

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería Electrónica**



**Diseño de un prototipo del sistema de automatización de flujo hídrico para el proceso de rociado en una embudadora en San Antonio del Tejar.**

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

**Javier José Acevedo Arias**

**San Carlos, Setiembre de 2019**

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

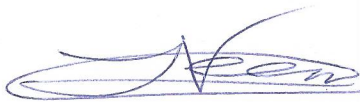
PROYECTO DE GRADUACIÓN

ACTA DE APROBACIÓN

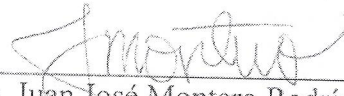
Defensa de Proyecto de Graduación  
Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica  
Grado Académico de Licenciatura  
Instituto Tecnológico de Costa Rica

El Tribunal Evaluador aprueba la defensa del proyecto de graduación denominado “Diseño de un prototipo del sistema de control de flujo hídrico para el proceso de rociado en una embudadora en San Antonio del Tejar”, realizado por el señor Javier José Acevedo Arias y, hace constar que cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

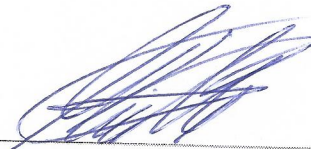
Miembros del Tribunal Evaluador



Ing. Leonardo Cardinale Villalobos  
Profesor lector



Dr.-Ing. Juan José Montero Rodríguez  
Profesor lector



Ing. Guillermo Castro Badilla  
Profesor asesor

San Carlos, 02 de setiembre de 2019

## **Declaratorio de Autenticidad**

El presente anteproyecto de graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios. En los casos que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación a realizar y por el contenido de este.

San Carlos, 2 de setiembre 2019.



Javier José Acevedo Arias  
Cédula: 2-0724-0926

## Resumen

El proyecto se desarrolló en la empresa Cinta Azul Ltda, actualmente ubicada en San Antonio del Tejar, en la provincia de Alajuela, esta es una planta de producción de embutidos con una trayectoria de más de 50 años, sin embargo, esta fue adquirida por Cargill Meats Latin America en 1999 y hasta la fecha siguen teniendo la franquicia en su totalidad.

La planta de embutidos cuenta con un salón de duchado ubicado en el departamento de empaquetado, este salón cuenta con una serie de tuberías distribuidas en 6 cuadrantes encargadas de dispensar agua a los productos que salen del proceso de horneado para reducir su temperatura a una adecuada y de esta manera poder ingresar el producto a la antecámara de frío antes de ser empaquetado.

Desde un inicio, Cinta Azul ha venido experimentando altos consumos de agua por sistemas ineficientes de rociado, actualmente el sistema es accionado manualmente por un operario, es decir, este se encarga de ingresar el producto al salón, abrir cada una de las válvulas de paso manuales y cronometrar el tiempo en ducha empíricamente, sin ningún tipo de instrumento que le ayude a verificar el tiempo.

Según Cinta Azul, con programas de rociado intermitentes se puede alcanzar una reducción significativa del consumo hídrico y lograr la reducción de temperatura necesaria en el producto para continuar el flujo de producción sin problemas. Para ello, se implementa el uso de temporizadores, sensores y actuadores y así aumentar la eficiencia en el uso del recurso hídrico, la optimización de trabajo del operador y la estandarización.

En este informe se muestra el proceso de diseño del sistema automático de duchas propuesto, con su verificación de funcionamiento mediante simulaciones y pruebas de campo en el laboratorio de automatización SIMTEC de la escuela de Producción Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

**Palabras clave:** PLC, HMI, temporizador, sensor de temperatura, electroválvula, flujómetro.

## **Abstract**

The project was developed in the company Cinta Azul Ltda, currently located in San Antonio del Tejar, in the province of Alajuela, this is a production plant of sausages with a trajectory of more than 50 years, however, this was acquired by Cargill Meats Latin America in 1999 and they still have the franchise.

The sausage plant has a shower room, located in the packaging department, this room has six pipes distributed in quadrants with the task to dispensing water to the products, that come out of the baking process, to reduce the temperature to a suitable one and in this way to be able to enter the product into the cold store before being packaged.

From the beginning, Cinta Azul has expend a lot of water by inefficient spray systems, currently the system is manually operated by an operator, that is, he is responsible for entering the product into the room, open the valves manually and time the shower empirically, without any instrument to help him verify the time.

According with Cinta Azul, with intermittent spraying programs, we can achieve a significant reduction in water consumption and the necessary temperature reduction in the product to continue the production flow without problems. So, using timers, sensors and actuators, has advantage in the efficiency in the use of water resource, the optimization of operator works and process standardization.

This report shows the design process of the automatic shower system proposed, with verification of operation through simulations and field test in the SIMTEC automation laboratory of the Industrial Production School of Instituto Tecnológico de Costa Rica.

**Keywords:** PLC, HMI, Timer, Temperature Sensor, Electro valve, Flow meter.

## **Dedicatoria**

Dedico este proyecto a mis padres que me han apoyado y motivado en todo momento y me han inculcado los valores que me han convertido en la persona que soy. A mis hermanos por ser parte de los pilares que sostienen mi vida.

También a mis compañeros y amigos de la universidad que influyeron en mi formación como persona y profesional.

## **Agradecimientos**

Agradezco a Cargill Meats Latinoamérica, especialmente a los colaboradores de la planta Cinta Azul por darme la oportunidad de realizar el proyecto y facilitarme información pertinente para el desarrollo de este.

A mi familia y mi novia por brindarme apoyo y motivación a lo largo del proceso universitario bajo cualquier circunstancia.

A mis amigos y compañeros que me acompañaron en el transcurso de los años de estudio.

## Índice General

Índice de Figuras.....	8
Índice de Tablas.....	10
Capítulo 1: Introducción.....	12
1.1 Problema existente e importancia de su solución.....	12
1.2 Selección de la solución.....	15
Capítulo 2: Meta y Objetivos.....	16
2.1 Meta.....	16
2.2 Objetivo General.....	16
2.3 Objetivos Específicos.....	16
Capítulo 3: Marco Teórico.....	17
3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar.....	17
3.2 Antecedentes Bibliográficos [6, 7].....	21
3.2.1 Automatización Industrial.....	21
3.2.2 Proceso de elaboración de un embutido [6, 7].....	22
3.2.2.1 Preparación de las materias primas.....	22
3.2.2.2 Picado.....	22
3.2.2.3 Mezclado y Amasado.....	23
3.2.2.4 Embutido.....	24
3.2.2.5 Cocción y Ahumado.....	25
3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema [4, 5, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26 27, 28].....	27
3.3.1 Transductores.....	27
3.3.2 Sensor de Flujo [23].....	27
3.3.3 Sensor de temperatura.....	28
3.3.3.1 Termistores [16].....	28
3.3.3.2 Sensor RTD [17], [18], [19].....	29
3.3.3.3 Termopares [21].....	32
3.3.4 Actuadores [13].....	33
3.3.5 Electroválvula [5].....	34
3.3.5.1 Tipos de electroválvulas.....	34
3.3.5.2 Acción Directa.....	34
3.3.5.3 Acción Indirecta.....	35
3.3.5.4 Acción Mixta.....	37
3.3.6 PLC [4], [24], [25].....	38
3.3.6.1 Estructura de un PLC.....	38



3.3.6.2 Operaciones lógicas con bits del PLC .....	40
3.3.6.3 Operaciones de transferencia .....	40
3.3.6.4 Operaciones de temporización .....	40
3.3.7 HMI [27], [28] .....	41
Capítulo 4: Procedimiento metodológico .....	43
4.1 Reconocimiento y definición del problema .....	43
4.2 Obtención y análisis de información .....	44
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución .....	45
4.4 Implementación de la solución .....	46
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución .....	47
5.1 Análisis de soluciones y selección final .....	47
5.2 Descripción del Hardware .....	49
5.2.1 PLC .....	50
5.2.2 HMI .....	54
5.2.3 Válvula Solenoide [33] .....	56
5.2.4 Sonda Pt100[34] .....	58
5.2.5 Flujómetro [35] .....	58
5.2.6 Interconexión del Hardware .....	60
5.3 Descripción del Software .....	62
5.3.1 Rutina de inicio de programa y paro de emergencia del HMI .....	65
5.3.2 Rutina de programa temporizado 1 del HMI .....	66
5.3.3 Rutina de programa Temporizado 2 del HMI .....	68
5.3.4 Rutina de programa temporizado 3 del HMI .....	70
5.3.5 Rutina de activación de electroválvulas del HMI .....	74
5.3.6 Rutina de escalado de señales de sensores en el HMI .....	77
5.3.7 Programación del HMI .....	78
Capítulo 6: Análisis de resultados .....	85
6.1 Análisis Económico [32] .....	85
6.2 Simulaciones y pruebas de campo .....	87
6.2.1 Programa temporizado #1 .....	87
6.2.2 Programa temporizado #2 .....	94
6.2.3 Programa temporizado #3 .....	99
6.2.4 Pruebas de medición de temperatura .....	104
Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones .....	107
7.1 Conclusiones .....	107
7.2 Recomendaciones .....	108

<b>Capítulo 8: Bibliografía</b> .....	109
<b>Capítulo 9: Apéndices y Anexos</b> .....	112
<b>A.1 Información de la empresa</b> .....	112
<b>A.2 Consumo hídrico mensual</b> .....	113
<b>A.3 Programa semanal Hornos</b> .....	123
<b>A.4 Cálculos de consumo y ahorro</b> .....	126
<b>A.5 Cotizaciones</b> .....	130
<b>A.6 Manual de Usuario del Sistema</b> .....	133
<b>A.7 Variables del Sistema</b> .....	136

### Índice de Figuras

Figura 1. Cuarto de rociado. ....	12
Figura 2. Sistema de suministro hídrico actual. ....	13
Figura 3. Torres de salchicha económica y torre de jamón de pavo previamente a iniciar el proceso. ....	14
Figura 4. Válvula mecánica de tipo esfera. [1].....	18
Figura 5. Lectura caudalímetro mecánico. [2] .....	19
Figura 6. Picadora industrial Seydelmann. [7] .....	23
Figura 7. Mezcladora industrial Cozzini. [8].....	24
Figura 8. Embutidora Vemag HP12E. [9] .....	25
Figura 9. Horno industrial Vemag para ahumado y cocción. [10].....	26
Figura 10. Flujómetro electromagnético. [23].....	28
Figura 11. Curva característica de los termistores PTC y NTC. [16] .....	29
Figura 12. Materiales más utilizados en la fabricación de sensores RTD. [17] .....	30
Figura 13. Curva característica de una sonda Pt100. [20] .....	30
Figura 14. Conexión de Pt100 utilizando configuración de 2 hilos. [19].....	31
Figura 15. Configuración de 3 hilos en una Pt100. [17] .....	31
Figura 16. Configuración de 4 hilos en una Pt100. [19].....	32
Figura 17. Curvas de tensión termoeléctrica para los diferentes tipos de termopares. [22].....	33
Figura 18. Válvula de solenoide típica de acción directa, normalmente cerrada de dos vías. [12] .....	35
Figura 19. Válvula de solenoide típica de acción indirecta, normalmente cerrada de dos vías. [14].....	36
Figura 20. Válvula de solenoide típica de acción mixta, normalmente cerrada de dos vías. [15] .....	37
Figura 21. CPU 314C-2PN/DP. [11] .....	38
Figura 22. Estructura básica de un PLC. [26] .....	39
Figura 23. Panel HMI Siemens KTP700 Basic PN. [29] .....	42
Figura 24. Ejemplo de interfaz gráfica en HMI. ....	48
Figura 25. Diagrama de bloques de sistema de rociado. ....	50
Figura 26. Electroválvula ASCO seleccionada. ....	57
Figura 27. Sensor de flujo Bürkert. [35].....	59
Figura 28. Conexión del PLC a la fuente de poder. ....	60
Figura 29. Interconexión entre PLC y HMI. ....	61

Figura 30. Cableado de sensores al conector frontal del módulo de señales del PLC. ....	61
Figura 31. Diagrama de flujo del programa. ....	63
Figura 32. Interfaz del PLCSIM. ....	64
Figura 33. Inicio del programa. ....	65
Figura 34. Primer tiempo efectivo de rociado. ....	66
Figura 35. Primera pausa del programa y segundo tiempo efectivo de rociado. ....	67
Figura 36. Inicio de programa temporizado 2. ....	68
Figura 37. Primera pausa del programa temporizado 2 y segundo tiempo efectivo del mismo. ....	69
Figura 38. Inicio de programa temporizado 3. ....	71
Figura 39. Primera pausa del programa temporizado 3 y segundo tiempo efectivo de rociado. ....	72
Figura 40. Apertura de electroválvula 1. ....	74
Figura 41. Continuación de apertura de electroválvula 1. ....	75
Figura 42. Visualización de apertura de válvulas. ....	76
Figura 43. Escalado de la señal del flujómetro. ....	77
Figura 44. Escalado de la señal del sensor de temperatura 1. ....	78
Figura 45. Pantalla principal del programa. ....	79
Figura 46. Conexión de la variable Tiempo 1 al botón 1. ....	79
Figura 47. Programación de animación para el círculo 3. ....	80
Figura 48. Representación del flujo de agua por cuadrante. ....	81
Figura 49. Programación del I/O field_1. ....	81
Figura 50. Pantalla del programa temporizado #3. ....	82
Figura 51. Pantalla menú para la selección de gráficos. ....	83
Figura 52. Ventana de consumo de agua ....	83
Figura 53. Ventana de gráficos de temperatura. ....	84
Figura 54. Estación de trabajo, celda Festo. ....	87
Figura 55. Simulación del programa temporizado #1. ....	88
Figura 56. Nivel de agua en los tanques B201 y B202 antes de iniciar el programa temporizado 1. ....	89
Figura 57. Inicio de programa Temporizado 1. ....	90
Figura 58. Resultado de consumo de agua utilizando el programa temporizado 1. ....	91
Figura 59. Contenido de agua en los tanques después de finalizar el programa temporizado 1. ....	91
Figura 60. Valor en milímetros de 100 ml. ....	92
Figura 61. Diagrama de la etapa de mezclado de la celda Festo. ....	93
Figura 62. Simulación de programa temporizado #2. ....	94
Figura 63. Valores de temperatura ajustados con sliders en la simulación de programa temporizado #2. ....	95
Figura 64. Nivel de agua en el tanque B201 antes de iniciar el programa temporizado 2. ....	96
Figura 65. Inicio de programa Temporizado 2. ....	96
Figura 66. Resultado de consumo de agua utilizando el programa temporizado 2. ....	97
Figura 67. Contenido de agua en el tanque después de finalizar el programa temporizado 2. ....	98
Figura 68. Simulación de programa temporizado #3. ....	99
Figura 69. Configuración de parámetros para iniciar el programa temporizado #3. ....	100
Figura 70. Nivel de agua en el tanque B201 antes de iniciar el programa temporizado 3. ....	101
Figura 71. Inicio de programa temporizado 3. ....	102
Figura 72. Resultado de consumo de agua utilizando el programa temporizado 3. ....	103
Figura 73. Contenido de agua en el tanque después de finalizar el programa temporizado 3. ....	104

Figura 74. Estación de prueba. ....	105
Figura 75. Variación del sensor 2 perteneciente a la ducha 3. ....	105
Figura 76. Variación del sensor 3 perteneciente a la ducha 4. ....	106
Figura 77. Variación del sensor 4 perteneciente a la ducha 5. ....	106
Figura 78. Tarifa del metro cubico fijada por la ARESEP para el 2019. ....	127
Figura 79. Tarifa del metro cubico fijada por la ARESEP para el 2020. ....	128
Figura 80. Tarifa del metro cubico fijada por la ARESEP para el 2021. ....	128
Figura 81. Tabla de variables 1. ....	136
Figura 82. Tabla de variables 2. ....	136
Figura 83. Tabla de variables 3. ....	137

### **Índice de Tablas**

Tabla 1. Familias y cantidad de productos por familia. ....	20
Tabla 2. Tipos de termopares. [21].....	33
Tabla 3. Especificaciones del PLC. ....	51
Tabla 4. Información técnica del HMI. [30] .....	54
Tabla 5. Descripción de parámetros de la válvula solenoide.....	57
Tabla 6. Descripción de parámetros de la sonda Pt100.....	58
Tabla 7. Descripción de los parámetros del flujómetro.....	59
Tabla 8. Descripción de las entradas del PLC del sistema.....	62
Tabla 9. Descripción de las salidas del PLC del sistema. ....	62
Tabla 10. Inversión inicial del sistema. ....	85
Tabla 11. Desglose de ahorro anual total. ....	86
Tabla 12. Resultado de estudio económico.....	86
Tabla 13. Consumo de agua en duchas, agosto 2018.....	113
Tabla 14. Consumo de agua en duchas, septiembre 2018. ....	114
Tabla 15. Consumo de agua en duchas, octubre 2018. ....	115
Tabla 16. Consumo de agua en duchas, noviembre 2018. ....	116
Tabla 17. Consumo de agua en duchas, diciembre 2018. ....	117
Tabla 18. Consumo de agua en duchas, enero 2019. ....	118
Tabla 19. Consumo de agua en duchas, febrero 2019. ....	119
Tabla 20. Consumo de agua en duchas, marzo 2019. ....	120
Tabla 21. Consumo de agua en duchas, abril 2019. ....	121
Tabla 22. Consumo promedio mensual en duchas.....	122
Tabla 23. Kilogramos cocidos, semana 41 Cinta Azul. ....	123
Tabla 24. Kilogramos cocidos, semana 42 Cinta Azul. ....	123
Tabla 25. Kilogramos cocidos, semana 43 Cinta Azul. ....	124
Tabla 26. Kilogramos cocidos, semana 44 Cinta Azul. ....	124
Tabla 27. Promedio de kilogramos de chorizo cocidos por semana. ....	125
Tabla 28. Promedio de kilogramos de jamones cocidos por semana. ....	125
Tabla 29. Promedio de kilogramos de paté cocidos por semana. ....	125
Tabla 30. Promedio de kilogramos de salchichas cocidas por semana.....	125
Tabla 31. Promedio de kilogramos de salchichones cocidos por semana. ....	125
Tabla 32. Promedio de kilogramos de tocineta cocida por semana. ....	125
Tabla 33. Tabla de horas de rociado con programa temporizado #1. ....	126
Tabla 34. Costos de agua del sistema actual vs programa temporizado #1. ....	127
Tabla 35. Tabla de horas de rociado con programa temporizado #2. ....	129
Tabla 36. Costos de agua del sistema actual vs programa temporizado #2. ....	129



## Capítulo 1: Introducción

En el presente capítulo se desea dar a conocer el problema existente en el proceso de duchado en la planta de embutidos Cinta Azul Ltda, la importancia de solucionar el problema y la solución que se plantea.

### 1.1 Problema existente e importancia de su solución.

Todos los productos que salen de la etapa de horneado deben ser incorporados a las duchas para disminuir su temperatura antes de entrar al cuarto frío. Al cuarto de duchas ingresan alrededor de nueve familias de productos distintos y cada uno de ellos tiene diferentes tiempos de duchado. En la figura 1 se puede observar los productos durante el proceso de rociado.



*Figura 1. Cuarto de rociado.*

Todo el sistema de las duchas es completamente manual y es accionado por un operario, el operario se encarga de sacar el producto del horno con una grúa, posicionarlo en algún cuadrante del cuarto que se encuentre libre y abrir la válvula de paso que rocía dicho cuadrante, cada cuadrante cuenta con 15 duchas con un flujo constante de agua. En la figura 2 se puede apreciar el sistema manual de rociado actual.



*Figura 2. Sistema de suministro hídrico actual.*

Los supervisores de proceso se encargan de determinar tiempos aproximados de duchado para los productos, sin embargo, el tiempo en ducha depende más de la experiencia del operario ya que por motivos de inocuidad y estándares de calidad, dentro de la planta no se puede ingresar con ningún dispositivo, por lo tanto, los operadores tienen que medir el tiempo en ducha bajo su propio criterio, lo que causa que una torre de jamones que requería 120 minutos en ducha, demore 135 minutos porque no hay un control del tiempo en el salón, o porque el operario se encuentra realizando otras tareas que le corresponden. En la figura 3 se aprecia las torres de salchicha y jamón de pavo entero previamente a iniciar el proceso.



*Figura 3. Torres de salchicha económica y torre de jamón de pavo previamente a iniciar el proceso.*

Es muy importante ser preciso con los tiempos en ducha de cada producto, ya que sacar el producto antes del tiempo establecido puede ocasionar que el producto no alcance la temperatura adecuada, se deforme y no pase los estándares de calidad, por lo tanto, se pierda dinero y tiempo de producción. Tampoco se puede sacar el producto mucho después de los tiempos establecidos en ducha, porque cada minuto representa agua usada innecesariamente y que al final del mes se ve reflejada como costos extra de producción al pagar las facturas de consumo hídrico.

Con ayuda de un caudalímetro mecánico, se ha dado seguimiento al consumo de agua en duchas, y se estableció que un minuto innecesario de rociado representa 200 litros de agua con todos los cuadrantes habilitados, por esto, los frecuentes descuidos de los operarios representan alto consumo de agua y a su vez, mayores costos para la compañía.

Los supervisores tienen cronómetros para tomar tiempos y verificar que el personal cumpla con el proceso, sin embargo, los supervisores no se encuentran todo el día en la planta, solo durante algunos lapsos de tiempo. Debido al inadecuado manejo del recurso hídrico únicamente en el proceso de duchado se están consumiendo un promedio de 97 metros cúbicos al día, equivalente a 97 000 litros de agua, una cifra alarmante para la empresa.



Automatizar el proceso de rociado favorece la estandarización, disminuye el consumo del recurso hídrico y mejora los tiempos de producción.

## **1.2 Selección de la solución**

Para el desarrollo de la solución, la empresa solicita los siguientes requerimientos:

- El sistema debe cumplir con los estándares de inocuidad y protección necesarios.
- Uso de componentes industriales, sometidos a altas temperaturas, vibraciones y salpicaduras.
- Menor intervención del operario en el proceso.
- Graficas de consumo hídrico y temperatura del producto.
- Un programa temporizado dedicado únicamente a jamones.
- Un programa temporizado dedicado únicamente a salchichas.
- Que el sistema sea versátil ante futuras mejoras y adaptaciones.

El proyecto se desenvuelve en un entorno de automatización industrial que implica un rango de temperaturas elevadas, ruido eléctrico, vibraciones e impactos, por lo que es importante seleccionar los componentes adecuados para estos medios. El controlador lógico programable es un componente robusto y versátil creado para el sector industrial que está abierto a la posibilidad de manejar múltiples equipos de manera simultánea, además, este es relativamente sencillo de programar e instalar y es un sistema que es más sencillo darle mantenimiento.

La empresa esta familiarizada con este tipo componentes por lo que esta se ahorra tiempo y dinero en capacitaciones para los empleados. También, es favorable usar el modelo de PLC S7-300 314C-2PN/DP y HMI KTP700 Comfort porque, aunque la empresa no destine presupuesto para una implementación inmediata, el laboratorio SIMTEC de la escuela de producción industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica ofrece sus instalaciones y componentes para realizar pruebas y simulaciones de “campo”.

## **Capítulo 2: Meta y Objetivos**

### **2.1 Meta**

Reducir significativamente el consumo de agua en el proceso de duchado mediante la implementación de un sistema de automatización.

### **2.2 Objetivo General**

Diseñar un sistema que permita la automatización los tiempos efectivos de rociado de los productos cocidos de manera efectiva para la reducción del consumo hídrico de la planta Cinta Azul en San Antonio del Tejar.

### **2.3 Objetivos Específicos**

1. Diseñar la configuración del hardware que se ajuste a las necesidades del cuarto de rociado, que permita la automatización del proceso y el monitoreo de las variables por cuadrante.
  - 1.1. Indicador: Diagrama de interconexión del sistema diseñado finalizado con las especificaciones de configuración de cada equipo.
2. Desarrollar un programa para el controlador lógico programable S7-300 que permita la manipulación de todos los elementos del sistema mediante el uso de la plataforma TIA Portal.
  - 2.1. Indicador: El programa compila sin errores incluyendo todas las rutinas requeridas según las especificaciones del proceso de la planta.
3. Desarrollar una interfaz de usuario humano-máquina que integre todos los parámetros necesarios para la automatización de la etapa de rociado.
  - 3.1. Indicador: Programación del HMI completa y sin errores.
4. Evaluar el funcionamiento y la viabilidad económica del sistema por medio de simulaciones y un estudio económico utilizando TIA Portal como software de simulación y la celda Festo del laboratorio SIMTEC.
  - 4.1. Indicador: Los resultados de las simulaciones cumplen las especificaciones del proceso de la planta Cinta Azul logrando además una tasa de retorno positiva.

### **Capítulo 3: Marco Teórico**

En este capítulo se presenta una explicación de los componentes del sistema automático de rociado. Además, se explicará la función que cumple el proceso de duchado dentro del sistema de producción de la planta.

#### **3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar**

Como primer procedimiento en el departamento de empaque y donde se pretende desarrollar el proyecto, se encuentra el proceso de duchado para reducir la temperatura del producto (el cual sale del horno a 75 grados Celsius) hasta que el embutido tenga una temperatura alrededor de 27 grados Celsius en el caso de las salchichas y chorizo, y 30 grados Celsius en el caso de los jamones y salchichones, temperatura adecuada para ingresar el producto a la cámara de frío (congelador). Estos datos fueron establecidos por el departamento de producción de la planta con estudios previos.

El área de duchado se compone por un cuarto separado en seis cuadrantes, cuatro de estos se encuentran posicionados en el cielorraso y cada uno cuenta con 15 duchas, y dos cuadrantes laterales, uno en cada pared del cuarto, estos últimos cuentan con ocho duchas cada uno.

Cuando el operario ingresa cada uno de los productos al área de duchado él se encarga de abrir válvulas de paso mecánicas de tipo esfera para dejar fluir el agua dependiendo del cuadrante donde este posicionado la torre de aluminio con el producto caliente. En la figura 4 se muestra una válvula de esfera.

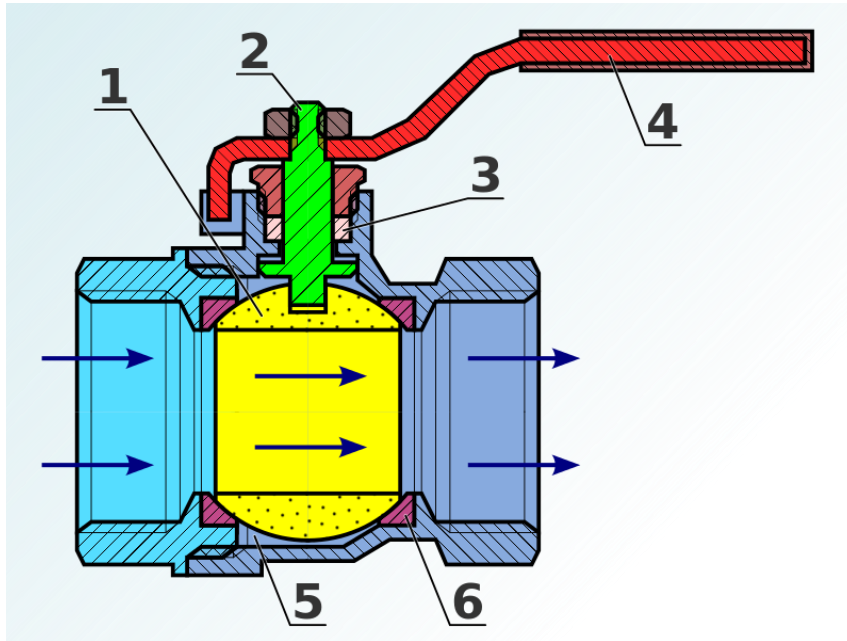


Figura 4. Válvula mecánica de tipo esfera. [1]

Una vez que el operario decida que ya pasó tiempo suficiente en duchas, este procede a verificar que el producto se encuentra lo suficientemente frío según su experiencia para luego sacar el producto de duchas e ingresarlo a la cámara de frío, si no, abre las duchas otra vez y repite el proceso.

También el sistema actual cuenta con un caudalímetro mecánico DN50 donde los operarios de mantenimiento registran el consumo al inicio del día. El caudalímetro está ubicado dentro del salón en una posición que dificulta la lectura para personas por debajo del metro setenta y cinco. El sistema de lectura es poco detallado, ya que el contador principal es la lectura de consumo en metros cúbicos y en el caso de las agujas, una vuelta completa representa 0.001 para el caso de la aguja izquierda y 0.01 para el caso de la aguja derecha mostradas en la figura 5.

Por ejemplo, si la lectura del caudal en metros cúbicos dice 45 m<sup>3</sup>, es complicado determinar si la lectura real son 45 000 litros o 45 999 litros, a menos que la persona esté atenta y se detenga a contar vuelta por vuelta de las agujas por el tiempo necesario. Además, las mediciones de consumo tienden a tener alta incertidumbre, es decir, imprecisión en la medición.



Figura 5. Lectura caudalímetro mecánico. [2]

Es importante mencionar que los operarios no cuentan con ninguna herramienta o sistema para verificar las temperaturas del producto, simplemente se limitan a cumplir con los tiempos en ducha establecidos por el departamento de producción.

Luego de que el producto finaliza en el proceso de duchado, el siguiente proceso consiste en ingresarlo a la cámara de frío para reducir la temperatura hasta que alcance los siete grados Celsius. Luego si el producto lo requiere, se continua con el proceso de rebanado o picado como lo es el caso de los jamones, tocino, salchichas y otros, y por último el proceso de empaque del producto, resultado final que se encuentra en los supermercados.

Como se menciona anteriormente, todos los productos que salen de la etapa de horneado deben ser incorporados a las duchas para disminuir su temperatura antes de entrar al cuarto frío. Al cuarto de duchas ingresan 200 productos que se subdividen en nueve familias. En la tabla 1 se puede observar las familias y la cantidad de productos que posee cada una.

Tabla 1. Familias y cantidad de productos por familia.

Familia	Productos
Jamones	78
Salchichas	42
Salchichones	7
Patés	6
Ahumados	24
Chorizos	16
Mortadelas	9
Combos	2
Otros	16

Actualmente los productos de las familias de jamones, salchichones y mortadelas utilizan el mismo tiempo de rociado de 120 minutos, las salchichas, el paté y chorizos utilizan el mismo tiempo de rociado de 37 minutos. Los productos restantes utilizan tiempos distintos de rociado.

Para mejorar el sistema de apertura de válvulas actual, el controlador lógico programable se va a encargar de abrir las válvulas por medio de programas temporizados, donde estos se componen por tiempos de rociado efectivos y tiempos de pausa para aprovechar el agua adherida al producto.

El PLC monitoreará las variables de temperatura mediante cuatro sensores tipo sonda y la variable de flujo mediante un caudalímetro electrónico, además, el sistema permitirá visualizar estas variables en gráficos por medio de una interfaz en el HMI de una forma cómoda y precisa.

Los programas temporizados 1 y 2 se encargarán de abarcar 158 productos del total (200) y los 48 productos restantes se cubrirán con el programa temporizado 3, el cual permite al operario manipular los tiempos efectivos de rociado y las pausas a conveniencia.

### **3.2 Antecedentes Bibliográficos [6, 7]**

La Revolución Industrial formó en general, el paso de la industria artesanal a la producción en masiva con la ayuda de máquinas y herramientas más avanzadas; lo que se debió, en gran medida, a la influencia del desarrollo de la economía y a los diversos avances científicos. Gran parte de este desarrollo está fundamentado en la evolución de la demanda por parte de unos clientes cada vez más exigentes a los que los fabricantes intentan satisfacer con nuevos productos de mayor calidad y mejores especificaciones técnicas.

Debido a esto la industria en general se vuelve más competitiva, por lo tanto, las empresas deben diseñar sus productos con tecnología mejorada para lograr sobresalir en un mercado global cada vez más competitivo. La ciencia y la tecnología han avanzado y desarrollado técnicas e instrumentos que se unen para lograr este objetivo de competitividad.

Los ordenadores y los computadores son una de las herramientas más prácticas y útiles que se han desarrollado en este sentido. Con la ayuda de estos se dan los primeros pasos en el desarrollo de la automatización, tanto de los procesos como de los productos, haciendo que el proceso productivo sea más flexible, con un ahorro en tiempo, recursos y costos.

#### **3.2.1 Automatización Industrial**

La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la automática como el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. De esta definición original se desprende la definición de la automatización como la aplicación de la automática al control de procesos industriales.

Por proceso, se entiende aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto. Los procesos industriales se conocen como procesos continuos, procesos discretos y procesos batch. Los procesos continuos se caracterizan por la salida del proceso en forma de flujo continuo de material, como por ejemplo la purificación de agua o la generación de electricidad.

Los procesos discretos contemplan la salida del proceso en forma de unidades o número finito de piezas, siendo el ejemplo más relevante la fabricación de automóviles. Finalmente, los procesos batch son aquellos en los que la salida del proceso se lleva a cabo en forma de cantidades o lotes de material, como por ejemplo la fabricación de productos farmacéuticos o la producción de cerveza.

### **3.2.2 Proceso de elaboración de un embutido [6, 7]**

La elaboración de un embutido está compuesta por distintas fases, que se pueden agrupar en los procesos que se describen a continuación.

#### **3.2.2.1 Preparación de las materias primas**

Cada embutido se caracteriza por los ingredientes utilizados en su elaboración, así como el proceso mediante el cual se realiza. Es muy importante utilizar carnes de animales sanos y con niveles de PH adecuados.

#### **3.2.2.2 Picado**

Para el picado de la materia prima (carne) se utilizan maquinas llamadas picadoras o molinos, compuestas primeramente por una tolva o un recipiente grande donde se deposita la carne, un tornillo sin fin para empujar el producto hacia las cuchillas giratorias y por último un disco perforado. Este dispositivo prepara la carne en forma de pasta para facilitar el mezclado con los ingredientes correspondientes a cada receta. En la figura 6 se puede observar una picadora industrial común.





*Figura 6. Picadora industrial Seydelmann. [7]*

Este proceso se debe realizar con la carne refrigerada a temperaturas menores a 7 grados Celsius para evitar que las cuchas sobrecalienten la masa y no tener que usar medidas como aplicar hielo en la etapa del mezclado.

### **3.2.2.3 Mezclado y Amasado**

Una vez picada la carne, se procede al proceso de mezclado y amasado, donde se mezcla la pasta proveniente del molino con los condimentos y especias según la receta.

Este procedimiento se realiza con máquinas que poseen paletas giratorias con las que se consigue una mezcla uniforme. Es necesario que este proceso se realice al vacío para evitar decoloraciones en el producto. En la figura 7 se puede observar una mezcladora Cozzini, muy similar a la utilizada en la empresa.



*Figura 7. Mezcladora industrial Cozzini. [8]*

### **3.2.2.4 Embutido**

Una vez lista la masa se procede a rellenar la funda (tripa) natural o artificial con ella, pero antes esta debe lavarse para eliminar rastros de sal en la tripa y evitar que en el producto se genere una costra superficial. Una vez el operario coloque la tripa en la boquilla lisa, la maquina la rellena y la divide en porciones.

En este proceso se debe evitar la entrada de aire ya que este puede formar cavidades en el producto generando decoloraciones o enmohecimiento no deseado. Para ello, en la industria se utilizan maquinas que embuten al vacío como la que se muestra en la figura 8.



*Figura 8. Embutidora Vemag HP12E. [9]*

### **3.2.2.5 Cocción y Ahumado**

Una vez el producto embutido el proceso siguiente es la cocción y el ahumado. La cocción se realiza a temperaturas entre 75 y 80 grados Celsius durante tiempos variables, dependiendo del tipo de embutido. Este proceso ayuda principalmente a darle firmeza al producto, fijar un color atractivo y a extender su vida útil.

El ahumado se puede realizar en frío o caliente, en el caso de la empresa Cinta Azul, este proceso se realiza en caliente dentro de los hornos, a 80 grados Celsius durante tiempos variables, dependiendo del tipo de embutido. En la figura 9 se puede observar un horno industrial de acero inoxidable.



*Figura 9. Horno industrial Vemag para ahumado y cocción. [10]*

### **3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema [4, 5, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26 27, 28]**

#### **3.3.1 Transductores**

Un transductor es un dispositivo que transforma o convierte un tipo de energía de entrada en otro tipo de energía diferente en la salida.

Existen dos tipos de transductores, los sensores y los actuadores, estos primeros se encargan de detectar energía de diferentes formas como luz, temperatura, fuerza para convertir la información en una señal eléctrica legible por un sistema electrónico. La característica principal de los sensores es que siempre en la salida del dispositivo se obtiene una señal eléctrica.

Los actuadores son dispositivos que pueden recibir señales eléctricas en la entrada y generar una fuerza física en la salida o viceversa.

#### **3.3.2 Sensor de Flujo [23]**

Los sensores de flujo son dispositivos que utilizan el método de medición de caudal basado en la ley de Faraday, la cual expresa que, al pasar un fluido conductor a través de un campo magnético, se produce una fuerza electromotriz directamente proporcional a la velocidad del fluido.

