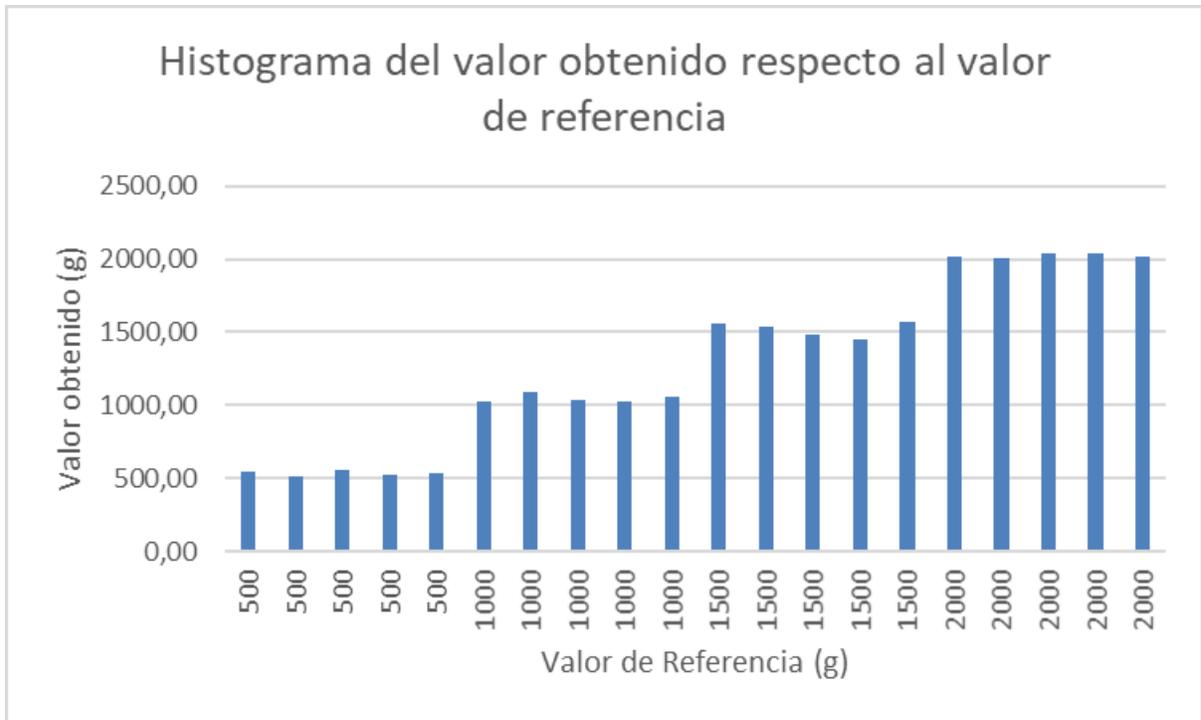


Figura 6. 33 Histograma de la cantidad práctica (g) respecto a la cantidad teórica (g) de agua ambiente dosificada

6.3.2.1.2 Pruebas para dosificar 1 kg de agua a temperatura ambiente

En la figura 6.34 se muestran los resultados para la prueba de dosificación de una cantidad de un kilogramo de agua fría. En la imagen se observa el tanque en donde se deposita el agua, el cual antes del proceso se ubicaba marcando la línea de litro y medio y al finalizar la prueba marca poco más de 2 litros y medio, haciendo referencia que se ha depositado satisfactoriamente 1 kg de agua fría en el tanque de recibimiento



Figura 6. 34 Tanque de recibimiento al dosificar 1 Kg de agua fría

6.3.2.2 Pruebas finales para agua caliente

6.3.2.2.1 Pruebas para dosificar 1 kg de agua caliente

Como primera prueba, en la figura 6.35 se muestra como al insertar 1,00 kg en la casilla de agua caliente en la pantalla del usuario indica que se ha anotado la instrucción de 1,00 kg y al presionar sobre la válvula roja en la pantalla el círculo que se encuentra a un costado de la válvula pasa de color gris a rojo indicando que el sistema está listo para iniciar la dosificación de 1 kg de agua caliente, pero se mantendrá sin funcionar hasta que el usuario presione el botón verde que dice “START” que se encuentra en la esquina inferior derecha:

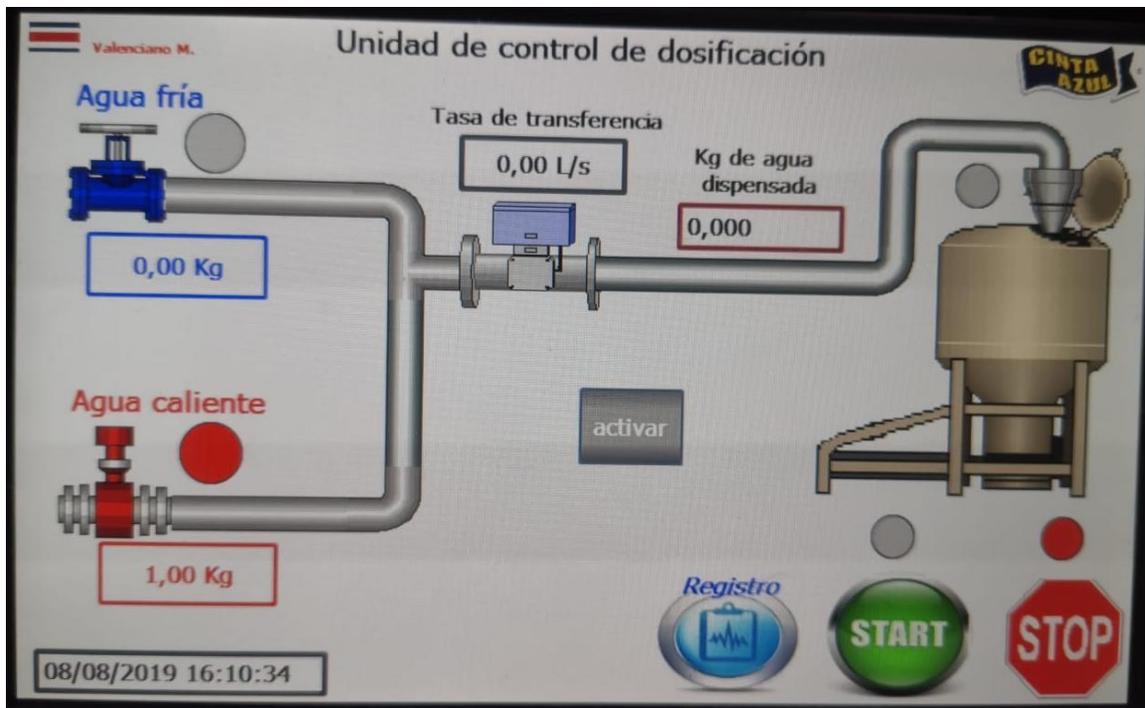


Figura 6. 35 Prueba física del funcionamiento de la Unidad de control de dosificación antes de iniciar el proceso 1,00 Kg de agua caliente

En la figura 6.36 se muestra el resultado de la prueba física del funcionamiento de la Unidad de control de dosificación para 1,00 Kg de agua caliente, ya que cuando el usuario presionó el botón de “START” se inició el proceso y en la pantalla se muestra que el círculo que se encuentra sobre el mismo botón pasa de color gris a verde y el que se encuentra sobre el botón de “STOP” pasa de rojo a gris indicando que el sistema ya no está detenido e inició el proceso de dosificación, además sobre el tanque el círculo pasa de color gris a rojo indicando que se está depositando agua caliente. En la misma figura se muestra como se depositaron 0.121 kg de agua y continuará hasta llegar a 1,00 kg para finalmente cuando ya se cumplió el proceso volver a un estado igual al de la figura 6,35.

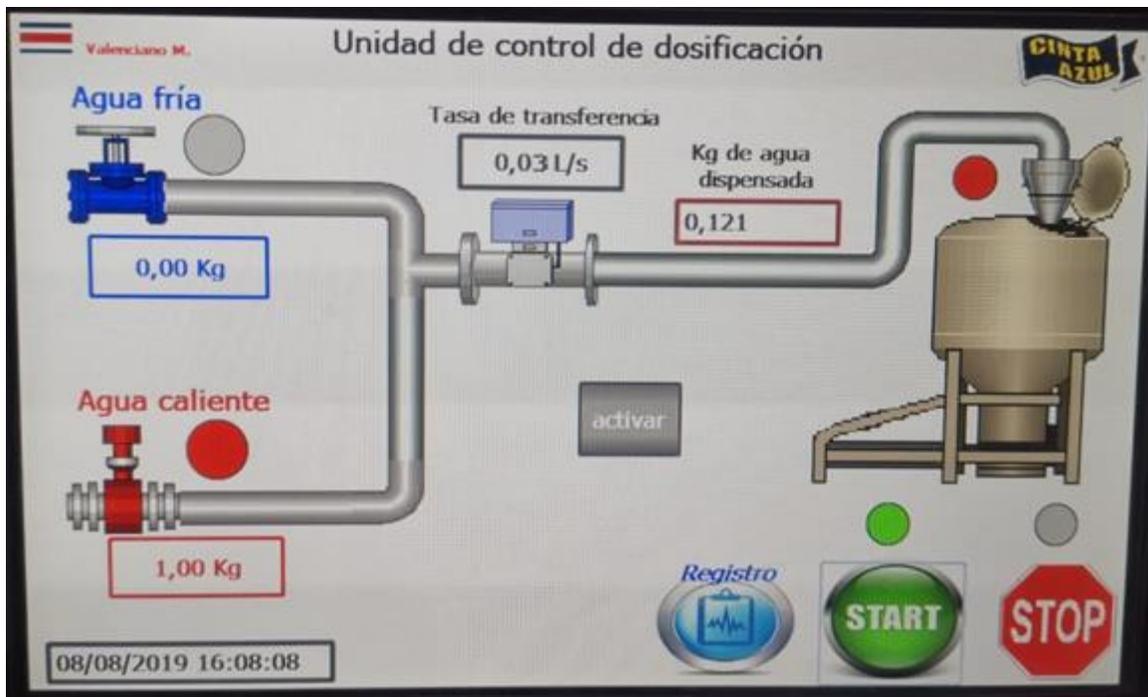


Figura 6. 36 Prueba física del funcionamiento de la Unidad de control de dosificación para 1,00 Kg de agua caliente

