



**Rediseño de la automatización e implementación de un sistema SCADA web local para el proceso de despacho de agua mediante surtidores en la empresa AQUAHER S.A. del cantón Rocafuerte**

Zambrano Zambrano, Yimy Jusseppy

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Gómez Reyes, Alejandro Paul. Msc

02 de agosto de 2022



Proyecto\_Tesis\_Zambrano\_Yimy (1).pdf

Scanned on: 19:31 August 10, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text



Escanea el código QR para:  
**ALEJANDRO  
PAUL GOMEZ  
REYES**

Identical Words	99
Words with Minor Changes	26
Paraphrased Words	100
Omitted Words	0



## Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

### Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

#### Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Rediseño de la automatización e implementación de un sistema SCADA web local para el proceso de despacho de agua mediante surtidores en la empresa AQUAHER S.A. del cantón Rocafuerte”** fue realizado por el señor **Zambrano Zambrano, Yimy Jusseppy**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 02 de agosto de 2022**



Firmado electrónicamente por:  
**ALEJANDRO  
PAUL GOMEZ  
REYES**

**Ing. Gómez Reyes Alejandro Paúl, MSc**

C.C.: 1714913637



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Ingeniería en Mecatrónica**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Zambrano Zambrano, Yimy Jusseppy**, con cédula de ciudadanía N° 1312944992, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Rediseño de la automatización e implementación de un sistema SCADA web local para el proceso de despacho de agua mediante surtidores en la empresa AQUAHER S.A. del cantón Rocafuerte** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 02 de agosto de 2022**

**Zambrano Zambrano, Yimy Jusseppy**

**C.C.: 1312944992**



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Ingeniería en Mecatrónica**

**Autorización de Publicación**

Yo, **Zambrano Zambrano, Yimy Jusseppy**, con cédula de ciudadanía N° 1312944992, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Rediseño de la automatización e implementación de un sistema SCADA web local para el proceso de despacho de agua mediante surtidores en la empresa AQUAHER S.A. del cantón Rocafuerte** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Sangolquí, 02 de agosto de 2022**

**Zambrano Zambrano, Yimy Jusseppy**

**C.C.: 1312944992**

### **Dedicatoria**

A mis padres, quienes han sido el pilar para mi desarrollo como profesional, por su esfuerzo y dedicación durante toda mi etapa estudiantil y por darme siempre apoyo y confianza necesarios para seguir adelante.

A mi esposa, quien con mucho cariño y paciencia me ha apoyado en todo momento durante mis estudios y los demás ámbitos en mi vida.

A mi hermana, quien ha sido un ejemplo para mí y quien a pesar de todos los obstáculos se ha superado personal y profesionalmente.

**Zambrano Zambrano, Yimy Jusseppy**

### **Agradecimiento**

A Dios, por darme vida plena y permitirme alcanzar con éxito el final de una etapa más en mi vida.

A mi familia, por alentarme y apoyarme hasta el final de esta etapa sin medir esfuerzos.

A mis amigos, por acompañarme durante este proceso estudiantil.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por ser un lugar de aprendizaje ejemplar.

Al Grupo Heredia, por confiar en mis capacidades para el desarrollo de este proyecto.

**Zambrano Zambrano, Yimy Jusseppy**

## Índice de contenidos

Resumen .....	20
Abstract.....	21
Capítulo I: Generalidades.....	22
Antecedentes .....	22
Planteamiento del problema .....	23
Justificación e importancia .....	23
Objetivos .....	24
Objetivo General .....	24
Objetivos específicos .....	24
Alcance.....	25
Capítulo II: Estado del Arte .....	26
Sistema de bombeo de agua.....	26
Bombas .....	26
Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo .....	27
Bombas rotodinámicas .....	27
Válvulas .....	29
Válvula de compuerta.....	29
Válvula mariposa.....	30
Válvula esférica .....	30