Los flujómetros cuentan con dos bobinas de campo que con ayuda de propagadores generan un campo magnético constante sobre toda la sección transversal del tubo, con la ayuda de dos electrodos ubicados lateralmente, se capta el voltaje. La pared interior del tubo debe estar recubierta con material dieléctrico para que no existan cortos entre el líquido conductor y el tubo metálico.

En caso de que no haya ningún fluido circulando, ningún voltaje inducido es medido entre los dos electrodos, en el momento que fluye el líquido conductor, el campo magnético se encarga de separar las partículas positivas y negativas a los extremos donde se encuentran los electrodos. Conociendo la sección transversal del tubo, el volumen del fluido puede ser calculado, cuanto mayor sea la velocidad del fluido, mayor será la separación de las partículas cargadas

y mayor será el voltaje entre los electrodos. En la figura 10 se observa de forma general la construcción de un flujómetro electromagnético.

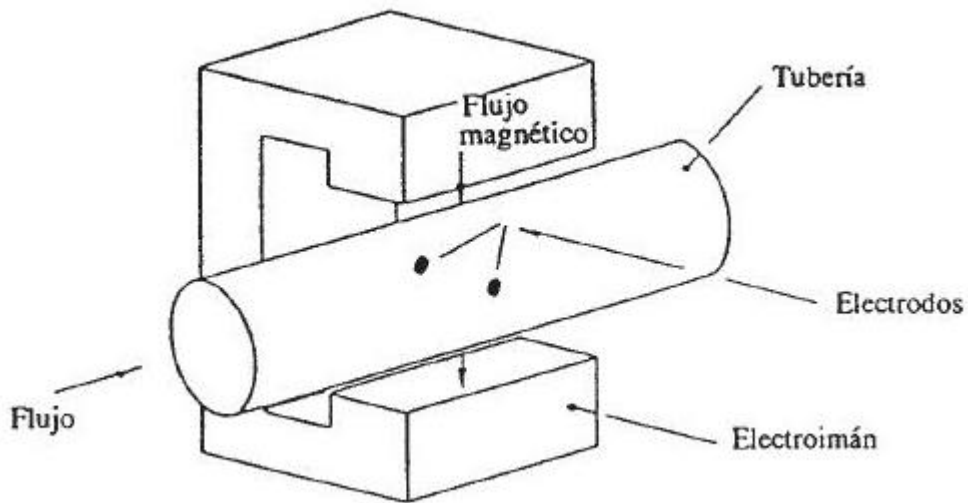


Figura 10. Flujómetro electromagnético. [23]

### 3.3.3 Sensor de temperatura

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en señales eléctricas que son procesadas por un equipo electrónico. Existen tres tipos de sensores de temperatura, los Termistores, los RTD y los Termopares.

#### 3.3.3.1 Termistores [16]

El termino termistor proviene del término en inglés *Thermally Sensitive Resistor*, estos son semiconductores que dejan pasar parcialmente la corriente, en los cuales varia su resistividad al variar la temperatura que los rodea, los electrodos internos son los encargados de detectar el calor y traducirlo a pulsos eléctricos.

Existen dos tipos de termistores, los que aumentan la resistencia al aumentar la temperatura conocidos como *Positive Temperature Coefficient* (PTC) y los que disminuyen la resistencia conforme aumenta la temperatura conocidos como *Negative Temperature Coefficient* (NTC).

La principal ventaja de estos dispositivos es que tiene un amplio rango de medida y son de muy bajo costo con respecto a otros tipos de sensores, pero la

desventaja de estos es que no son lineales, dificultando así la adquisición de datos, ya que son complicados de calibrar. En la figura 11 se puede observar la curva característica de los dos tipos de termistores existentes.

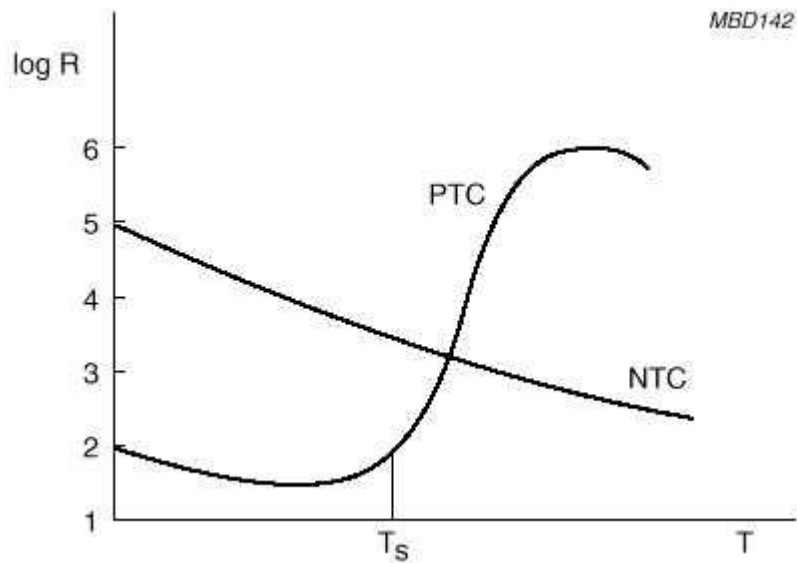


Figura 11. Curva característica de los termistores PTC y NTC. [16]

Existen diferentes tipos de encapsulados para los termistores dependiendo de la aplicación, mencionados a continuación:

- Tipo SMD
- Tipo Perla
- Tipo Disco
- Tipo Arandela
- Tipo Barra

### 3.3.3.2 Sensor RTD [17], [18], [19]

Las resistencias detectoras de temperatura (RTD) son sensores metálicos que varían su impedancia con respecto a la temperatura, ya que los metales poseen coeficientes térmicos positivos de variación de la resistencia eléctrica y de esta manera obstruyendo el paso de electrones.

Un tipo de RTD son las Pt100 o Pt1000, los nombres de estos sensores hacen referencia de que están fabricados de platino y poseen resistencias de 100 y 1000 ohmios respectivamente a 0 grados Celsius, una gran ventaja de estos dispositivos es que son muy lineales en un gran rango de temperaturas

gracias al platino y su relación resistencia-temperatura. En la figura 12 se puede observar una tabla con los materiales más frecuentes en la construcción de sensores metálicos.

Metales	Resistividad $\rho$	Coefficiente Térmico $K^{-1}$
Platino ( Pt)	$10.6 \times 10^{-8}$	$3.9 \times 10^{-3}$
Níquel (Ni)	$6.84 \times 10^{-8}$	$7 \times 10^{-3}$
Wolframio (W)	$5.6 \times 10^{-8}$	$4.5 \times 10^{-3}$
Cobre (Cu)	$1.68 \times 10^{-8}$	$4.3 \times 10^{-3}$
Molibdeno (Mo)	$5.7 \times 10^{-8}$	$3.7 \times 10^{-3}$

Figura 12. Materiales más utilizados en la fabricación de sensores RTD. [17]

Como se observa en la tabla de la figura 12, el platino es el material con mayor resistividad, esto permite construir hilos más delgados y cortos con resistencia considerable a diferencia de los otros. Por otro lado, el níquel es el material que cuenta con un mayor coeficiente térmico, por lo que este es más sensible a los cambios de temperatura. En la figura 13 se observa una curva característica de un sensor Pt100.

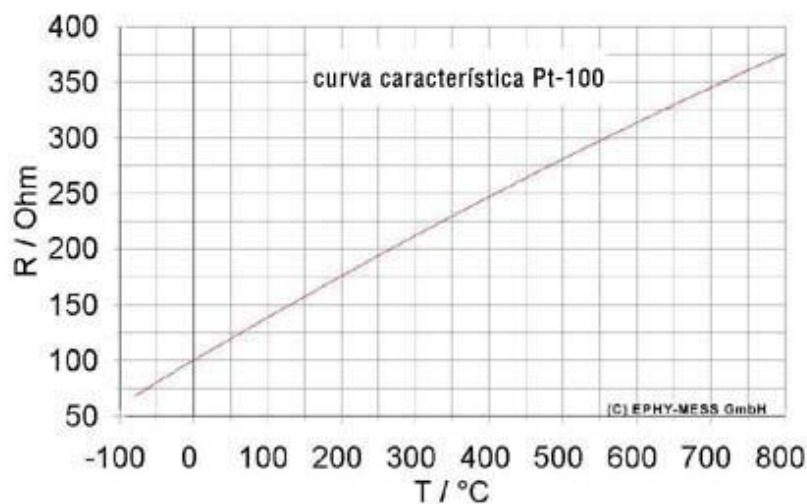


Figura 13. Curva característica de una sonda Pt100. [20]

Los RTDs pueden ser construidos con 2, 3 o 4 hilos. Los de 2 hilos son los más sencillos y más económicos ya que las resistencias de los cables que unen la Pt100 al instrumento receptor se suman y generan un error en la medición, para corregir este fenómeno lo más común es utilizar cables más gruesos para reducir la resistencia de estos y disminuir la incertidumbre en la



medición, o conectar directamente la sonda Pt100 al dispositivo receptor sin utilizar alambres. En la figura 14 se muestra la conexión de una Pt100 con dos hilos.

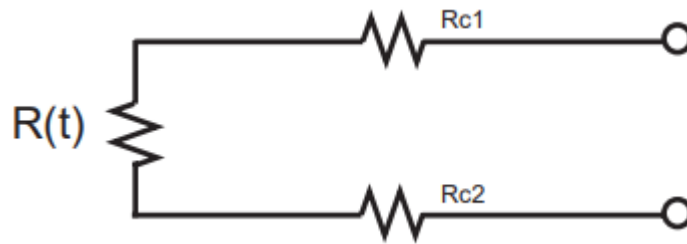


Figura 14. Conexión de Pt100 utilizando configuración de 2 hilos. [19]

El modo de conexión de 3 hilos es el más utilizado y resuelve el problema del error en la medición causada por la resistencia de los dos hilos, el único requisito para obtener lecturas correctas es que los 3 hilos deben tener la misma impedancia, ya que el sistema de medición se basa normalmente en el puente de Wheatstone. En la figura 15 se observa una conexión de 3 hilos utilizando un puente de Wheatstone para la medición.

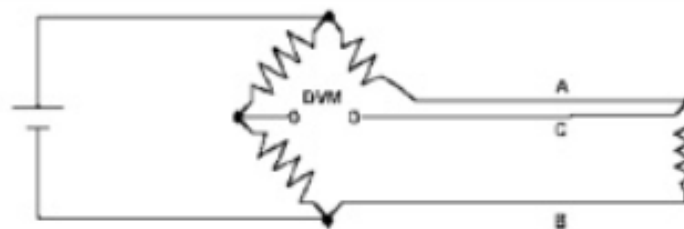


Figura 15. Configuración de 3 hilos en una Pt100. [17]

El método de 4 hilos es el más preciso de todos porque no requiere que los hilos posean la misma resistencia, sin embargo, el instrumento de medición es más costoso, ya que este se encarga de circular una corriente por los cables 1 y 4 mostrados en la figura 16, provocando una caída de tensión en los extremos de  $R(t)$ , los cables 2 y 3 se conectan a un voltímetro de alta impedancia para medir el voltaje de  $R(t)$  y finalmente el dispositivo se encarga de calcular la resistencia de la sonda dividiendo el voltaje obtenido en  $R(t)$  entre la corriente conocida. En la figura 16 se observa una conexión de Pt100 con 4 hilos.

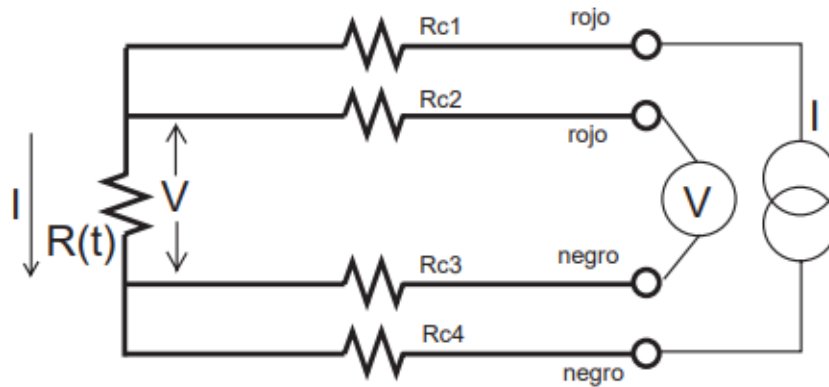


Figura 16. Configuración de 4 hilos en una Pt100. [19]

### 3.3.3.3 Termopares [21]

Este tipo de sensor es también llamado Termocúpula, estos dispositivos miden la temperatura basándose en efectos termoeléctricos. Este dispositivo está formado por un circuito de dos conductores de metales diferentes o dos semiconductores diferentes o un metal y un semiconductor conectados en uno de sus extremos, generando un gradiente de temperatura que genera una fuerza electromotriz y mediante el efecto Seebeck se convierte en electricidad ya que la diferencia de temperatura entre ellos causa una diferencia de potencial en el punto de contacto.

La magnitud de la FEM depende de los materiales de los conductores utilizados, un cuidado que se debe de tener con este tipo de dispositivos es que la contaminación de los metales puede cambiar la composición del material y a su vez influye en la FEM. En la tabla 2 se puede observar los tipos de termopares.

Tabla 2. Tipos de termopares. [21]

Tipo	Alcance Temperatura °C	Materiales y Aleaciones (+) Vs. (-)
Metal - Base		
E	-270 a 1 000	níquel - cromo Vs. cobre - níquel
J	-210 a 1 200	hierro Vs. cobre - níquel
T	-270 a 400	cobre Vs. cobre - níquel
K	-270 a 1 372	níquel - cromo Vs. níquel - aluminio
N	-270 a 1 300	níquel - cromo - silicio Vs. níquel - silicio - magnesio
Metal - Noble		
R	-50 a 1 768	platino - 13 % rodio Vs. platino
S	-50 a 1 768	platino - 10 % rodio Vs. platino
B	0 a 1 820	platino - 30 % rodio Vs. platino - 6 % rodio

En la figura 17 se observan las curvas características de los tipos de termopares.

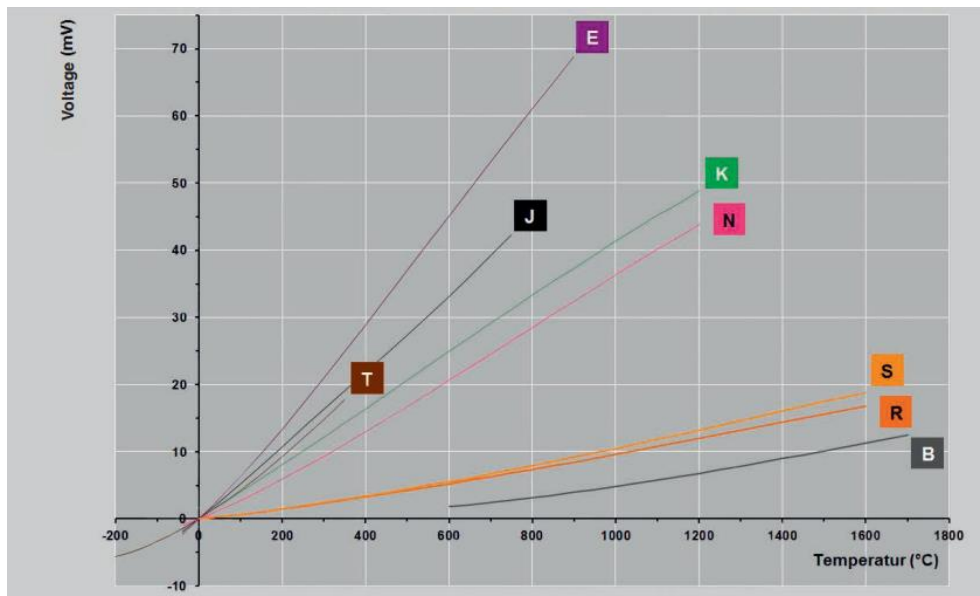


Figura 17. Curvas de tensión termoeléctrica para los diferentes tipos de termopares. [22]

### 3.3.4 Actuadores [13]

Son dispositivos mecánicos que tienen como función proporcionar fuerza para mover otro dispositivo. La fuerza que induce el actuador proviene de tres fuentes posibles: presión neumática, hidráulica y fuerza motriz. Dependiendo de cuál sea la fuerza de origen los actuadores se pueden clasificar en neumático, hidráulico o eléctrico.

### **3.3.5 Electroválvula [5]**

Son conocidas también como válvulas solenoide de uso general, estas válvulas abren o cierran el paso de un gas o fluido líquido. La apertura o cierre de la válvula se basa en impulsos electromagnéticos a un solenoide que atrae un embolo para dejar pasar el agua en este caso.

Un embolo es una pieza metálica ferromagnética, por ello al ser cargado el solenoide de la válvula, este se desplaza por la fuerza magnética hacia el interior de la bobina y alza la aguja de la válvula dándole una función de compuerta.

Este tipo de válvulas tienen dos estados, abierto o cerrado, no se puede utilizar para aplicaciones donde se debe regular el flujo.

#### **3.3.5.1 Tipos de electroválvulas**

En las válvulas de dos vías, normalmente se usan tres modalidades diferentes dependiendo del uso que se le va a dar a la válvula, ya sea acción directa, acción indirecta o acción mixta.

Es importante mencionar que existen válvulas normalmente cerradas (N.C) y normalmente abiertas (N.A). La diferencia de ellas es que en la normalmente cerrada el embolo se encuentra obstruyendo el orificio si la bobina no se encuentra energizada, impidiendo el flujo. La normalmente abierta cuando la bobina no está energizada, el embolo con la ayuda de un resorte permanece separado del orificio permitiendo el flujo, y cuando se energiza la bobina el empuje lo realiza hacia abajo por lo que el embolo obstruye el orificio.

#### **3.3.5.2 Acción Directa**

Este tipo de solenoide es utilizado en válvulas con baja capacidad y puertos pequeños. El embolo está conectado mecánicamente a la aguja de la válvula. Al introducirle corriente a la bobina, el embolo es atraído magnéticamente al interior de está levantando la aguja.

Este tipo de válvula depende del potencial del solenoide para un diferencial de presión determinado, por ello los puertos están limitados al tamaño del solenoide. No se utiliza en sistemas de grandes capacidades porque sería necesario utilizar bobinas más grandes y por lo tanto más costosas.

Cuando la válvula está cerrada la presión interna empuja al embolo hacia el orificio, en algunos casos las válvulas poseen un resorte que ayuda a mantenerlas cerradas, también, tener una presión alta en la entrada y una baja en la salida mantiene el embolo sobre el orificio, entonces mientras más grande sea el diferencial de presión es más difícil abrir la válvula y va a requerir más energía.

Cuando la válvula está abierta, el flujo interno que pasa por el orificio ayuda a mantener el embolo abierto. En la figura 18 se muestra una electroválvula de acción directa.

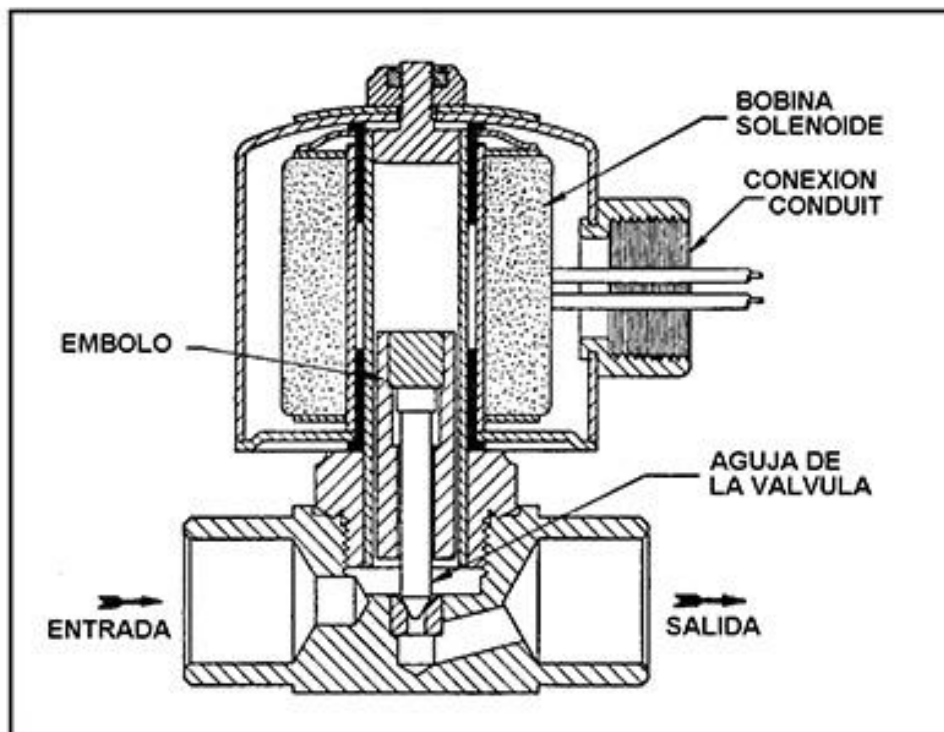


Figura 18. Válvula de solenoide típica de acción directa, normalmente cerrada de dos vías. [12]

### 3.3.5.3 Acción Indirecta

Este tipo de válvula comparte el funcionamiento del mecanismo del embolo mencionado en las válvulas de acción directa, sin embargo, la característica principal de este tipo es que cuando la válvula recibe la señal y

activa el embolo, esta causa la apertura del orificio del piloto y como segunda acción o acción indirecta, descarga el compartimiento superior del diafragma y permite que este se abra o se cierre dando paso al flujo entre las dos terminales del dispositivo.

Este tipo de válvula necesita una presión mínima para su funcionamiento es de 0.2 bar. En este tipo de válvulas también existen válvulas normalmente abiertas y normalmente cerradas. En la figura 19 se puede observar una válvula de acción indirecta.

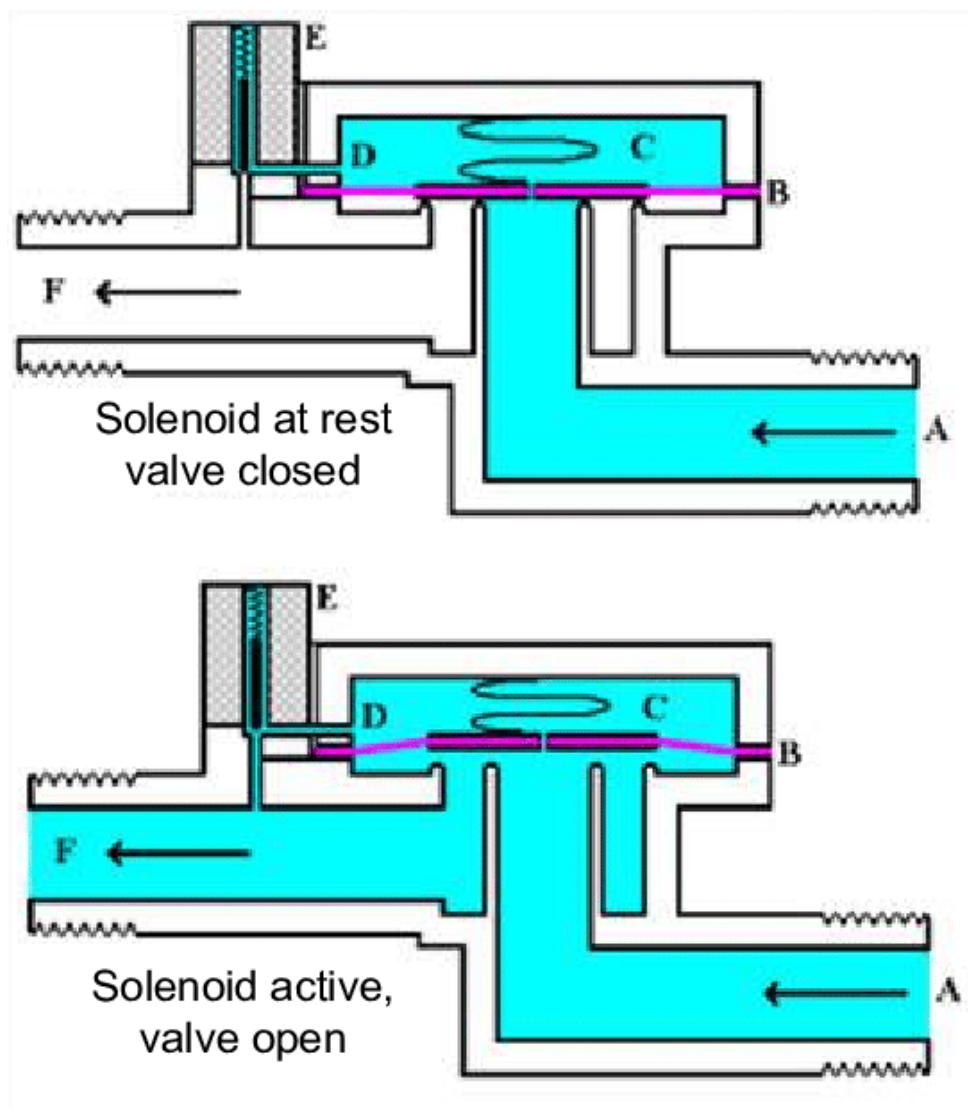


Figura 19. Válvula de solenoide típica de acción indirecta, normalmente cerrada de dos vías. [14]

### 3.3.5.4 Acción Mixta

Este tipo de válvula también comparte el funcionamiento del mecanismo del embolo mencionado en las válvulas de acción directa y también se pueden encontrar en construcciones normalmente abiertas y normalmente cerradas. A diferencia de las de acción indirecta, estas no requieren de una presión mínima para su funcionamiento, pero al igual que las de acción indirecta, requiere de dos tiempos para abrir o cerrar la válvula.

Las válvulas de acción mixta son una mezcla de las de acción directa y acción indirecta. Primero se vacía la presión superior del diafragma para que la presión inferior de este lo empuje hacia arriba y se abra. En este tipo de válvula el embolo esta sujetado por un resorte que facilita el empuje de abajo hacia arriba para abrir el mismo diafragma.

En las válvulas de acción indirecta y mixta, los diafragmas que se utilizan dependen del fluido que atraviesa la tubería. Pueden ser de tres tipos, Buna, Viton o Teflón, la buna soporta temperaturas entre los  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $+90^{\circ}\text{C}$ , este es recomendado para agua aire o gas, el Viton soporta temperaturas entre los  $-10^{\circ}\text{C}$  y los  $+140^{\circ}\text{C}$ , recomendado para aceite, gasolina o Diesel, y por último el teflón soporta las más altas temperaturas entre los  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $+180^{\circ}\text{C}$  comúnmente utilizado para vapor. En la figura 20 se puede observar un ejemplo de válvula de acción mixta.

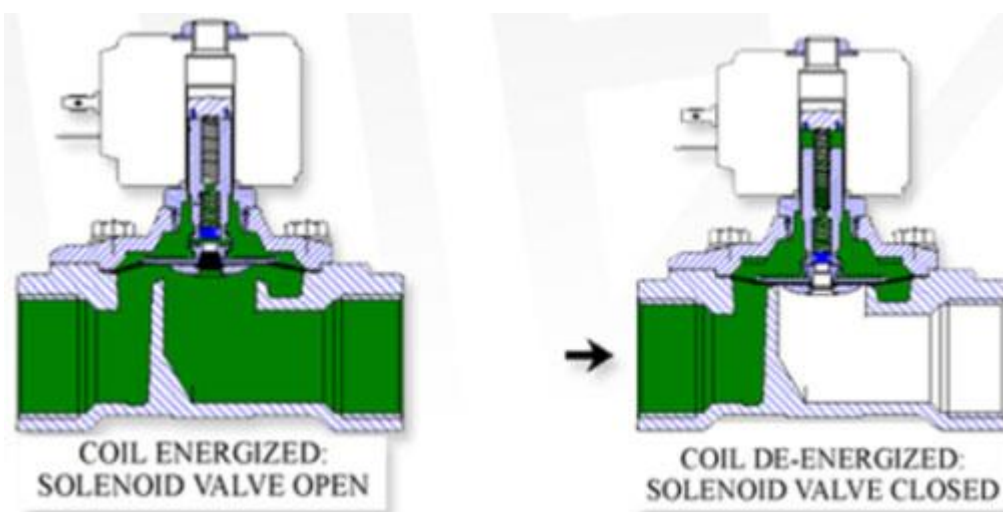


Figura 20. Válvula de solenoide típica de acción mixta, normalmente cerrada de dos vías. [15]

### 3.3.6 PLC [4], [24], [25]

Un controlador lógico programable, conocido por sus siglas en inglés como PLC (*Programmable Logic Controller*), es un dispositivo electrónico utilizado en la automatización industrial, para automatizar procesos, como el control de los diferentes dispositivos o herramientas de una fábrica.

Los PLCs se utilizan para muchas aplicaciones diferentes entre ellos varios tipos de industrias, como la industria alimentaria en el caso de este proyecto. A diferencia de las computadoras ordinarias, el Controlador Lógico Programable está diseñado para tener gran cantidad de entradas y salidas analógicas y digitales, para soportar elevados rangos de temperatura, resistencia al ruido eléctrico, a la vibración mecánica, entre otros, haciendo de ellos un dispositivo electrónico ideal para entornos industriales. En la Figura 21 se muestra un PLC S7-300.



Figura 21. CPU 314C-2PN/DP. [11]

#### 3.3.6.1 Estructura de un PLC

La estructura básica de un Controlador Lógico Programable está compuesta por una CPU, las interfases de entrada y las interfases de salida. En la figura 22 se puede observar un diagrama de esta estructura.



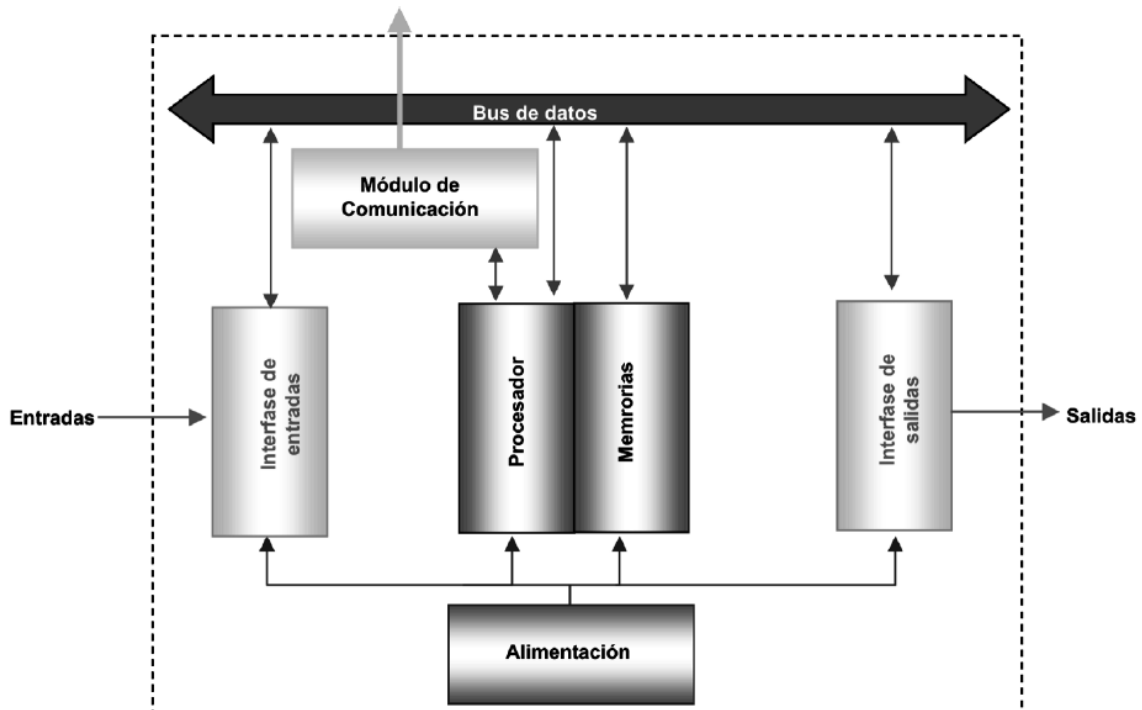


Figura 22. Estructura básica de un PLC. [26]

El procesador se considera como el cerebro del PLC, es el encargado de la ejecución del programa desarrollado por el usuario y administrar la comunicación entre los dispositivos. Por otro lado, hay dos tipos de memorias, estas son las encargadas de almacenar la información en localizaciones bien organizadas:

- La memoria de datos se utiliza para grabar los datos necesarios a los fines de la ejecución del programa. Este tipo de memoria contiene la información sobre el estado presente de los dispositivos de entrada y salida.
- La memoria del usuario es la memoria que se utiliza para guardar el programa, el programa construido por el usuario debe permanecer estable durante el funcionamiento del equipo y por esto para su almacenamiento se utilizan memorias EEPROM para que la información no se pierda, aunque el dispositivo pierda la alimentación.

Los módulos de entradas son los equipos que envían señales al PLC, cada dispositivo de entrada se utiliza para conocer una condición particular del entorno como por ejemplo la temperatura. Por otro lado, los módulos de salida

son los dispositivos encargados de reaccionar o responder a las señales de entrada por medio de actuadores.

La alimentación se encarga de suministrar las tensiones necesarias para el funcionamiento de los diferentes dispositivos del sistema, en el caso de la CPU se alimenta normalmente con 24Vcc o 110/220Vca y la CPU por medio del bus interno se encarga de alimentar las interfaces.

Con la ayuda de los módulos de comunicación es posible combinar sistemas diferentes mediante los protocolos de comunicación PROFINET, PROFIBUS, IWLAN, MPI, WAN, PPI, KNX y AS-interface.

### **3.3.6.2 Operaciones lógicas con bits del PLC**

Las operaciones lógicas con bits operan con dos dígitos, 0 y 1. En el ámbito de contactos y bobinas, el 1 representa la activación y el 0 representa la desactivación. Estas operaciones interpretan los estados de la señal y las combinan con la lógica booleana para producir resultados lógicos (RLO).

Las operaciones lógicas con bits utilizadas fueron el contacto normalmente abierto, el contacto normalmente cerrado, la bobina de relé de salida, leer directamente de periferia y escribir directamente en periferia.

### **3.3.6.3 Operaciones de transferencia**

Se utiliza la operación MOVE para copiar un valor de entrada en otra dirección de salida, esta operación solo puede copiar datos que tengan longitudes de byte, Word y doble Word.

### **3.3.6.4 Operaciones de temporización**

Los temporizadores tienen un área reservada en la memoria de la CPU, esta área de memoria reserva una palabra de 16 bits para cada operando del temporizador. La programación con Ladder o KOP soportan hasta 256 temporizadores.

En el caso del PLC S7-300, se pueden utilizar 3 tipos de temporizadores, el TP (impulso), el TON (retardo al conectar) y el TOF (retardo al desconectar).

La selección del tipo de temporizador depende específicamente de la aplicación requerida.

### **3.3.7 HMI [27], [28]**

Los “*Interfaz Humano Máquina*” (HMI por sus siglas en inglés) son dispositivos que cumplen la función de establecer una comunicación entre una persona y una maquina mediante una interfaz gráfica.

Una interfaz humano-máquina es la unidad de control centralizada para líneas de fabricación, equipada con recetas de datos, registro de eventos, transmisión de video y activación de eventos, para que uno pueda acceder al sistema en cualquier momento y para cualquier propósito. Para que una línea de fabricación se integre con un HMI, primero debe estar trabajando con un controlador lógico programable (PLC). Es el PLC que toma la información de los sensores y la transforma en álgebra booleana, por lo que el HMI puede descifrar y tomar decisiones.

Hay tres tipos básicos de HMI:

- El sustituto de pulsador.
- El manejador de datos.
- El supervisor.

Antes de que el “HMI” llegara a existir, un control podría consistir en cientos de pulsadores y led que realizan diferentes operaciones. El sustituto de pulsador ha simplificado los procesos de fabricación, centralizando todas las funciones de cada botón en una ubicación.

El manejador de datos es perfecto para aplicaciones que requieren retroalimentación constante del sistema o impresiones de los informes de producción. Con el manejador de datos, debe asegurarse de que la pantalla HMI sea lo suficientemente grande como para gráficos, representaciones visuales y resúmenes de producción. El manejador de datos incluye funciones tales como recetas, tendencias de datos, registro de datos y manejo / registro de alarmas.

Finalmente, cada vez que una aplicación involucre a SCADA o MES, un HMI supervisor es extremadamente beneficioso. Es probable que el HMI supervisor supervise Windows y tenga varios puertos Ethernet. En la figura 23 se puede observar un HMI Siemens.



Figura 23. Panel HMI Siemens KTP700 Basic PN. [29]

## **Capítulo 4: Procedimiento metodológico**

En el presente capítulo se dan a conocer las etapas que componen el desarrollo del proyecto, iniciando con el reconocimiento y definición del problema detectado en la empresa, continuando con la etapa de obtención y análisis de información. También se presentan las etapas de evaluación de alternativas y síntesis de la solución, simulación y reevaluación y rediseño de la solución al problema.