Al presionar el botón de “Registro”, que se encuentra en la parte inferior de la pantalla de la unidad de control de dosificación, se abre otra pantalla llamada Historial de Lectura de Flujo de Agua, ahí se registra la cantidad de agua que se ha dosificado, en la figura 6.37 se muestra como se registró en la prueba el kilogramo dosificado de agua a temperatura caliente, mediante una línea roja, según la cantidad y la hora que se llevó a cabo el proceso, el que, antes y después de la dosificación el valor medido de agua caliente, se mantuvo en cero. Se puede observar que la pendiente tiene un crecimiento constante, representando una tasa de transferencia promedio de 0,03 kilogramos de agua por segundo, equivalente a la mostrada en la figura 6.36, cuenta con un punto máximo de 0,98 kg, pero la transferencia llega al valor de 1,00 kg al momento del cierre total de la electroválvula, ya que empieza a disminuirse la velocidad de transferencia al ir cerrando la válvula, logrando pasar una pequeña cantidad que ajustaría el valor hasta uno. Se limitó el límite máximo del eje Y a un valor de 5 kg para una mejor

visualización de los resultados de las pruebas, pero para la empresa se cambiaría el valor a 400 kg:

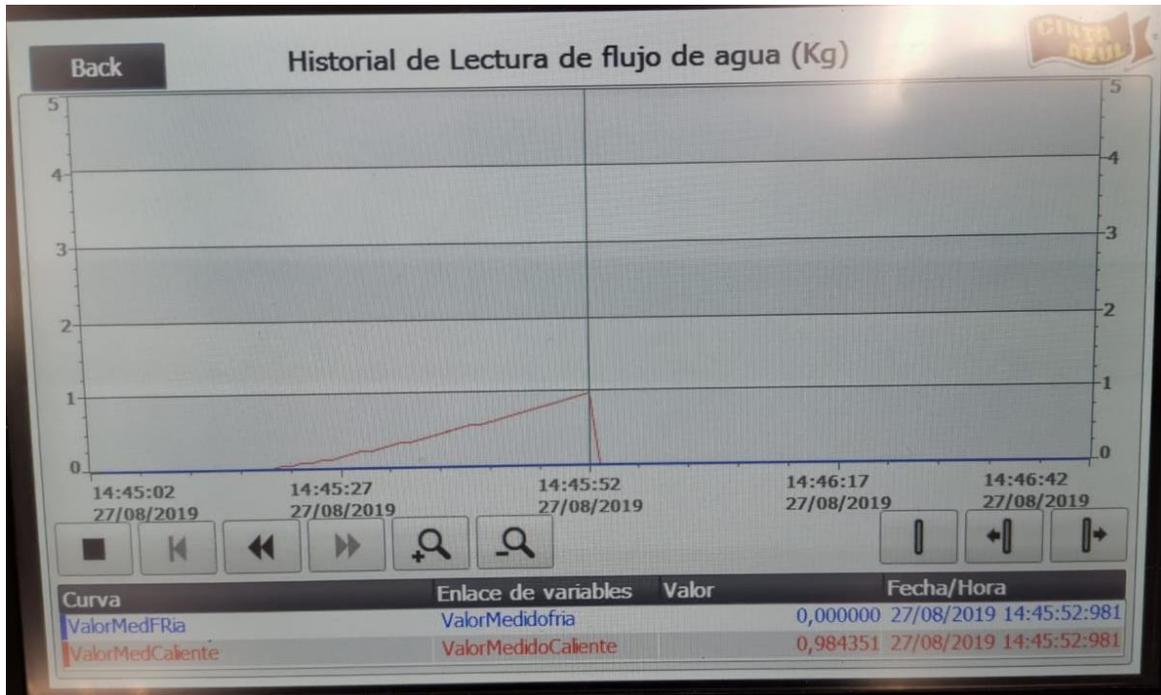


Figura 6. 37 Historial de lectura de flujo de agua caliente para prueba de 1 kg

Además, se muestra en la figura 6.38 como antes de iniciar el proceso el tanque llamado “Tank 202” de la Celda Festo, colocado a la izquierda de la figura, se encontraba en su capacidad máxima con 3 litros de agua caliente y al finalizar el proceso de dosificar el Kg marca en el tanque colocado a la derecha de la figura 1,95 litros, esto porque el sistema ya se hizo cargo de depositar 1,05 litros en el tanque que recibe el agua que, en el caso de la empresa, sería el tanque de la mezcladora, recordando que para el caso de agua caliente 1 litro equivale a 0,988 kg por la densidad del agua, entonces los resultados de la prueba fueron exitosos porque se debe depositar poco más de 1 litro de agua.

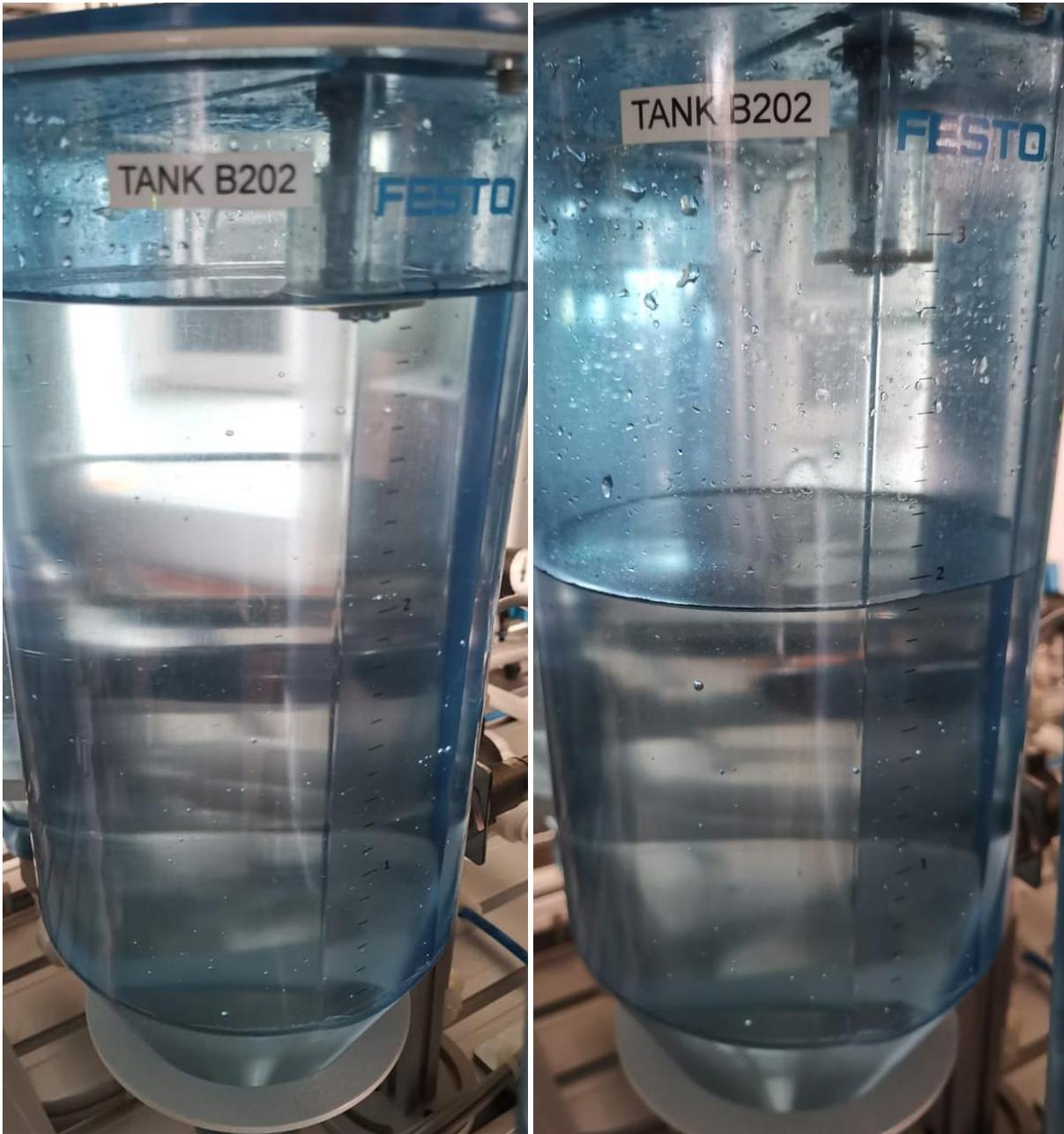


Figura 6. 38 Tanque “B202” al dosificar 1 Kg de agua caliente

Se realizaron 20 pruebas, se generó una tabla para mostrar los resultados; en el caso del agua caliente se muestran en la tabla 6.8:

Tabla 6.8 Pruebas de la cantidad de agua caliente dosificada.

Valor Ingresado (g)	Valor obtenido en las pruebas prácticas (ml)				
500	548,87	539,67	516,89	593,97	513,12
1000	1153,09	1110,86	1124,74	1049,02	1098,49
1500	1656,41	1634,84	1620,36	1646,61	1669,53
2000	2192,16	2154,45	2141,33	2169,98	2158,07

Los datos de la tabla anterior corresponden a los valores obtenidos en las pruebas al medir la cantidad de mililitros que habían sido depositados en el tanque de dosificación al terminar cada proceso. Según la figura 3.17 para el agua a 50 °C 1000 ml corresponden a 988,02 g. Para graficar el valor obtenido en gramos respecto a la cantidad de agua dosificada en la misma unidad, se debe multiplicar la cantidad en mililitros por el factor de conversión para obtener la masa efectiva. En la tabla 6.9 se muestra los resultados para el caso del agua caliente:

Tabla 6.9 Pruebas de la cantidad de agua caliente dosificada en gramos.