Válvula de globo.....	31
Automatización industrial.....	31
Clasificación tecnológica.....	32
Automatismos cableados.....	32
Automatismos programados.....	32
Controlador Lógico Programable – PLC.....	32
PLC Siemens SIMATIC S7-1200.....	32
Interfaz Humano Máquina - HMI.....	33
Basic Panel Siemens SIMATIC KTP700 Basic PN.....	33
Protocolo de comunicación PROFINET.....	34
Sistema SCADA.....	35
Software Node-RED.....	35
Nodo de comunicación con PLC S7.....	36
Dashboard de Node-RED.....	37
Instrumentación industrial.....	38
Caudalímetro.....	39
Medidor magnético.....	39
Presostato.....	40
Presostato diferencial.....	40
Capítulo III: Proceso y dimensionamiento de componentes.....	41

	10
Proceso de despacho .....	41
Nueva canalización desde el tanque 3.....	43
Actuadores y sensores del proceso .....	45
Tableros eléctricos y protecciones.....	47
Capítulo IV: Solución temporal para despachar agua ultrafiltrada.....	52
Sub-tablero de control .....	52
Programación y servidor web LOGO.....	53
Capítulo V: Automatización del proceso.....	55
Dispositivos y red PROFINET .....	55
Creación de proyecto y direccionamiento IP .....	55
Bloques PROFINET en servidor y cliente .....	55
Programa del PLC.....	57
Definición de variables de entrada y salida del PLC.....	57
Bloque de escalamiento analógico .....	58
Bloque de acumulación de agua .....	60
Bloque de acumulación de tiempo .....	61
Bloque de función de despacho.....	62
Comprobación para poder despachar .....	62
Activación de válvula neumática.....	63
Encendido de bomba .....	64

	11
Pantallas de la HMI .....	67
Estructura principal.....	67
Código de colores.....	68
Textos y avisos .....	69
Diseño de las pantallas.....	70
Pantalla de inicio .....	71
Pantalla de control por volumen .....	71
Pantalla de control por tiempo .....	72
Pantalla de flujo general .....	73
Pantalla de flujo específico .....	73
Pantalla de configuración .....	73
Pantalla de mantenimiento .....	74
Pantalla de alarmas.....	75
Pantalla de información .....	76
Capítulo VI: Desarrollo del SCADA web local .....	76
Base de datos en el PLC .....	76
Configuración del PLC en Node-RED.....	78
Tabla de variables S7 Endpoint .....	78
Conexión con el PLC .....	83
Flujos de Node-RED.....	87

	12
Flujo de control y monitoreo específico .....	88
Flujo de monitoreo global.....	91
Flujo de operación de mantenimiento .....	92
Diseño de Dashboard en Node-RED .....	92
Pantalla de monitor general .....	95
Pantalla de monitor específico .....	96
Pantalla de control específico.....	97
Pantalla de mantenimiento .....	98
Pantalla de información .....	99
Instalación de software en servidor local .....	99
Capítulo VII: Resultados: Funcionamiento y pruebas .....	102
Control por panel de operador .....	102
Despacho del tanque 1 .....	102
Despacho del tanque 2 .....	102
Despacho del tanque 3 .....	103
Despacho del tanque 5 .....	104
Monitoreo por panel de operador.....	104
Mantenimiento por panel de operador.....	104
Control por Dashboard .....	106
Despacho del tanque 1 .....	106

Despacho del tanque 2 .....	107
Despacho del tanque 5 .....	108
Monitoreo por Dashboard .....	109
Despacho de los tanques 1, 2 y 5.....	109
Despacho de los tanques 1,2 y 3.....	110
Despacho de los tanques 1 y 3.....	110
Mantenimiento por Dashboard .....	111
Actuadores del tanque 1.....	111
Actuadores del tanque 3.....	112
Prueba de exactitud de llenado .....	113
Capítulo VIII: Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros .....	115
Conclusiones .....	115
Recomendaciones.....	116
Trabajos futuros.....	116
Bibliografía .....	117
Apéndices.....	120
Apéndice A. Diagramas, conexiones y pantallas del proceso.....	120
Apéndice B. Tabla de variables del PLC.....	120
Apéndice C. Diagrama esquemático del PLC .....	120

### Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Tabla de direccionamiento de variables .....	36
<b>Tabla 2</b> Identificación de las tuberías principales de agua ultrafiltrada y agua genérica.....	45
<b>Tabla 3</b> Actuadores involucrados en el proceso de despacho.....	45
<b>Tabla 4</b> Sensores involucrados en el proceso de despacho.....	46
<b>Tabla 5</b> Elementos de los tableros de fuerza involucrados en el proceso de despacho .....	48
<b>Tabla 6</b> Elementos del tablero de control involucrado en el proceso de despacho .....	50
<b>Tabla 7</b> Elementos del sub-tablero de control armado para la solución temporal del proceso de despacho .....	53
<b>Tabla 8</b> Variables de entrada del PLC de despacho .....	57
<b>Tabla 9</b> Variables de salida del PLC de despacho .....	58
<b>Tabla 10</b> Colores usados en las pantallas .....	68
<b>Tabla 11</b> Comparación en las direcciones de las variables PLC vs Node-RED .....	78
<b>Tabla 12</b> Descripción de nodos utilizados en Node-RED .....	85
<b>Tabla 13</b> Descripción de los flujos diseñados .....	87
<b>Tabla 14</b> Descripción de las pantallas diseñados.....	93
<b>Tabla 15</b> Cálculo de errores en el volumen de despacho .....	114

### Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Sistema referencial de bombeo de agua .....	26
<b>Figura 2</b> <i>Esquema de bomba centrífuga</i> .....	27
<b>Figura 3</b> <i>Esquema de bomba axial</i> .....	28
<b>Figura 4</b> <i>Esquema de bomba mixta</i> .....	28
<b>Figura 5</b> <i>Esquema de válvula de compuerta</i> .....	29

<b>Figura 6</b> Esquema de válvula mariposa .....	29
<b>Figura 7</b> Esquema de válvula de bola.....	30
<b>Figura 8</b> Esquema de válvula de globo.....	30
<b>Figura 9</b> Estructura de un sistema automatizado .....	31
<b>Figura 10</b> PLC Siemens SIMATIC S7-1200 .....	33
<b>Figura 11</b> Panel de Operador SIMATIC KTP700 Basic PN .....	34
<b>Figura 12</b> Interfaz de desarrollo de Node-RED.....	35
<b>Figura 13</b> Nodos del paquete node-red-contrib-s7 .....	37
<b>Figura 14</b> Ejemplo de Dashboard de Node-RED.....	37
<b>Figura 15</b> Definiciones de los instrumentos .....	38
<b>Figura 16</b> Transductor de caudal volumétrico de 4-20 mA .....	39
<b>Figura 17</b> Esquema de un presostato.....	40
<b>Figura 18</b> Diagrama del despacho de agua desde el tanque 1 hacia los surtidores 4 y 5 .....	41
<b>Figura 19</b> Diagrama del despacho de agua desde el tanque 2 hacia los surtidores 2 y 3 .....	42
<b>Figura 20</b> Diagrama del despacho de agua desde el tanque 3 hacia los surtidores 3 y 4 .....	42
<b>Figura 21</b> Diagrama del despacho de agua desde el tanque 5 hacia los surtidores 1 y 2 .....	42
<b>Figura 22</b> Diagrama del despacho de agua desde el tanque 5.....	43
<b>Figura 23</b> Tuberías principales de agua ultrafiltrada y agua genérica .....	43
<b>Figura 24</b> Ramificación de tuberías de despacho de agua ultrafiltrada y agua genérica .....	44
<b>Figura 25</b> Tablero de fuerza donde se encuentran conectadas las bombas del proceso de despacho.....	47
<b>Figura 26</b> Tablero de control del proceso de despacho .....	49
<b>Figura 27</b> Sub-tablero de control armado para la solución temporal del proceso de despacho .....	52
<b>Figura 28</b> Programa de PLC diseñado en LOGOSoft Comfort .....	54
<b>Figura 29</b> Servidor del PLC LOGO para control remoto desde el computador .....	54