### **4.1 Reconocimiento y definición del problema**

Para reconocer el problema inicialmente se realizó una reunión con el ingeniero Bernal Rodríguez del área de mantenimiento industrial, el cual comentó que el proceso de producción de la planta tiene altos consumos de agua al día y que probablemente se debía por el mismo problema que se tuvo en la planta de Tiquicia en el área de duchas.

Se tomó la decisión de entrar a la planta y verificar el sistema de duchas actual. Se determinó que el sistema actual es completamente empírico y el proceso de rociado depende absolutamente del factor humano para llevarse a cabo ya que las válvulas encargadas de suministrar agua a las duchas se accionan de forma manual y se mantiene abiertas el tiempo que el operario cree conveniente.

En conjunto con el ingeniero Frank Paz, supervisor de mantenimiento industrial, se propone un diseño que permite al sistema nuevo de duchas comunicarse con todas las máquinas de la planta en un futuro, para facilitar su monitorización mediante herramientas como los sistemas SCADA.

## 4.2 Obtención y análisis de información

Para conocer el entorno en el que se desenvuelve el proyecto, se realizaron recorridos de planta durante tres semanas para familiarizarse con el proceso de producción, especialmente en el subproceso de rociado. Los operarios encargados del sector de hornos y duchas comentaron que en las duchas no existe regulación de ningún tipo ni registros de actividad.

El cuarto de rociado está compuesto por seis cuadrantes, cada uno de ellos tiene una válvula mecánica que depende de accionamiento manual y el suministro de agua se detiene hasta que el operario empíricamente determine que han pasado dos horas para el caso de los jamones y 37 minutos en el caso de las salchichas.

Un dato importante que destaca el supervisor de hornos es que los operarios no verifican las temperaturas del producto con ningún tipo de herramienta. Todo lo mencionado anteriormente evidencia que el subproceso de duchado de la planta carece de estandarización.

Durante las visitas al cuarto de duchas se tomaron datos del caudalímetro para verificar el consumo hídrico diario promedio, ya que el departamento de mantenimiento registra un consumo promedio mensual de 97,43 metros cúbicos desde agosto del 2018 hasta enero del 2019. El consumo de agua promedio por minuto con todas las duchas abiertas es de 200 litros por minuto.

A partir de las cifras de consumo obtenidas, se llega a la conclusión que el factor humano juega un papel importante en cuanto al desperdicio de agua, ya que con 10 minutos de rociado innecesarios se desperdician alrededor de 2000 litros de agua, una cifra que amenaza el compromiso ambiental de Cargill con el mundo.

### **4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución**

Primeramente, se pensó en realizar un control con un PLC que se encargara de medir la temperatura del producto embutido y que este mediante un controlador PID rociara la cantidad de agua necesaria para alcanzar los 30° Celsius para los jamones y 28° Celsius para las salchichas, sin embargo, la temperatura del producto no es necesario controlarla porque no debemos mantener el producto necesariamente en 30° o 28° respectivamente, estos valores únicamente indican que a partir de ese momento pueden concluir con el subproceso de duchado.

Si las temperaturas disminuyen aún más de las establecidas, no causa ningún daño en el producto, y el producto tampoco va a aumentar de temperatura por sí solo, por lo que no tiene sentido realizar un PID que me estabilice el producto en una temperatura fija.

En conjunto con el superintendente de mantenimiento y el supervisor de hornos se tomó la decisión de implementar programas temporizados compuestos por pausas y tiempos efectivos de rociado. También se incluye la monitorización de temperatura por cuadrante y una interfaz humano-maquina donde el operario sea capaz de seleccionar el programa de enfriamiento para jamones o salchichas y sobre cuales cuadrantes activarlo.

Para determinar el tipo de PLC a utilizar se tomó en consideración usar uno de tipo SIEMENS, ya que algunos técnicos de la planta están familiarizados con este tipo de equipos. También, a pesar de que la empresa no destinó presupuesto para el proyecto, convenientemente se realizaron “pruebas de campo” en el laboratorio SIMTEC del Instituto Tecnológico de Costa Rica y se verificó la funcionalidad del proyecto.

#### **4.4 Implementación de la solución**

Primeramente, se inició con la selección del hardware adecuado para el nuevo sistema, como el tipo de controlador lógico programable, la interfaz humano-máquina, el tipo de sensores y actuadores favorables para el entorno en donde se plantea instalar el sistema, y establecer las conexiones entre cada uno de los dispositivos.

Para implementar la solución con programas temporizados se tuvo que investigar si el controlador elegido tenía funciones de temporizador, de qué tipo y cuál se adapta mejor a la lógica implementada. Por ello se estudió a fondo el funcionamiento de las entradas y salidas del bloque de función temporizador TP.

Para el monitoreo de la temperatura y el flujo fue necesario estudiar la función de escalado del PLC para mapear las señales eléctricas provenientes de los sensores a información de temperatura en grados Celsius en el caso de las sondas PT100 y el caudal en l/min.

Para las simulaciones de las lecturas de los sensores de temperatura en el laboratorio SIMTEC, por falta de componentes se simuló la sonda PT con un potenciómetro que varíe la señal eléctrica AC de 0V a 10V.



## **Capítulo 5: Descripción detallada de la solución**

En este capítulo se muestra una descripción detallada de la solución planteada. Se describe el equipo a utilizar en la planta Cinta Azul y el equipo utilizado en la celda Festo del laboratorio SIMTEC y por último se explica el programa diseñado para el sistema de rociado.

### **5.1 Análisis de soluciones y selección final**

Como primera solución se planteó diseñar un sistema con una interfaz gráfica (Simatic HMI TP700) donde el operario pueda seleccionar el temporizador según el tipo de producto que ingresa a las duchas y la ubicación del producto dentro del salón para que el sistema abra las electroválvulas correspondientes y con la ayuda de un controlador lógico programable (PLC Simatic S7-300) abrir por un tiempo definido las electroválvulas para el rociado.

El sistema de ducha actual cuenta con seis tuberías, una para cada uno de los cuadrantes, por lo que es necesario hacer uso de seis válvulas electrónicas. También, se propuso utilizar un flujómetro electrónico para registrar el consumo hídrico de cada lote, una red de sensores de temperatura que permita monitorear el producto durante el proceso y por último una alarma audiovisual que notifique al operario que terminó el proceso de duchado. En la figura 24 se puede observar un ejemplo de interfaz gráfica para el panel de control.

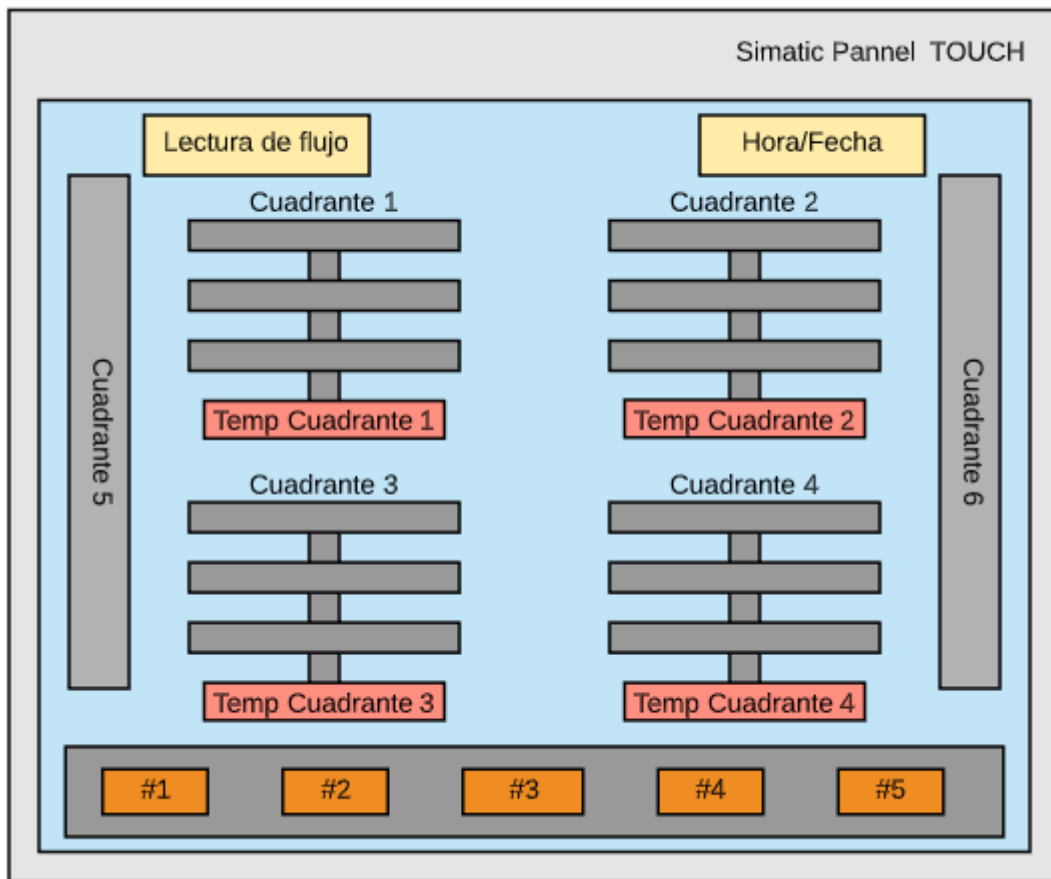


Figura 24. Ejemplo de interfaz gráfica en HMI.

La figura 24 muestra cómo están distribuidos los cuadrantes en el salón de duchado, simulando la forma real de las tuberías. A continuación, se explica brevemente la función de cada botón presente en la interfaz de la figura 24.

- El botón número 1 es utilizado para seleccionar el temporizador 1 para los productos como jamón y salchichón.
- El botón número 2 es utilizado para seleccionar el temporizador 2 para los productos como salchicha y chorizo.
- El botón número 3 es utilizado para seleccionar el temporizador 3, el cual será una manipulación directa de tiempos establecidos por el operario.
- El botón número 4 es utilizado para acceder a los gráficos de temperatura y consumo hídrico.
- El botón número 5 es utilizado para dar inicio al programa temporizado seleccionado.
- Los cuadrantes son botones para accionar la electroválvula deseada.
- Los cuadrantes de temperatura serán donde se visualice esta variable.

Es importante mencionar que el criterio de selección de los componentes de la primera solución es que la empresa esta familiarizada con los PLC's Siemens y HMI Siemens, además de que el laboratorio SIMTEC de la escuela de producción industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica, sede regional San Carlos, cuenta con los componentes necesarios para simular el funcionamiento del proyecto.

Como segunda solución se planteó diseñar un sistema con una interfaz gráfica que consiste en un botón de encendido y otro de paro de emergencia, sensores de temperatura tipo termopar, un microcontrolador de tipo Raspberry Pi encargado de activar las electroválvulas para dar paso al flujo de agua de las tuberías que van a las duchas. Además, en la pantalla se podrá visualizar la temperatura en tiempo real del producto.

Una vez encendido el sistema, se lee la temperatura y el sistema rocía agua fría al producto hasta que los sensores de temperatura de tipo termopar perciban 27 grados Celsius, si tres de los cuadrantes perciben temperaturas por debajo de los 27 grados, pero el cuarto cuadrante percibe temperaturas superiores al rango permitido, ese cuadrante continúa rociando y los demás se detienen. Para esta solución también se propone una interfaz gráfica similar al ejemplo mostrado en la figura 24.

Para esta solución se propone el uso de la Raspberry Pi porque este microcontrolador posee una unidad de procesamiento grafica de alto rendimiento, la Mali-T760 MP4, la cual es de gran ayuda para el procesamiento de la interfaz gráfica del sistema propuesto.

## **5.2 Descripción del Hardware**

Fue necesario conocer detalladamente el funcionamiento del hardware a utilizar, como es el caso del PLC, el HMI, las válvulas de tipo solenoide, los sensores de temperatura RTD y el flujómetro electrónico. En la figura 25 se puede observar el diagrama de bloques del sistema de rociado propuesto.

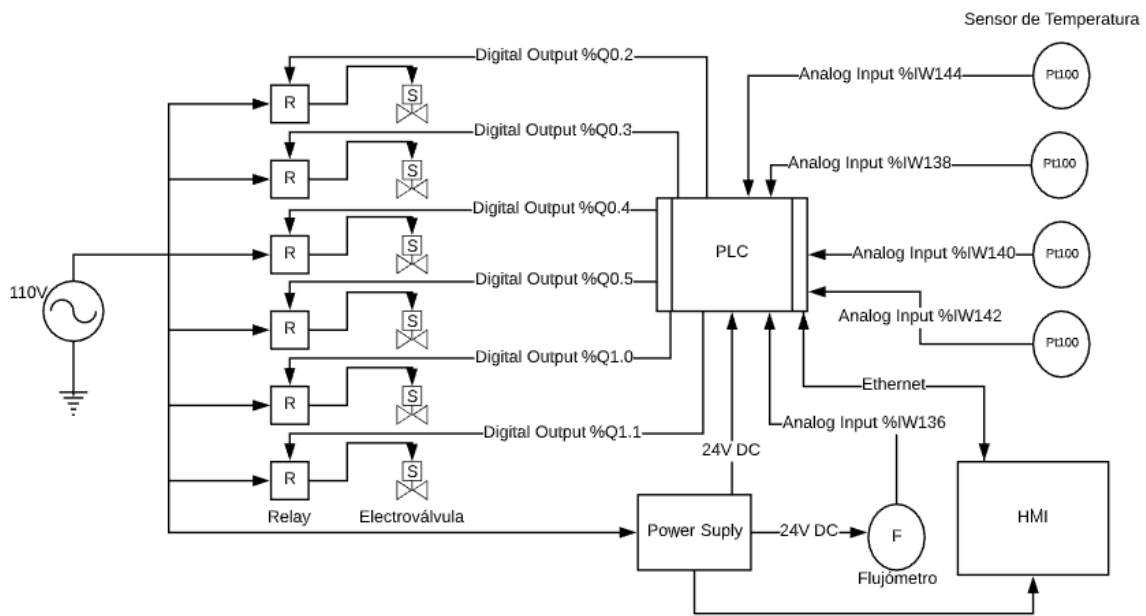


Figura 25. Diagrama de conexión final entre los elementos del sistema de rociado.

Los componentes que se describirán a continuación son los componentes que se utilizarán en la empresa. El PLC y el HMI son los mismos utilizados en las pruebas de campo en la celda Festo del laboratorio SIMTEC.

### 5.2.1 PLC

El controlador elegido para la solución fue el PLC Siemens S7-300 con una CPU 314C-2PN/DP. Este dispositivo es el que contiene el programa de la solución y la ejecuta. En la figura 74 se puede observar el PLC utilizado en celda Festo del laboratorio SIMTEC. En la tabla 3 se puede observar la información pertinente con respecto al hardware del PLC utilizado.

Tabla 3. Especificaciones del PLC.

Información General	
Versión funcional del HW	01
Versión de firmware	V3.3
Paquete de programación	STEP 7 V5.5 o superior con HSP 191
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	24 V DC
Rango admisible, límite inferior (DC)	19,2 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Protección externa para líneas de alimentación	Automático magnetotérmico, curva C, mín. 2 A; automático magnetotérmico, curva B, mín. 4 A.
Puenteo de caídas de red / de tensión	5 ms
Tasa de repetición, mín.	1 s
Tensión de carga L+ entradas digitales	
Valor nominal (DC)	24 V
Protección contra inversión de polaridad	Sí
Tensión de carga L+ salidas digitales	
Valor nominal (DC)	24 V
Protección contra inversión de polaridad	No
Intensidad de entrada	
Consumo (Valor nominal)	850 mA
Consumo (en marcha en vacío), típico	190 mA
Intensidad de cierre, típico	5 A
$I^2t$	0,7 A <sup>2</sup> s
Entradas digitales de la tensión de carga L+ (sin carga), máx.	80 mA
Salidas digitales de la tensión de carga L+, máx.	50 mA
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	14 W

Memoria	
Memoria de trabajo integrada	192 kbyte
Memoria de carga enchufable (MMC)	Sí
Memoria de carga enchufable (MMC), máx.	8 Mbyte
Conservación de datos en MMC (tras última programación), mín.	10 años
Respaldo existente	Sí; garantizado por la MMC (sin mantenimiento)
Respaldo sin pila	Sí; Programa y datos
Configuración del hardware	
Número de aparatos de ampliación, máx.	3
Entradas Digitales	
Número de entradas digitales	24
Tensión de entrada valor nominal (DC)	24 V
Para señal "0"	-3 a +5 V
Para señal "1"	+15 a +30 V
Salidas Digitales	
Número de salidas digitales	16
Tensión de salida para señal "1", mín.	L+(-0.8 V)
Intensidad para señal "1", valor nominal	500 mA
Intensidad para señal "1", rango admisible, mín.	5 mA
Intensidad para señal "1", rango admisible, máx.	0.6 A
Intensidad de carga mínima para señal "1"	5 mA
Intensidad residual máxima para señal "0"	0.5 mA
Entradas analógicas	
Número de entradas analógicas	5
Con medición de tensión/intensidad	4
Con medición de resistencia/termorresistencia	1
Tensión de entrada máx para entrada intensidad	5 V; permanente
Tensión de entrada máx para entrada de tensión	30 V; permanente
Intensidad de entrada máx para ent de corriente	50 mA; permanente
Rangos de entrada de tensión	±10 V; 0 V a 10 V
Rangos de entrada de intensidad	±20mA; 0 a 20mA; 4 a 20mA

Rangos de entrada de termorresistencias	Pt100/10 MΩ
Rangos de entrada de resistencias	0 a 600Ω/10 MΩ
Salidas analógicas	
Número de salidas analógicas	2
Rangos de salida de tensión	0 a 10 V / -10 a 10 V
Rangos de salida de intensidad	0 a 20mA; -20 a 20mA; 4 a 20mA
Sensores compatibles	
Sensor a 2 hilos	Si
Intensidad permitida en reposo, máx.	1,5 mA
Interfaces	
Número de interfaces Industrial Ethernet	1;2 puertos (switch) RJ45
Número de interfaces PROFINET	1;2 puertos (switch) RJ45
Número de interfaces RS485	1; MPI/PROFIBUS DP
Condiciones ambientales	
Temperatura ambiente mínima en servicio	0°C
Temperatura ambiente máxima en servicio	60°C
Dimensiones	
Ancho	120mm
Alto	125mm
Profundidad	130mm
Pesos	
Peso, aproximado	730 g

## 5.2.2 HMI

En la tabla 4 se muestra la información pertinente del HMI a utilizar.

Tabla 4. Información técnica del HMI. [30]

Información General	
Designación del tipo de producto	TP700 Comfort
Display	
Diagonal de pantalla	7 pulgadas
Anchura del display	152,4 mm
Altura del display	91,4 mm
Resolución de imagen horizontal	800 pixeles
Resolución de imagen vertical	480 pixeles
Elementos de mando	
Teclas de función	No
Teclas con LED	No
Teclas del sistema	No
Teclado numérico	Sí, en pantalla
Teclado alfanumérico	Sí, en pantalla
Variante con pantalla táctil	Sí
LEDs como periferia de salida S7	No
Teclas como periferia de entrada S7	No
Botones táctiles como periferia de entrada S7	32
Tensión de alimentación	
Tipo de tensión de alimentación	DC
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	19,2 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	0,5 A
Intensidad transitoria de conexión $I^2t$	0,5 A <sup>2</sup> *s
Potencia	
Consumo de potencia activa, típico	12 W



Procesador	
Tipo de procesador	x86
Memoria	
Memoria Flash	Sí
Memoria RAM	Sí
Memoria usable para datos de usuario	12 Mbyte
Hora	
Reloj de hardware (en tiempo real)	Sí
Reloj por software	Sí
Respaldo	Sí, duración típica del buffer: 6 semanas
Sincronizable	Sí
Interfaces	
Número de interfaces industrial Ethernet	1; 2 puertos (switch)
Número de interfaces USB	2; USB 2.0 1; 5 polos
Número de slot para tarjetas SD	2
Protocolos	
PROFINET	Sí
Soporta protocolo para PROFINET IO	Sí
IRT	Sí; WinCC V12 o superior
PROFIBUS	Sí
MPI	Sí
Grado de Protección y clase de protección	
IP (frontal)	IP65
Enclosure Type 4 en el frente	Sí
Enclosure Type 4x en el frente	Sí
IP (lado posterior)	IP20
Condiciones ambientales	
En servicio (montaje vertical)	0°C; mín. 50°C; máx.

En servicio (máx. ángulo de inclinación)	0°C; mín. 40°C; máx.
Temperatura ambiente en almacenaje / transporte	-20°C; mín. 60°C; máx.
Humedad relativa del aire en servicio máximo	90%, sin condensación.
<b>Elementos mecánicos / material</b>	
Material de la caja en el frente	Aluminio
<b>Dimensiones</b>	
Ancho del frente de la caja	214 mm
Alto del frente de la caja	158 mm
Recorte para montaje, ancho	197 mm
Recorte para montaje, alto	141 mm
Profundidad de montaje	63 mm
<b>Pesos</b>	
Peso sin embalaje	1,4 kg
Peso incl. embalaje	1,6 kg

### 5.2.3 Válvula Solenoide [33]

Un requisito para seleccionar la electroválvula es que esta pueda trabajar con una presión de agua de 60 psi o 4.2 bar, con una temperatura de fluido de 5°C. Además, se busca una válvula en acero inoxidable para que cumpla con los estándares de inocuidad de la planta. En la figura 26 se muestra la válvula seleccionada.



Figura 26. Electroválvula ASCO seleccionada.

En la tabla 5 se describe las características de la válvula solenoide a utilizar.

Tabla 5. Descripción de parámetros de la válvula solenoide.

Parámetro	Descripción
Construcción del cuerpo	Acero inoxidable
Tipo	Normalmente Cerrada
Numero de vías	2
Altura	117 mm
Ancho	61 mm
Largo	71 mm
Diámetro de conexión	½ pulg
Factor de flujo Kv	1.9 m <sup>3</sup> /h
Presión diferencial de operación, mín.	0.0 bar o 1 psi (agua)
Presión diferencia de operación, máx.	9 bar o 125 psi (agua)
Temperatura máxima del fluido	82°F o 28°C
Potencia nominal	6.1 W
Clase de aislamiento	F
Alimentación	110 V AC; 60 Hz
Encapsulado	RedHat II; a prueba de agua y explosión

#### 5.2.4 Sonda Pt100[34]

Se seleccionó este tipo de sensor de termorresistencia por recomendación del jefe de mantenimiento, ya que este tipo de sonda tiene mayor precisión y opera de manera lineal en altos rangos de temperatura.

En la tabla 6 se describe las características de las sondas Pt100 a utilizar.

*Tabla 6. Descripción de parámetros de la sonda Pt100.*

Parámetro	Descripción
Número de hilos	2, teflonados
Resistencia	100 $\Omega$ a 0°C
Curva alfa	0.00385 $\Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$
Tolerancia a 0°C	$\pm 0.12\%$
Rango de temperatura	-40°C a 200°C
Largo de los hilos	84 pulgadas
Vaina de acero inoxidable	3/16" de diámetro x 18" de largo

#### 5.2.5 Flujoómetro [35]

El sensor de flujo a utilizar es frecuentemente utilizado en la empresa, y por recomendación del departamento de mantenimiento se selecciona para ser utilizado en el nuevo sistema. Este dispositivo si fue incluido en la inversión inicial del sistema, ya que dentro del inventario de bodega este se encuentra agotado.



Figura 27. Sensor de flujo Bürkert. [35]

En la tabla 7 se describe las características del flujómetro a utilizar

Tabla 7. Descripción de los parámetros del flujómetro.

Parámetro	Descripción
Carcasa del sensor	Acero inoxidable
Tensión de alimentación	12 a 36 V CC
Salida	Frecuencia: 0..300 Hz
Intervalo de medida	0,5 a 1000 l/min
Temperatura ambiente	-10°C a 60°C
Temperatura del fluido	0°C a 80°C
Humedad relativa	≤ 80%, sin condensación
Precisión	±0,5%
Protección	IP67

## 5.2.6 Interconexión del Hardware

Primeramente, para la alimentación del PLC, se toma una fuente de alimentación de tipo siemens, en este caso la 3C7 1EA01-0AA0 y se conecta como se muestra en la figura 28.

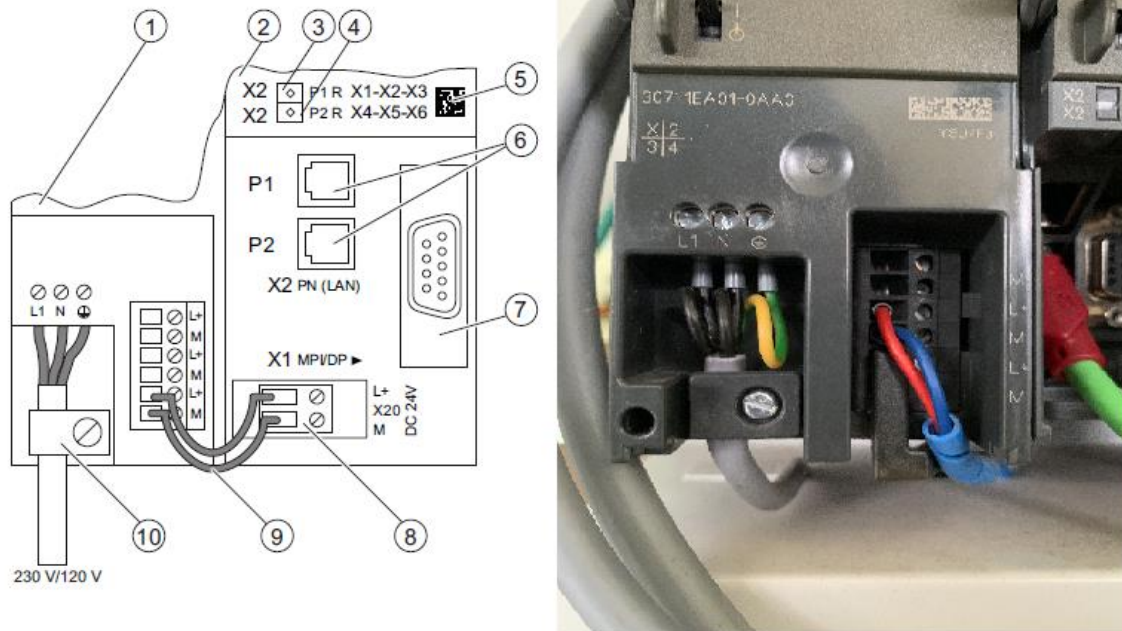


Figura 28. Conexión del PLC a la fuente de poder.

En la figura 28 se observa que la fuente de alimentación tiene 3 salidas de 24 V DC, esto para alimentar 3 dispositivos diferentes, esta fuente es utilizada para alimentar el PLC y el HMI al mismo tiempo. Esta fuente no fue contemplada dentro de la inversión inicial ya que la empresa cuenta con estos módulos en la bodega de repuestos.

Para conectar el PLC al HMI se utilizó el protocolo PROFINET, conectando directamente mediante un cable industrial Ethernet la interfaz X2 (PN) del PLC a cualquier puerto ethernet en el HMI. En la figura 29 se muestra la conexión física.

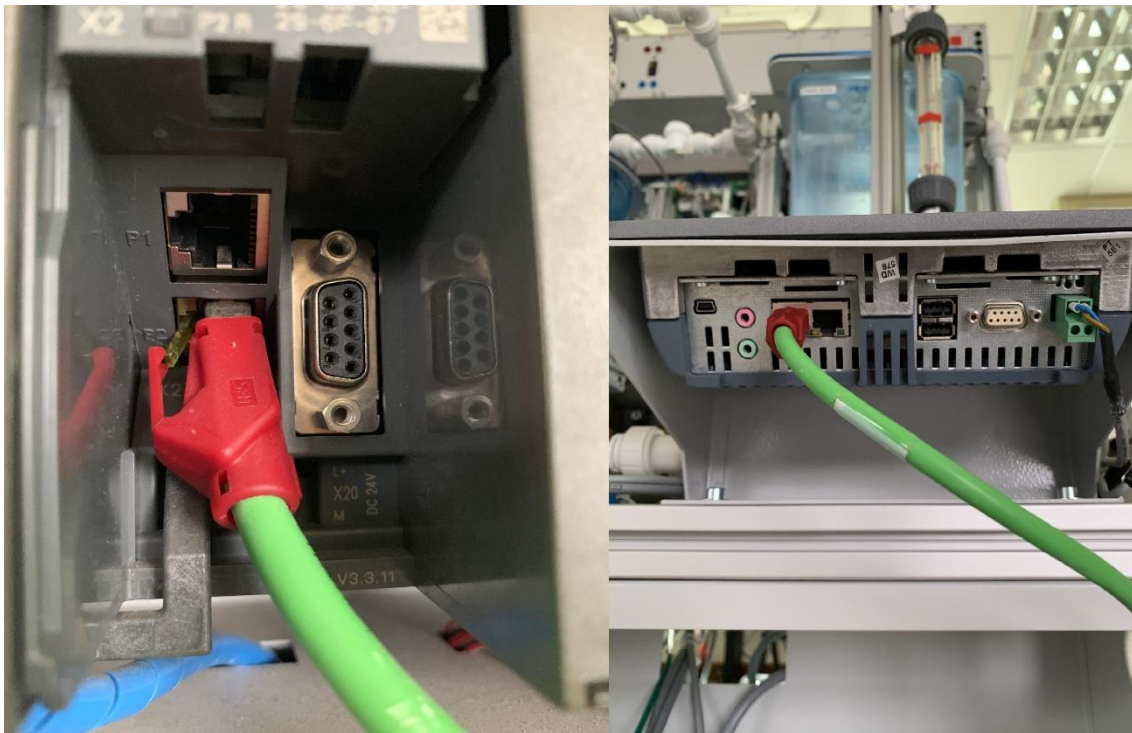


Figura 29. Interconexión entre PLC y HMI.

Seguidamente para conectar los sensores únicamente se requiere hacer la conexión directa al conector frontal del PLC, ya que las señales eléctricas transmitidas del sensor al PLC se encuentran dentro de los rangos admisibles de las entradas. En la figura 30 se muestra cómo se cablean los sensores al conector frontal del PLC.

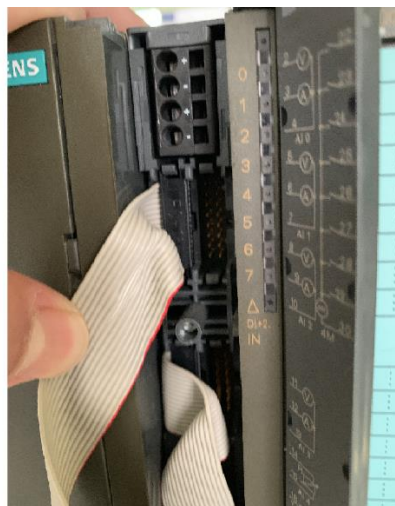
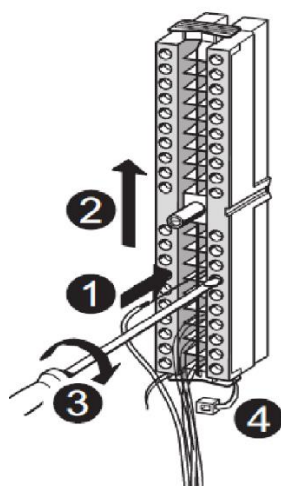


Figura 30. Cableado de sensores al conector frontal del módulo de señales del PLC.

Como los sensores se cablean directamente al PLC, tenemos que especificar en cuales entradas se conectara cada uno de ellos. En la tabla 8 se muestran las entradas del sistema.

Tabla 8. Descripción de las entradas del PLC del sistema.

Entrada	Tipo	Descripción
%IW144	Analógica	Señal de sensor de temperatura 1
%IW138	Analógica	Señal de sensor de temperatura 2
%IW140	Analógica	Señal de sensor de temperatura 3
%IW142	Analógica	Señal de sensor de temperatura 4
%IW136	Analógica	Señal de sensor de flujo

Para la conexión de los actuadores, se realiza de manera similar a los sensores, pero las salidas del PLC deben ir conectadas a un relé, ya que las válvulas funcionan con 110 voltios y el PLC no está diseñado para suministrar la potencia a ese tipo de equipos. Los relés no fueron incluidos en la inversión inicial, ya que el departamento de mantenimiento cuenta con gran cantidad de contactores y relés en bodega. En la tabla 9 se describen las salidas del PLC que van conectadas a cada una de las electroválvulas.

Tabla 9. Descripción de las salidas del PLC del sistema.

Salida	Tipo	Descripción
%Q0.2	Digital	Apertura de electroválvula 1
%Q0.3	Digital	Apertura de electroválvula 2
%Q0.4	Digital	Apertura de electroválvula 3
%Q1.1	Digital	Apertura de electroválvula 4
%Q1.0	Digital	Apertura de electroválvula 5
%Q0.5	Digital	Apertura de electroválvula 6

### 5.3 Descripción del Software

El software está descrito por un diagrama de flujo que representa la estructura general del programa, el cual será útil para determinar la secuencia de pasos que debe seguir la persona que interactuará directamente con la máquina. En la figura 31 se muestra el diagrama de flujo del programa.



## Proceso de Rociado

Javier Acevedo Arias | August 18, 2019

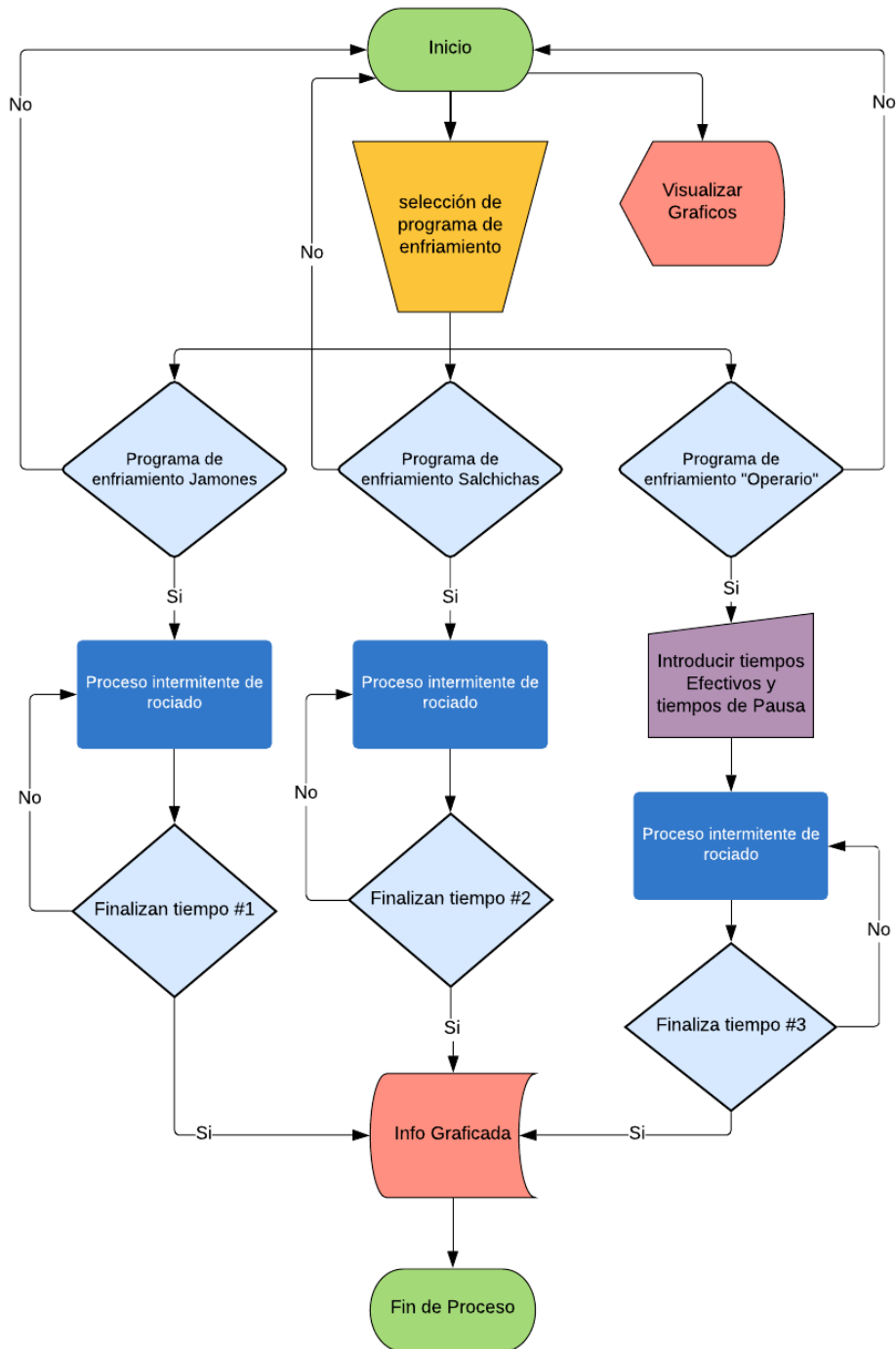


Figura 31. Diagrama de flujo del programa.