Valor Ingresado (g)	Valor obtenido al convertir las unidades de mililitros a gramos de las pruebas prácticas (g)					Mediana	Promedio	% de Error
500	542,28	533,19	510,69	586,84	506,96	533,19	535,99	7,20
1000	1139,25	1097,53	1111,24	1036,43	1085,31	1097,53	1093,95	9,40
1500	1636,53	1615,22	1600,92	1626,85	1649,50	1626,85	1625,80	8,39
2000	2165,85	2128,60	2115,63	2143,95	2132,17	2132,17	2137,24	6,86
						% Error Promedio = 7,96%		

De los datos teóricos y prácticos se obtiene un porcentaje de error promedio de 7,96 %, esto se debe principalmente al tiempo asignado para el muestreo del integrador, debido a que al diseñar en el software el bloque que integra los valores instantáneos de la cantidad de kg dosificados, el rango del tiempo de muestreo mínimo en este bloque era de 1 ms y se necesitaba disminuir solamente 0,5 ms respecto a las mediciones de agua a fría, de aquí la razón por la que se dispensó más agua. Puede concluirse que las medidas andan en el rango esperado y que además el tanque B202 no contaba con la misma presión de vaciado, a comparación con el tanque B201 por el diseño de la tubería, ya que estaba

interconectado por el mismo conducto donde se depositaba el agua dosificada para que las bombas no se queden sin agua y evitar que se dañaran, y de ahí las mediciones se veían afectadas porque se pasaba una mínima cantidad de agua. Al implementarlo en la empresa se disminuiría considerablemente el porcentaje de error porque las tuberías no presentarían este problema al no estar interconectadas.

Con ayuda de la herramienta de Microsoft Excel, se tomaron los datos de la tabla 6.9 y se graficaron en la figura 6.39 para comparar la cantidad de gramos que se dispensaron respecto a la cantidad de kg que el usuario ingresó. La línea de tendencia indica que un kilogramo de agua caliente equivale a 1,08 litros de esta, y el coeficiente de correlación R² con valor de 0,997 muestra que, de mil muestras, novecientas noventa y siete de ellas se acercan al valor indicado.

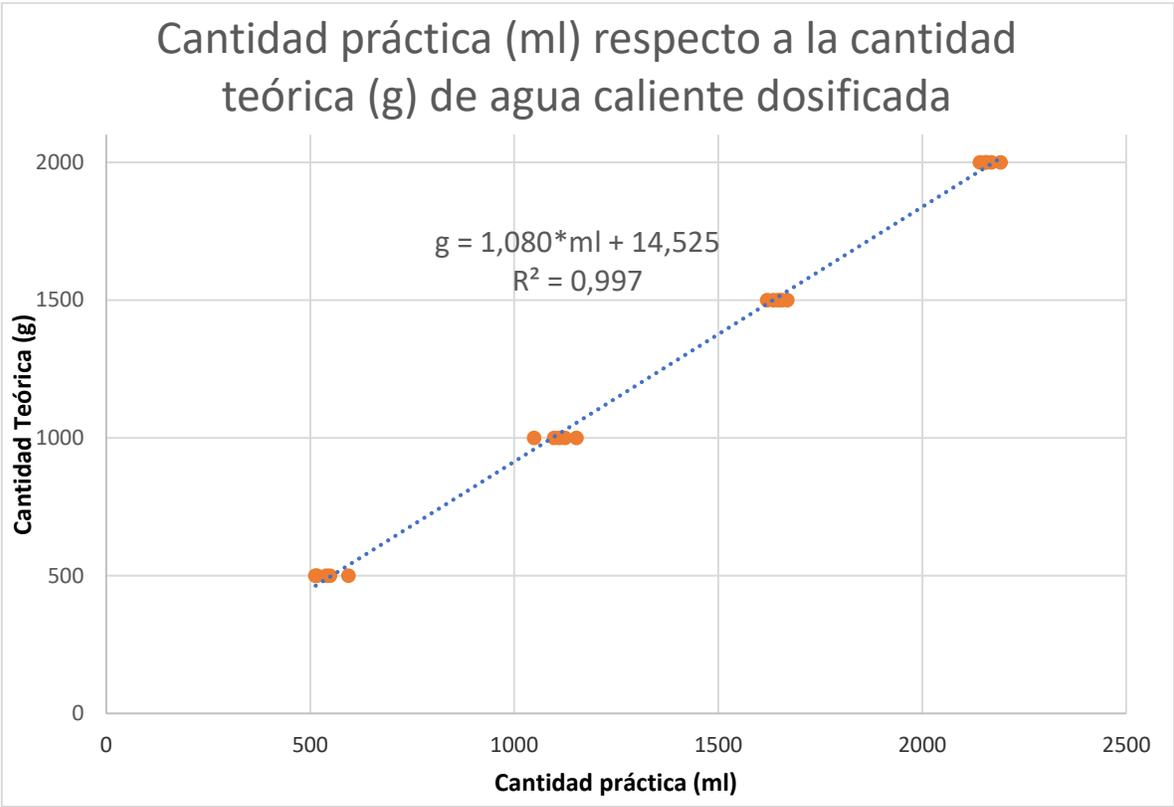


Figura 6. 39 Cantidad práctica (ml) respecto a la cantidad teórica (g) de agua caliente dosificada

Con los valores obtenidos en las pruebas mostradas en la tabla 6.9, se realizó un histograma para visualizar mejor el comportamiento de los puntos, del valor

obtenido en gramos respecto al valor de referencia en gramos, para el caso del agua caliente. En la figura 6.40 se muestra el histograma:

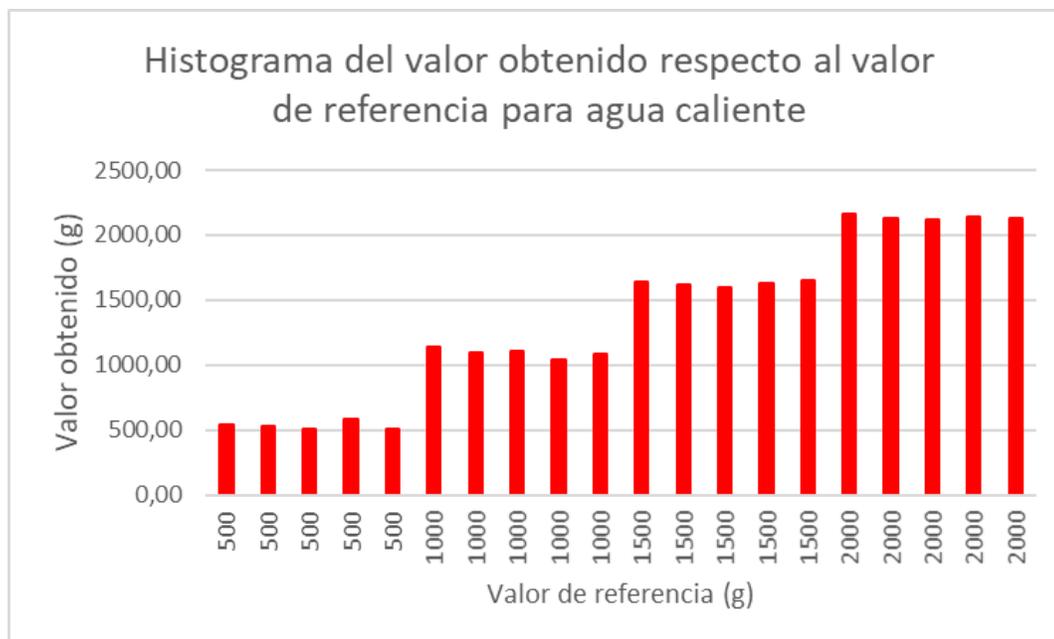


Figura 6. 40 Histograma de la cantidad práctica (g) respecto a la cantidad teórica (g) de agua ambiente dosificada

6.3.2.2.2 Pruebas para dosificar 2 kg de agua a caliente

En la figura 6.41 se muestra el registro al dosificar dos kg de agua caliente, así como la hora y fecha en la que se llevó el proceso. Se observa que antes de iniciar y después de finalizar los rangos se mantenían en cero y en la dosificación inicia en 0 kg y finaliza cuando alcanza los 2 kg:

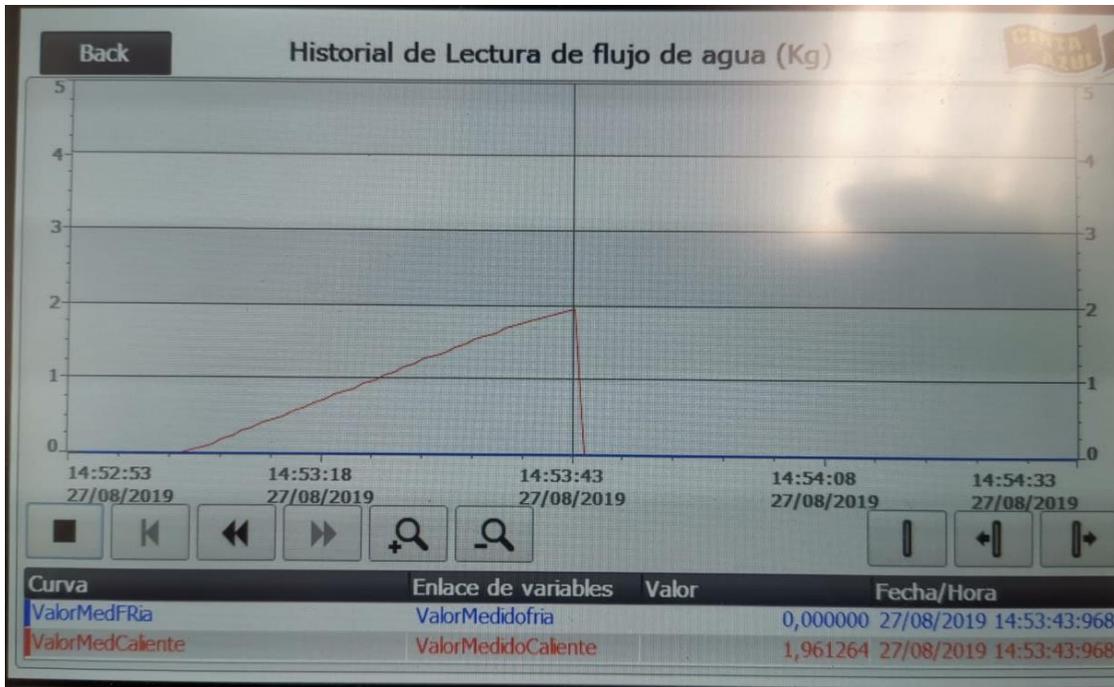


Figura 6. 41 Registro al dosificar dos kg de agua caliente

En la figura 6.42 se observa el tanque B202, colocado a la izquierda, que se encontraba en su capacidad máxima con 3 litros de agua caliente y al finalizar el proceso de dosificar el 2 Kg marca en el tanque colocado a la derecha de la figura 0,9 litros, esto porque el sistema ya se hizo cargo de depositar aproximadamente 2,1 litros, recordando que para el caso de agua caliente 1 litro de agua fría equivale a 0,988 litros de agua a 50 °C, por la densidad del agua entonces los resultados de la prueba fueron exitosos y concuerdan con las mediciones de la tabla 6.9.