<b>Figura 30</b> <i>Conexión y direccionamiento de los dispositivos involucrados en el proyecto</i> .....	55
<b>Figura 31</b> <i>Base de datos con variables que serán compartidas vía PROFINET</i> .....	55
<b>Figura 32</b> <i>Bloque de envío mediante PROFINET en el programa del PLC de producción</i> .....	56
<b>Figura 33</b> <i>Bloque de recepción mediante PROFINET en el programa del PLC de despacho</i> .....	56
<b>Figura 34</b> <i>Bloques NORM_X y SCALE_X para el procesamiento de las entradas analógicas</i> .....	59
<b>Figura 35</b> <i>Uso de bloque de función de escalamiento para el flujómetro del tanque 1</i> .....	59
<b>Figura 36</b> <i>Segmento de acumulación de agua del despacho actual del tanque 1</i> .....	60
<b>Figura 37</b> <i>Segmento de acumulación de agua de los despachos totales del tanque 1</i> .....	61
<b>Figura 38</b> <i>Segmento de acumulación de tiempo del despacho actual del tanque 1 – parte 1</i> .....	61
<b>Figura 39</b> <i>Segmento de acumulación de tiempo del despacho actual del tanque 1 – parte 2</i> .....	62
<b>Figura 40</b> <i>Segmento de comprobaciones para permitir despachar</i> .....	63
<b>Figura 41</b> <i>Segmento de activación de salida para válvula del surtidor</i> .....	64
<b>Figura 42</b> <i>Segmento de activación de válvula por mantenimiento</i> .....	64
<b>Figura 43</b> <i>Segmento de temporización en el encendido de la bomba</i> .....	65
<b>Figura 44</b> <i>Segmento de activación de la salida para el encendido de la bomba</i> .....	65
<b>Figura 45</b> <i>Segmento de control para fin de despacho</i> .....	66
<b>Figura 46</b> <i>Segmento de temporización en el cierre de la válvula</i> .....	66
<b>Figura 47</b> <i>Plantilla para las pantallas de control de despacho</i> .....	67
<b>Figura 48</b> <i>Lista de textos para estado de despacho</i> .....	70
<b>Figura 49</b> <i>Avisos de bit para el lanzamiento de alarmas</i> .....	70
<b>Figura 50</b> <i>Pantalla de inicio - HMI</i> .....	71
<b>Figura 51</b> <i>Pantalla de control por volumen - HMI</i> .....	72
<b>Figura 52</b> <i>Pantalla de control por tiempo - HMI</i> .....	72
<b>Figura 53</b> <i>Pantalla de flujo general - HMI</i> .....	73



<b>Figura 54</b> <i>Pantalla de flujo específico - HMI</i> .....	74
<b>Figura 55</b> <i>Pantalla de configuración - HMI</i> .....	74
<b>Figura 56</b> <i>Pantalla de mantenimiento - HMI</i> .....	75
<b>Figura 57</b> <i>Pantalla de alarmas - HMI</i> .....	75
<b>Figura 58</b> <i>Pantalla de información - HMI</i> .....	76
<b>Figura 59</b> <i>Base de datos con variables que serán compartidas a Node-RED</i> .....	77
<b>Figura 60</b> <i>Tabla de observación y forzado de la base de datos de Node-RED</i> .....	77
<b>Figura 61</b> <i>Tabla de variables Node-RED en formato CSV</i> .....	83
<b>Figura 62</b> <i>Enlace de variables booleanas internas con variables de la base de datos</i> .....	83
<b>Figura 63</b> <i>Enlace de variables reales internas con variables de la base de datos</i> .....	84
<b>Figura 64</b> <i>Activación del servidor Node-RED por terminal</i> .....	84
<b>Figura 65</b> <i>Paleta de nodos utilizados en Node-RED</i> .....	85
<b>Figura 66</b> <i>Propiedades de conexión del nodo S7 Endpoint con el PLC</i> .....	86
<b>Figura 67</b> <i>Importación de variables a Node-RED desde tabla CSV</i> .....	86
<b>Figura 68</b> <i>Lista de flujos de Node-RED</i> .....	87
<b>Figura 69</b> <i>Flujo AP-TQ1 – Estado y surtidores</i> .....	88
<b>Figura 70</b> <i>Flujo AP-TQ1 – Modos y On/Off</i> .....	89
<b>Figura 71</b> <i>Flujo AP-TQ1 – Ingreso de valores a despachar</i> .....	89
<b>Figura 72</b> <i>Flujo AP-TQ1 – Salida de valor actual despachado</i> .....	90
<b>Figura 73</b> <i>Flujo AP-TQ1 – Reseteo de despacho y fallas</i> .....	90
<b>Figura 74</b> <i>Flujo Global – Hora y fecha</i> .....	91
<b>Figura 75</b> <i>Flujo Global – Operación, bombas y fallas</i> .....	91
<b>Figura 76</b> <i>Flujo Global – Nivel y flujo</i> .....	92
<b>Figura 77</b> <i>Flujo Mantenimiento</i> .....	92