El programa fue desarrollado en la herramienta TIA Portal V13 de Siemens, en esta se programó el PLC mediante el lenguaje escalera, se

programó la interfaz del HMI, se simuló el funcionamiento del programa con S7-PLCSIM y también se simuló con S7-PLCSIM. Una vez obtenidos los resultados deseados, se realizaron las pruebas de campo en la celda Festo del laboratorio SIMTEC de la escuela de producción industrial.

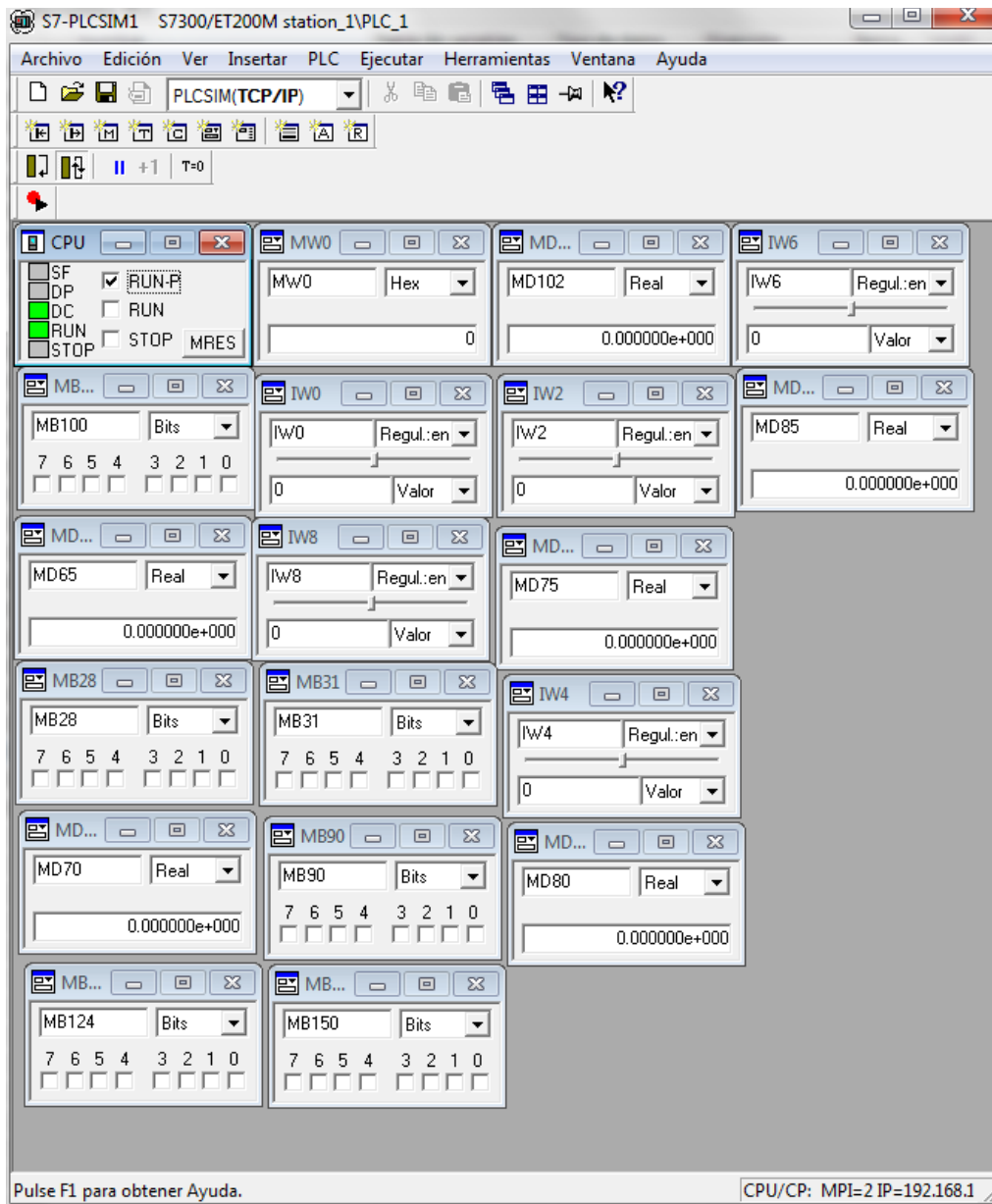


Figura 32. Interfaz del PLCSIM.

En la figura 32 se puede observar la interfaz del PLCSIM donde se interactúa con las variables programadas en el PLC, ya sean entradas/salidas analógicas o digitales (como la entrada *IW0* mostrada en la figura), activación de marcas por bit (como es el caso de la *MB100*) y lectura de marcas (como es el caso de la *MD70*).

Este simulador permite visualizar lo que está pasando con nuestras variables, si está obteniendo las lecturas correctas o si responden la activación inmediata del bit.

### 5.3.1 Rutina de inicio de programa y paro de emergencia del HMI

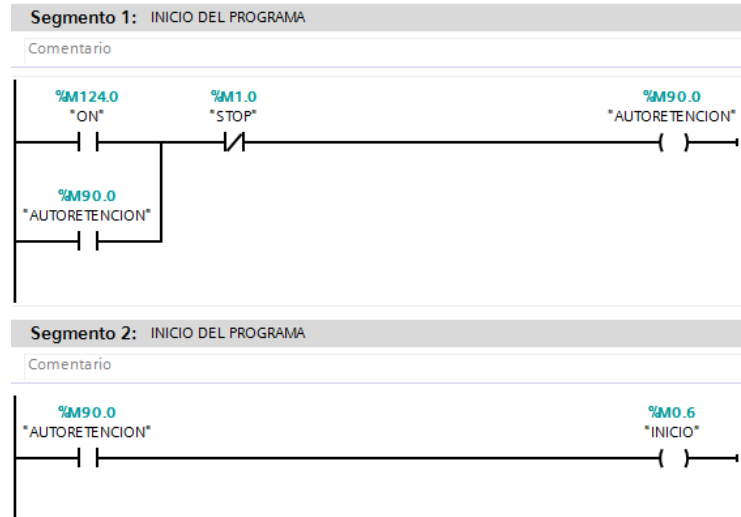


Figura 33. Inicio del programa.

En el segmento 1 y 2 de la figura 33 se muestra una configuración de autorretención donde la marca `%M124.0 "ON"` y `%M1.0 "STOP"` representan botones en el HMI utilizado. Si el operario presiona el botón de encendido ("ON") el contacto pasa de un valor lógico de 0 a un valor lógico de 1, activando a su vez el contacto normalmente abierto y la bobina de salida llamada "autoretencion" y una vez activada la marca `%M90.0`, en el segmento dos se activa la bobina de salida llamada "INCIO" con la marca `%M0.6`.

Esta marca es la encargada de habilitar o deshabilitar otras partes del programa, si el operador presiona el botón conectado a la marca `M1.0 "STOP"`, el contacto normalmente cerrado pasaría de un valor lógico de 1 a un valor lógico de 0, esto provocaría la interrupción de corriente en la bobina de salida "AUTORETENCION" y, por lo tanto, desactivaría la bobina de salida llamada "INICIO".

### 5.3.2 Rutina de programa temporizado 1 del HMI

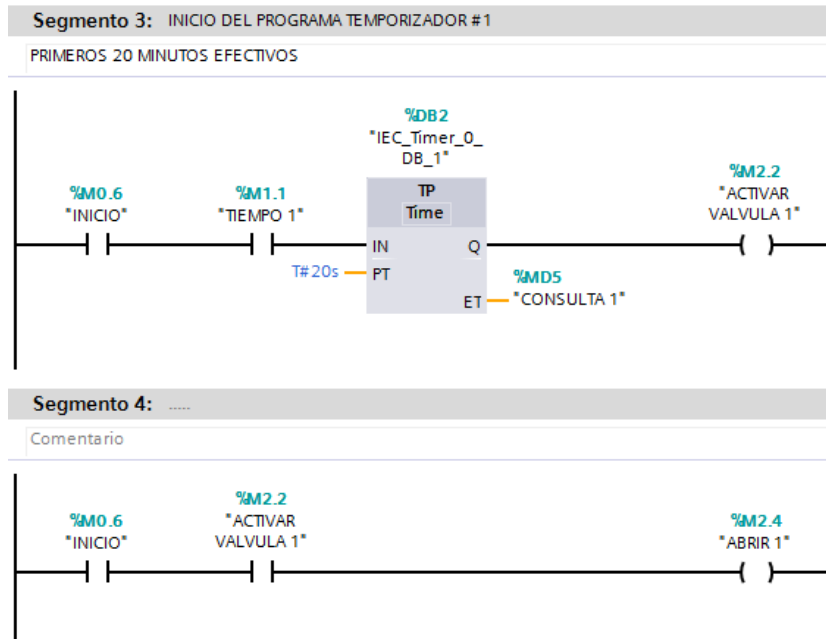


Figura 34. Primer tiempo efectivo de rociado.

En el segmento 3 y 4 del programa presentes en la figura 34 se muestra la forma en que el temporizador de tipo “TP” (activación por impulso) se establece que cuando el operario presione “ON” y seleccione la marca %M1.1 “Tiempo 1” (el programa temporizado #1) en la interfaz, el temporizador %DB2 activará la bobina de salida llamada “Activar Válvula 1” por 20 segundos.

Cuando la marca %M2.2 posea el valor lógico 1 y la marca %M0.6 también posea el valor lógico 1, la bobina de salida con la marca %M2.4 “Abrir 1” cambiara su estado lógico de 0 a 1. Una vez finalizado los 20 segundos del temporizador, este desactivara la marca %M2.2 y por lo tanto desactivara la marca %M2.4.

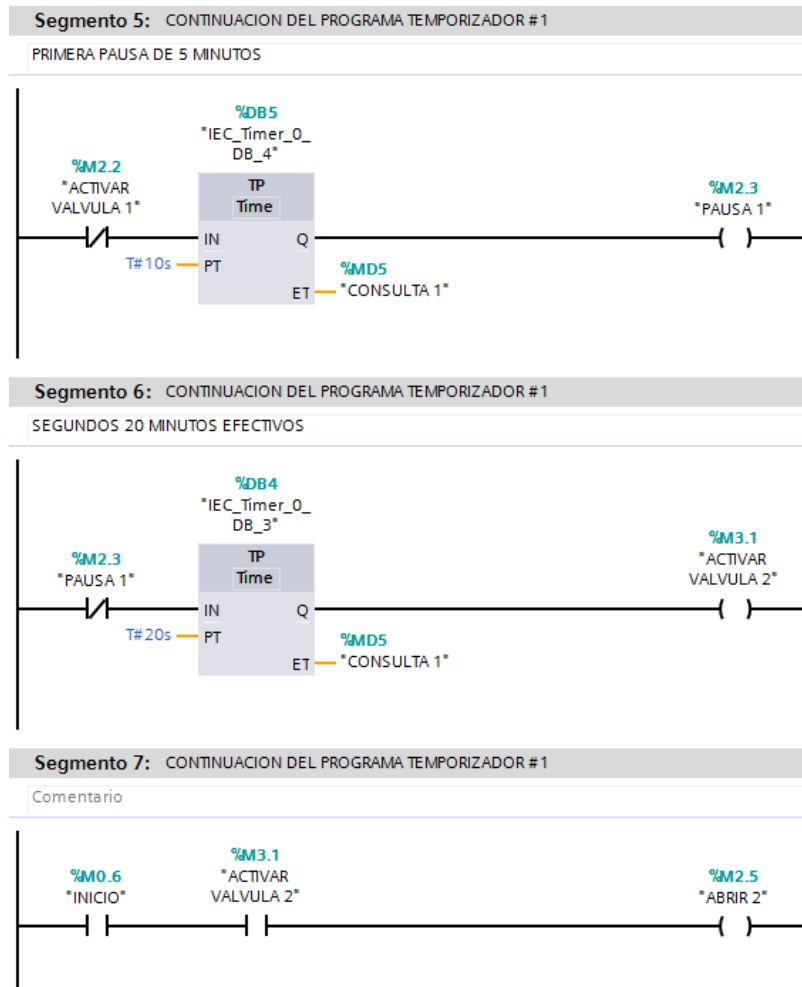


Figura 35. Primera pausa del programa y segundo tiempo efectivo de rociado.

En el segmento 5 presente en la figura 35 se puede observar que la marca *%M2.2* activara el temporizador *%DB5* cuando finalice el tiempo de conteo del temporizador *%DB2* presente en la figura 34. Una vez que inicie el conteo del temporizador *%DB5*, la bobina de salida con la marca *%M2.3* “Pausa 1” obtendrá un valor lógico de 1, esta marca es creada simplemente para que el sistema en ese tiempo no realice ninguna acción.

Al finalizar el conteo del temporizador del segmento 5, el contacto normalmente cerrado conectado a la marca *%M2.3* presente en el segmento 6, generará el impulso necesario para activar el temporizador perteneciente al segundo tiempo efectivo de rociado del programa temporizado #1 y este activará la bobina de salida con la marca *%M3.1* “Activar Válvula 2” y a su vez se activará la bobina de salida con la marca *%M2.5* “Abrir 2”.

Para completar el programa temporizado #1 se repitieron los pasos de las figuras 34 y 35 hasta completar cinco bloques de tiempos efectivos de 20

segundos cada uno y 4 bloques de pausas de 10 segundos cada uno, se programaron esos tiempos con la finalidad de facilitar la demostración funcional del sistema en la celda Festo del laboratorio SIMTEC.

### 5.3.3 Rutina de programa Temporizado 2 del HMI

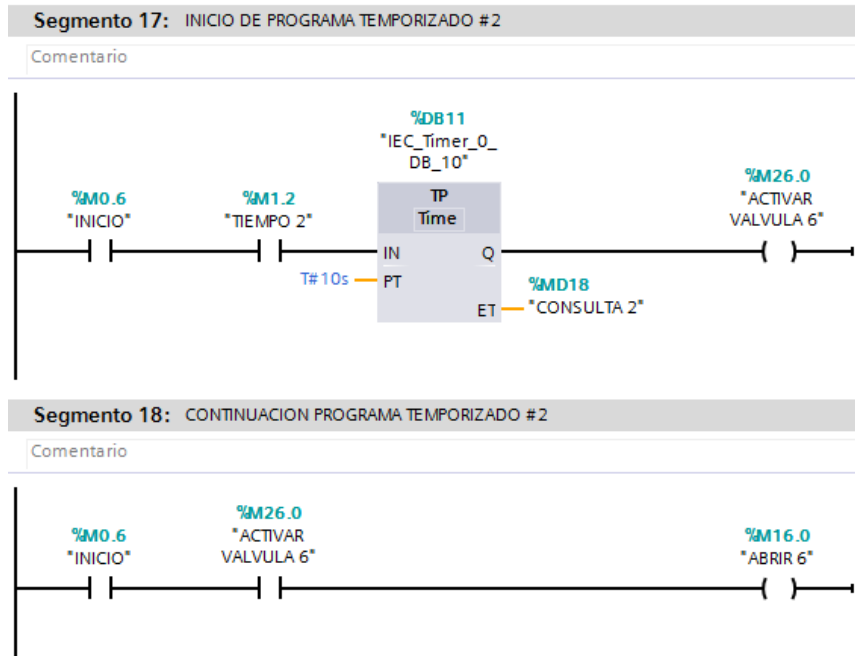


Figura 36. Inicio de programa temporizado 2.

Al igual que el programa temporizado #1, en el segmento 17 presente en la figura 36 se muestra que, para dar inicio al programa, el operario debe encender el sistema habilitando la marca "Inicio" y seguidamente seleccionando el botón del programa temporizado #2, el cual está conectado a la marca **%M1.2 "Tiempo 2"**.

Una vez activados los contactos de "Inicio" y "Tiempo 2", el temporizador **%DB11** contará 10 segundos y durante ese tiempo activará la bobina de salida con la marca **%M26.0 "Activar Válvula 6"** y a su vez se activará la bobina de salida con la marca **%M16.0 "Abrir 6"**.

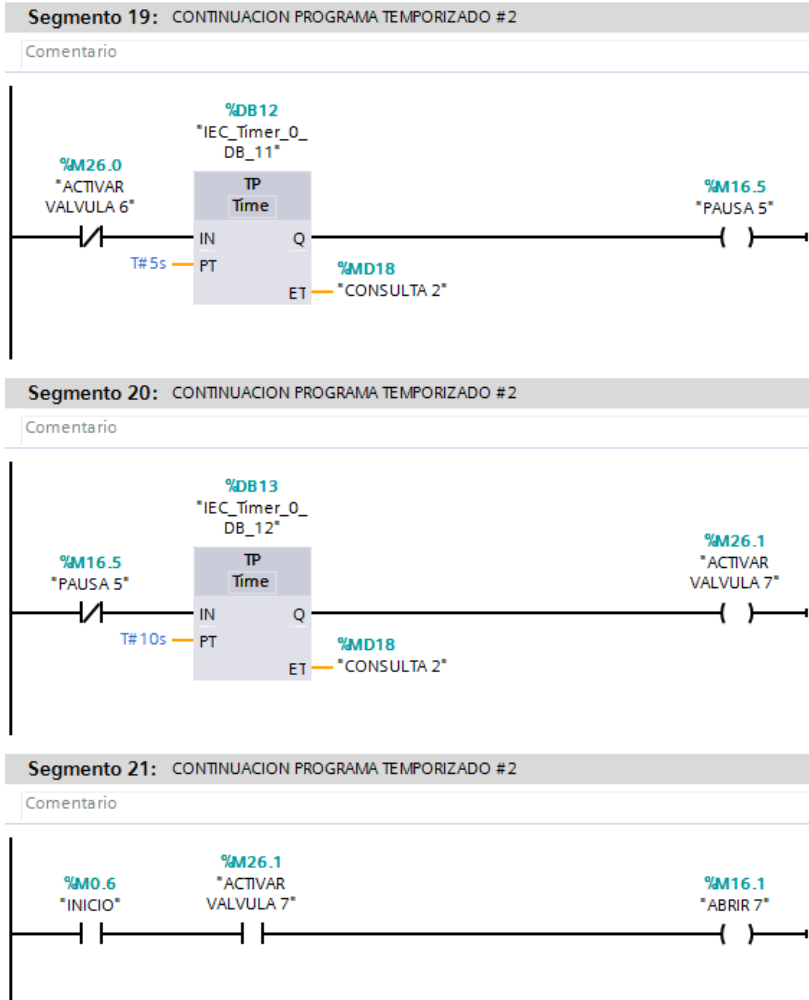


Figura 37. Primera pausa del programa temporizado 2 y segundo tiempo efectivo del mismo.

En el segmento 19 presente en la figura 37 se observa que el contacto normalmente cerrado que está conectado a la marca %M26.0 activa el temporizador %DB12 por 5 segundos una vez que termine de contar el temporizador %DB11. Cuando el temporizador %DB12 este activo, la bobina de salida con la marca %M16.5 “Pausa 5” obtiene un valor lógico de 1, por lo que el sistema se mantendrá en pausa sin dispensar agua.

Una vez que finaliza el conteo del temporizador %DB12, el resultado lógico de la bobina de salida con la marca %M16.5 pasa a ser 0, generando un impulso en el contacto normalmente cerrado del segmento 20 y activando a su vez el temporizador %DB13, una vez que inicie el conteo de este temporizador, se activará la bobina de salida con la marca %M26.1 “Activar Válvula 7” durante 10 segundos, este temporizador corresponde al segundo tiempo efectivo de rociado del programa temporizado #2.

Para completar el programa temporizado #2 se repitieron los pasos de las figuras 36 y 37 hasta completar cinco bloques de tiempos efectivos de 10 segundos cada uno y 4 bloques de pausas de 5 segundos cada uno, se programaron esos tiempos con la finalidad de facilitar la demostración funcional del sistema en la celda Festo del laboratorio SIMTEC.

#### **5.3.4 Rutina de programa temporizado 3 del HMI**

Al igual que el programa temporizado 1 y 2, el programa temporizado 3 debe ser seleccionado por el operador mediante el uso de los botones "Inicio" y "Tiempo 3", pero a diferencia de los programas anteriores, este programa permite interactuar al operador con los tiempos efectivos de rociado y los tiempos de pausa, ya que el programa 1 está diseñado únicamente para jamones y el programa 2 está diseñado únicamente para salchichas, ya que estos son los productos con mayor margen de ganancia para la empresa.

La empresa produce también muchos otros productos diferentes con diferentes tiempos de rociado, por lo que este programa temporizado está hecho para satisfacer el resto de los productos que quedan por fuera de los programas 1 y 2.



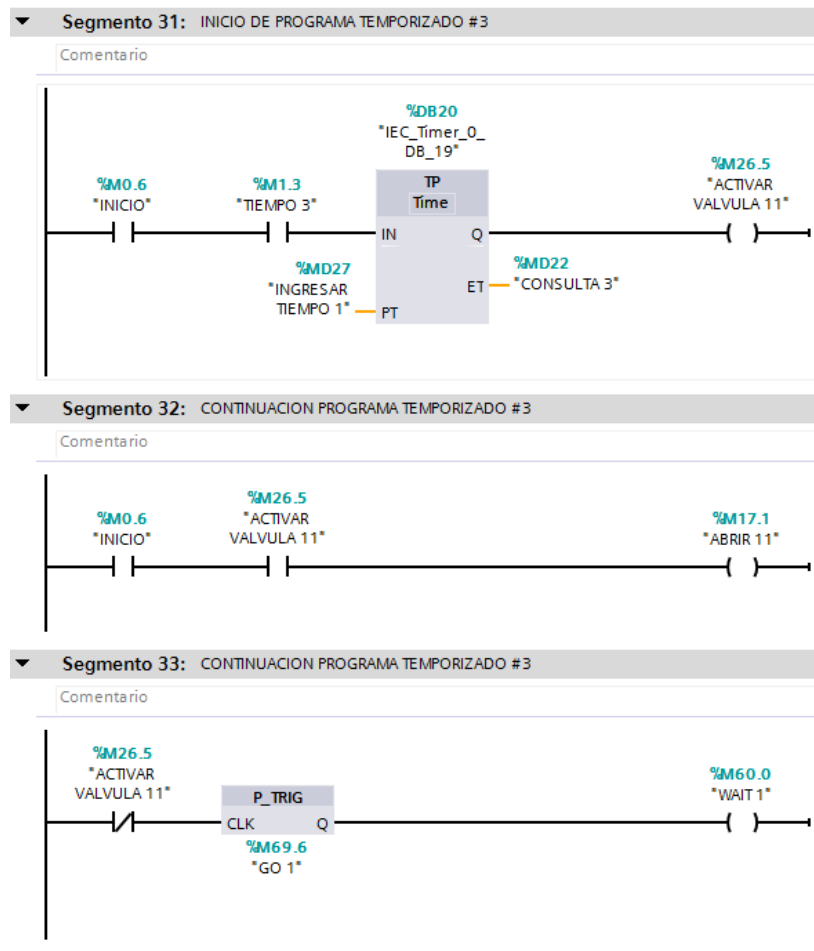


Figura 38. Inicio de programa temporizado 3.

En el segmento 31 de la figura 38, se puede observar que el operador aparte de presionar “Inicio” y “Tiempo 3”, debe ingresar en la consola (HMI) un tiempo en segundos al temporizador *%DB20*, conectado en la marca *%MD27* “Ingresar Tiempo 1”, una vez ingresado el primer tiempo efectivo, el temporizador iniciará el conteo y la bobina de salida con la marca *%M26.5* “Activar Válvula 11” obtendrá un 1 lógico y a su vez activará la bobina de salida *%M17.1* “Abrir 11” presente en el segmento 32.

En el segmento 33 se observa un bloque de función llamado “P\_TRIG”, esta instrucción permite consultar un cambio del estado lógico de “0” a “1”, compara el estado lógico actual del operando “Go 1” con el estado lógico del operando “Go 1” anterior. Si la instrucción detecta un cambio de resultado lógico de “0” a “1”, significa que hay un flanco de señal ascendente, y por lo tanto, la salida de la instrucción devuelve un estado lógico de “1”, en todos los demás casos la instrucción devuelve un estado lógico de “0” en la salida.

Antes de poner en marcha el programa temporizado 3, el contacto normalmente cerrado conectado a la variable “Activar Válvula 11” del segmento 33 se encuentra en un estado lógico de “encendido”, por lo que en la marca %M69.6 “Go 1” guardará un resultado lógico (RLO) de “1”, en el momento que se pone en marcha el programa temporizado 3, la marca %M26.5 del segmento 33 cambiara su estado lógico a “0” y el operando “Go 1” obtendrá un nuevo RLO de “0”, por lo tanto, la salida de la instrucción “P\_TRIG” devuelve a la salida un valor de “0”.

Una vez finalizado el primer tiempo efectivo de rociado proveniente del temporizador %DB20, la marca %M26.5 del segmento 33, retorna a su valor inicial de “1” y el operando “Go 1” obtendrá un nuevo RLO de “1”, en este caso, la instrucción detectaría un flanco de señal ascendente y devolvería un valor lógico de “1” en la salida, activando la bobina conectada a la marca %M60.0 “Wait 1”, que será el accionador del temporizador encargado del segundo tiempo efectivo de rociado.

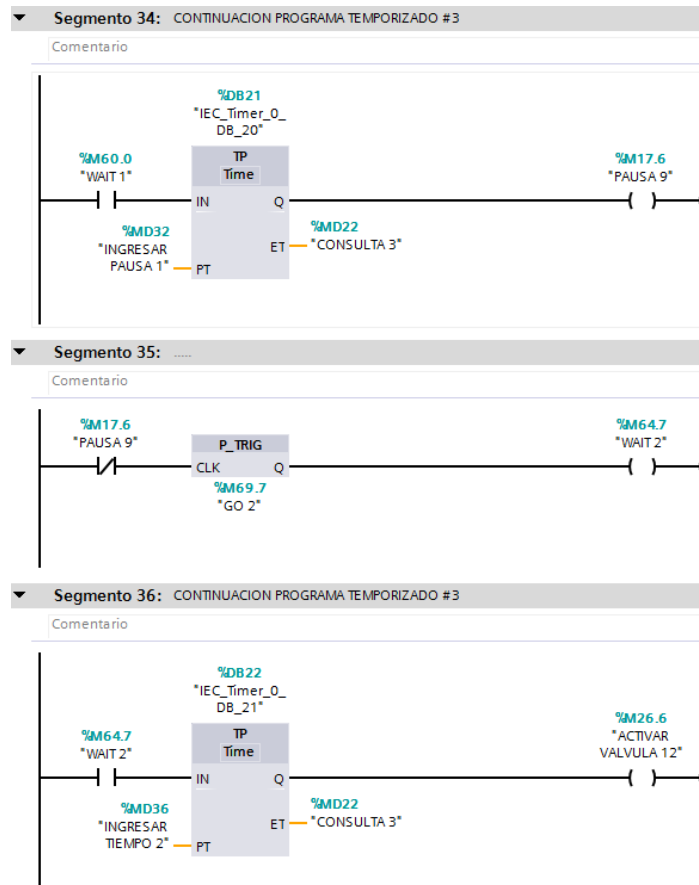


Figura 39. Primera pausa del programa temporizado 3 y segundo tiempo efectivo de rociado.

En el segmento 34 de la figura 39 se puede observar que una vez que finalice el conteo del temporizador %DB20 se accionará la marca %M60.0 "Wait 1" y esta dará el impulso necesario para que el temporizador %DB21 inicie con el tiempo de pausa activando la bobina de salida %M17.6 "Pausa 9", es importante mencionar que el temporizador no se activará si no se le ha ingresado un valor de tiempo en segundos antes de iniciar el programa temporizado 3 a la marca %MD32 "Ingresar Pausa 1".

El segmento 35 funciona de la misma manera que el segmento 33 mencionado en la figura 38, una vez finalizado el conteo del temporizador %DB21, la bobina de salida %M64.7 "Wait 2" se activará y este a su vez pondrá en marcha el conteo preasignado del temporizador %DB22 presente en el segmento 36.

Para completar el programa temporizado #3 se repitieron los pasos de las figuras 38 y 39 hasta completar cinco bloques de tiempos efectivos de "x" segundos convenientemente y 4 bloques de pausas de los segundos que el operario crea necesario. Los tiempos que ingresa el operario en el programa temporizado #3 están programados para ingresarlos en segundos, pero se puede reprogramar para que el tiempo a ingresar sea en horas o minutos.

### 5.3.5 Rutina de activación de electroválvulas del HMI

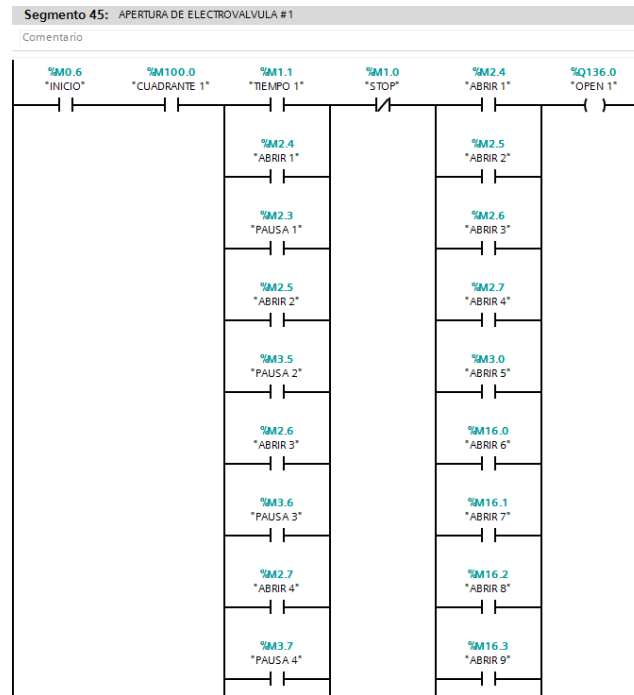


Figura 40. Apertura de electroválvula 1.

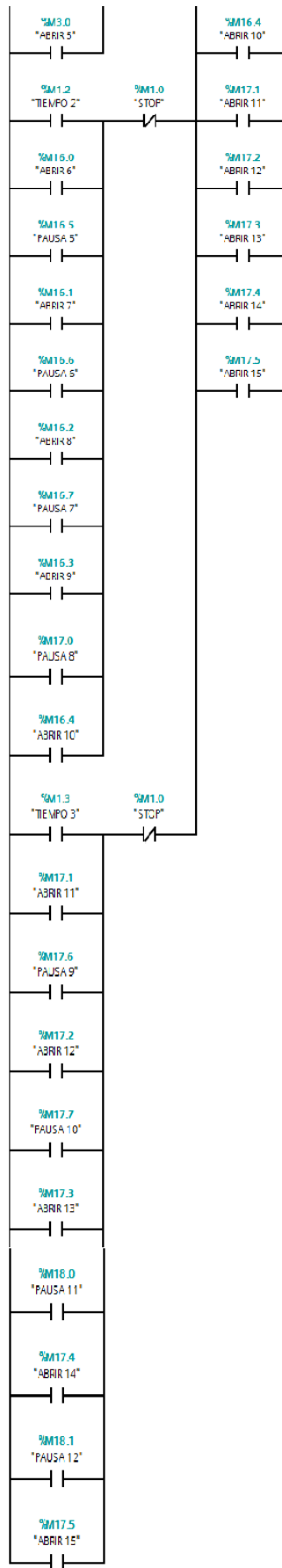


Figura 41. Continuación de apertura de electroválvula 1.

El segmento 45 presente en la figura 40, muestra una combinación de contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados que se encargarán de activar o desactivar la bobina de salida %Q136.0 "Open 1", esa dirección corresponde a la primera dirección de salida digital física del PLC.

Para que la electroválvula 1 se active, necesariamente necesita que el operador encienda el sistema presionando el botón de "Inicio", seguidamente debe escoger el cuadrante donde quiere que se rocíe el agua, en el caso de la figura 40 debería seleccionar el botón conectado a la variable %M100.0 "Cuadrante 1" y seguidamente debe seleccionar el programa temporizado a utilizar, en el caso de la figura 40, el operario debería presionar el botón %M1.1 "Tiempo 1", una vez seleccionado el programa temporizado, el sistema inmediatamente comienza a dispensar el agua activando el contacto de "Abrir 1". Cuando se desactiva "Abrir 1" se activa "Pausa 1", pero esta variable no permite que el flujo de corriente llegue hasta la bobina "Open 1", por lo que no se activa esta salida.

De esta manera el programa temporizado #1 continuará activando y desactivando contactos hasta llegar a la marca %M3.0 "Abrir 5" presente en la figura 41 donde finaliza el programa temporizado #1.

En caso de un paro de emergencia, el operador deberá presionar el botón de "Stop" en el HMI, lo cual desactivará el contacto normalmente cerrado conectado a la marca %M1.0 "Stop" y esta cambiará su valor lógico a "0", por lo que la bobina de salida obtendrá un resultado lógico de "0" y se detendrá el rociado.

Para activar los cuadrantes restantes se repite el segmento 45 cinco veces más y se remplazan las variables "Cuadrante 1" por el cuadrante correspondiente y "Open 1" por la electroválvula correspondiente.

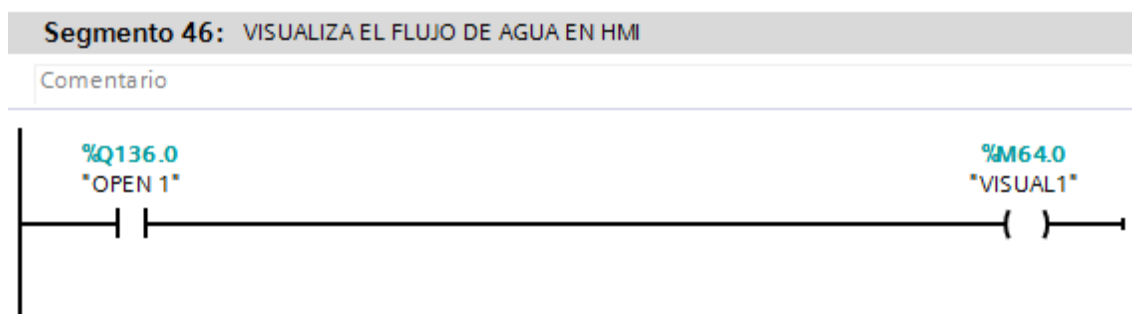


Figura 42. Visualización de apertura de válvulas.

En la figura 42 se puede observar que cuando el contacto conectado a la variable %Q136.0 “Open 1” se enciende, la bobina de salida %M64.0 “Visual 1” obtiene un resultado lógico de “1”, esta variable es utilizada para visualizar en el HMI el momento en que la electroválvula 1 se encuentra abierta. Para visualizar las otras duchas se repite el segmento 46 de la figura 42 cinco veces más.

### 5.3.6 Rutina de escalado de señales de sensores en el HMI

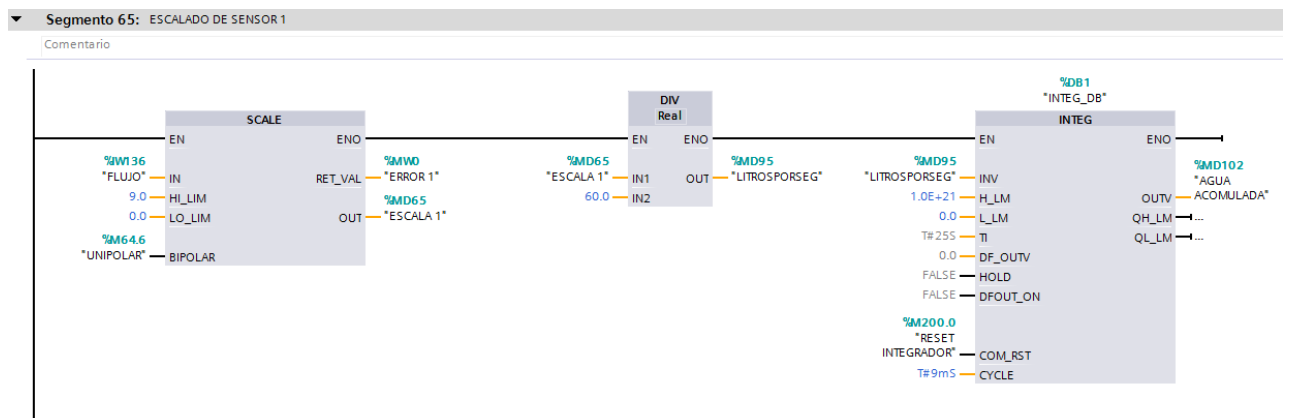


Figura 43. Escalado de la señal del flujómetro.

El bloque de la instrucción “SCALE” se encarga de escalar el valor de entrada mapeándolo en un determinado rango de valores. En el caso del segmento 57 presente en la figura 43, la instrucción escala la señal eléctrica de entrada %IW0 “Flujo” con un rango de 0 a 10 voltios entre los valores 9 y 0 litros por minuto, donde 0 V representa 0 l/min y 10 V representa 9 l/min, la entrada con la marca %M64.6 “Unipolar” introduce un cero lógico a la instrucción para ordenarle a la instrucción de escalado que solo se toman rangos eléctricos positivos.