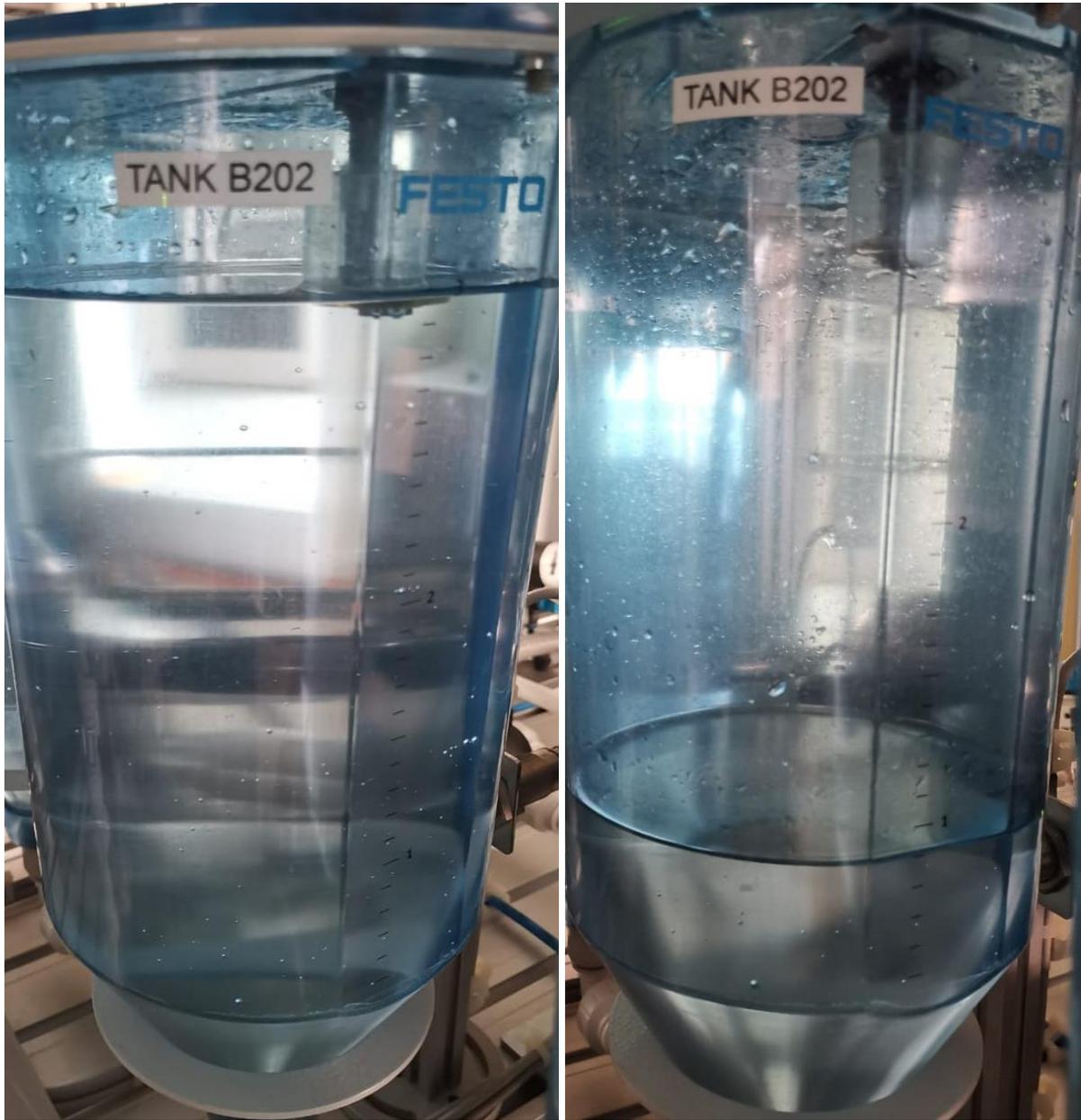


Figura 6. 42 Tanque “B202” al dosificar 2 Kg de agua caliente

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Se logró elaborar un prototipo de control electrónico que, mediante pruebas de campo, dispensó la cantidad de kilogramos de agua ingresada por el usuario con un margen de error promedio menor al 3,53 % para el caso del agua fría y de 7,96% para la caliente, respecto a la cantidad de agua requerida contra el agua efectiva dosificada.

- Se efectuó exitosamente el registro de la cantidad de agua aplicada en las pruebas, indicando correctamente la cantidad, hora y fecha en que se llevó a cabo el proceso, tanto para agua a temperatura ambiente como para agua caliente.

- Se determinó mediante un estudio económico que el proyecto es muy beneficioso para la empresa ya que cuenta con un Valor Actual Neto (VAN) de \$40 mil y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 165.1 % indicando que la inversión inicial se recupera en siete meses y una semana al contar con una vida útil de siete años.

- Si se implementa el proyecto en la empresa se reduce el consumo de alrededor de 1044,47 m³ de agua anuales fortaleciendo el compromiso con el medio ambiente al no liberar 823,042 kg de CO₂ eq en promedio anuales.

- Se elaboró una interfaz en la pantalla HMI que permitió escoger la temperatura y cantidad de agua necesaria en el proceso de dosificación comprobando que al realizar pruebas de campo funcionó correctamente en el 100% de las ocasiones.

- Se evaluó el funcionamiento del sistema mediante pruebas y simulaciones, utilizando el programa desarrollado en el software TIA PORTAL y el equipo a disposición de la celda FESTO presente en el Laboratorio SIMTEC en el ITCR sede San Carlos.

- El sistema cumple con las condiciones planteadas en los requerimientos y se obtiene una simulación exitosa y un diseño de control de dosificación válido, quedando abierto el escalamiento para la aplicación en la empresa Cinta Azul.

7.2 Recomendaciones

Como recomendación del proyecto, para una futura implementación en la planta, se debería agregar la opción de agua a temperatura fría, ya que actualmente existe un sistema de agua a esa temperatura que se utiliza en el área de cocido, pero para esto debe introducirse una válvula Check, que solo permite al líquido fluir en una dirección, así se evita no tener la posibilidad de contaminación cruzada al pasar agua de la zona de cocido a la de proceso, evitando el contra flujo.

Durante el desarrollo del proyecto, se trabajó constantemente en el área de Proceso de la Planta de Embutidos Cinta Azul; se observó que cuentan con dos mezcladoras más, pero para otro tipo de proceso que conlleva echar agua a los recipientes como materia prima. La tubería se encuentra en el mismo sitio, por lo cual podrían adaptarse dos electroválvulas más y rediseñar el software para implementarlo en los demás procesos.

Como un proyecto aparte también, podría controlarse la temperatura del agua mediante un control PID a un valor a establecer por el usuario, dependiendo de la temperatura de la pasta o a un valor solicitado, para que así se tome el agua a temperatura ambiente y se le agregue agua caliente o fría, según sea el requerimiento.

Para el escalamiento en la empresa, debe ajustarse el sistema mediante pruebas de campo, para una correcta optimización del software.

Capítulo 8: Bibliografía

- [1]. ARESEP. (2018). *Tarifa Acueducto AYA 2017-2021*. Recuperado el 14 de julio de 2019, de <https://aresep.go.cr/tarifas/tarifas-vigentes/2199-tarifa-acueducto-aya-2017-202>
- [2]. Bacca, G. (2007). *Fundamentos de Ingeniería Económica*. Recuperado el 17 julio, de <https://erods.files.wordpress.com/2013/02/fundamentos-de-ingenierc3ada-econconc3b3mica-gabriel-baca-urbina.pdf>
- [3]. Burkert. (2018). *SENSOR DE CAUDAL DE PALETAS TIPO 8030*. Recuperado el 02 de junio de 2019, de <https://www.burkert.com/en/Media/plm/MAN/MA/MA8030-Standard-ES-ES.pdf?id=MAN0000000000000001000088992ESD>
- [4]. Burkert. (s.f.). *Tipo 2000 - Válvula de asiento inclinado de 2/2 vías accionada neumáticamente*. Recuperado el 30 de mayo de 2019, de <https://www.burkert.es/es/type/2000>
- [5]. Burke A . (2017). “¿Cómo funciona una válvula de solenoide neumático?”. Puro Motores. Consultado el 07/05/2019 en: <https://www.puromotores.com/13121807/como-funciona-una-valvula-de-solenoide-neumatico>
- [6]. Calculador de Emisiones. Unión Europea. Recuperado el 21 de agosto de 2019, de <https://www.camarazaragoza.com/wp-content/uploads/2012/10/calculoemisiones.xls>
- [7]. Constantino L. (2003). “Física”. Editorial Progreso, pag 166
- [8]. Cozzini. (s.f.). *Líneas De Salchichas Continuas De Cozzini*. Recuperado el 14 de abril de 2019, de Cozzini: <http://www.cozzini.com/Cozzini%20Mexico%2009/Cozzini%20Mexico%2009/web-content/sausageproduction.html>
- [9]. de Molina, A. (2017). *Fundamentos financieros: el valor actual neto (VAN)*. Recuperado el 14 de junio de 2019, de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/fundamentos-financieros-el-valor-actual-neto-van/>
- [10]. De Paz, C. (2012). *Densidad del agua*. Recuperado el 03 de mayo de 2019, de Full química: <https://www.fullquimica.com/2012/04/densidad-del-agua.html>