En la salida de la instrucción tendremos el resultado del escalamiento y este se guardará en la marca %MD65 “Escala 1”. En la marca %MW0 “Error 1” se verá reflejado una señal de error en caso de que el flujómetro envíe valores de voltaje fuera del rango de 0-10V.

El valor guardado en la marca %MD65 “Escala 1” tiene unidades en litros por minuto, el cual se utiliza para visualizar la taza de transferencia en el HMI, pero luego se necesita obtener los litros por segundo para visualizar el consumo de agua total en la gráfica, por lo que el valor guardado en “Escala 1” se divide entre 60 para obtener litros por segundo y este se guarda en la marca %MD95

“Litrosporseg” y por ultimo entra este valor a la instrucción de integración para sumar los litros por segundo y obtener el consumo de agua total, guardados en la marca %MD102 “Agua acomulada”.

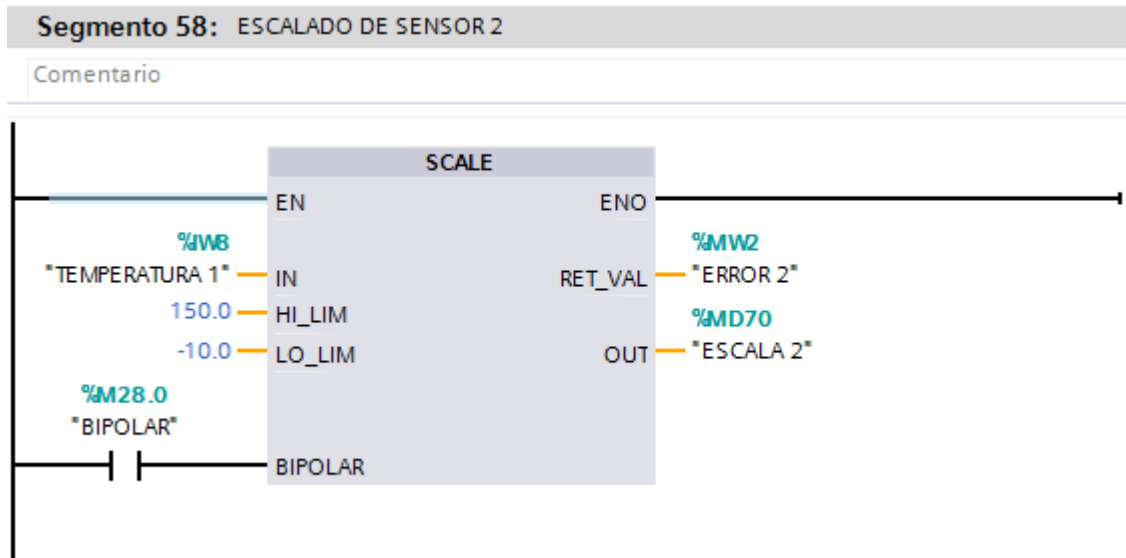


Figura 44. Escalado de la señal del sensor de temperatura 1.

En el segmento 58 de la figura 44 se realiza el mapeo de la señal eléctrica proveniente de la sonda Pt100 a grados Celsius, la señal eléctrica proviene de la dirección %IW8 “Temperatura 1” y se escala entre los valores de -10 y 150 grados Celsius; se escala entre esos valores porque es la zona lineal del sensor.

En la salida %MD70 “Escala 2” se obtiene el valor de temperatura. Para los sensores de temperatura restantes se replica tres veces más el segmento 58, remplazando las entradas y salidas por las variables correspondientes a cada sensor.

### 5.3.7 Programación del HMI

La programación del HMI consta únicamente de “arrastrar” objetos a la pantalla y construir de manera visual lo que queremos ver en ella. TIA Portal posee un menú de objetos con los cuales podemos construir las figuras que necesitamos. En la figura 45 se muestra el resultado de la pantalla principal del programa.



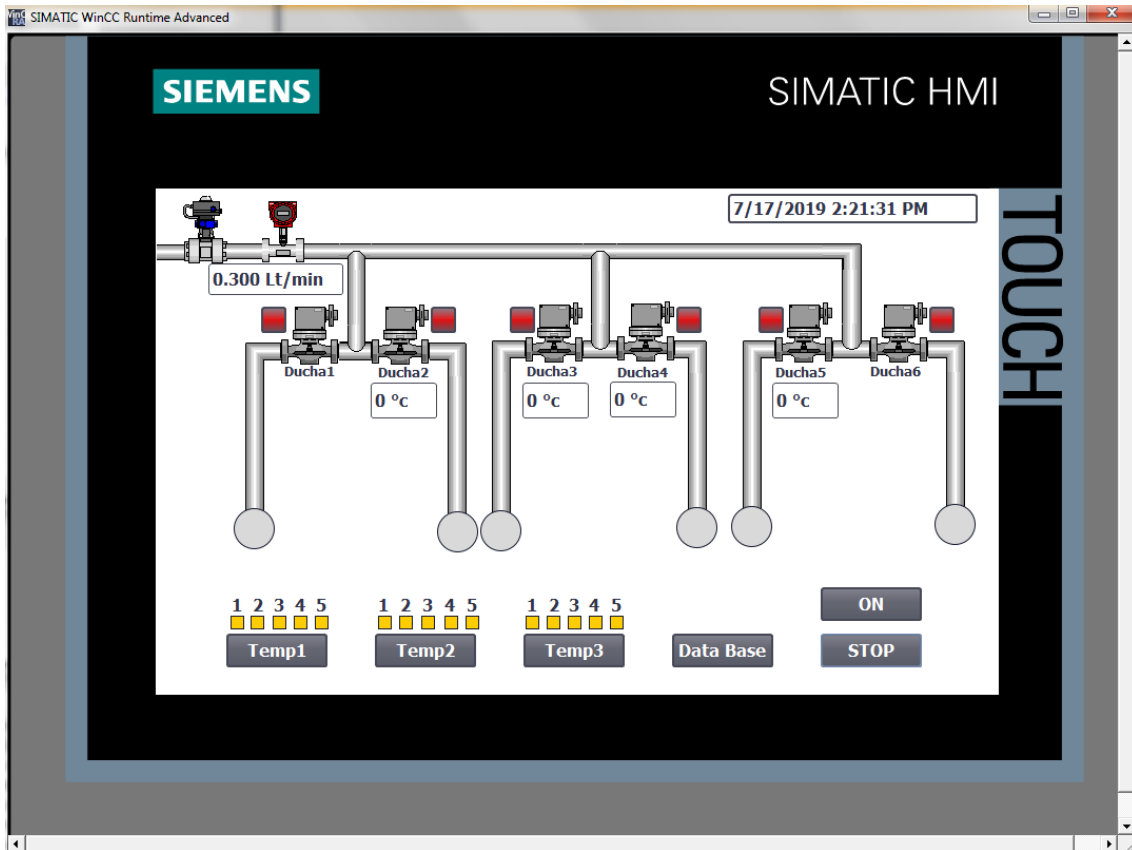


Figura 45. Pantalla principal del programa.

Para programar la interfaz de la figura 45, se arrastraron todos los elementos necesarios, por ejemplo, figuras de las valvulas (Ducha 1, 2, 3, 4, 5, 6), del flujometro, elementos de tuberias, figuras circulares para representar de forma visual cuál ducha se encuentra abierta durante el rociado, botones para selecciona los programas, los graficos, botones de encender o detener el sistema, y por ultimo, los espacios de entradas y salidas para visualizar la temperatura y la tasa de transferencia leida por el flujometro.

Una vez desarrollada la interfaz gráfica, se procede a conectar las variables del PLC a cada uno de los elementos gráficos con que interactúan (botón, figuras, etc).

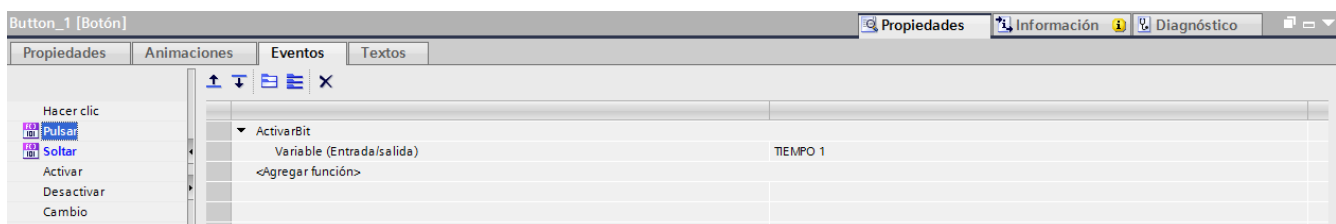


Figura 46. Conexión de la variable Tiempo 1 al botón 1.

La figura 46 muestra cómo se realiza la conexión de la variable “Tiempo 1” (utilizada para seleccionar el programa temporizado #1) al botón 1, para ello solo es necesario seleccionar el botón, dirigirse a propiedades, luego desplazarse a la pestaña de eventos, y seleccionar la función que quiero que haga el HMI cuando pulse el botón 1, en este caso, se le asigna una función de “Activar Bit” cuando se pulsa y se especifica cuál variable se quiere activar al pulsar. Además, a este botón también se le asignó una función para que se desactive el mismo bit al soltar el botón.

Las figuras y botones también se pueden programar para que cambien de color dependiendo del estado lógico de la variable a la cual fueron conectados, en la figura 47 se muestra cómo se programa.

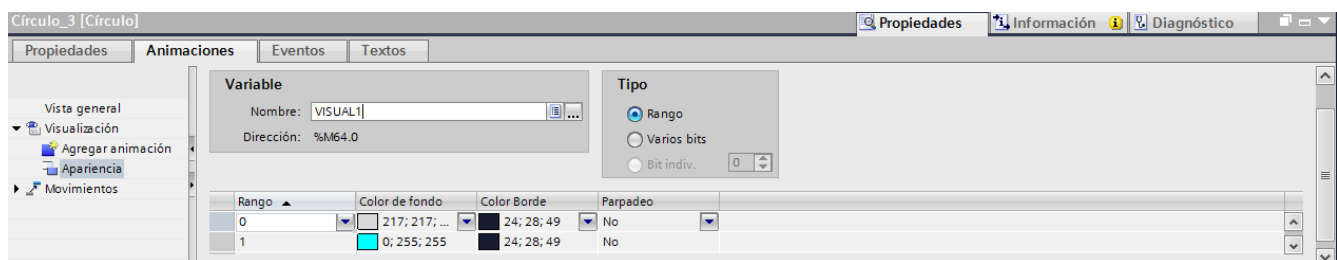


Figura 47. Programación de animación para el círculo 3.

En el caso de las figuras de los círculos se programó que cambiaran de color cuando las duchas permanecieran activas para representar el flujo de agua por ese sector.

Si el estado lógico de “Visual 1” es “0”, el círculo\_3 permanecerá de color gris, si el estado lógico de “Visual 1” es “1”, el círculo\_3 permanecerá de color turquesa. En la figura 48 se aprecia el resultado de programar las animaciones a los círculos correspondientes a cada ducha.

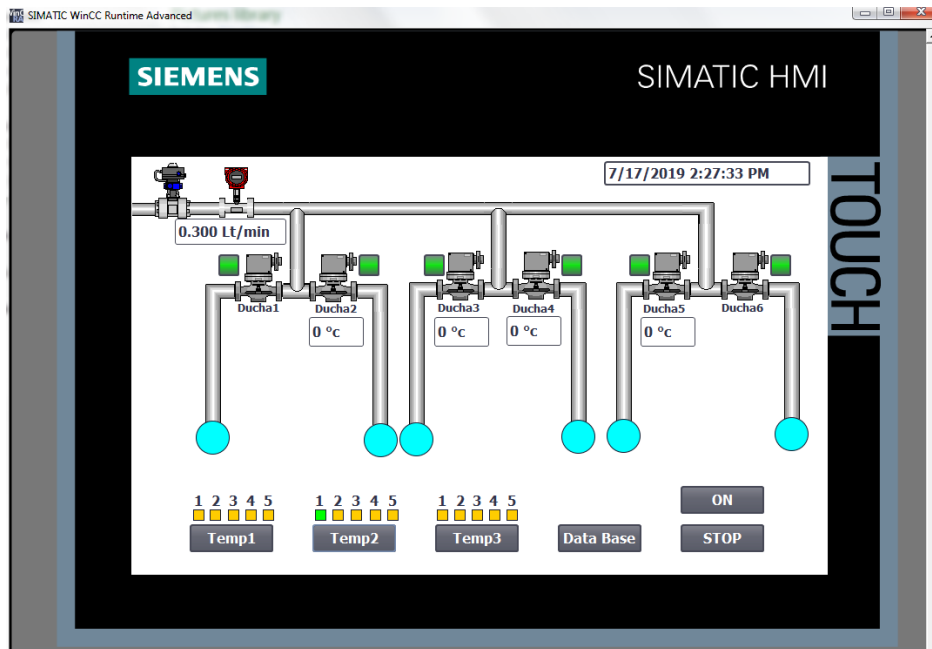


Figura 48. Representación del flujo de agua por cuadrante.

En la figura 48 se muestra cómo se programa los espacios de entradas y salidas donde se visualiza las lecturas de temperatura y los litros por minuto del flujómetro.

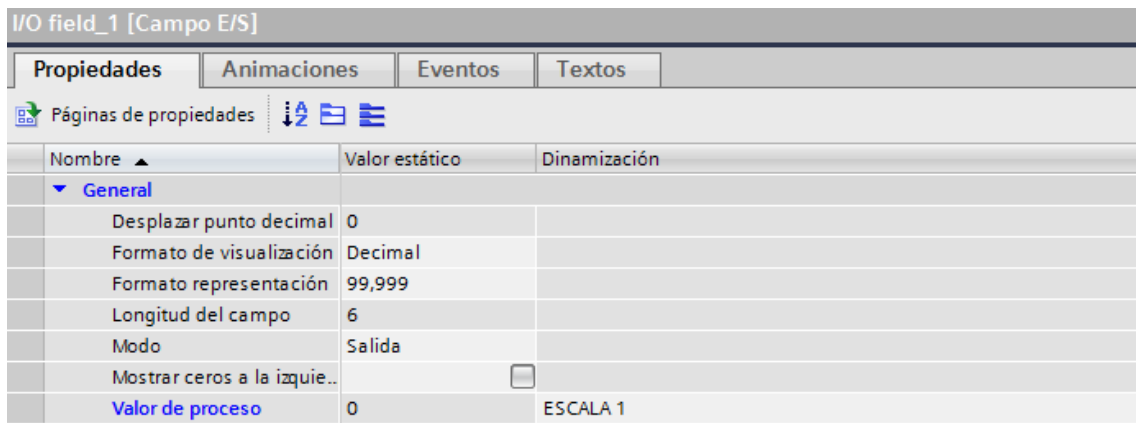


Figura 49. Programación del I/O field\_1.

La figura 49 muestra que, para programar los espacios de entradas o salidas, se selecciona el campo, me dirijo a propiedades, en valor de proceso se selecciona a cuál variable quiero conectar el campo de entrada o salida, en este caso "Escala 1", selecciono el formato de visualización (decimal), el formato de representación (cuantos decimales quiero visualizar), la longitud del campo y el modo de salida (si queremos que sea únicamente un campo de salida).

Con esto ya es posible observar el contenido de la variable "Escala 1" en el "I/O field\_1".

Este proceso se repite en todos los espacios de entradas/salidas presentes en la interfaz.

Para graficar la pantalla del programa temporizado #3, se realizaron los mismos pasos que se utilizaron para programar la pantalla principal, la figura 50 muestra el resultado de la interfaz.

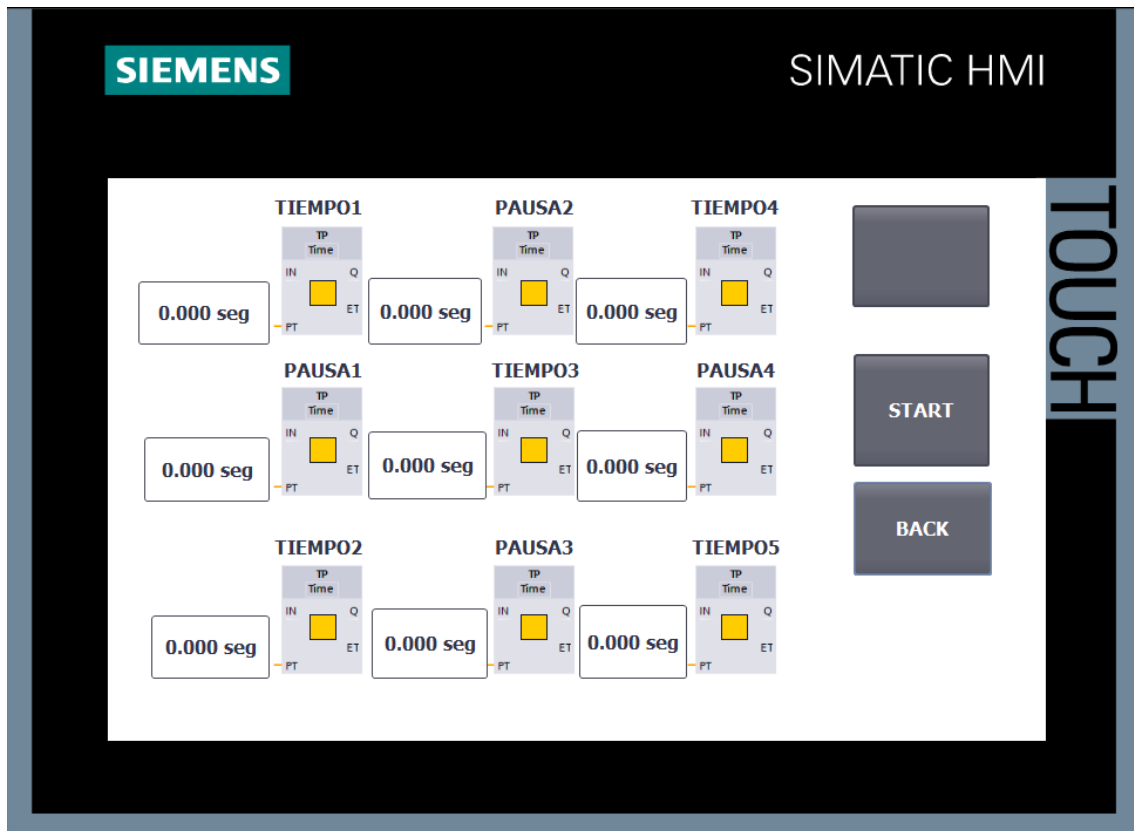


Figura 50. Pantalla del programa temporizado #3.

También se creó una pantalla menú para seleccionar que tipo de grafico se quiere observar, ya sea consumo hídrico o la temperatura del producto. En la figura 51 se muestra el resultado final.

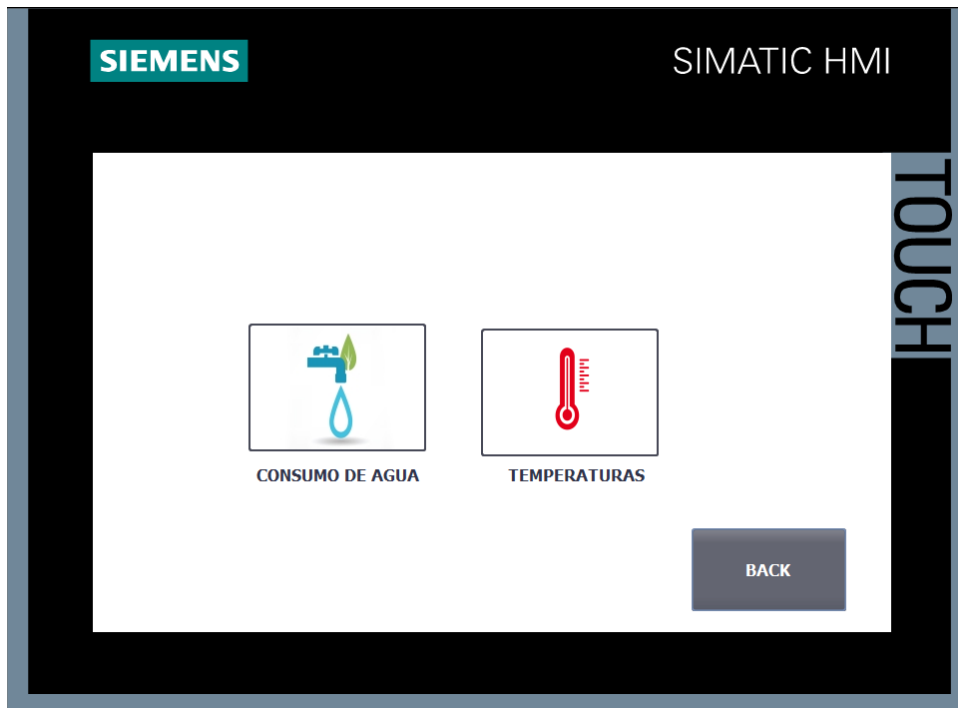


Figura 51. Pantalla menú para la selección de gráficos.

Al seleccionar el botón de consumo de agua de la figura 51, el sistema se redirigirá a otra ventana donde se grafica el consumo de agua. En la figura 52 se puede observar el resultado final.

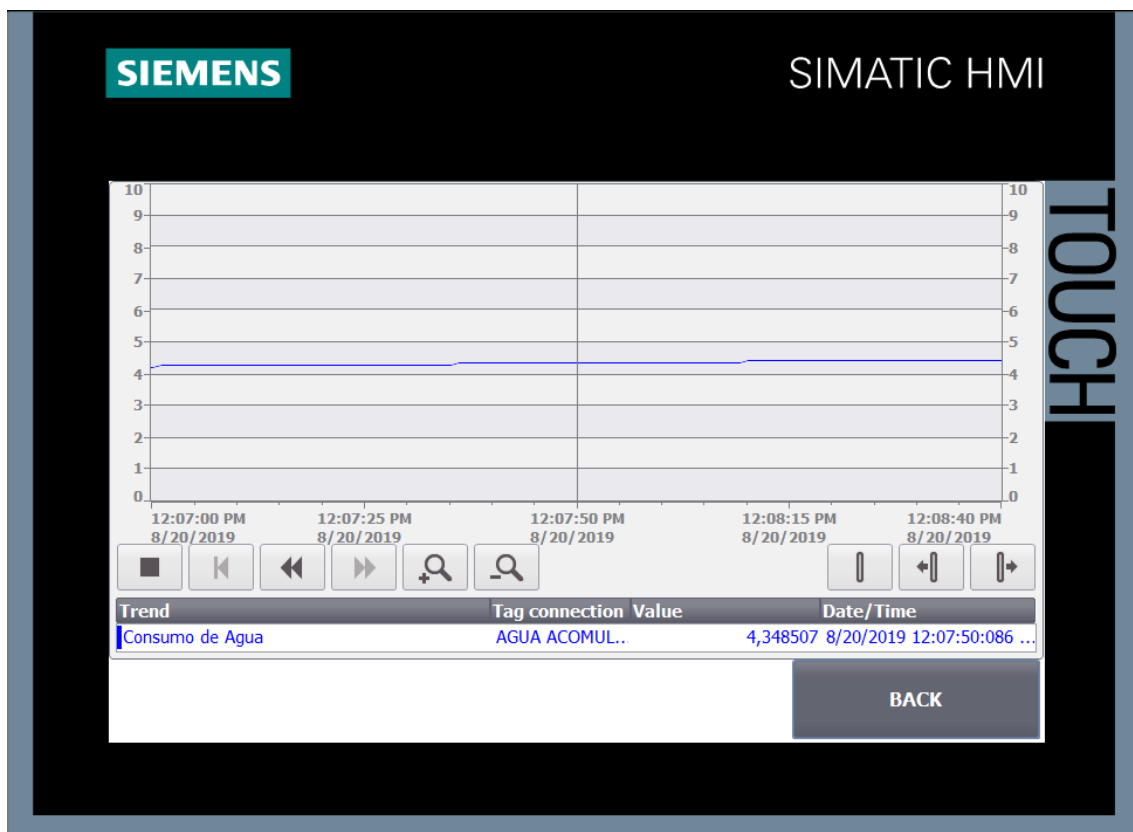


Figura 52. Ventana de consumo de agua

Para programar la pantalla de la figura 52, se arrastró la herramienta de gráfico y en propiedades del grafico conecto la variable que quiero graficar y ajusto la escala del eje x y el eje y. De la misma manera se programa la pantalla que contiene los gráficos de temperatura, en la figura 53 se puede observar el resultado final.

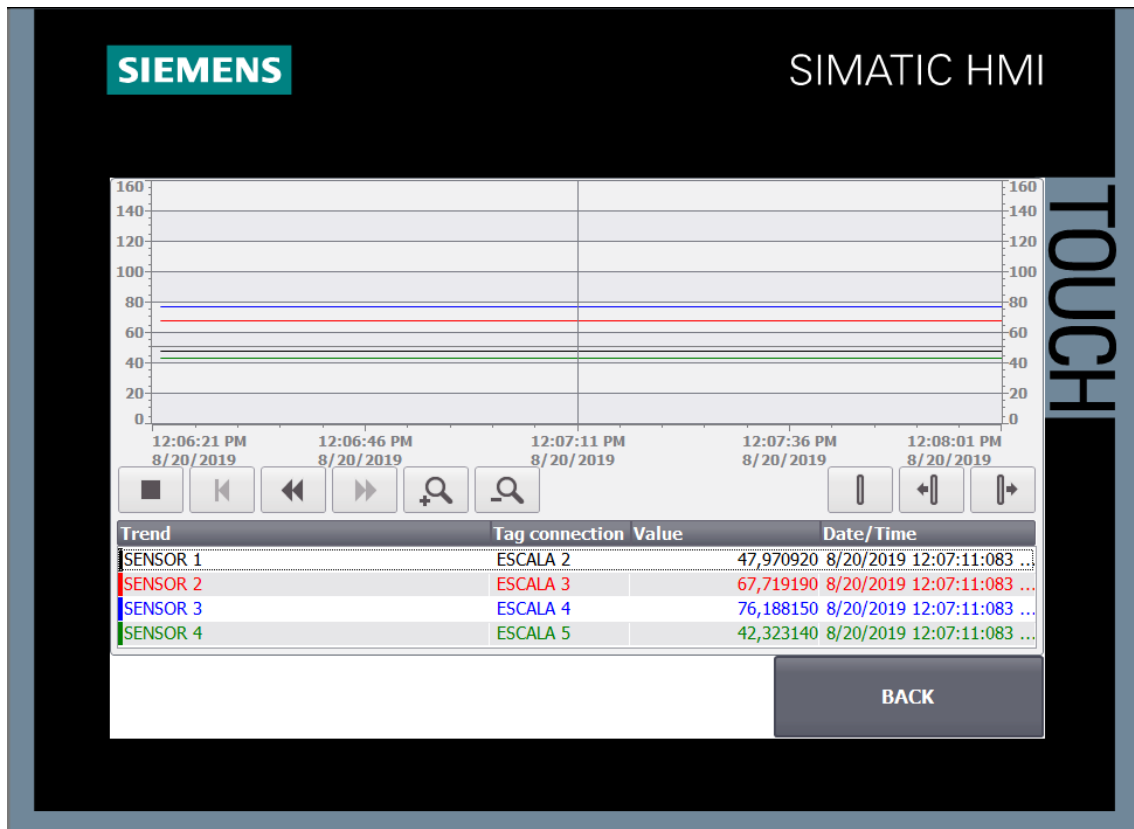


Figura 53. Ventana de gráficos de temperatura.

## Capítulo 6: Análisis de resultados

### 6.1 Análisis Económico [32]

Para el valor de la inversión inicial se realizaron cotizaciones de los equipos necesarios para implementar el nuevo sistema y que la empresa no contiene en bodegas. La vida útil del equipo por adquirir se determinó utilizando una tabla de depreciación facilitada por la empresa, donde la vida útil del equipo electrónico es de 7 años.

Para utilizar las plantillas de viabilidad de proyectos que superan los \$5.000 de Cargill Meats Latinoamérica, es necesario conocer la inversión inicial del proyecto, la vida útil de los componentes por adquirir, y por último, el ahorro esperado al año por un periodo de 10 años. En la tabla 10 se obtiene la inversión inicial del sistema con su respectiva depreciación y en la tabla 11 se obtiene el desglose del ahorro anual esperado.

Tabla 10. Inversión inicial del sistema.

Descripción	Monto CRC	Monto USD	Depreciación Cargill
Válvula solenoide	232.960	407,27	7 años
Válvula solenoide	232.960	407,27	7 años
Válvula solenoide	232.960	407,27	7 años
Válvula solenoide	232.960	407,27	7 años
Válvula solenoide	232.960	407,27	7 años
Válvula solenoide	232.960	407,27	7 años
Válvula solenoide	232.960	407,27	7 años
Pt100 2 hilos	42.480	74,27	7 años
Pt100 2 hilos	42.480	74,27	7 años
Pt100 2 hilos	42.480	74,27	7 años
Pt100 2 hilos	42.480	74,27	7 años
Flujometro Burkert 8030	483.151	846,15	7 años
PLC 314C-2PN/DP	1.254.000	2192,31	7 años
HMI TP700 Comfort	776.000	1356,65	7 años
<b>Total:</b>	<b>4.313.791</b>	<b>7.543,08</b>	<b>\$1 = ₡572</b>

El detallado ahorro anual ante la implementación del sistema se encuentra en el apéndice A.4. En la tabla 11 se muestra el resumen del ahorro proyectado.

*Tabla 11. Desglose de ahorro anual total.*

Ahorro anual	Monto CRC	Monto USD
Consumo de agua Jamones	2 285 022,38	4 001,79
Consumo de agua Salchichas	2 961 526,08	5 186,56
<b>Total</b>	<b>5 246 548,47</b>	<b>9 188,35</b>

De la tabla 11 se obtiene que la empresa se ahorrará al menos ₡ 5 246 548,47 si se implementa el sistema a inicios del 2020, según las tarifas establecidas por la ARESEP (ver apéndice A.4).

Una vez obtenido los datos de la inversión inicial, la depreciación y el ahorro esperado por año se obtienen los resultados del estudio económico facilitado por la plantilla.

*Tabla 12. Resultado de estudio económico.*

Variable	Valor
Inversión Total	\$ 7 543,08
NPV (Net Present Value)	\$ 31 000
IRR (Internal Rate of Return)	82.3%
Recuperación de la inversión (años)	1,2

De los resultados obtenidos en la tabla 12, se tiene que la inversión del proyecto se recupera en 1,2 años, en un periodo de 10 años se obtiene un VPN de \$ 31.000 y un TIR de 82.3%.

Un VPN igual a cero se puede interpretar como que el proyecto es rentable y un VPN mayor que cero a parte de la rentabilidad, implica ganancias extra. Un TIR alto quiere decir que se obtendrá un interés alto por la inversión.



## 6.2 Simulaciones y pruebas de campo

Las pruebas de campo fueron realizadas en la celda de mezclado Festo del laboratorio SIMTEC de la escuela de producción industrial. En la figura 54 se muestra la estación de trabajo.

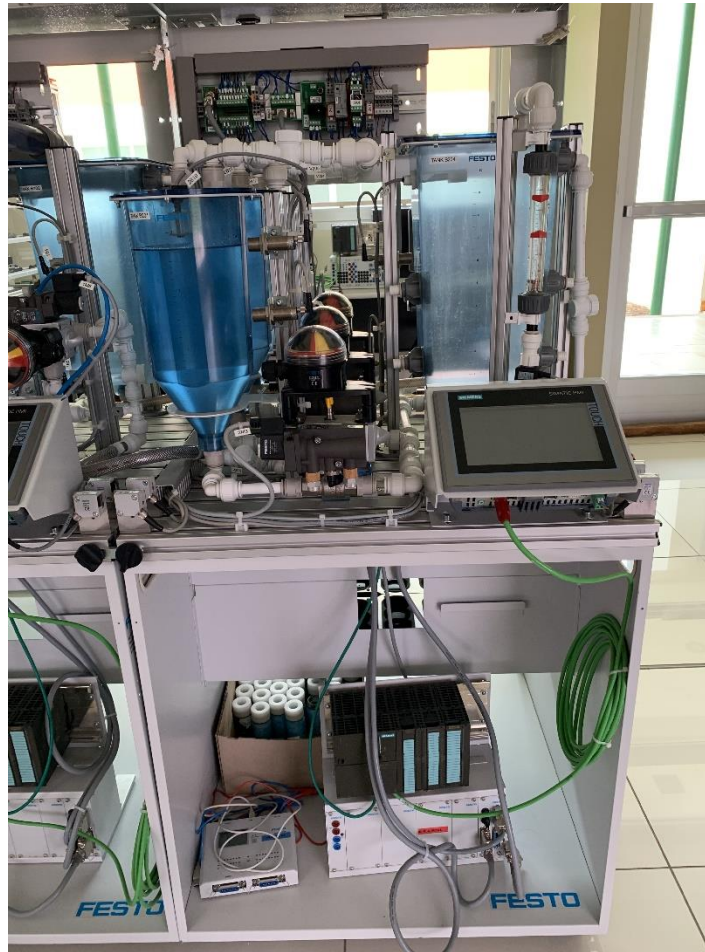


Figura 54. Estación de trabajo, celda Festo.

### 6.2.1 Programa temporizado #1

Primeramente, se realizó la simulación del programa temporizado #1, utilizando las herramientas de S7-PLCSIM y SIMATIC WinCC Runtime Advanced como se muestra en la figura 55.

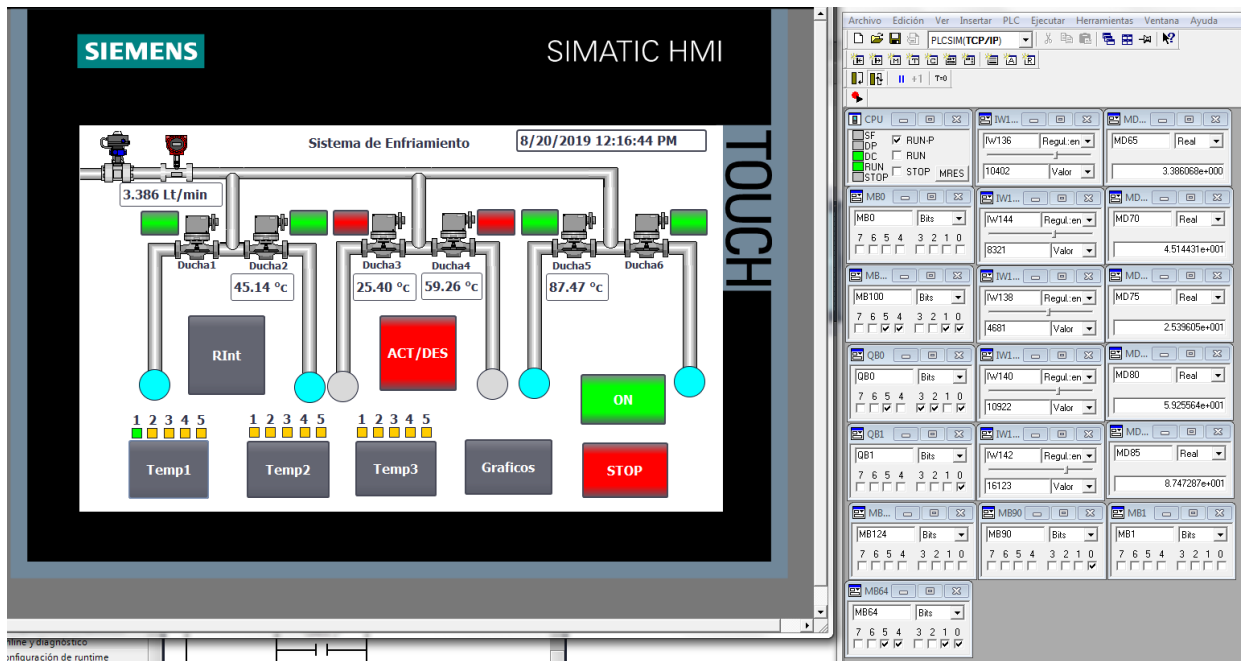


Figura 55. Simulación del programa temporizado #1.

A la derecha de la figura 55 se muestra la ventana del S7-PLCSIM donde se puede visualizar el estado lógico de las variables programadas en el PLC y manipularlas a conveniencia. Para esta prueba se agregaron las entradas en el simulador, pertenecientes a los sensores de temperatura y al sensor de flujo en forma de “slider”, las marcas utilizadas para guardar los valores de las lecturas y las marcas discretas utilizadas para activar cuadrantes, el botón de inicio y el botón de paro.

En el simulador de la interfaz, se selecciona el botón “On” para activar la autorretención del sistema, por lo que la marca  $%M90.0$  debe activarse, seguidamente se activan los cuadrantes donde se quiere rociar, en este caso se activaron las duchas 1, 2, 5 y 6, por lo que deberían activarse las marcas  $%M100.0$ ,  $%M100.1$ ,  $%M100.4$  y  $%M100.5$  respectivamente, en la figura 55 se observa que el sistema responde de la manera deseada.

Una vez encendido el sistema y seleccionado los cuadrantes deseados se procede a seleccionar el programa temporizado a utilizar, en esta prueba se seleccionó el programa temporizado #1. Seguidamente el sistema notifica de manera visual las duchas que están rociando agua en ese momento mediante los círculos color turquesa, por lo que las marcas  $%M64.0$ ,  $%M64.1$ ,  $%M64.4$  y  $%M64.5$  se activan.

Se puede observar que los valores de temperatura y de litros por minuto presentes en la interfaz gráfica fueron seteados con los “sliders” y los valores de

las marcas %MD65, %MD70, %MD75, %MD80 y %MD85 coinciden con los valores desplegados en el HMI.

Ahora que se verificó el funcionamiento en la simulación, se procede a realizar las pruebas de campo en el prototipo de la celda Festo. Como primer paso se verifica el nivel de agua en los tanques de suministro “TANK B202” y “TANK B201”, ambos tanques contienen 3 litros de agua para dispensar. En la figura 56 se observan los tanques antes de dar inicio al programa temporizado 1.



*Figura 56. Nivel de agua en los tanques B201 y B202 antes de iniciar el programa temporizado 1.*

Seguidamente se activa el sistema presionando el botón “On”, se seleccionan los cuadrantes 1 y 2 que activan las electroválvulas correspondientes a los tanques B201 y B202, por último, se selecciona el programa temporizado #1 presionando el botón “Temp1”. En la figura 57 se muestra el inicio del programa temporizado 1 gráficamente en el HMI.

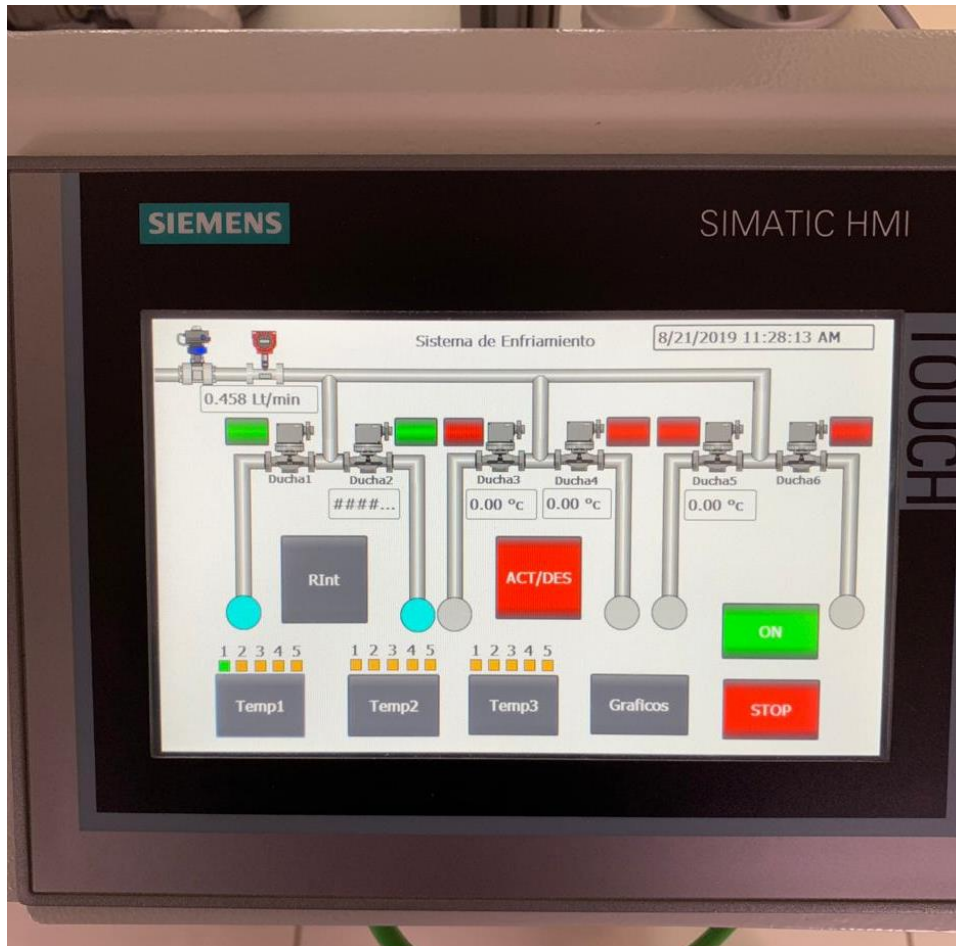


Figura 57. Inicio de programa Temporizado 1.

De la figura 57 se puede observar que el programa inició a las 11:28:13 am, en el capítulo 5.3 se explica que el programa temporizado 1 fue programado con 5 tiempos efectivos de 20 segundos cada uno y 4 tiempos de pausa de 10 segundos cada uno, por lo que el tiempo total del programa temporizado 1 sería de 140 segundos (2 minutos con 20 segundos), sabiendo esto, el programa temporizado finaliza a las 11:30:33 am. En la figura 58 se muestra la gráfica de consumo de agua con el resultado.



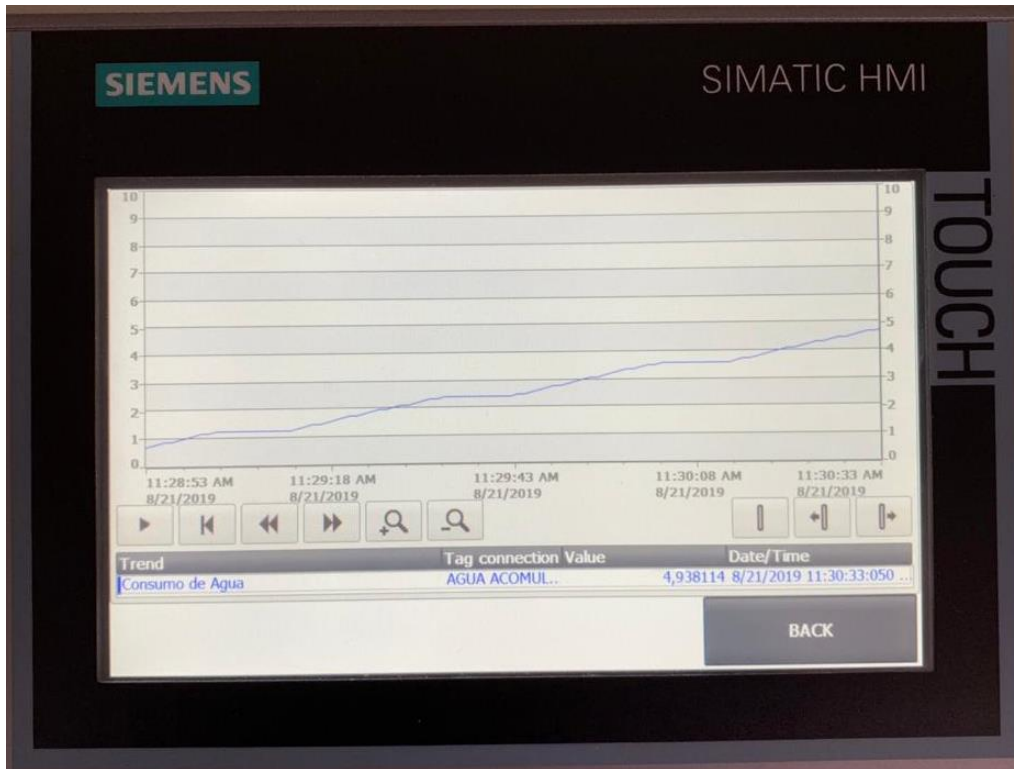


Figura 58. Resultado de consumo de agua utilizando el programa temporizado 1.

De la figura 58 se obtiene que al finalizar el programa temporizado 1, se obtuvo un consumo de agua de 4,9 litros, este resultado debería de encajar con el faltante de agua en los tanques B201 y B202. En la figura 59 se muestra el contenido de agua en los tanques una vez finalizado el programa temporizado 1.



Figura 59. Contenido de agua en los tanques después de finalizar el programa temporizado 1.

La figura 59 muestra que en el tanque B202 se consumieron 2,5 litros. En el caso del tanque B201, primeramente, se determina a cuantos milímetros equivale 1 ml de agua, para ello se utiliza un vernier y se determina que la distancia de que equivale a 100 ml. En la figura 60 se muestra el valor en milímetros de 100 ml.



*Figura 60. Valor en milímetros de 100 ml.*

Una vez obtenido el dato, se calcula la cantidad de mililitros que representan 5,89mm, el resultado del cálculo es de aproximadamente 76 ml, por lo que el consumo total reflejado en los tanques B201 y B202 de la figura 58 es de 5,07 litros.

El resultado del consumo reflejado en los tanques no coincide con el resultado obtenido en la gráfica de consumo de la figura 58, por una diferencia de 100 ml, un error en la medición de 2.5%, esto se debe a que para esta prueba fue necesario el uso de dos tanques de agua y las presiones en cada tanque son distintas, también, otra posible causa se debe a que el sistema de tuberías utilizado en la celda Festo esta creado para que los motores P201 y P202 siempre contengan agua cuando se encuentran en funcionamiento como se muestra en la figura 61.

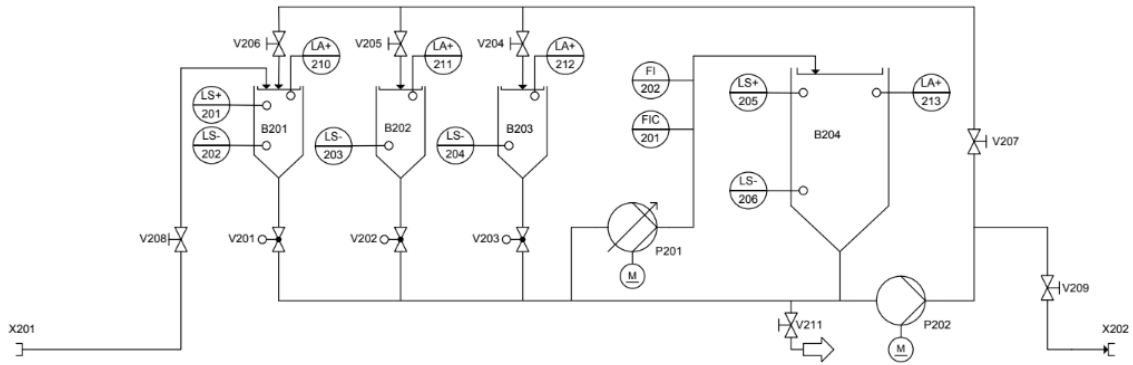


Figura 61. Diagrama de la etapa de mezclado de la celda Festo.

El tanque B204 no cuenta con ninguna válvula al fondo de este, por lo que cuando se deposita agua proveniente de los tanques B201, B202 y B203 al tanque B204, el agua simplemente baja por la tubería y regresa al motor de la bomba P201. Entonces la bomba P201 succiona agua tanto de los tanques B201 y B202 como del B204.

## 6.2.2 Programa temporizado #2

Primeramente, se realizó la simulación del programa temporizado #2, utilizando las herramientas de S7-PLCSIM y SIMATIC WinCC Runtime Advanced como se muestra en la figura 62.

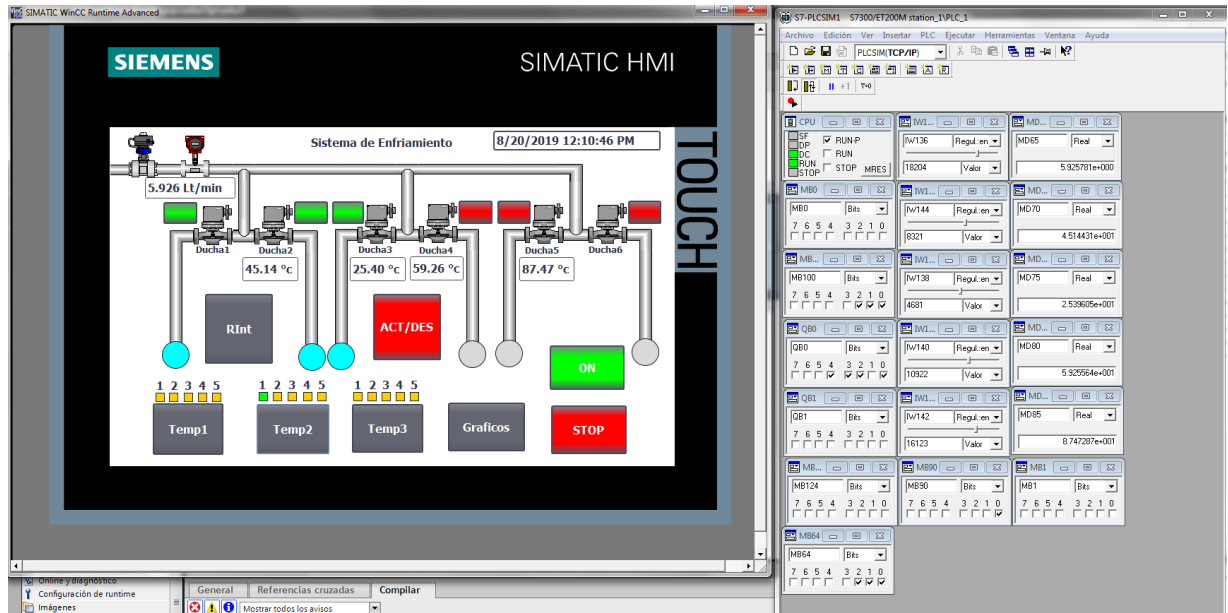


Figura 62. Simulación de programa temporizado #2.

En el simulador de la interfaz, se selecciona el botón “On” para activar la autorretención del sistema, por lo que la marca  $%M90.0$  debe activarse, seguidamente se activan los cuadrantes donde se quiere rociar, en este caso se activaron las duchas 1, 2 y 3, por lo que deberían activarse las marcas  $%M100.0$ ,  $%M100.1$  y  $%M100.2$  respectivamente, en la figura 62 se observa que el sistema responde de la manera deseada.

Una vez encendido el sistema y seleccionado los cuadrantes deseados se procede a seleccionar el programa temporizado a utilizar, en esta prueba se seleccionó el programa temporizado #2. Seguidamente el sistema notifica de manera visual las duchas que están rociando agua en ese momento mediante los círculos color turquesa, por lo que las marcas  $%M64.0$ ,  $%M64.1$  y  $%M64.2$  se activan.

Se puede observar que los valores de temperatura y de litros por minuto presentes en la interfaz gráfica fueron seteados con los “sliders” y los valores de las marcas  $%MD65$ ,  $%MD70$ ,  $%MD75$ ,  $%MD80$  y  $%MD85$  coinciden con los



valores desplegados en el HMI. En la figura 63 se observa la gráfica de temperaturas.

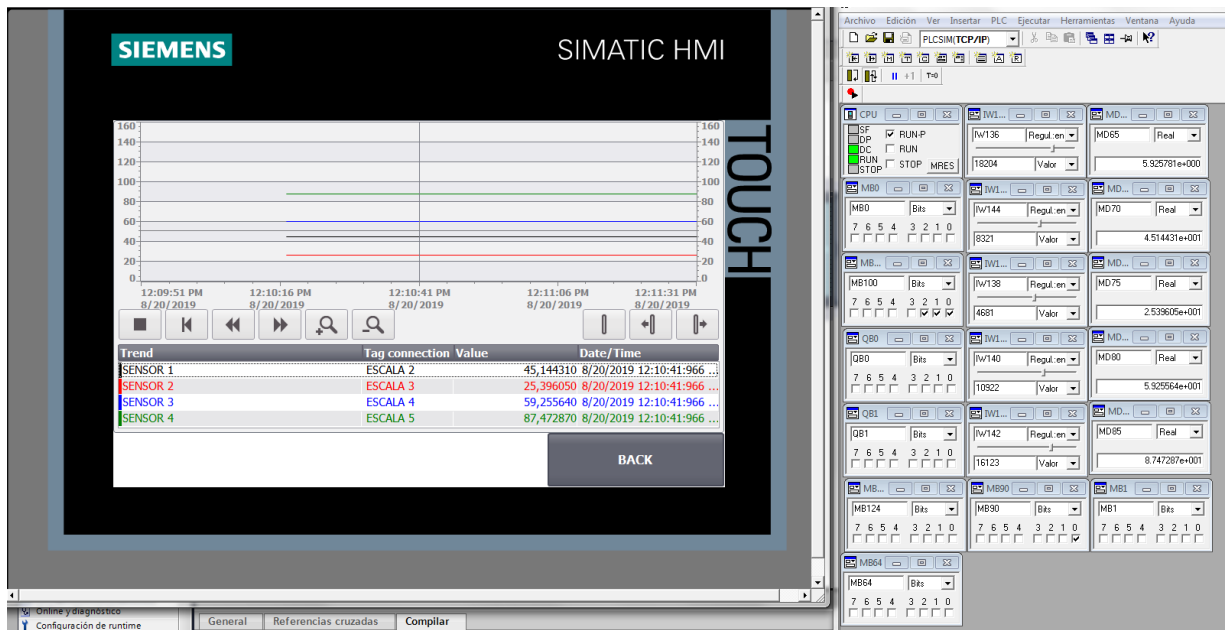


Figura 63. Valores de temperatura ajustados con sliders en la simulación de programa temporizado #2.

Como se puede observar de la figura 63, los valores de temperatura de los sensores coinciden con los valores seteados por los “sliders” y con los mostrados en la figura 62.

Ahora que se verificó el funcionamiento en la simulación, se procede a realizar las pruebas de campo en el prototipo de la celda Festo. Como primer paso se verifica el nivel de agua en el tanque de suministro “TANK B201”, este tanque contiene 3 litros de agua para dispensar. En la figura 64 se observa el tanque antes de dar inicio al programa temporizado 2.



Figura 64. Nivel de agua en el tanque B201 antes de iniciar el programa temporizado 2.

Seguidamente se activa el sistema presionando el botón “On”, se seleccionan el cuadrante 1 que activa la electroválvula correspondiente al tanque B201 y por último se selecciona el programa temporizado 2 presionando el botón “Temp2”. En la figura 65 se muestra el inicio del programa temporizado 2 gráficamente en el HMI.

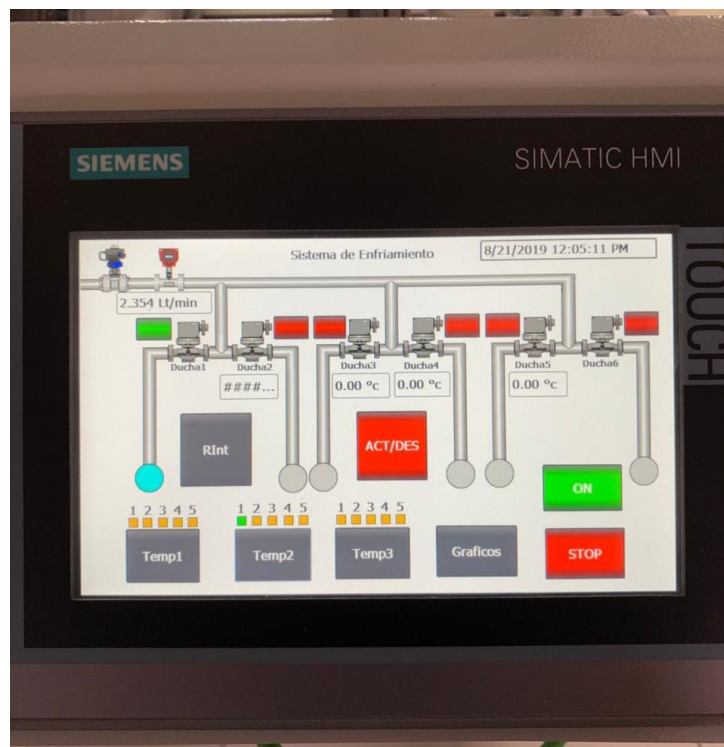


Figura 65. Inicio de programa Temporizado 2.

De la figura 65 se puede observar que el programa inició a las 12:05:11 pm, en el capítulo 5.3 se explica que el programa temporizado 2 fue programado con 5 tiempos efectivos de 10 segundos cada uno y 4 tiempos de pausa de 5 segundos cada uno, por lo que el tiempo total del programa temporizado 2 sería de 70 segundos (1 minuto con 10 segundos), sabiendo esto, el programa temporizado finaliza a las 12:06:21 pm. En la figura 66 se muestra la gráfica de consumo de agua con el resultado.

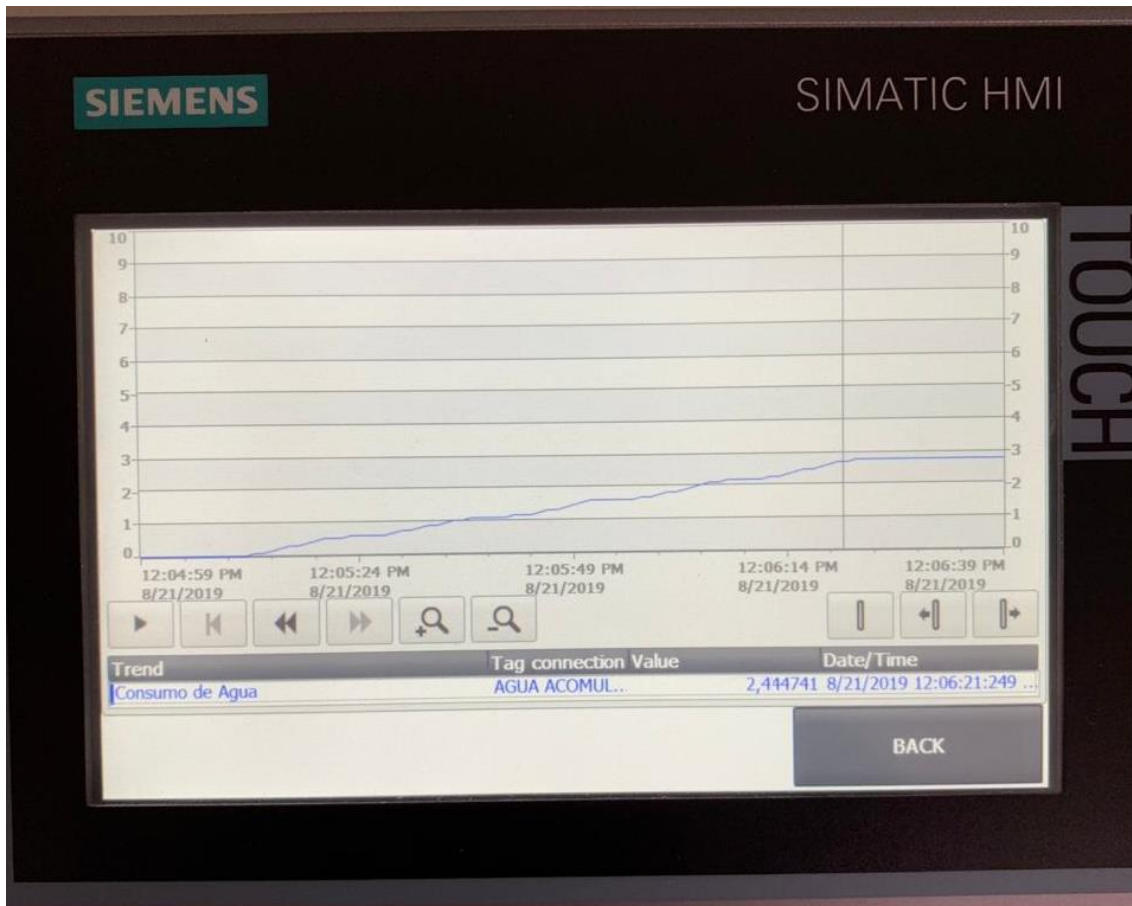
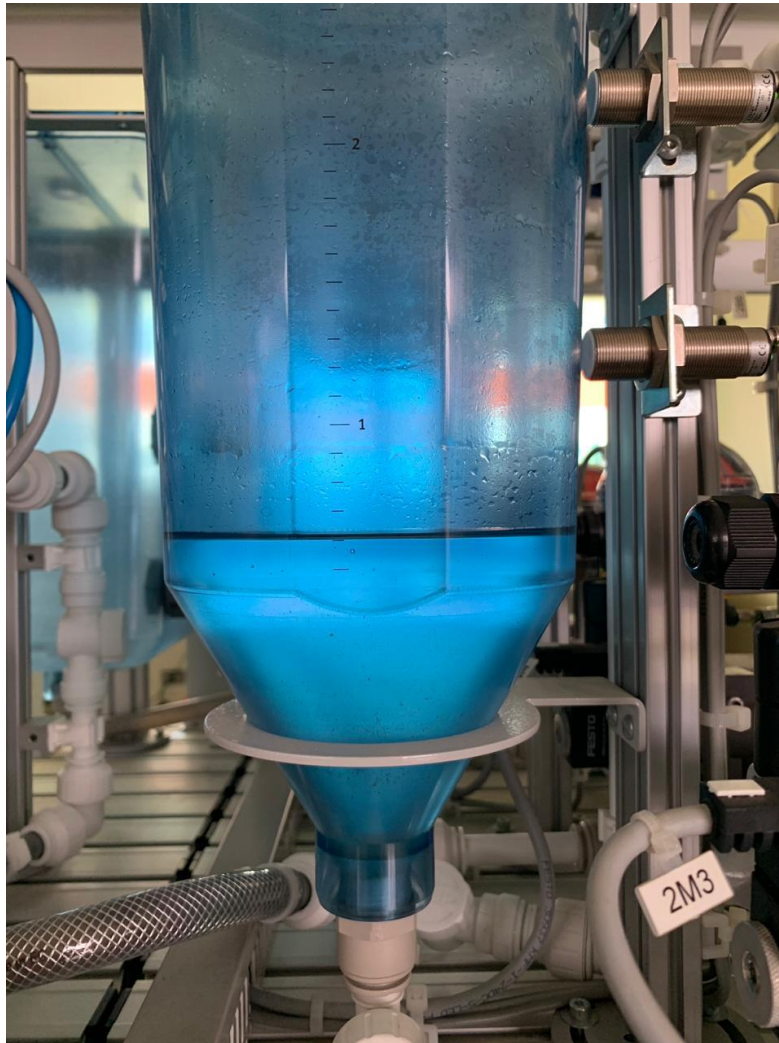


Figura 66. Resultado de consumo de agua utilizando el programa temporizado 2.

De la figura 66 se obtiene que al finalizar el programa temporizado 2, se obtuvo un consumo de agua de 2,44 litros, este resultado debería de encajar con el faltante de agua en el tanque B201. En la figura 67 se muestra el contenido de agua en el tanque una vez finalizado el programa temporizado 2.



*Figura 67. Contenido de agua en el tanque después de finalizar el programa temporizado 2.*

La figura 67 muestra que en el tanque B201 se consumieron 2,4 litros. El resultado del consumo reflejado en el tanque coincide satisfactoriamente con el resultado obtenido en la gráfica de consumo de la figura 60, por una diferencia de 40 ml aproximadamente, es decir, un error de 1,6% con respecto al valor teórico.

### 6.2.3 Programa temporizado #3

Primeramente, se realizó la simulación del programa temporizado #3, utilizando las herramientas de S7-PLCSIM y SIMATIC WinCC Runtime Advanced como se muestra en la figura 68 y 69.

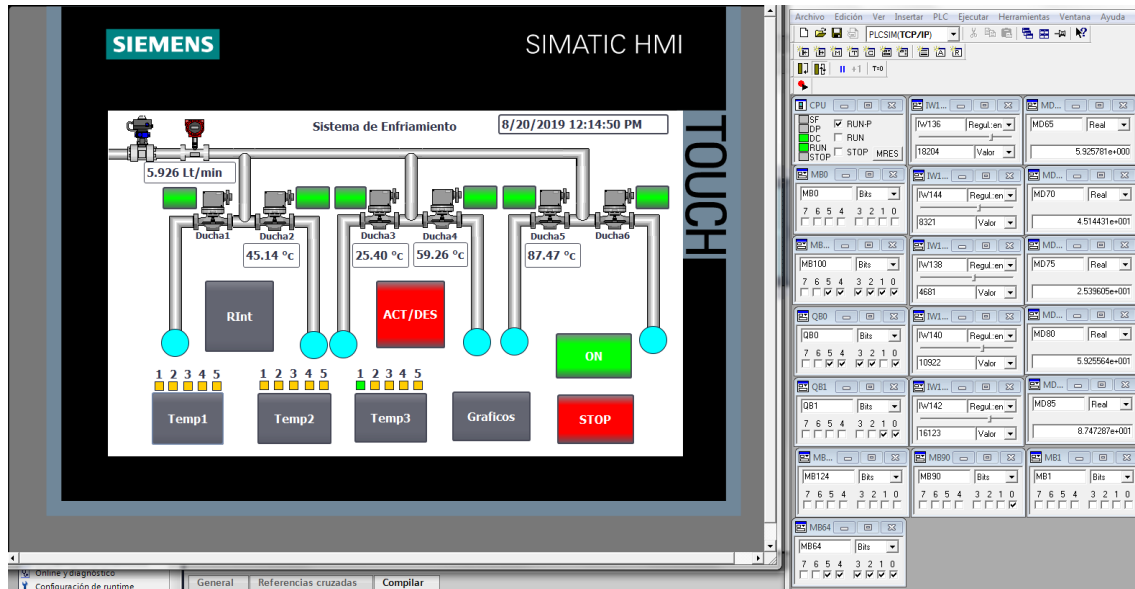


Figura 68. Simulación de programa temporizado #3

En el simulador de la interfaz, previamente a ingresar los valores de tiempos efectivos y tiempos de pausa, se selecciona el botón “On” para activar la autorretención del sistema, por lo que la marca %M90.0 debe activarse, seguidamente se activan los cuadrantes donde se quiere rociar, en este caso se activaron las duchas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 por lo que deberían activarse las marcas %M100.0, %M100.1, %M100.2, %M100.3, %M100.4 y %M100.5 respectivamente, en la figura 68 se observa que el sistema responde de la manera deseada.

Una vez encendido el sistema y seleccionado los cuadrantes deseados se procede a seleccionar el programa temporizado a utilizar, en esta prueba se seleccionó el programa temporizado #3. Seguidamente el programa abre una ventana para ingresar los tiempos efectivos y tiempos de pausa como se muestra en la figura 69.

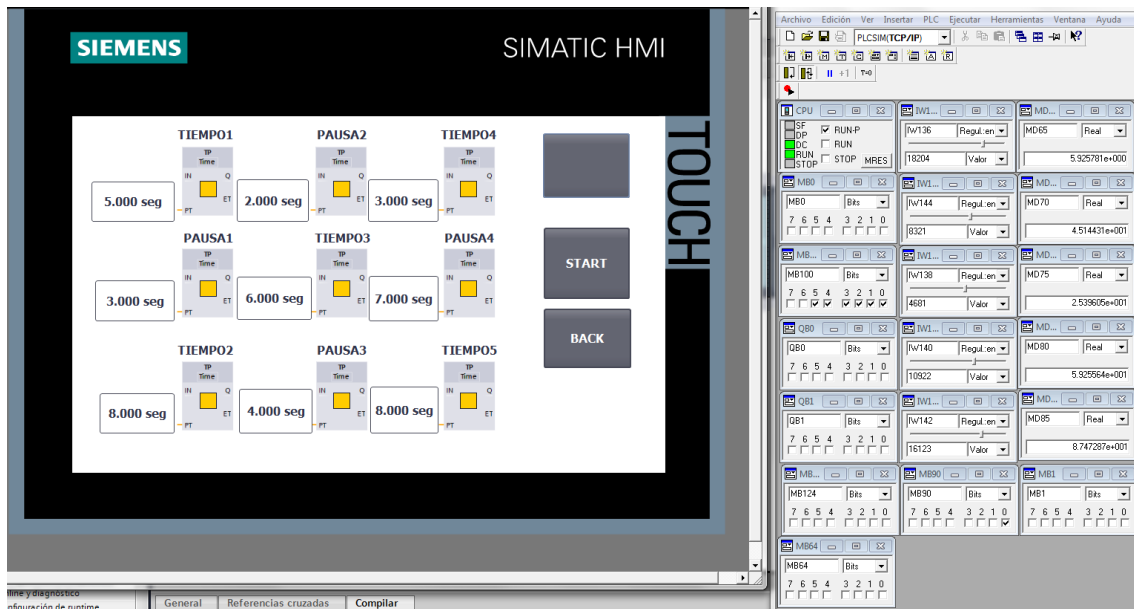


Figura 69. Configuración de parámetros para iniciar el programa temporizado #3.

Los valores configurados en los tiempos efectivos y en los tiempos de pausa mostrados en la figura 68, fueron números pequeños para visualizar el comportamiento de la simulación rápidamente. Para iniciar el programa temporizado #3, una vez terminado de configurar los tiempos se debe presionar el botón “Start” presente en la figura 69. Si se presiona el botón “Back” regresamos a la pantalla principal donde se verá el comportamiento de las duchas. El sistema notifica de manera visual las duchas que están rociando agua en ese momento mediante los círculos color turquesa, por lo que las marcas %M64.0, %M64.1, %M64.2, %M64.3, %M64.4 y %M64.5 se activan como se muestra en la figura 68.

Ahora que se verificó el funcionamiento en la simulación, se procede a realizar las pruebas de campo en el prototipo de la celda Festo. Como primer paso se verifica el nivel de agua en el tanque de suministro “TANK B201”, este tanque contiene 3 litros de agua para dispensar. En la figura 70 se observa el tanque antes de dar inicio al programa temporizado 3.





*Figura 70. Nivel de agua en el tanque B201 antes de iniciar el programa temporizado 3.*

Seguidamente se activa el sistema presionando el botón "On", se seleccionan el cuadrante 1 que activa la electroválvula correspondiente al tanque B201, seguidamente se selecciona el programa temporizado 3 presionando el botón "Temp3". Una vez seleccionado, configuramos los tiempos efectivos de rociado en 5 segundos cada uno y los tiempos de pausa en 2 segundos cada uno. Se presiona el botón "Start" para dar inicio al programa temporizado 3.

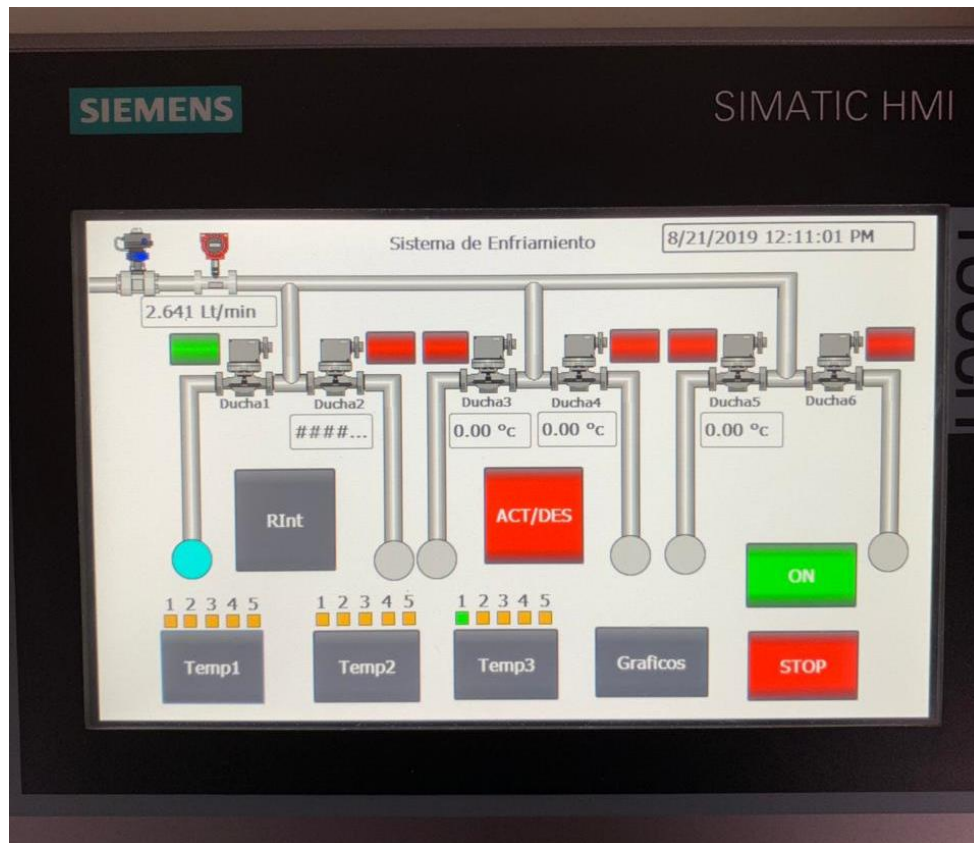


Figura 71. Inicio de programa temporizado 3.