- [11]. Experimentos Científicos . (s.f.). *Densidad del Agua*. Recuperado el 20 de marzo de 2019, de <https://www.experimentoscientificos.es/densidad/densidad-agua/>
- [12]. Fernández Losa, J. (2015). *Neumática para válvulas de control* . Obtenido de Instrumentación Hoy: <https://instrumentacionhoy.blogspot.com/2015/09/neumatica-valvulas-control.html>
- [13]. FESTO. (2017). *Cajas de señalización de posición DAPZ*. Recuperado el 3 de abril de 2019, de https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ES/PDF/ES/DAPZ_ES.PDF
- [14]. *Interfaz de usuario*. (s.f.). Recuperado el 05 de 04 de 2019, de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Interfaz_de_usuario
- [15]. Laughton M., Warne D. (ed). (2003). *Electrical Engineer's Reference book*, 16th edition, Newnes, Chapter 16 Programmable Controller
- [16]. Loarca, R. (2010). *Producción de embutidos*. Universidad del Valle de Guatemala. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/71999198/Proceso-de-Produccion-Embutidos>
- [17]. PLC-CITY. (s.f.). *Siemens S7-300, CPU 314C-2PN/DP COMPACT CPU WITH 192 KBYTE WORKING MEMORY*. Recuperado el 14 de junio de 2019, de <https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-simatic-s7-300-cpu-compact/6es7314-6eh04-0ab0.html>
- [18]. Salas, A. F., Urrestarazu, L. P. (2008, agosto 05). *Página 05*. Consultado el 07/05/2019 de ocwus. Sitio web: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%206.%20Elementos%20auxiliares/page_05.htm.
- [19]. SIEMENS. (2012). *HMI devices Comfort Panels*. Alemania. Recuperado el 15 de marzo de 2019
- [20]. Siemens. (s.f.). *SIMATIC HMI TP700 Comfort*. Recuperado el 24 de marzo de 2019, de <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/127118?pdtd=td&dl=es&lc=es-WW>
- [21]. Spectrum Controls. (2017). *Defining Tag Data Types*. Recuperado el 11 de julio de 2019, de https://www.webportconnects.com/help/installing_the_webport/defining_data_tag_types.htm
- [22]. Timothy J. (2006). "Electrónica industrial moderna", Pearson Educación, México, 5ta edición, pag447

[23]. Tipo de cambio dólar. Banco Nacional de Costa Rica. Recuperado el 03 de junio de 2019, de <https://www.bncr.fi.cr/SitePages/Inicio.aspx>

Capítulo 9: Apéndices y anexos

A.1 Análisis económico Cinta Azul

		Simplified Project Charter and Commitment Model <i>(please input in cells highlighted in yellow)</i>			
Current Date:	May 29, 2019	End of which PDP Phase:		CPG: Enter CPG	
Project Name (if applicable):	Control Unit for Water Fluid Prototype	Bus. Group/Function:			
Project Type: (Build, IT, NPSS)	Build	Project Sponsor:			
Country:	Costa Rica (C)	Project Manager:			
Location:	Cinta Azul	Operational Start Date:			

I. Project Description

El proyecto está enfocado en la necesidad de controlar la cantidad necesaria de recurso hídrico para la elaboración de la pasta en la producción de embutidos mediante un método de control y medición electrónico que permita estandarizar el proceso de dispensar agua y sea más eficaz que las técnicas utilizadas actualmente en la empresa, además a esto se busca crear un registro de los pesos utilizados diariamente en una base de datos.

II. Project Objectives	Non-Financial Measures
<i>Bajar el indicador de consumo de recurso hídrico de la em presa</i>	<i>Elim inar riesgos provenientes por el traslado y elevado de los recipientes</i>
<i>Buscar una solución m ediante un m étodo electrónico sobre el desperdicio de cerca de Mitigar del proceso posibles errores hum anos y m eorar el m anejo de los recursos.</i>	<i>Contribuir al com prom iso m undial respecto a la conservación del agua.</i>
<i>Registrar en una base de datos la cantidad de agua aplicada diaria /sem anal y m ensualm ente</i>	<i>Disminuir el Co2 producido por la em presa</i>

III. Project Value

FINANCIAL ASSUMPTIONS:

Discount Rate	10,5%
Income Tax Rate	30,0%

INITIAL CAPITAL EXPENDITURES:	Asset Life For Book (edit as applicable)	Asset Life For U.S. Tax	Initial Capital (in '000s)
Land	N/A	N/A	
Land Improvements	15	15	\$0
Buildings	25	39	\$0
Building Improvements	20	39	\$0
Equipment #1	8	10	\$0
Equipment #2	8	7	\$6
Office Equipment/Furniture	8	7	\$0
Computer Hardware	4	5	\$0
Computer Software	4	3	\$0
Vehicles	5	5	\$0
Other			\$0
Total:			\$6

INITIAL START-UP EXPENSES (in '000s before tax)	\$0
---	------------

DEPRECIATION CALCULATIONS:									
	Yr 1	Yr 2	Yr 3	Yr 4	Yr 5	Yr 6	Yr 7		
Book Depreciation	\$1	\$1	\$1	\$1	\$1	\$1	\$1		
Tax Depreciation (Override if Non-US)*	\$1	\$1	\$1	\$1	\$1	\$1	\$1		
<i>*If tax calculations are different, please enter correct amounts</i>									
INVESTMENT ANALYSIS (in '000s):									
	Initial Period	Yr 1	Yr 2	Yr 3	Yr 4	Yr 5	Yr 6	Yr 7	
Net Revenue		\$13	\$13	\$13	\$13	\$13	\$13	\$13	
Cost of Goods Sold (not including depreciation)		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
Gross Profit		\$13							
Total Ongoing Operating Expenses + SG&A		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
EBITDA		\$13							
<i>EBITDA % of Revenue</i>		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Depreciation Expense		\$1	\$1	\$1	\$1	\$1	\$1	\$1	
Earnings Before Interest and Taxes		\$12							
Income Taxes on EBIT		\$4	\$4	\$4	\$4	\$4	\$4	\$4	
Other Tax Adjustments (enter expense as positive)		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
Net Operating Profit After Tax		\$9							
+Depreciation		\$1	\$1	\$1	\$1	\$1	\$1	\$1	
+Other Non-Cash Charges (i.e. Asset Retirement)		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
+/-Deferred Tax Adjustment		\$0	\$0	\$0	(\$0)	(\$0)	(\$0)	(\$0)	
-Increase in OPWC (+decrease in OPWC)		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
-Capital Expenditures	(\$6)								
-Start-Up Expenses After Tax	\$0								
Free Cash Flow	(\$6)	\$9	\$10	\$9	\$9	\$9	\$9	\$9	\$9
Terminal Value (Default - Net Property Value)									\$1
IRR Calc (Sum of FCF & TV)	165,1%	(\$6)	\$9	\$10	\$9	\$9	\$9	\$9	\$10

PROJECT COSTS AND FINANCIAL MEASURES:	
Capital Allocation	\$6
Incremental Operating Working Capital	\$0
Initial Start-up Expenses Before Tax	\$0
Total Funds Requested	\$6
Present Value of Free Cash Flows (Planning Horizon)	\$45
Present Value of Terminal Value	\$0
NPV	\$40
IRR	165,1%
Payback on Fixed Investment	0,6

INVESTMENT NEEDED FOR NEXT PHASE	
	\$0
	\$0
	\$0

Version 1.6

A2. Manual de Usuario

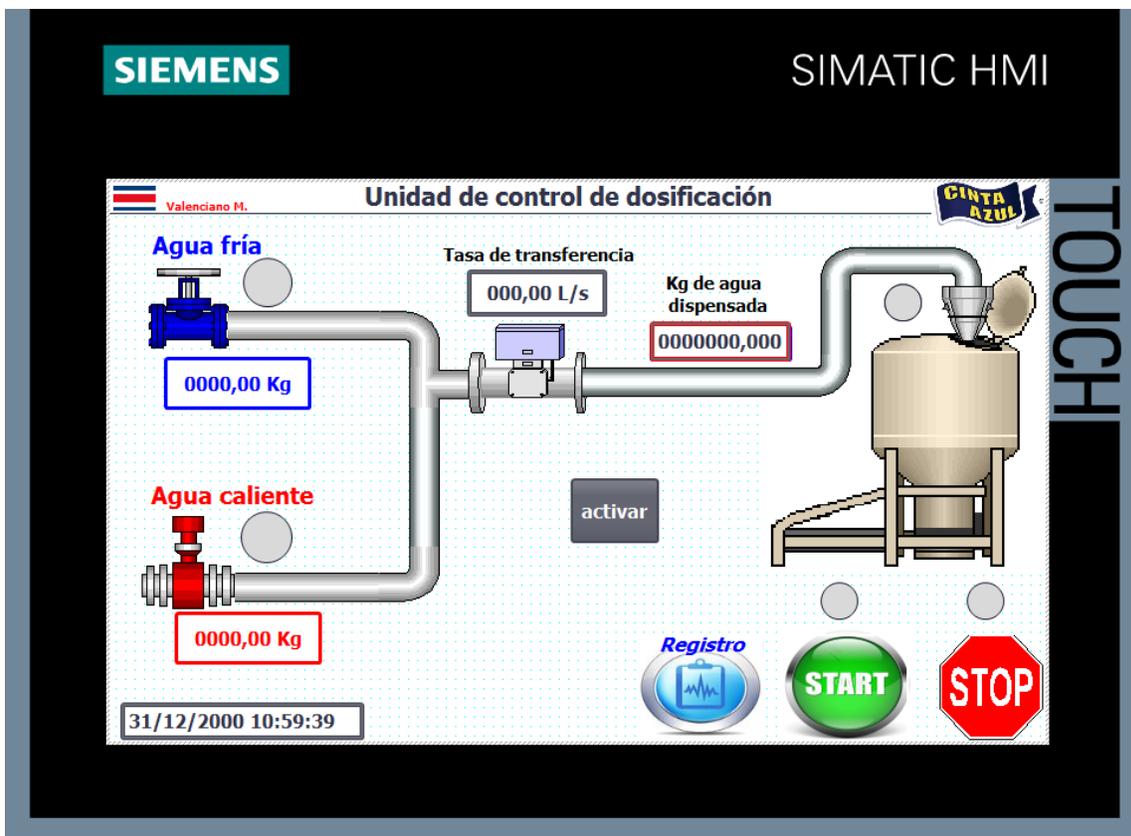
Para un correcto funcionamiento y evitar posibles accidentes, el usuario debe leer detalladamente esta guía que ayuda a entender el funcionamiento del sistema. A continuación, se brindan las instrucciones necesarias para que el operador pueda utilizar correctamente el sistema de dosificación:

1. Antes del ingreso al sistema:

- a. Asegurarse que el sistema esté previamente conectado a la red eléctrica.
- b. Revisar que no haya fugas de agua en las tuberías, ya que pueden ocasionar una incorrecta dosificación.