De la figura 71 se puede observar que el programa inició a las 12:11:01 pm, anteriormente se menciona que todos los tiempos efectivos se configuraron en 5 segundos y todas las pausas se configuraron en 2 segundos, por lo que el tiempo total del programa temporizado #3 en esta prueba sería de 33 segundos, sabiendo esto, el programa temporizado #3 finaliza a las 12:11:34 pm. En la figura 72 se muestra la gráfica de consumo de agua con el resultado.



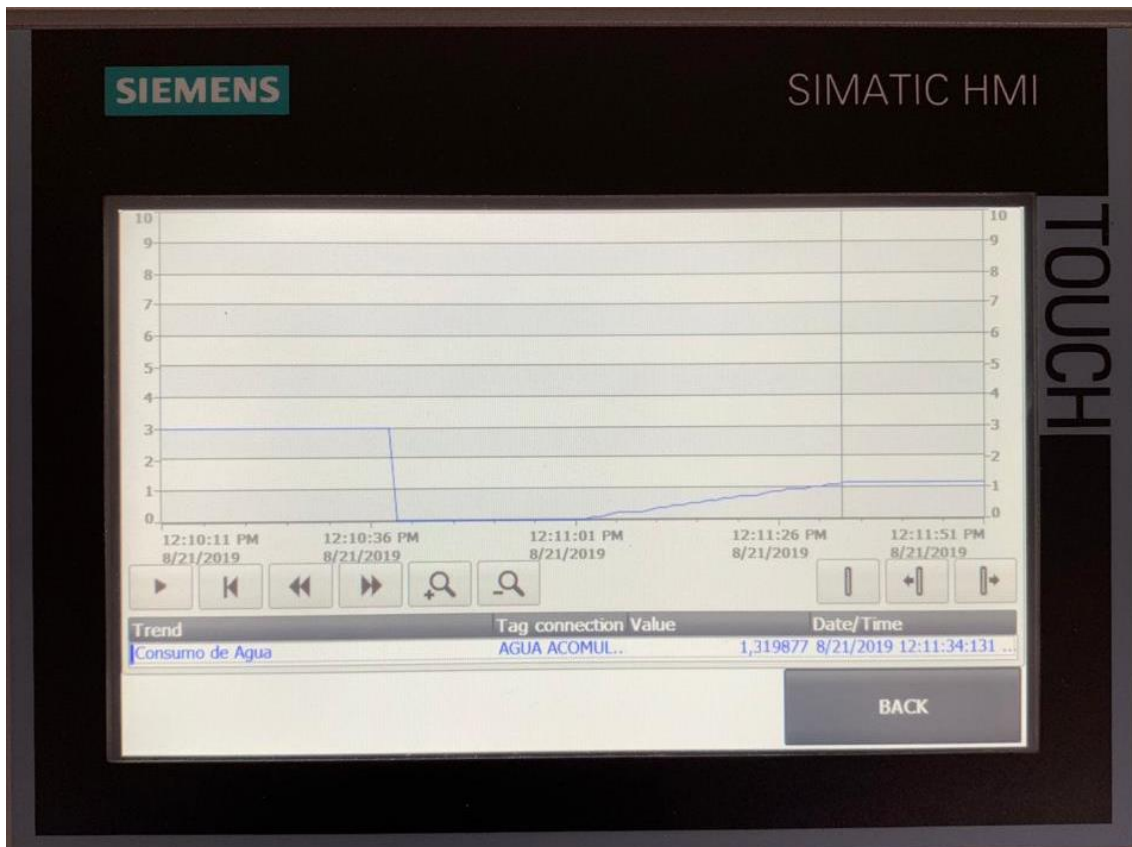


Figura 72. Resultado de consumo de agua utilizando el programa temporizado 3.

De la figura 72 se obtiene que al finalizar el programa temporizado 3, se obtuvo un consumo de agua de 1,32 litros aproximadamente, este resultado debería de encajar con el faltante de agua en el tanque B201. En la figura 73 se muestra el contenido de agua en el tanque una vez finalizado el programa temporizado 3.



*Figura 73. Contenido de agua en el tanque después de finalizar el programa temporizado 3.*

La figura 73 muestra que en el tanque B201 se consumieron 1,3 litros. El resultado del consumo reflejado en el tanque coincide satisfactoriamente con el resultado obtenido en la gráfica de consumo de la figura 72, por una diferencia de 20 ml aproximadamente, es decir, un error de 1,51% con respecto al valor teórico.

#### **6.2.4 Pruebas de medición de temperatura**

No fue posible realizar las pruebas de campo con sensores de temperatura Pt100 reales, entonces, para sustituir estos sensores, se utilizó una estación de prueba dentro del laboratorio SIMTEC, donde esta trae adaptado un potenciómetro para cada entrada analógica. En la figura 74 se observa la estación de prueba utilizada.

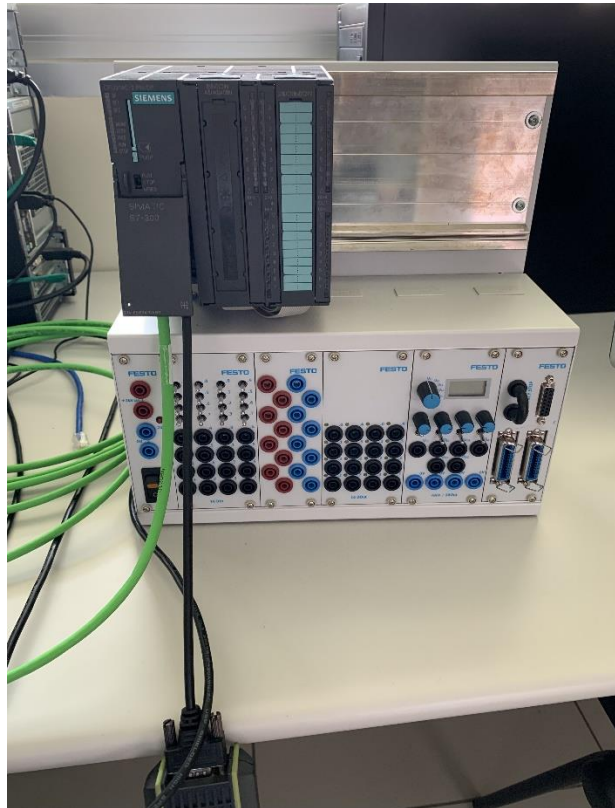


Figura 74. Estación de prueba.

Las perillas azules con negro presentes en la figura 74 son los potenciómetros conectados a las entradas analógicas del PLC, el rango de valores que transmiten va desde los -10 V a los 10 Voltios positivos, sin embargo, dentro del programa, el escalado está restringido a únicamente convertir los valores de 0 V a 10 V.



Figura 75. Variación del sensor 2 perteneciente a la ducha 3.



En la figura 75 se puede observar que si el potenciómetro conectado a la entrada del sensor 2 entrega 5.02 voltios, se obtiene una lectura de 57.03°C.



Figura 76. Variación del sensor 3 perteneciente a la ducha 4.

En la figura 76 se puede observar que si el potenciómetro conectado a la entrada del sensor 3 entrega 6.70 voltios, se obtiene una lectura de 88.54°C.

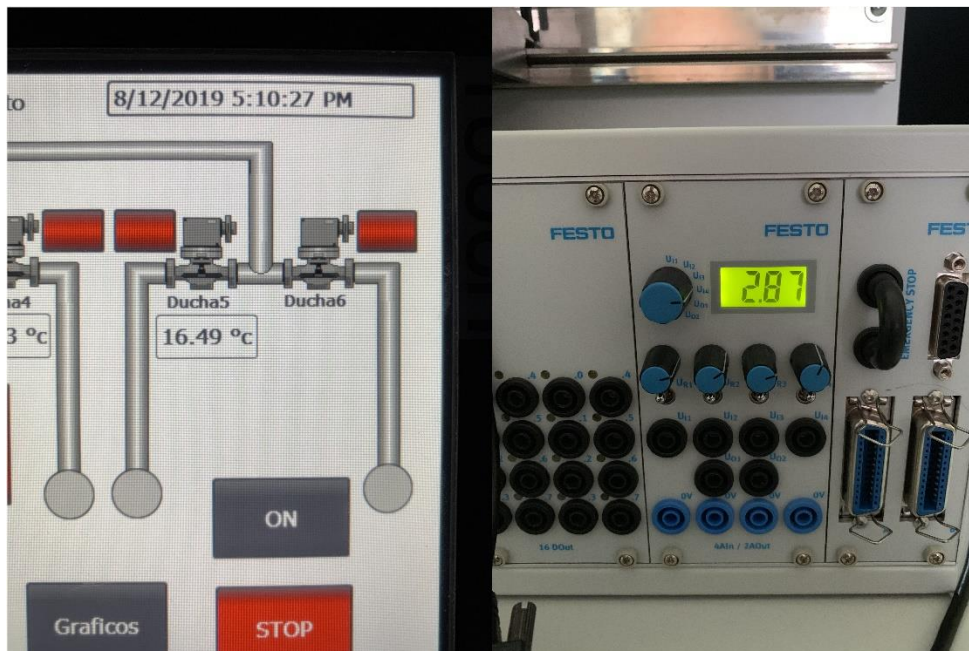


Figura 77. Variación del sensor 4 perteneciente a la ducha 5.

En la figura 77 se puede observar que si el potenciómetro conectado a la entrada del sensor 4 entrega 2.87 voltios, se obtiene una lectura de 16.49°C.

## Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

- La arquitectura propuesta cumple con los requerimientos técnicos y funcionales del nuevo sistema.
- Se verificó con equipo real y mediante simulaciones que el programa para el PLC S7-300 314C-2PN/DP cumple con los requerimientos establecidos por nuestro diagrama de flujo del proceso de rociado.
- Se verificó con equipo real que el sistema HMI diseñado puede monitorear y documentar el consumo de agua, la temperatura del producto en cuatro cuadrantes, además, el operario puede seleccionar tres programas temporizados distintos, de los cuales uno de ellos es manipulado enteramente por él.
- El proyecto es rentable para la empresa, obteniendo en un periodo de 10 años un NPV de \$31 000 y un IRR de 82,3%, indicando que la inversión inicial se recupera en un año con dos meses y doce días.
- Las pruebas de simulación y mediante la celda Festo del laboratorio SIMTEC en el campus tecnológico local San Carlos, demostraron que el sistema diseñado cumple con los requerimientos establecidos en los objetivos.

## 7.2 Recomendaciones

- Reemplazar los aspersores actuales, ya que la mayoría se encuentran dañados y generan consumo extra de agua.
- Colocar cuatro torres de jamones o salchichas por cada cuadrante para aprovechar al máximo el espacio, reducir la cantidad de tandas y por ende reducir el consumo de agua.
- Poner a prueba el sistema por un periodo de dos meses para verificar que los programas temporizados 1 y 2 dispensan el agua suficiente para reducir la temperatura del jamón a 30°C y la temperatura de las salchichas a 28°C, en caso de no ser suficiente, reprogramarlos.
- Instalar el sistema junto a los paneles de hornos, para reducir la distancia del cableado de las sondas Pt100 con el PLC, y de esta manera reducir el error en la medición de estos.
- Implementar un sistema de control en lazo cerrado para aumentar la efectividad del proceso de enfriamiento del producto en la etapa de rociado.

## Capítulo 8: Bibliografía

- [1] [Es.wikipedia.org](https://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula_de_bola#/media/File:Esquema_valvula_de_bola_1-6.svg). (2019). *Válvula de bola*. [online] Available at: [https://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula\\_de\\_bola#/media/File:Esquema\\_valvula\\_de\\_bola\\_1-6.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula_de_bola#/media/File:Esquema_valvula_de_bola_1-6.svg) [Accessed 21 Jan. 2019].
- [2] Lectura caudalímetro mecánico - Google Search. (2019). Retrieved 21 January 2019, from [https://www.google.com/search?biw=1366&bih=625&tbm=isch&sa=1&ei=pQDTXMiJsHN\\_Aal57qgCw&q=lectura+caudalimetro+mecanico&oq=lectura+caudalimetro+mecanico&gs\\_l=img.3...11398.15889..16135...0.0..0.515.2819.0j2j7j1j0j1.....1....1..gws-wiz-img.....35i39j0i67.vC4vHphhAp8#imgdii=0hJtfdhzDERqWM:&imgcr=tK3R09I00oNkyM:](https://www.google.com/search?biw=1366&bih=625&tbm=isch&sa=1&ei=pQDTXMiJsHN_Aal57qgCw&q=lectura+caudalimetro+mecanico&oq=lectura+caudalimetro+mecanico&gs_l=img.3...11398.15889..16135...0.0..0.515.2819.0j2j7j1j0j1.....1....1..gws-wiz-img.....35i39j0i67.vC4vHphhAp8#imgdii=0hJtfdhzDERqWM:&imgcr=tK3R09I00oNkyM:)
- [3] (2019). Retrieved 21 January 2019, from <http://dspace.ucbscz.edu.bo/dspace/bitstream/123456789/4888/1/4380.pdf>
- [4] Retrieved 22 January 2019, from [http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_ISE6\\_1\\_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf)
- [5] Page\_05 — ocwus. (2007). Retrieved 22 January 2019, from [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%206.%20Elementos%20auxiliares/page\\_05.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%206.%20Elementos%20auxiliares/page_05.htm)
- [6] Hd\_1989\_04.pdf. Retrieved 25 January 2019, from [https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1989\\_04.pdf](https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1989_04.pdf)
- [7] Picadora de carne industrial - Google Search. Retrieved 26 January 2019, from [https://www.google.com/search?rlz=1C1EJFC\\_enCR812CR812&biw=1366&bih=625&tbm=isch&sa=1&ei=8x7bXLWcM4nj-gSyvoPwBw&q=picadora+de+carne+industrial&oq=picadora+de+carne+industrial&gs\\_l=img.3..35i39j0i5i30l2j0i8i30j0i24i5.36829.37899..38922...0.0..0.159.1181.0j8.....1....1..gws-wiz-img.....0i7i30j0i7i5i30j0i8i7i30.LNWIGTLHzf8#imgcr=JkB12eEOri8duM:](https://www.google.com/search?rlz=1C1EJFC_enCR812CR812&biw=1366&bih=625&tbm=isch&sa=1&ei=8x7bXLWcM4nj-gSyvoPwBw&q=picadora+de+carne+industrial&oq=picadora+de+carne+industrial&gs_l=img.3..35i39j0i5i30l2j0i8i30j0i24i5.36829.37899..38922...0.0..0.159.1181.0j8.....1....1..gws-wiz-img.....0i7i30j0i7i5i30j0i8i7i30.LNWIGTLHzf8#imgcr=JkB12eEOri8duM:)
- [8] Mezcladora cozzini - Google Search. Retrieved 26 January 2019, from [https://www.google.com/search?rlz=1C1EJFC\\_enCR812CR812&biw=1366&bih=625&tbm=isch&sa=1&ei=IH3bXOPKB8iOggfdubWADQ&q=mezcladora+cozzini&oq=mezcladora+cozzini&gs\\_l=img.3.0i24.97336.98944.99172...0.0..0.161.1314.0j10.....1....1..gws-wiz-img.RdDvTo7B0Fg#imgcr=ocOhIHffrWzbUM:](https://www.google.com/search?rlz=1C1EJFC_enCR812CR812&biw=1366&bih=625&tbm=isch&sa=1&ei=IH3bXOPKB8iOggfdubWADQ&q=mezcladora+cozzini&oq=mezcladora+cozzini&gs_l=img.3.0i24.97336.98944.99172...0.0..0.161.1314.0j10.....1....1..gws-wiz-img.RdDvTo7B0Fg#imgcr=ocOhIHffrWzbUM:)
- [9] Embutidora al vacío HP12E. (2019). Retrieved 28 January 2019, from <https://www.vemag.de/es/productos/maquinas-embudidoras-al-vacio/embudidora-al-vacio-hp12e/>
- [10] Fleimatec - Hornos Universales Vemag (3). (2019). Retrieved 30 January 2019, from <http://www.fleimatec.com/es/73/hornos-universales-vemag-3>
- [11] Products for Totally Integrated Automation. (2017). Retrieved 30 January 2019, from <https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/catalog/en/simatic-st70-chap05-english-2017.pdf>
- [12] ¿Cuáles son los Tipos de Válvulas de Solenoide? (2019). Retrieved 4 February 2019, from <https://www.climasmonterrey.com/cuales-son-los-tipos-de-valvulas-solenoides>
- [13] ACTUADORES.pdf. (2013). Retrieved 5 February 2019, from [http://www.dis.uia.mx/taller\\_industrial/blog/wp-content/uploads/2013/10/ACTUADORES.pdf](http://www.dis.uia.mx/taller_industrial/blog/wp-content/uploads/2013/10/ACTUADORES.pdf)

- [14] Esquema de electroválvula. (2012). Retrieved 6 February 2019, from [https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Esquema-de-electrovalvula-Fuente-Gonzalez-Alfonso-2012-Fuente\\_fig4\\_281284222](https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Esquema-de-electrovalvula-Fuente-Gonzalez-Alfonso-2012-Fuente_fig4_281284222)
- [15] Electroválvulas. Retrieved 7 February 2019, from <https://www.altecdust.com/soporte-tecnico/question-las-electrovalvulas>
- [16] Resistores PTC. Retrieved 7 February 2019, from <http://www.ifent.org/Lecciones/PTC/ptc.htm>
- [17] Sensores RTD | Resistencia eléctrica y conductancia | Sensor. Retrieved 10 February 2019, from <https://es.scribd.com/doc/97921221/Sensores-RTD>
- [18] Sensores de Temperatura Resistiva RTD - Tipos y Funcionamiento. Retrieved 10 February 2019, from <https://www.logicbus.com.mx/RTD.php>
- [19] Pt100, su operación, instalación y tablas. Retrieved 11 February 2019, from <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>
- [20] Sensores de resistencia de platino | Academia Testo. (2018). Retrieved 13 February 2019, from <http://www.academiatesto.com.ar/cms/sensores-de-resistencia-de-platino>
- [21] Termopares. (2002). Retrieved 13 February 2019, from <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-02-07-TC.pdf>
- [22] El uso de termopares. (2016). Retrieved 15 February 2019, from [https://www.wikipolska.pl/upload/DS\\_IN0023\\_es\\_es\\_62452.pdf](https://www.wikipolska.pl/upload/DS_IN0023_es_es_62452.pdf)
- [23] Flujómetro electromagnético - EcuRed. Retrieved 18 February 2019, from [https://www.ecured.cu/Fluj%C3%B3metro\\_electromagn%C3%A9tico](https://www.ecured.cu/Fluj%C3%B3metro_electromagn%C3%A9tico)
- [24] Comunicación con SIMATIC. (2006). Retrieved 19 February 2019, from [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/686/1254686/att\\_46481/v1/S7komm\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/686/1254686/att_46481/v1/S7komm_s.pdf)
- [25] Esquema de contactos (KOP) para S7-300 y S7-400. (2006). Retrieved 21 February 2019, from [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/395/18654395/att\\_33367/v1/KOP\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/395/18654395/att_33367/v1/KOP_s.pdf)
- [26] (PDF) CURSO 061 > CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) 061 MICRO CAPACITACIÓN. Retrieved 21 February 2019, from [https://www.academia.edu/9181621/CURSO\\_061\\_CONTROLADOR\\_L%C3%93GICO\\_PROGRAMABLE\\_PLC\\_061\\_MICRO\\_CAPACITACION](https://www.academia.edu/9181621/CURSO_061_CONTROLADOR_L%C3%93GICO_PROGRAMABLE_PLC_061_MICRO_CAPACITACION)
- [27] Hmi.doc. Retrieved 25 February 2019, from <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>
- [28] HMI | Human Machine Interfaces. (2019). Retrieved 28 February 2019, from <https://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/hmi-guide.php>
- [29] Panel HMI Siemens KTP700 Basic PN - 6AV2123-2GB03-0AX0. Retrieved 1 March 2019, from <https://www.automation24.es/panel-hmi-siemens-ktp700-basic-pn-6av2123-2gb03-0ax0>
- [30] 6AV2124-0GC01-0AX0 Industry Support Siemens. (2019). Retrieved 1 March 2019, from <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/127118?pdtd=td&dl=es&pnid=14742&lc=en-WW>
- [31] Aresep.go.cr. (2019). *Tarifa Acueducto AYA 2017-2021 - ARESEP*. [online] Available at: <https://aresep.go.cr/tarifas/tarifas-vigentes/2199-tarifa-acueducto-aya-2017-2021> [Accessed 20 May 2019].
- [32] Urbina, G. B. (2010). *Evaluacion de Proyectos*. Mexico D.F.: McGRAWHILL/INTERAMERICANA EDITORES.



- [33] Asco.com. (2019). *Válvulas Solenoide de Servicio General*. [online] Available at: <https://www.asco.com/ASCO%20Asset%20Library/asco-solenoid-valve-series-8210-catalogesp.pdf> [Accessed 2 Aug. 2019].
- [34] Watlow.com. (n.d.). *Watlow / RTDs (Resistance Temperature Detectors)*. [online] Available at: <https://www.watlow.com/en/products/sensors/temperature-sensors/resistance-temperature-detectors> [Accessed 2 Aug. 2019].
- [35] Burkert.es. (n.d.). *Tipo 8030 - Caudalímetro inline para medición continua*. [online] Available at: <https://www.burkert.es/es/type/8030> [Accessed 2 Aug. 2019].

## Capítulo 9: Apéndices y Anexos

### A.1 Información de la empresa

La empresa Cinta Azul® inicia sus actividades en 1966 enfocada en la producción de alimentos enlatados, para el periodo de 1970 a 1980, la empresa decide emprender en la producción de productos embutidos esto debido a que lograron identificar las necesidades de los clientes por productos de más fácil acceso, también para el mismo periodo la empresa establece su propia planta panificadora. Para el año 1990 la empresa deja de producir los productos enlatados ya que estos empezaban a hacer un producto que no dejaba mucha ganancia y decidieron enfocarse a sus otros dos negocios, no es hasta 1995 que la empresa decide vender la planta panificadora a la empresa Bimbo, esto debido a que los costos de mantener las dos líneas de producción eran muy elevados por lo que decidieron dejar ese mercado atrás y dedicarse a sus productos estrella. En 1999 la enorme empresa de alimentos Cargill con su división Latinoamérica decide comprar la marca Cinta Azul®.

La empresa Cargill Meats Latinoamérica cuenta con diversas marcas de productos embutidos, entre estas se encuentran: Cinta Azul®, Kimby®, Zaragoza y Castillo del Roble. La planta de producción Cinta Azul es la encargada de procesamiento de estos productos en diversas presentaciones en cuanto arte de empaque y gramaje del producto se refiere. Es importante resaltar que la marca favorita es la de embutidos Cinta Azul®, debido a su gran cantidad y variedad de productos de todas las familias que producen. La planta de embutidos para el febrero del 2019 tiene registrados una cantidad de 206 productos los cuales se distribuyen en las diversas marcas y familias de producto, Cinta Azul cuenta con la mayor cantidad de estos con una cifra de 141 productos diferentes, después le sigue los productos Kimby® con 21 presentaciones y finalmente las marca Zaragoza y Castillo del Roble que se consideran como productos de gama alta, estas con 18 y 15 productos respectivamente.

## A.2 Consumo hídrico mensual

Se muestran las tablas de consumo hídrico registrado por el departamento de mantenimiento en Cinta Azul, desde agosto del 2018 hasta abril del 2019.

Tabla 13. Consumo de agua en duchas, agosto 2018.

Fecha	Consumo (m3)
miércoles, 1 de agosto de 2018	82
jueves, 2 de agosto de 2018	88
viernes, 3 de agosto de 2018	119
sábado, 4 de agosto de 2018	109
domingo, 5 de agosto de 2018	
lunes, 6 de agosto de 2018	34
martes, 7 de agosto de 2018	95
miércoles, 8 de agosto de 2018	129
jueves, 9 de agosto de 2018	136
viernes, 10 de agosto de 2018	112
sábado, 11 de agosto de 2018	160
domingo, 12 de agosto de 2018	
lunes, 13 de agosto de 2018	97
martes, 14 de agosto de 2018	92
miércoles, 15 de agosto de 2018	
jueves, 16 de agosto de 2018	110
viernes, 17 de agosto de 2018	102
sábado, 18 de agosto de 2018	84
domingo, 19 de agosto de 2018	
lunes, 20 de agosto de 2018	41
martes, 21 de agosto de 2018	101
miércoles, 22 de agosto de 2018	111
jueves, 23 de agosto de 2018	92
viernes, 24 de agosto de 2018	127
sábado, 25 de agosto de 2018	112
domingo, 26 de agosto de 2018	
lunes, 27 de agosto de 2018	54
martes, 28 de agosto de 2018	74
miércoles, 29 de agosto de 2018	103
jueves, 30 de agosto de 2018	146
viernes, 31 de agosto de 2018	93
Promedio	100,1153846

Tabla 14. Consumo de agua en duchas, septiembre 2018.

Fecha	Consumo (m3)
sábado, 1 de septiembre de 2018	
domingo, 2 de septiembre de 2018	
lunes, 3 de septiembre de 2018	142
martes, 4 de septiembre de 2018	93
miércoles, 5 de septiembre de 2018	98
jueves, 6 de septiembre de 2018	111
viernes, 7 de septiembre de 2018	76
sábado, 8 de septiembre de 2018	134
domingo, 9 de septiembre de 2018	
lunes, 10 de septiembre de 2018	88
martes, 11 de septiembre de 2018	128
miércoles, 12 de septiembre de 2018	112
jueves, 13 de septiembre de 2018	78
viernes, 14 de septiembre de 2018	133
sábado, 15 de septiembre de 2018	141
domingo, 16 de septiembre de 2018	
lunes, 17 de septiembre de 2018	
martes, 18 de septiembre de 2018	106
miércoles, 19 de septiembre de 2018	234
jueves, 20 de septiembre de 2018	104
viernes, 21 de septiembre de 2018	
sábado, 22 de septiembre de 2018	
domingo, 23 de septiembre de 2018	
lunes, 24 de septiembre de 2018	123
martes, 25 de septiembre de 2018	66
miércoles, 26 de septiembre de 2018	109
jueves, 27 de septiembre de 2018	120
viernes, 28 de septiembre de 2018	94
sábado, 29 de septiembre de 2018	100
domingo, 30 de septiembre de 2018	34
<b>Promedio</b>	<b>110,1818182</b>

Tabla 15. Consumo de agua en duchas, octubre 2018.

Fecha	Consumo (m3)
lunes, 1 de octubre de 2018	3
martes, 2 de octubre de 2018	127
miércoles, 3 de octubre de 2018	114
jueves, 4 de octubre de 2018	112
viernes, 5 de octubre de 2018	104
sábado, 6 de octubre de 2018	124
domingo, 7 de octubre de 2018	
lunes, 8 de octubre de 2018	
martes, 9 de octubre de 2018	133
miércoles, 10 de octubre de 2018	89
jueves, 11 de octubre de 2018	111
viernes, 12 de octubre de 2018	310
sábado, 13 de octubre de 2018	
domingo, 14 de octubre de 2018	
lunes, 15 de octubre de 2018	180
martes, 16 de octubre de 2018	94
miércoles, 17 de octubre de 2018	107
jueves, 18 de octubre de 2018	111
viernes, 19 de octubre de 2018	110
sábado, 20 de octubre de 2018	94
domingo, 21 de octubre de 2018	
lunes, 22 de octubre de 2018	53
martes, 23 de octubre de 2018	54
miércoles, 24 de octubre de 2018	84
jueves, 25 de octubre de 2018	34
viernes, 26 de octubre de 2018	105
sábado, 27 de octubre de 2018	81
domingo, 28 de octubre de 2018	
lunes, 29 de octubre de 2018	34
martes, 30 de octubre de 2018	60
miércoles, 31 de octubre de 2018	321
Promedio	109,96

Tabla 16. Consumo de agua en duchas, noviembre 2018.

Fecha	Consumo (m3)
jueves, 1 de noviembre de 2018	114
viernes, 2 de noviembre de 2018	103
sábado, 3 de noviembre de 2018	103
domingo, 4 de noviembre de 2018	
lunes, 5 de noviembre de 2018	39
martes, 6 de noviembre de 2018	23
miércoles, 7 de noviembre de 2018	166
jueves, 8 de noviembre de 2018	114
viernes, 9 de noviembre de 2018	83
sábado, 10 de noviembre de 2018	84
domingo, 11 de noviembre de 2018	
lunes, 12 de noviembre de 2018	56
martes, 13 de noviembre de 2018	105
miércoles, 14 de noviembre de 2018	130
jueves, 15 de noviembre de 2018	121
viernes, 16 de noviembre de 2018	106
sábado, 17 de noviembre de 2018	121
domingo, 18 de noviembre de 2018	
lunes, 19 de noviembre de 2018	44
martes, 20 de noviembre de 2018	73
miércoles, 21 de noviembre de 2018	66
jueves, 22 de noviembre de 2018	144
viernes, 23 de noviembre de 2018	536
sábado, 24 de noviembre de 2018	
domingo, 25 de noviembre de 2018	
lunes, 26 de noviembre de 2018	
martes, 27 de noviembre de 2018	34
miércoles, 28 de noviembre de 2018	52
jueves, 29 de noviembre de 2018	64
viernes, 30 de noviembre de 2018	67
Promedio	106,166667

Tabla 17. Consumo de agua en duchas, diciembre 2018.

Fecha	Consumo (m3)
sábado, 1 de diciembre de 2018	28
domingo, 2 de diciembre de 2018	
lunes, 3 de diciembre de 2018	69
martes, 4 de diciembre de 2018	53
miércoles, 5 de diciembre de 2018	73
jueves, 6 de diciembre de 2018	100
viernes, 7 de diciembre de 2018	73
sábado, 8 de diciembre de 2018	64
domingo, 9 de diciembre de 2018	
lunes, 10 de diciembre de 2018	16
martes, 11 de diciembre de 2018	58
miércoles, 12 de diciembre de 2018	80
jueves, 13 de diciembre de 2018	79
viernes, 14 de diciembre de 2018	75
sábado, 15 de diciembre de 2018	90
domingo, 16 de diciembre de 2018	61
lunes, 17 de diciembre de 2018	73
martes, 18 de diciembre de 2018	131
miércoles, 19 de diciembre de 2018	66
jueves, 20 de diciembre de 2018	71
viernes, 21 de diciembre de 2018	267
sábado, 22 de diciembre de 2018	
domingo, 23 de diciembre de 2018	
lunes, 24 de diciembre de 2018	
martes, 25 de diciembre de 2018	
miércoles, 26 de diciembre de 2018	189
jueves, 27 de diciembre de 2018	78
viernes, 28 de diciembre de 2018	58
sábado, 29 de diciembre de 2018	63
domingo, 30 de diciembre de 2018	
lunes, 31 de diciembre de 2018	
Promedio	83,26086957

La tabla 17 muestra que hay una reducción significativa en el consumo en el mes de diciembre 2018 con respecto al mes de noviembre 2018, esto se debe porque en las duchas se reemplazaron las boquillas de las tuberías por dispersores de agua y por la cantidad de días feriados.

Tabla 18. Consumo de agua en duchas, enero 2019.

Fecha	Consumo (m3)
martes, 1 de enero de 2019	
miércoles, 2 de enero de 2019	44
jueves, 3 de enero de 2019	43
viernes, 4 de enero de 2019	51
sábado, 5 de enero de 2019	21
domingo, 6 de enero de 2019	
lunes, 7 de enero de 2019	42
martes, 8 de enero de 2019	114
miércoles, 9 de enero de 2019	34
jueves, 10 de enero de 2019	67
viernes, 11 de enero de 2019	53
sábado, 12 de enero de 2019	132
domingo, 13 de enero de 2019	
lunes, 14 de enero de 2019	
martes, 15 de enero de 2019	123
miércoles, 16 de enero de 2019	66
jueves, 17 de enero de 2019	71
viernes, 18 de enero de 2019	59
sábado, 19 de enero de 2019	
domingo, 20 de enero de 2019	
lunes, 21 de enero de 2019	117
martes, 22 de enero de 2019	57
miércoles, 23 de enero de 2019	75
jueves, 24 de enero de 2019	72
viernes, 25 de enero de 2019	89
sábado, 26 de enero de 2019	73
domingo, 27 de enero de 2019	
lunes, 28 de enero de 2019	103
martes, 29 de enero de 2019	83
miércoles, 30 de enero de 2019	95
jueves, 31 de enero de 2019	113
Promedio	74,875



Tabla 19. Consumo de agua en duchas, febrero 2019.

Fecha	Consumo (m3)
viernes, 1 de febrero de 2019	69
sábado, 2 de febrero de 2019	62
domingo, 3 de febrero de 2019	
lunes, 4 de febrero de 2019	40
martes, 5 de febrero de 2019	59
miércoles, 6 de febrero de 2019	48
jueves, 7 de febrero de 2019	79
viernes, 8 de febrero de 2019	
sábado, 9 de febrero de 2019	118
domingo, 10 de febrero de 2019	
lunes, 11 de febrero de 2019	
martes, 12 de febrero de 2019	58
miércoles, 13 de febrero de 2019	26
jueves, 14 de febrero de 2019	34
viernes, 15 de febrero de 2019	120
sábado, 16 de febrero de 2019	74
domingo, 17 de febrero de 2019	
lunes, 18 de febrero de 2019	22
martes, 19 de febrero de 2019	
miércoles, 20 de febrero de 2019	52
jueves, 21 de febrero de 2019	68
viernes, 22 de febrero de 2019	64
sábado, 23 de febrero de 2019	51
domingo, 24 de febrero de 2019	
lunes, 25 de febrero de 2019	43
martes, 26 de febrero de 2019	64
miércoles, 27 de febrero de 2019	
jueves, 28 de febrero de 2019	127
Promedio	63,9

Tabla 20. Consumo de agua en duchas, marzo 2019.

Fecha	Consumo (m3)
viernes, 1 de marzo de 2019	65
sábado, 2 de marzo de 2019	72
domingo, 3 de marzo de 2019	
lunes, 4 de marzo de 2019	43
martes, 5 de marzo de 2019	23
miércoles, 6 de marzo de 2019	89
jueves, 7 de marzo de 2019	56
viernes, 8 de marzo de 2019	85
sábado, 9 de marzo de 2019	36
domingo, 10 de marzo de 2019	
lunes, 11 de marzo de 2019	48
martes, 12 de marzo de 2019	58
miércoles, 13 de marzo de 2019	68
jueves, 14 de marzo de 2019	67
viernes, 15 de marzo de 2019	56
sábado, 16 de marzo de 2019	72
domingo, 17 de marzo de 2019	
lunes, 18 de marzo de 2019	17
martes, 19 de marzo de 2019	48
miércoles, 20 de marzo de 2019	64
jueves, 21 de marzo de 2019	71
viernes, 22 de marzo de 2019	71
sábado, 23 de marzo de 2019	72
domingo, 24 de marzo de 2019	
lunes, 25 de marzo de 2019	13
martes, 26 de marzo de 2019	70
miércoles, 27 de marzo de 2019	75
jueves, 28 de marzo de 2019	12
viernes, 29 de marzo de 2019	73
sábado, 30 de marzo de 2019	78
domingo, 31 de marzo de 2019	
Promedio	57,76923077

Tabla 21. Consumo de agua en duchas, abril 2019.

Fecha	Consumo (m3)
lunes, 1 de abril de 2019	10
martes, 2 de abril de 2019	46
miércoles, 3 de abril de 2019	56
jueves, 4 de abril de 2019	53
viernes, 5 de abril de 2019	63
sábado, 6 de abril de 2019	69
domingo, 7 de abril de 2019	
lunes, 8 de abril de 2019	36
martes, 9 de abril de 2019	76
miércoles, 10 de abril de 2019	83
jueves, 11 de abril de 2019	67
viernes, 12 de abril de 2019	70
sábado, 13 de abril de 2019	56
domingo, 14 de abril de 2019	69
lunes, 15 de abril de 2019	51
martes, 16 de abril de 2019	47
miércoles, 17 de abril de 2019	
jueves, 18 de abril de 2019	
viernes, 19 de abril de 2019	
sábado, 20 de abril de 2019	
domingo, 21 de abril de 2019	
lunes, 22 de abril de 2019	1
martes, 23 de abril de 2019	58
miércoles, 24 de abril de 2019	59
jueves, 25 de abril de 2019	68
viernes, 26 de abril de 2019	68
sábado, 27 de abril de 2019	53
domingo, 28 de abril de 2019	
lunes, 29 de abril de 2019	19
martes, 30 de abril de 2019	50
Promedio	53,39130435

Es importante mencionar que las reducciones de consumo en el mes de abril 2019 fueron significativas por la cantidad de días feriados, ya que la planta se mantenía cerrada.

Tabla 22. Consumo promedio mensual en duchas.

Fecha	Consumo (m3)
ago-18	100,1153846
sep-18	110,1818182
oct-18	109,96
nov-18	106,1666667
dic-18	83,26086957
ene-19	74,875
feb-19	63,9
mar-19	57,76923077
abr-19	53,39130435
Promedio mensual	84,40225268

### A.3 Programa semanal Hornos

A continuación, se muestra el programa semanal de cocción del mes de marzo 2019, por motivos de confidencialidad, esta fue la única información que la empresa pudo compartir.