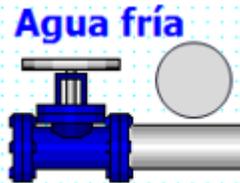
2. Manejo del sistema

Al encender el sistema se va a desplegar en el HMI una pantalla principal con el nombre “Unidad de control de dosificación”:



2.1 Pasos para dosificar agua a temperatura ambiente:

- a. Presionar sobre la válvula azul debajo de las palabras “Agua fría”:

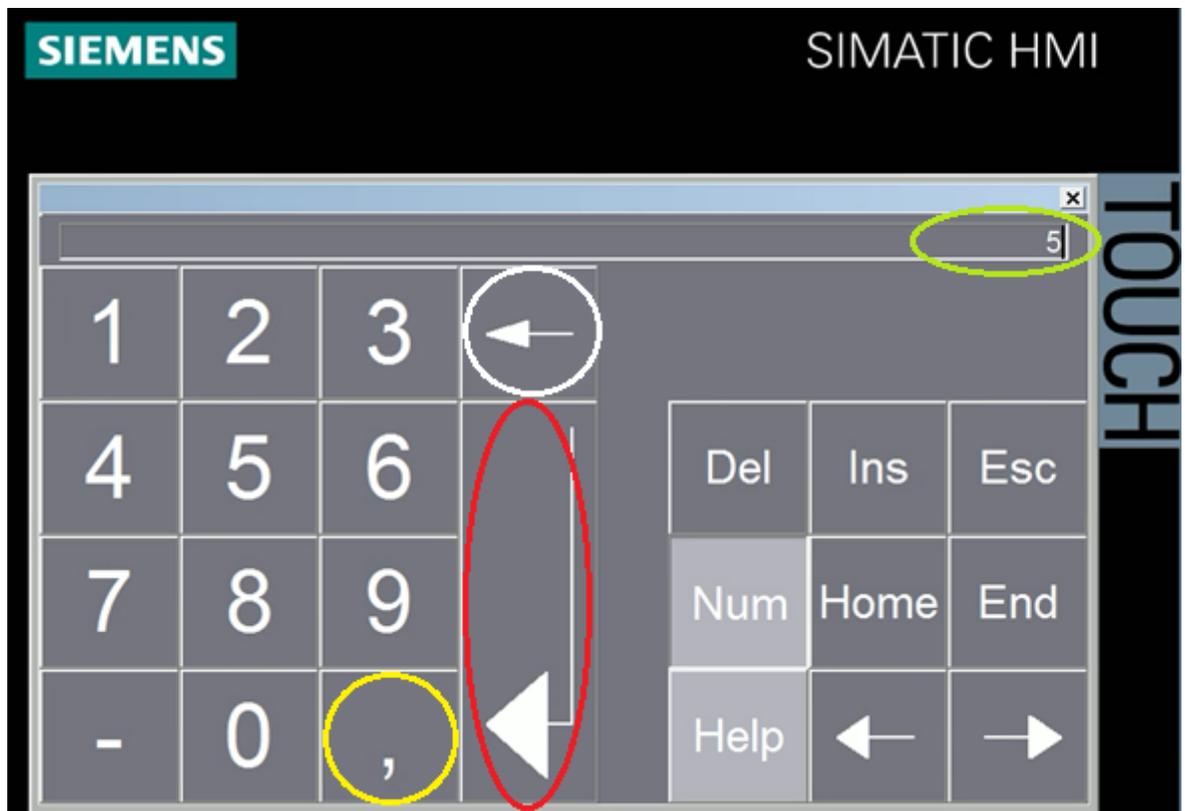


Al presionar la válvula azul se selecciona el agua fría y el círculo que se encuentra al costado derecho pasa de color gris a azul, indicando que se encuentra listo para dosificar.

- b. Presionar el recuadro azul debajo de la electroválvula del mismo color:



Al presionar se abre una pantalla en donde el usuario debe ingresar la cantidad requerida en kilogramos

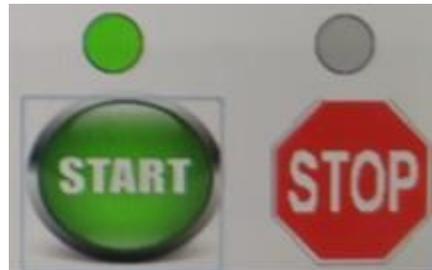


En la pantalla el usuario debe ingresar la cantidad requerida en kilogramos, estos dígitos se van a ir desplegando en la barra que se ha marcado con un óvalo de color verde, en caso de ser necesario ingresar decimales se presiona el botón que se encuentra encerrado por el círculo de color amarillo o si es necesario borrar un dígito se presiona el botón que se encerró en un círculo blanco. Al finalizar de ingresar la cantidad correcta se presiona el botón que se encerró en un óvalo de color rojo.

c. Presionar el botón de “Start”:



Por seguridad, el sistema siempre antes de iniciar un proceso se encuentra detenido, para iniciar la dosificación de la cantidad de kilogramos, ingresada previamente para agua a temperatura ambiente, se presiona el botón de “Start”:



Cuando finalice el proceso, automáticamente el sistema selecciona nuevamente el botón de “Stop” y se reinicia el conteo.

2.2 Pasos para dosificar agua caliente:

- a. Presionar sobre la válvula roja, debajo de las palabras “Agua caliente”:

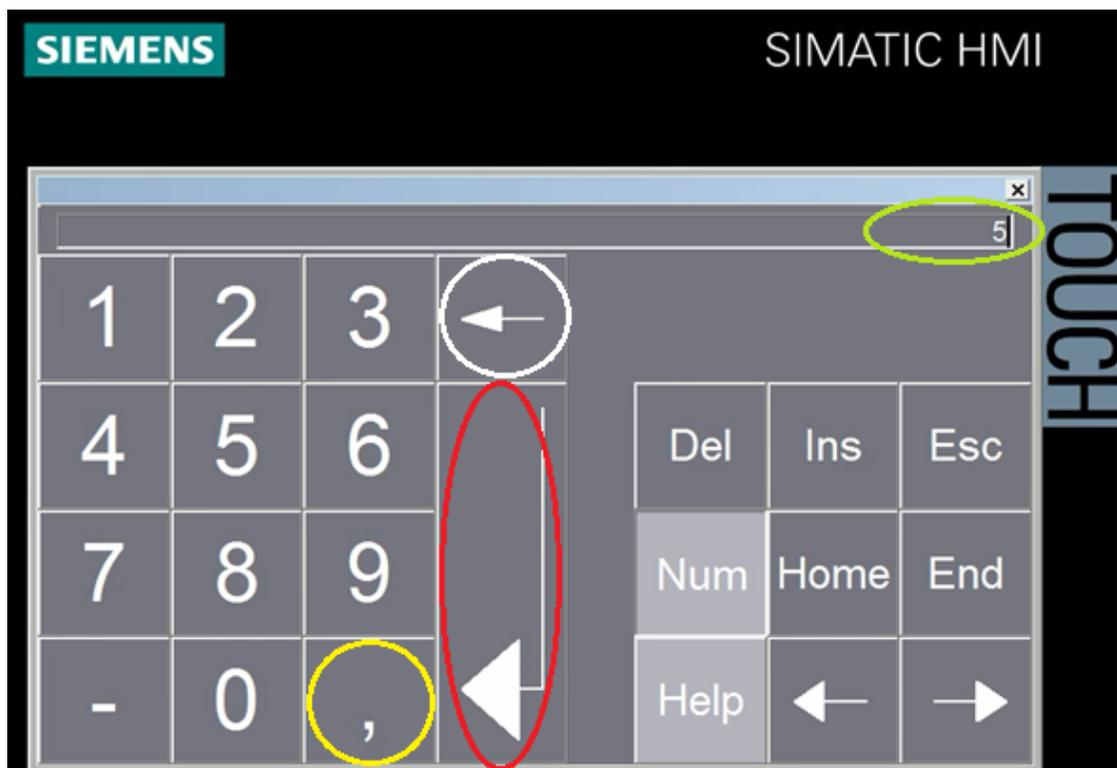


Al presionar la válvula roja, se selecciona el agua caliente y el círculo que se encuentra al costado derecho pasa de color gris a rojo, indicando que se encuentra listo para dosificar.

- b. Presionar el recuadro rojo debajo de la electroválvula del mismo color:



Al presionar se abre una pantalla:

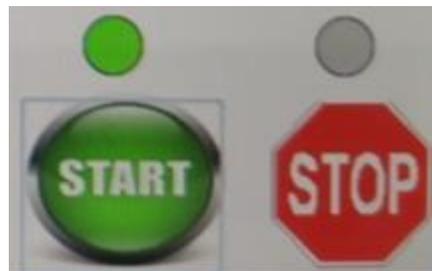


En la pantalla el usuario debe ingresar la cantidad requerida en kilogramos, estos dígitos se van a ir desplegando en la barra que se ha marcado con un óvalo de color verde, en caso de ser necesario ingresar decimales se presiona el botón que se encuentra encerrado por el círculo de color amarillo o si es necesario borrar un dígito se presiona el botón que se encerró en un círculo blanco. Al finalizar de ingresar la cantidad correcta, se presiona el botón que se encerró en un óvalo de color rojo.

c. Presionar el botón de “Start”:



Por seguridad, el sistema siempre antes de iniciar un proceso se encuentra detenido, para iniciar la dosificación de la cantidad de kilogramos, ingresada previamente para agua a temperatura ambiente, se presiona el botón de “Start”:



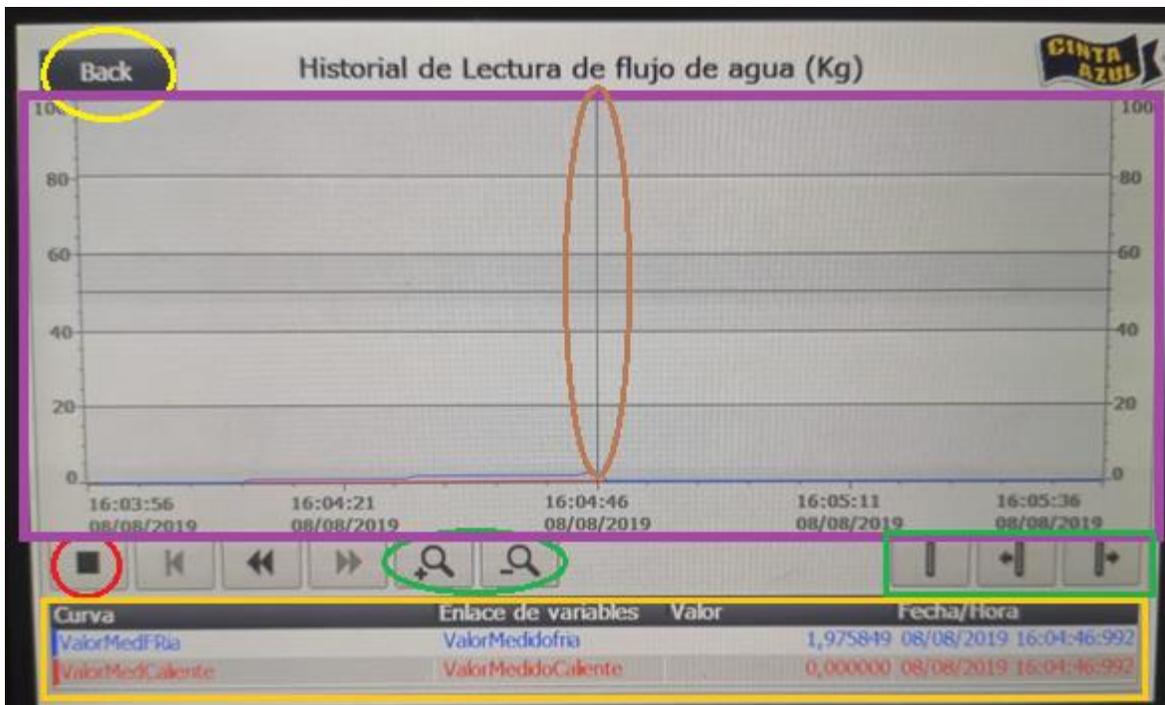
Cuando finalice el proceso automáticamente el sistema selecciona nuevamente el botón de “Stop” y se reinicia el conteo.

2.3 Observar el registro de la cantidad de agua dosificada

- Presionar el botón azul con las letras “Registro”, ubicado en la parte inferior derecha de la pantalla principal:



Al presionar el botón se abre una pantalla secundaria llamada “Historial de Lectura de flujo de agua (Kg)” :



En el área dentro del rectángulo de color morado se grafica la cantidad de Kg dosificados (Eje Y) respecto a la hora y fecha que se llevó a cabo el proceso (Eje X). En el caso del agua a temperatura ambiente, se visualizan las líneas de color azul y para el agua caliente son de color rojo. Dentro del cuadro, hay una línea vertical encerrada en un óvalo de color café, esta

indica por donde se va leyendo la lectura que se muestra en el rectángulo de color amarillo, ubicado en la parte inferior; ahí se muestra el valor instantáneo de la cantidad dosificada y la fecha y hora según sea la temperatura del agua. Si desea moverse esta línea, para una mejor visualización, según desee el operario, es necesario presionar el botón encerrado sobre un cuadro rojo, y mediante los botones que se encuentran encerrados en el cuadro verde puede moverse para la derecha o para la izquierda o simplemente deslizando el dedo para cualquier dirección dentro del rectángulo morado, al ser una pantalla táctil puede acercarse o alejar la vista, mediante los dos botones encerrados en el óvalo verde.

b. Presionar el botón “Back”:



Para volver a la pantalla principal se presiona el botón ubicado en la parte superior izquierda con el nombre “Back”, el mismo que se muestra encerrado dentro de un círculo color amarillo en la pantalla secundaria.

2.4 En caso de emergencia:

-Presionar el botón de “Stop”:



Al presionar este botón, por seguridad, el sistema va a detener cualquier proceso, cerrando las electroválvulas e impidiendo el paso de agua para la dosificación.

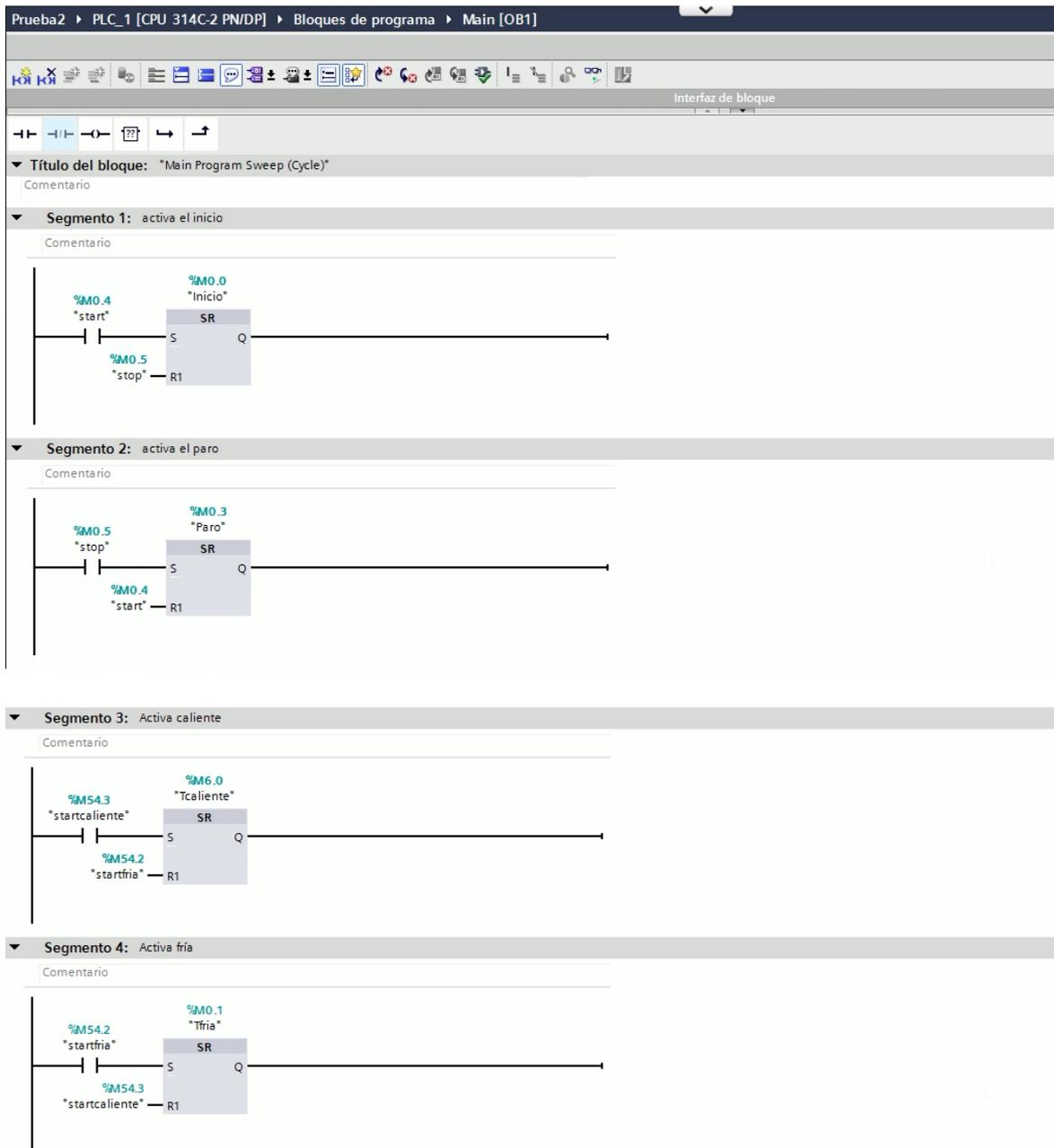
A.3 Requerimientos para una simulación exitosa y un diseño de control de dosificación válido para la empresa

Para una simulación exitosa y un diseño de control de dosificación válido para la empresa debían contemplarse los requerimientos mostrados en la tabla A.1:

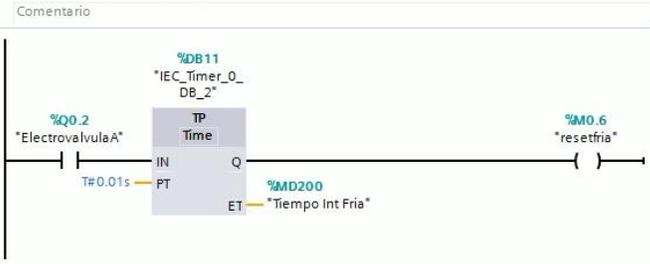
Tabla A.1 Requerimientos para una simulación exitosa y un diseño de control de dosificación válido para la empresa

Requerimiento	Cumplido	No cumplido
HMI completamente desarrollado en donde se pueda visualizar y manipular las variables de cantidad y tipo de temperatura a controlar.	X	
Diseño del prototipo cumple con todos los estándares y niveles de calidad de la empresa.	X	
Sistema dispensa la cantidad precisa de agua ingresada por el usuario.	X	
Se registra la cantidad de agua aplicada.	X	
Correcta activación de las electroválvulas y el proceso de llenado de los contenedores de manera automatizada.	X	
Sistema se enciende y se apaga cuando se le indica.	X	

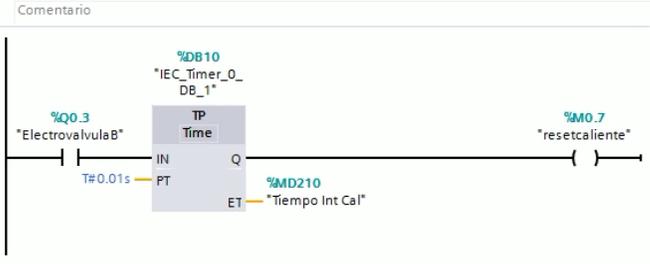
A.4 Programa completo para sistema de dosificación