Tabla 23. Kilogramos cocidos, semana 41 Cinta Azul.

Semana 41						
Etiquetas de fila	Suma de 3/4/2019	Suma de 3/5/2019	Suma de 3/6/2019	Suma de 3/7/2019	Suma de 3/8/2019	Suma de 3/9/2019
Chorizos [Kg]	882	1978	1072	1978	770,333	0
Jamones [Kg]	10086,446	8906	6811,261	10697	6030,825	5670,806
Patés [Kg]	2178	3116	4376	2178	1936,384	0
Salchichas [Kg]	13286	10993	13579	10754	7038,808	0
Salchichones [Kg]	4593	3062	4593	3062	1531	0
Tocineta [Kg]	0	1292	1615	1292	1292	0
<b>Total General [Kg]</b>	<b>31025,446</b>	<b>29347</b>	<b>32046,261</b>	<b>29961</b>	<b>18599,35</b>	<b>5670,806</b>

Tabla 24. Kilogramos cocidos, semana 42 Cinta Azul.

Semana 42						
Etiquetas de fila	Suma de 3/11/2019	Suma de 3/12/2019	Suma de 3/13/2019	Suma de 3/14/2019	Suma de 3/15/2019	Suma de 3/16/2019
Chorizos [Kg]	882,69	1381,69	1179,388	1488,689	499	0
Jamones [Kg]	7728,261	10682,137	11294,5	9989,911	11992,065	4136,758
Patés [Kg]	2420,82	3601,52	3167,432	1936,838	1694,166	0
Salchichas [Kg]	11989,836	10990,974	14547,749	9720,774	9615,707	0
Salchichones [Kg]	4593,526	4593,073	4562,682	4593,527	3062,2	0
Tocineta [Kg]	1292	1292,284	969,326	1292,284	1292,284	646,369
<b>Total General [Kg]</b>	<b>28907,133</b>	<b>32541,678</b>	<b>35721,077</b>	<b>29022,023</b>	<b>28155,422</b>	<b>4783,127</b>

Tabla 25. Kilogramos cocidos, semana 43 Cinta Azul.

Semana 43						
Etiquetas de fila	Suma de 3/18/2019	Suma de 3/19/2019	Suma de 3/20/2019	Suma de 3/21/2019	Suma de 3/22/2019	Suma de 3/23/2019
Chorizos [Kg]	392,357	2071,101	980	998,356	499,405	0
Jamones [Kg]	7057,848	20240,893	6812,46	12279,644	12311,202	10569,6
Patés [Kg]	2178,602	3802,914	3403,436	2662,585	1936,384	0
Salchichas [Kg]	14137,392	13685,717	14261,079	8399,048	10777,799	294,381
Salchichones [Kg]	4593,073	4593,073	4593,073	4593	5475,236	0
Tocineta [Kg]	646	646	969	1292,284	1292,284	0
<b>Total General [Kg]</b>	<b>29005,272</b>	<b>45039,698</b>	<b>31019,048</b>	<b>30224,917</b>	<b>32292,31</b>	<b>10863,981</b>

Tabla 26. Kilogramos cocidos, semana 44 Cinta Azul.

Semana 44						
Etiquetas de fila	Suma de 3/25/2019	Suma de 3/26/2019	Suma de 3/27/2019	Suma de 3/28/2019	Suma de 3/29/2019	Suma de 3/30/2019
Chorizos [Kg]	392,357	1990,333	1871,762	998,356	980,666	0
Jamones [Kg]	9505,209	13064,838	9108,129	11260,875	14860,128	7049,725
Patés [Kg]	2420,82	3318,478	3399,021	2178,602	1452,402	0
Salchichas [Kg]	12511,549	15137,307	12135,108	7040,655	7441,63	294,381
Salchichones [Kg]	3112	4593,073	4983,073	4593,073	4593,073	0
Tocineta [Kg]	0	1292,284	1292,284	1825,254	1825,254	646,369
<b>Total General [Kg]</b>	<b>27941,935</b>	<b>39396,313</b>	<b>32789,377</b>	<b>27896,815</b>	<b>31153,153</b>	<b>7990,475</b>

Para obtener el promedio de los kilogramos de cada producto al día, se utilizan las tablas 23, 24, 25 y 26.

Tabla 27. Promedio de kilogramos de chorizo cocidos por semana.

Chorizo						
[Kg]	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Promedio	637,351	1855,281	1275,7875	1365,85025	687,351	

Tabla 28. Promedio de kilogramos de jamones cocidos por semana.

Jamones						
[Kg]	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Promedio	8594,441	13223,467	8506,5875	11056,8575	11298,555	6856,72225

Tabla 29. Promedio de kilogramos de paté cocidos por semana.

Paté						
[Kg]	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Promedio	2299,5605	3459,728	3586,47225	2239,00625	1754,834	

Tabla 30. Promedio de kilogramos de salchichas cocidas por semana.

Salchichas						
[Kg]	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Promedio	12981,1943	12701,7495	13630,734	8978,61925	8718,486	147,1905

Tabla 31. Promedio de kilogramos de salchichones cocidos por semana.

Salchichones						
[Kg]	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Promedio	4222,89975	4210,30475	4682,957	4210,4	3665,37725	

Tabla 32. Promedio de kilogramos de tocineta cocida por semana.

Tocineta						
[Kg]	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Promedio	484,5	1130,642	1211,4025	1425,4555	1425,4555	323,1845

#### A.4 Cálculos de consumo y ahorro

Para los cálculos solo serán tomados en cuenta los productos de mayor interés para cinta azul como lo son las salchichas y los jamones. Para ello se utilizarán las tablas 28 y 30.

Las tablas 20 y 30 muestran el promedio en kilogramos de jamón y salchicha cocidos por día respectivamente, el peso neto de cada tanda de jamón es de 600kg y de cada tanda de salchichas es de 200kg.

Si dividimos el promedio de kilogramos de jamón diarios entre el peso neto de jamón de cada tanda, se obtiene la cantidad de tandas diarias de jamón que entrarán a las duchas. Una vez obtenidas las tandas, estas se dividen entre 16, ya que entran 16 torres a la vez al cuarto de rociado y luego se multiplican por 2 horas para obtener la cantidad de horas total por día. Para obtener las horas de rociado reducidas con el programa temporizado #1, las tandas se dividen entre 16 pero el resultado se multiplica por 1,6667 que equivale a los 100 minutos efectivos de rociado del programa temporizado #1.

Tabla 33. Tabla de horas de rociado con programa temporizado #1.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Hora Total
Tandas	14,324	22,039	14,178	18,428	18,831	11,428	
Horas actuales	1,7905	2,754875	1,77225	2,3035	2,353875	1,4285	12,4035
Reducción de horas	1,49208333	2,29572917	1,476875	1,91958333	1,9615625	1,190417	10,33625
Ahorro horas	0,298416667	0,45914583	0,295375	0,38391667	0,3923125	0,238083	2,06725

Una vez obtenidas las horas totales por semana, se calculan los litros por semana. Según los datos del flujómetro actual, se consume 200 litros por minuto en el cuarto de duchas, si multiplicamos 200 por 60 minutos, se obtiene el valor de litros por hora (12 000 l/h).

Multiplicando los 12 000 l/h por las horas semanales se obtiene el dato de litros por semana, al obtener el dato de litros por semana se puede obtener el



dato de metros cúbicos por semana multiplicando por mil y metros cúbicos anuales multiplicando por 48 semanas.

Tabla 34. Costos de agua del sistema actual vs programa temporizado #1.

	Litros semanales	M3 Semanales	M3 anuales	Costo de agua 2019	Costo de agua 2020	Costo de agua 2021
	148842	148,842	7144,416	₡ 12 788 504,64	₡ 13 710 134,30	₡ 14 703 208,13
	124035	124,035	5953,68	₡ 10 657 087,20	₡ 11 425 111,92	₡ 12 252 673,44
Ahorro	24807	24,807	1190,736	₡ 2 131 417,44	₡ 2 285 022,38	₡ 2 450 534,69

La tabla 34 muestra que, si el sistema se instala para el 2020, la empresa se ahorraría un total de ₡ 2 285 022,38 en la factura del AyA. La tarifa del metro cubico fijada para los años 2019, 2020 y 2021 se pueden observar en las figuras 78, 79 y 80 respectivamente.

**Fecha inicio:** 01/01/2019

**Fecha final:** 31/12/2019

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

Figura 78. Tarifa del metro cubico fijada por la ARESEP para el 2019.

**Fecha inicio:** 01/01/2020  
**Fecha final:** 31/12/2020

BLOQUE	DOMICILIAR	EMPRESARIAL	PREFERENCIAL	GOBIERNO
1 a menos 16 m <sup>3</sup>	381	1.505	381	1.505
16 a menos 26 m <sup>3</sup>	764	1.827	764	1.827
26 a menos 41 m <sup>3</sup>	840	1.827	764	1.827
41 a menos 61 m <sup>3</sup>	994	1.827	764	1.827
61 a menos 81 m <sup>3</sup>	1.827	1.827	840	1.827
81, a menos 101 m <sup>3</sup>	1.827	1.827	840	1.827
101 a menos 121 m <sup>3</sup>	1.827	1.827	840	1.827
121 m <sup>3</sup> y más	1.919	1.919	840	1.919
Tarifa fija mensual	10.432	35.362	30.634	133.253
Cargo fijo mensual <sup>1/</sup>	2.000	2.000	2.000	2.000

Figura 79. Tarifa del metro cubico fijada por la ARESEP para el 2020.

**Fecha inicio:** 01/01/2021  
**Fecha final:** 31/12/2021

BLOQUE	DOMICILIAR	EMPRESARIAL	PREFERENCIAL	GOBIERNO
1 a menos 16 m <sup>3</sup>	409	1.614	409	1.614
16 a menos 26 m <sup>3</sup>	819	1.959	819	1.959
26 a menos 41 m <sup>3</sup>	901	1.959	819	1.959
41 a menos 61 m <sup>3</sup>	1.066	1.959	819	1.959
61 a menos 81 m <sup>3</sup>	1.959	1.959	901	1.959
81, a menos 101 m <sup>3</sup>	1.959	1.959	901	1.959
101 a menos 121 m <sup>3</sup>	1.959	1.959	901	1.959
121 m <sup>3</sup> y más	2.058	2.058	901	2.058
Tarifa fija mensual	11.188	37.924	32.854	142.907
Cargo fijo mensual <sup>1/</sup>	2.000	2.000	2.000	2.000

Figura 80. Tarifa del metro cubico fijada por la ARESEP para el 2021.

Se realiza el mismo procedimiento utilizado para completar la tabla 33 y 34 en el caso de las salchichas. Una vez obtenidas las tandas estas se dividen entre 16, ya que entran 16 torres a la vez al cuarto de rociado y luego se multiplican por 0,6167 horas para obtener la cantidad de horas total por día. Para obtener las horas de rociado reducidas con los programas temporizados, las tandas se dividen entre 16 pero el resultado se multiplica por 0,4667 horas que equivale a los 28 minutos efectivos de rociado del programa temporizado #2.

Tabla 35. Tabla de horas de rociado con programa temporizado #2.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Hora Total
Tandas	64,9060	63,50875	68,15367	44,89310	43,59243	0,7359525	
Horas actuales	2,50171 954	2,447865 29	2,626898 02	1,730348 28	1,680215 72	0,02836637	11,0154132
Reducción de horas	1,89322 606	1,852470 78	1,987957 36	1,309475 5	1,271536 69	0,02146681	8,3361332
Ahorro	0,60849 348	0,595394 51	0,638940 66	0,420872 78	0,408679 03	0,00689955	2,67928001

Tabla 36. Costos de agua del sistema actual vs programa temporizado #2.

	Litros semanales	M3 Semanales	M3 anuales	Costo de agua 2019	Costo de agua 2020	Costo de agua 2021
	132184,9586	132,184959	6344,87801	₡ 11 357 331,64	₡ 12 175 820,90	₡ 13 057 758,95
	100033,5985	100,033598	4801,61273	₡ 8 594 886,78	₡ 9 214 294,82	₡ 9 881 718,99
Ahorro	32151,36012	32,1513601	1543,26529	₡ 2 762 444,86	₡ 2 961 526,08	₡ 3 176 039,96

La tabla 36 muestra que, si el sistema se instala para el 2020, la empresa se ahorraría un total de ₡ 2 961 526,08 en la factura del AyA.

## A.5 Cotizaciones



TEL:2221-4613 FAX:  
 APTD:6861-1000 SAN JOSE, C.R.  
 De Corporación Yanber 400 metros al sur  
 Cédula Jurídica:3-101-022692  
 fevasa@racsa.co.cr / www.fevasa.org

11:47

Fecha: 31/05/2019

### Proforma

Cliente		Sr. Acevedo		000500			
Dirección							
Bodega	Forma de pago	Atención		Correo electrónico	No. Cotización		
01	0 días	Sr. Acevedo.		acevedoarias9@gmail.com	2733		
Item	Imagen	Código	Cant	Descripción	Tiempo Entrega	Precio unit	Precio total
1			1	SENSOR DE TEMPERATURA RTD PT100 WATLOW 3/16 DIA X 18" LARGO 2 LINEAS CON 84" CABLE FORRO TEFLONADO. COD. 2065-4952	10-12 DIAS	42.480,00	42.480,00
2			1	SENSOR DE TEMPERATURA RTD PT100 WATLOW 3/16 DIA X 18" LARGO 3 LINEAS CON 84" CABLE FORRO TEFLONADO. COD. 2065-4960	10-12 DIAS	42.480,00	42.480,00

\*\*\*\*\* ÚLTIMA LÍNEA \*\*\*\*\*

**NOTAS:**  
**PAGO 100% POR ADELANTADO**

Esta proforma tiene una validez de 15 días. Los precios están sujetos a cambios.  
 Disponibilidad sujeta a existencias.

Subtotal €	84.960,00
Descuento €	0,00
Impuestos €	11.044,80
<b>Total €</b>	<b>96.004,80</b>

ROBERTO PORRAS  
 VENDEDOR



**A.T.C. TECNOVAL, S.A.**  
 Ced. Jurídica. 3-101-159271  
 Tel. (506)2586-8585 - Fax. (506)2286-2286  
 Email. ventas@tecnoval.com  
 Oficina Ventas: 200 metros sur de rotonda

**Cotización:**

**COT-011792**

Fecha: 02/13/2019

Cliente	JAVIER JOSE ACEVEDO ARIAS		Código	CO-02027
Dirección	DETALLE: ND			
Teléfono	87072813	Correo Electrónico	Agente	ND
Atención				

Código	Pedida	Descripción	Precio	Total
19014110015	1.00	VALV SOLENOIDE 2V 110V NC INOXIDABLE ASCO 8210G037 1/2"	€230,338.00	€230,338.00
09007001521	2.00	NIPLE ACERO INOXIDABLE CED-40 1/2" X 1 1/8"	€545.00	€1,090.00
07007011815	2.00	REDUCCION A INOXIDABLE 150# ROSCADA 3/4" X 1/2"	€766.00	€1,532.00

**¿SABIA USTED QUE SOMOS DISTRIBUIDORES DE LA PRESTIGIOSA MARCA SPIRAX SARCO?**

Observaciones	CANTIDADES SUJETAS PREVIA VENTA, ENTREGA EN BODEGAS TECNOVAL ZAPOTE.	Subtotal	€232,960.00
Tiempo de Entrega	INMEDIATA	Descuento	€0.00
Vigencia	2 DIAS	Subtotal	€232,960.00
Forma de Pago	CONTADO	I.V.	€30,284.80
		<b>Total</b>	<b>€263,244.80</b>

Vendedor	Noylin Hernández
----------	------------------

**LOS PRECIOS PUEDEN CAMBIAR SIN PREVIO AVISO, Y LAS CANTIDADES ESTAN SUJETAS A PREVIA VENTA.**  
 Favor anotar el N° de cotización en la Orden de Compra  
 Toda compra menor de 10,000.00 colones, será estrictamente de contado. Gracias



FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA  
(FUNDATEC)  
Barrio Los Angeles, 1 km sur de la Basílica Los  
Angeles, Sede Central del TEC  
Identificación N°: 3006087315

## Presupuesto # SO26368

Fecha del presupuesto:  
11/07/2019 11:19:09

Comercial  
Géner Rodríguez Valverde

Plazo de pago:  
Contado

Fecha de caducidad:  
10/08/2019

Descripción	Cantidad	Precio de Unidad	Impuestos	Importe
[6ES7314-6EH04-0AB0 ] SIMATIC 57-300, CPU 314C-2PN/DP/COMPACT MARCA SIEMENS, COD.6ES7314-6EH04-0AB0 CPU WITH192 KBYTE WORKING MEMORY,24 DI/16 DO, 4AL 2AO, 1 PT100,4 FAST COUNTERS (60 KHZ),1. INTERFACE MPI/DP 12MBIT/S.2. INTERFACE ETHERNET PROFINET,WITH 2 PORT SWITCH INTEGRATED 24V DC POWER SUPPLY,FRONT CONNECTOR (2 X 40PIN) ANDMICRO MEMORY CARD REQUIRED.	1.00 Unidad(es)	1,200,000.0000		€ 1,200,000.00
[6ES7392-1AM00-0AA0 ] SIMATIC 57-300, CONECTOR FRONT. 392 MARCA SIEMENS,COD.6ES7392-1AM00-0AA0 CON BORNES DE TORNILLO, 40 POLOS.	2.00 Unidad(es)	27,000.0000	IVA	€ 54,000.00
[6AV2124-0GC01-0AX0 ] SIMATIC HMI TP700 COMFORT PANEL, OPERACION TACTIL, DISPLAY TFT WIDESCREEN DE 7", 16M DE COLORES, INTERFAZ PROFINET, INTERFAZ MPI/PROFIBUS DP, 12 MB DE MEMORIA DE CONFIG., WINDOWS CE 6.0, CONFIGURABLE CON WINCC V11 O SUPERIOR MARCA: SIEMENS CAT: 6AV2124-0GC01-0AX0	1.00 Unidad(es)	776,000.0000	IVA	€ 776,000.00
<b>Subtotal</b>				€ 2,030,000.00
<b>Impuesto 13%</b>				€ 107,900.00
<b>Total</b>				€ 2,137,900.00

Plazo de pago: Inmediato

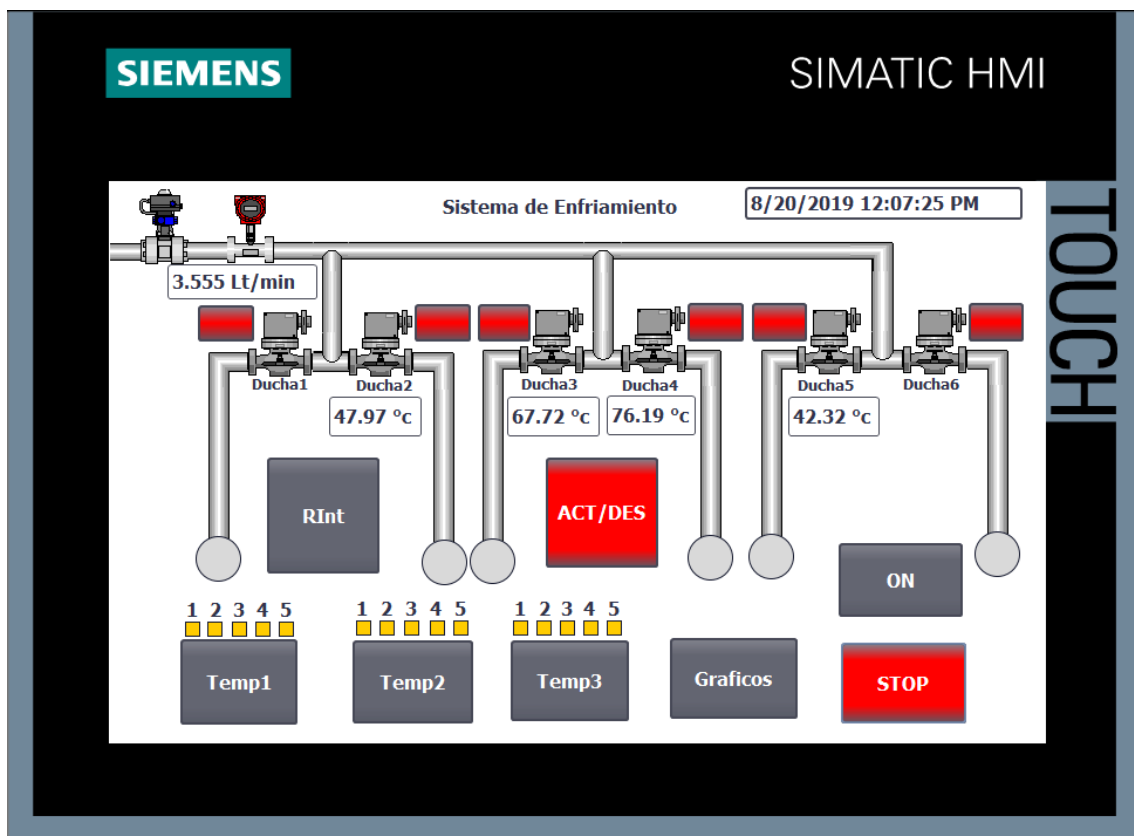
## A.6 Manual de Usuario del Sistema

### Sistema de enfriamiento con rociado programado

El sistema surge de la necesidad de disminuir la dependencia absoluta del antiguo sistema mecánico de rociado por uno automatizado que facilite la estandarización de los procesos. Este sistema fue desarrollado utilizando la tecnología Siemens, el PLC 214C-2PN/DP y el HMI TP700 Comfort, y programado mediante la herramienta TIA Portal V13.

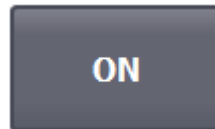
Este sistema corresponde a la primera versión instalada dentro del cuarto de duchas en Cinta Azul Ltda.

### Pasos por seguir para usar el programa

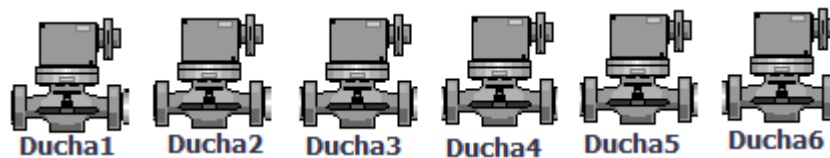


Para utilizar los programas temporizados del sistema se deben seguir los siguientes pasos:

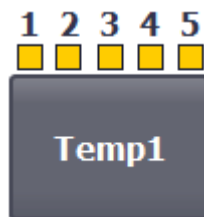
1. Primeramente, se enciende la fuente de alimentación del PLC y HMI, posicionando el interruptor en “on”.
2. Una vez encendido el sistema, el HMI mostrará la pantalla principal del programa.
3. Presione el botón “ON” presente en la pantalla.



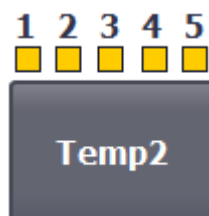
4. Presione los botones de duchas correspondientes al cuadrante que desea habilitar.



5. Si desea usar el programa temporizado #1, deberá únicamente presionar el botón “Temp1” de la pantalla principal y el sistema se encargará automáticamente de dispensar agua al producto.



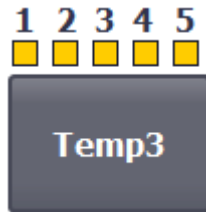
6. Si desea usar el programa temporizado #2, deberá únicamente presionar el botón “Temp2” de la pantalla principal y el sistema se encargará automáticamente de dispensar agua al producto.



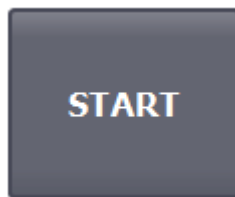
7. Si desea usar el programa temporizado #3, deberá presionar el botón “Temp3” de la pantalla principal, el programa lo redirigirá a una nueva pantalla, en ella debe ingresar los tiempos efectivos de rociado en los espacios de “Tiempo 1, Tiempo 2, Tiempo 3, Tiempo 4 y Tiempo 5” y los



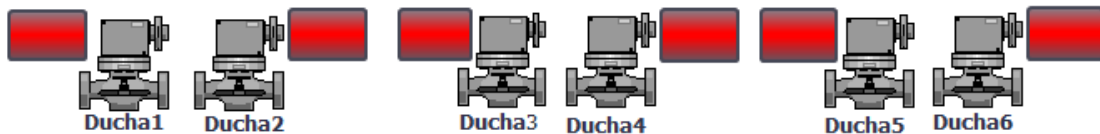
tiempos de pausa en los espacios de “Pausa 1, Pausa 2, Pausa 3 y Pausa 4”.



8. Una vez ingresados los tiempos del programa temporizado #3, presione el botón “START” y el sistema se encargará automáticamente de dispensar agua al producto.



9. En caso de ser necesario detener el rociado en algún cuadrante, debe presionar el botón junto al botón de la ducha que quiere desactivar, y la electroválvula cortará el suministro de agua en ese cuadrante y seguirá dispensando en los otros que están activos con normalidad.



10. En caso de emergencias, el botón “STOP” se encarga de detener el sistema por completo.



## A.7 Variables del Sistema

	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...	Comentario
1	CUADRANTE 1	Default tag table	Bool	%M100.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SELECCIONAR CUADRANTE 1 HM
2	CUADRANTE 2	Default tag table	Bool	%M100.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SELECCIONAR CUADRANTE 2 HM
3	CUADRANTE 3	Default tag table	Bool	%M100.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SELECCIONAR CUADRANTE 3 HM
4	CUADRANTE 4	Default tag table	Bool	%M100.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SELECCIONAR CUADRANTE 4 HM
5	CUADRANTE 5	Default tag table	Bool	%M100.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SELECCIONAR CUADRANTE 5 HM
6	CUADRANTE 6	Default tag table	Bool	%M100.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SELECCIONAR CUADRANTE 6 HM
7	TEMPERATURA 1	Default tag table	Int	%IW144		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SEÑAL DE SONDA 1
8	TEMPERATURA 2	Default tag table	Int	%IW138		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SEÑAL DE SONDA 2
9	TEMPERATURA 3	Default tag table	Int	%IW140		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SEÑAL DE SONDA 3
10	TEMPERATURA 4	Default tag table	Int	%IW142		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SEÑAL DE SONDA 4
11	FLUJO	Default tag table	Int	%IW136		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LECTURA FLUJO HIDRICO
12	INICIO	Default tag table	Bool	%M0.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INICIO DEL PROGRAMA
13	ON	Default tag table	Bool	%M124.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ENCENDIDO DEL SISTEMA
14	STOP	Default tag table	Bool	%M1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	PARO DE EMERGENCIA
15	OPEN 1	Default tag table	Bool	%Q0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ACTIVA ELECTROVALVULA 1
16	OPEN 2	Default tag table	Bool	%Q0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ACTIVA ELECTROVALVULA 2
17	OPEN 3	Default tag table	Bool	%Q0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ACTIVA ELECTROVALVULA 3
18	OPEN 4	Default tag table	Bool	%Q1.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ACTIVA ELECTROVALVULA 4
19	OPEN 5	Default tag table	Bool	%Q1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ACTIVA ELECTROVALVULA 5
20	OPEN 6	Default tag table	Bool	%Q0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ACTIVA ELECTROVALVULA 6
21	TIEMPO 1	Default tag table	Bool	%M49.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	BOTON TEMPORIZADOR 1 HM
22	TIEMPO 2	Default tag table	Bool	%M1.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	BOTON TEMPORIZADOR 2 HM
23	TIEMPO 3	Default tag table	Bool	%M1.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	BOTON TEMPORIZADOR 3 HM
24	ACTIVAR VALVULA 1	Default tag table	Bool	%M2.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SEÑAL PARA ACTIVAR VALVULAS CON EL TEMPORIZADOR 1
25	PAUSA 1	Default tag table	Bool	%M2.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SEÑAL PARA PAUSAR EL TEMPORIZADOR #1
26	CONSULTA 1	Default tag table	Time	%MD5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SEÑAL PARA CONSULTAR EL TIEMPO DEL TEMPORIZADOR
27	CONSULTA P1	Default tag table	Time	%MD10		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SEÑAL PARA CONSULTAR EL TIEMPO DEL PROGRAMA TEMPORIZADO #1
28	ABRIR 1	Default tag table	Bool	%M50.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
29	ABRIR 2	Default tag table	Bool	%M50.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
30	ABRIR 3	Default tag table	Bool	%M50.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
31	ABRIR 4	Default tag table	Bool	%M50.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
32	ABRIR 5	Default tag table	Bool	%M50.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
33	CONSULTA P2	Default tag table	Time	%MD8		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SEÑAL PARA CONSULTAR EL TIEMPO DEL PROGRAMA TEMPORIZADO #2
34	CONSULTA P3	Default tag table	Time	%MD12		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SEÑAL PARA CONSULTAR EL TIEMPO DEL PROGRAMA TEMPORIZADO #3
35	ACTIVAR VALVULA 2	Default tag table	Bool	%M3.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
36	ACTIVAR VALVULA 3	Default tag table	Bool	%M3.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
37	ACTIVAR VALVULA 4	Default tag table	Bool	%M3.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
38	ACTIVAR VALVULA 5	Default tag table	Bool	%M3.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
39	PAUSA 2	Default tag table	Bool	%M3.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
40	PAUSA 3	Default tag table	Bool	%M3.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
41	PAUSA 4	Default tag table	Bool	%M3.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO

Figura 81. Tabla de variables 1.

	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...	Comentario
42	ABRIR 6	Default tag table	Bool	%M16.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
43	ABRIR 7	Default tag table	Bool	%M16.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
44	ABRIR 8	Default tag table	Bool	%M16.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
45	ABRIR 9	Default tag table	Bool	%M16.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
46	ABRIR 10	Default tag table	Bool	%M16.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
47	PAUSA 5	Default tag table	Bool	%M16.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
48	PAUSA 6	Default tag table	Bool	%M16.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
49	PAUSA 7	Default tag table	Bool	%M16.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
50	PAUSA 8	Default tag table	Bool	%M17.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
51	ABRIR 11	Default tag table	Bool	%M17.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
52	ABRIR 12	Default tag table	Bool	%M17.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
53	ABRIR 13	Default tag table	Bool	%M17.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
54	ABRIR 14	Default tag table	Bool	%M17.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
55	ABRIR 15	Default tag table	Bool	%M17.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
56	PAUSA 9	Default tag table	Bool	%M17.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
57	PAUSA 10	Default tag table	Bool	%M17.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
58	PAUSA 11	Default tag table	Bool	%M18.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
59	PAUSA 12	Default tag table	Bool	%M18.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
60	ACTIVAR VALVULA 6	Default tag table	Bool	%M26.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
61	ACTIVAR VALVULA 7	Default tag table	Bool	%M26.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
62	ACTIVAR VALVULA 8	Default tag table	Bool	%M26.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
63	ACTIVAR VALVULA 9	Default tag table	Bool	%M26.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
64	ACTIVAR VALVULA 10	Default tag table	Bool	%M26.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
65	ACTIVAR VALVULA 11	Default tag table	Bool	%M26.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
66	ACTIVAR VALVULA 12	Default tag table	Bool	%M26.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
67	ACTIVAR VALVULA 13	Default tag table	Bool	%M26.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
68	ACTIVAR VALVULA 14	Default tag table	Bool	%M27.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
69	ACTIVAR VALVULA 15	Default tag table	Bool	%M27.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
70	INGRESAR TIEMPO 1	Default tag table	Time	%MD27		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INGRESA PRIMER TIEMPO EFECTIVO MANUALMENTE
71	INGRESAR PAUSA 1	Default tag table	Time	%MD32		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INGRESA PRIMER PAUSA MANUALMENTE
72	INGRESAR TIEMPO 2	Default tag table	Time	%MD36		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INGRESA SEGUNDO TIEMPO EFECTIVO MANUALMENTE
73	INGRESAR PAUSA 2	Default tag table	Time	%MD40		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INGRESA SEGUNDA PAUSA MANUALMENTE
74	INGRESAR TIEMPO 3	Default tag table	Time	%MD44		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INGRESA TERCER TIEMPO EFECTIVO MANUALMENTE
75	INGRESAR PAUSA 3	Default tag table	Time	%MD200		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INGRESA TERCER PAUSA MANUALMENTE
76	INGRESAR TIEMPO 4	Default tag table	Time	%MD52		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INGRESA CUARTO TIEMPO EFECTIVO MANUALMENTE
77	INGRESAR PAUSA 4	Default tag table	Time	%MD56		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INGRESA CUARTA PAUSA MANUALMENTE
78	INGRESAR TIEMPO 5	Default tag table	Time	%MD60		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INGRESA QUINTO TIEMPO EFECTIVO MANUALMENTE
79	VISUAL1	Default tag table	Bool	%M64.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VISUALIZA LA APERTURA DE ELECTROVALVULA 1
80	VISUAL2	Default tag table	Bool	%M64.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VISUALIZA LA APERTURA DE ELECTROVALVULA 2
81	VISUAL3	Default tag table	Bool	%M64.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VISUALIZA LA APERTURA DE ELECTROVALVULA 3
82	VISUAL4	Default tag table	Bool	%M64.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VISUALIZA LA APERTURA DE ELECTROVALVULA 4

Figura 82. Tabla de variables 2.

	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...	Comentario
83	VISUAL5	Default tag table	Bool	%M64.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VISUALIZA LA APERTURA DE ELECTROVALVULA 5
84	VISUAL6	Default tag table	Bool	%M64.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VISUALIZA LA APERTURA DE ELECTROVALVULA 6
85	ERROR 1	Default tag table	Word	%MM0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LECTURA DE ERROR EN EL ESCALADO DE SENSOR 1
86	ERROR 2	Default tag table	Word	%MM2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LECTURA DE ERROR EN EL ESCALADO DE SENSOR 2
87	ERROR 3	Default tag table	Word	%MM4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LECTURA DE ERROR EN EL ESCALADO DE SENSOR 3
88	ERROR 4	Default tag table	Word	%MM6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LECTURA DE ERROR EN EL ESCALADO DE SENSOR 4
89	UNIPOLAR	Default tag table	Bool	%M64.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	PROVEE UN CERO LOGICO A LA INSTRUCCION DE SCALE PARA EL FLUJO
90	ESCALA 1	Default tag table	Real	%MD65		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RESULTADO DEL ESCALADO DEL SENSOR DE FLUJO
91	ESCALA 2	Default tag table	Real	%MD70		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RESULTADO DEL ESCALADO DEL SENSOR DE TEMPERATURA 1
92	ESCALA 3	Default tag table	Real	%MD75		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RESULTADO DEL ESCALADO DEL SENSOR DE TEMPERATURA 2
93	ESCALA 4	Default tag table	Real	%MD80		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RESULTADO DEL ESCALADO DEL SENSOR DE TEMPERATURA 3
94	BIPOLAR	Default tag table	Bool	%M28.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	PROVEE UN CERO LOGICO A LA INSTRUCCION DE SCALE PARA LAS TEMPERAT...
95	ESCALA 5	Default tag table	Real	%MD85		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RESULTADO DEL ESCALADO DEL SENSOR DE TEMPERATURA 4
96	ERROR 5	Default tag table	Word	%MM8		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LECTURA DE ERROR EN EL ESCALADO DE SENSOR 5
97	AUTORETENCION	Default tag table	Bool	%M90.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
98	LITROS POR SEG	Default tag table	Real	%MD95		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RESULTADO DE LA CONVERSION DE LITROS POR MIN A LITROS POR SEG
99	AGUA ACOMULADA	Default tag table	Real	%MD102		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RESULTADO DE LA SUMA DE LITROS POR CADA SEGUNDO
100	RESET INTEGRADOR	Default tag table	Bool	%M200.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	BOTON PARA RESETEAR EL INTEGRADOR
101	BOMBA 1	Default tag table	Bool	%Q0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ACTIVA BOMBA 1
102	BOMBA 2	Default tag table	Bool	%Q0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ACTIVA BOMBA 2
103	WAIT 1	Default tag table	Bool	%M60.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
104	WAIT 2	Default tag table	Bool	%M64.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
105	WAIT 3	Default tag table	Bool	%M69.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
106	WAIT 4	Default tag table	Bool	%M69.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
107	WAIT 5	Default tag table	Bool	%M69.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
108	WAIT 6	Default tag table	Bool	%M69.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
109	WAIT 7	Default tag table	Bool	%M69.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
110	WAIT 8	Default tag table	Bool	%M69.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
111	GO 1	Default tag table	Bool	%M69.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
112	GO 2	Default tag table	Bool	%M69.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
113	GO 3	Default tag table	Bool	%M74.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
114	GO 4	Default tag table	Bool	%M74.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
115	GO 5	Default tag table	Bool	%M74.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
116	GO 6	Default tag table	Bool	%M74.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
117	GO 7	Default tag table	Bool	%M74.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO
118	GO 8	Default tag table	Bool	%M74.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	INTERRUPTOR LOGICO

Figura 83. Tabla de variables 3.