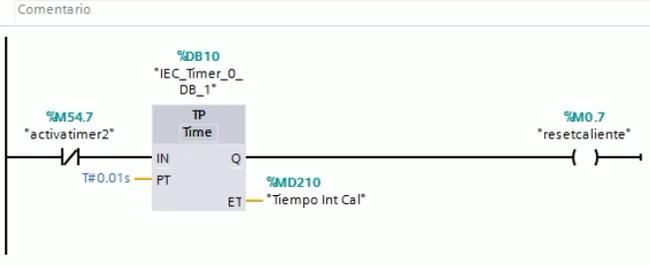
Segmento 5: Reinicio fría inicio



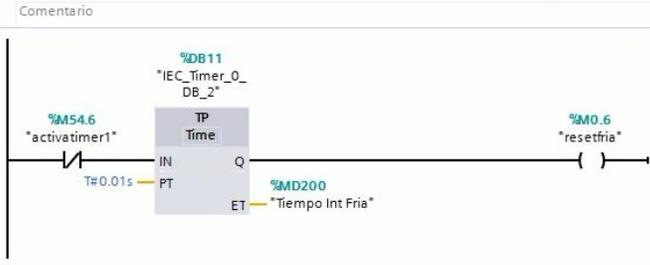
Segmento 6: Reset Caliente



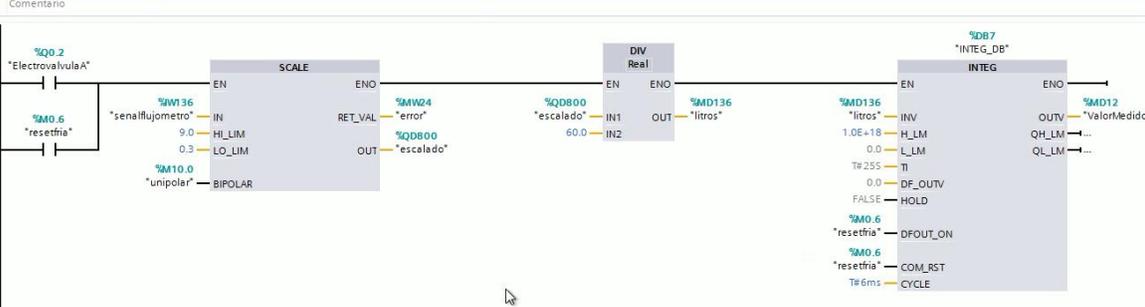
Segmento 7: Reinicio caliente al finalizar la dosificación

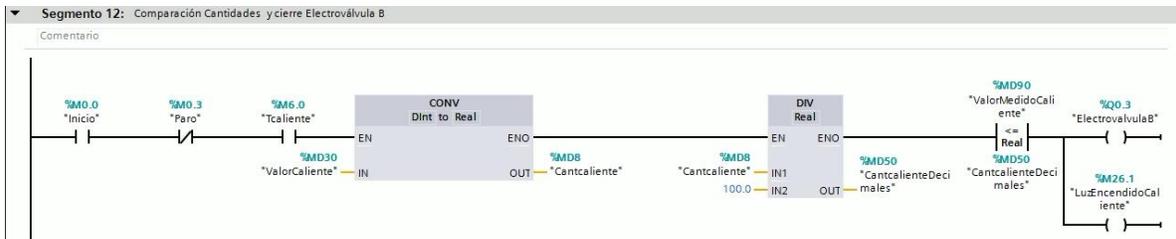
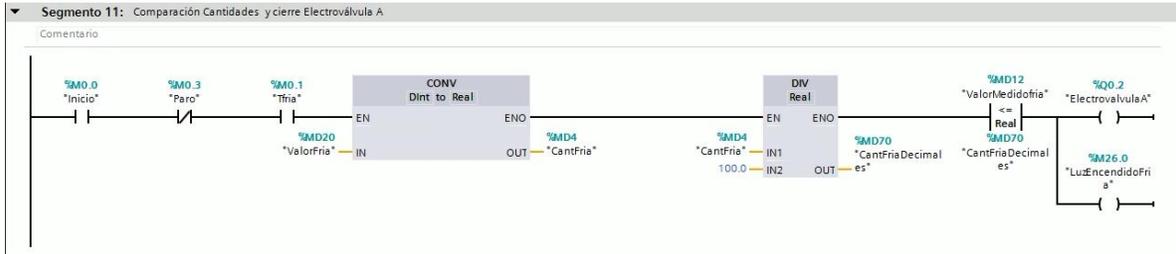
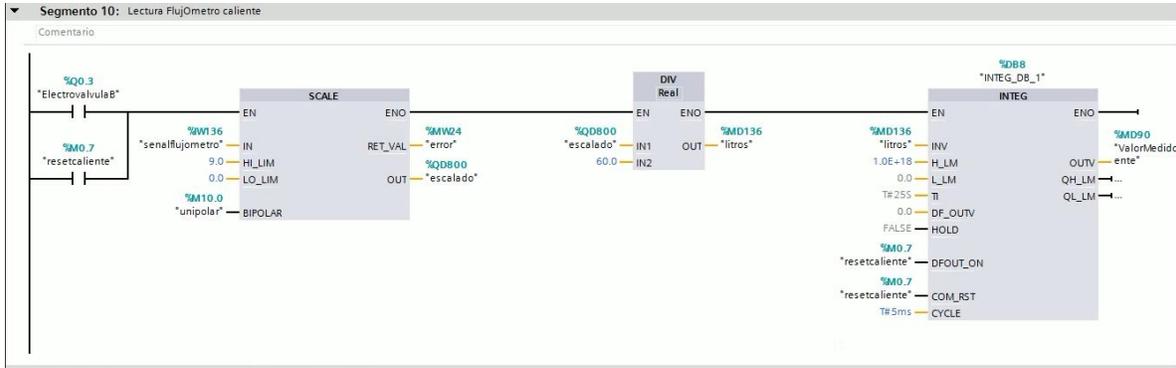


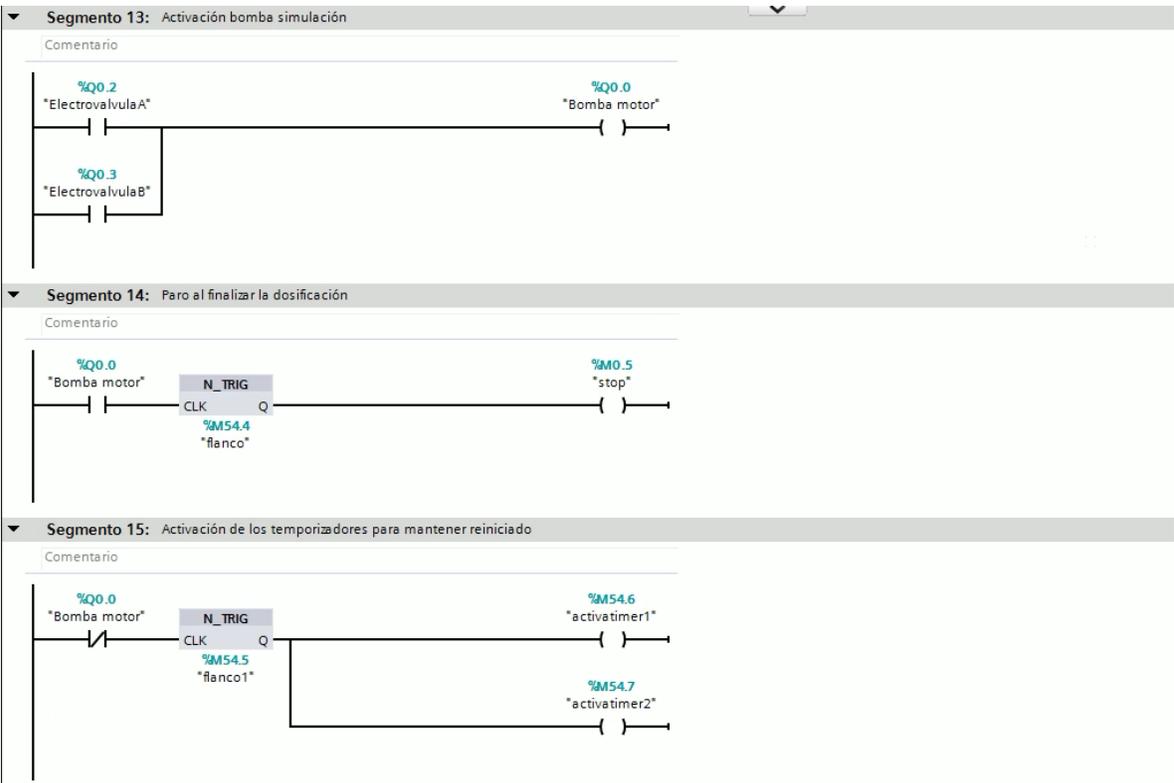
Segmento 8: Reinicio fría al finalizar la dosificación



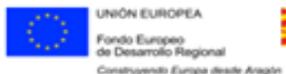
Segmento 9: Lectura FlujoMetro fria







A.5 Análisis ambiental: Plantilla Unión Europea para Cinta Azul



Cálculo automático de emisiones totales en relación a los consumos energéticos de sus instalaciones

FACTOR DE EMISIÓN DE CONSUMO ELÉCTRICO

	Consumo anual	Unidades de medida física	Factor de emisión [Kg de CO2 eq/kWh]	Kg de CO2 eq
Electricidad	1	kWh	0,385	0,385

FACTORES DE EMISIÓN COMBUSTIBLES

Combustible	Consumo anual	Unidades de medida física	Factor de conversión	kWh	Factor de emisión [Kg de CO2 eq/kWh]	Kg de CO2 eq
Gas natural	1	Nm3	10,7056 kWh/Nm3	10,7056	0,2016	2,15824896
Gasóleo	1	Litros	10,6 kWh/l	10,6	0,2628	2,78568
Fuel	1	Kg	11,1611 kWh/Kg	11,1611	0,2736	3,05367696
GLP Genérico	1	Kg	12,6389 kWh/Kg	12,6389	0,234	2,9575026
Carbón nacional	1	Kg	5,6972 kWh/Kg	5,6972	0,4032	2,29711104
Carbón de importación	1	Kg	7,0917 kWh/Kg	7,0917	0,3564	2,52748188
Gas butano	1	Nº de bombonas o Kg	12,4389 kWh/Kg	12,4389	0,2383	2,96418987

FACTORES DE EMISIÓN DE OTROS

Producto	Consumo anual	Unidades de medida física	Factor de emisión [Kg CO2 eq/ud]	Kg de CO2 eq
Papel común	1	Kg	3	3
Papel reciclado	1	Kg	1,8	1,8
Agua	1	m3	0,788	0,788