<b>Figura 78</b> Lista de pantallas de Dashboard de Node-RED.....	93
<b>Figura 79</b> Pantalla de monitor general (1) - Dashboard .....	95
<b>Figura 80</b> Pantalla de monitor general (2) - Dashboard .....	96
<b>Figura 81</b> Pantalla de monitor específico (1) - Dashboard.....	96
<b>Figura 82</b> Pantalla de monitor específico (2) - Dashboard.....	97
<b>Figura 83</b> Pantalla de control específico - Dashboard .....	98
<b>Figura 84</b> Pantalla de mantenimiento - Dashboard.....	98
<b>Figura 85</b> Pantalla de información - Dashboard .....	99
<b>Figura 86</b> Área de despacho.....	100
<b>Figura 87</b> Monitor general del sistema SCADA instalado .....	100
<b>Figura 88</b> Funcionamiento del Dashboard – Despacho de agua purificada del tanque 1 .....	101
<b>Figura 89</b> Funcionamiento del Dashboard – Despacho de agua genérica del tanque 5.....	101
<b>Figura 90</b> Despacho de agua purificada del tanque 1 controlado por panel de operador .....	102
<b>Figura 91</b> Despacho de agua purificada del tanque 2 controlado por panel de operador .....	103
<b>Figura 92</b> Despacho de agua ultrafiltrada del tanque 3 controlado por panel de operador.....	103
<b>Figura 93</b> Despacho de agua genérica del tanque 5 controlado por panel de operador .....	104
<b>Figura 94</b> Flujo específico de agua purificada del tanque 2 monitoreado por panel de operador .....	105
<b>Figura 95</b> Apertura de válvulas en modo mantenimiento por panel de operador .....	105
<b>Figura 96</b> Despacho de agua purificada del tanque 1 controlado por Dashboard web .....	106
<b>Figura 97</b> Despacho de agua purificada del tanque 1 monitoreado por Dashboard web .....	106
<b>Figura 98</b> Despacho de agua purificada del tanque 2 controlado por Dashboard web .....	107
<b>Figura 99</b> Despacho de agua purificada del tanque 2 monitoreado por Dashboard web .....	107
<b>Figura 100</b> Despacho de agua genérica del tanque 5 controlado por Dashboard web.....	108
<b>Figura 101</b> Despacho de agua genérica del tanque 5 monitoreado por Dashboard web .....	108

<b>Figura 102</b> <i>Despacho de agua de los tanques 1, 2 y 5 – Monitor general Dashboard web (1)</i> .....	109
<b>Figura 103</b> <i>Despacho de agua de los tanques 1, 2 y 5 – Monitor general Dashboard web (2)</i> .....	109
<b>Figura 104</b> <i>Despacho de agua de los tanques 1, 2 y 3 – Monitor general Dashboard web</i> .....	110
<b>Figura 105</b> <i>Despacho de agua de los tanques 1 y 3 – Monitor general Dashboard web</i> .....	110
<b>Figura 106</b> <i>Apertura de válvula del surtidor 4 de agua purificada en modo mantenimiento del Dashboard web</i> .....	111
<b>Figura 107</b> <i>Encendido de bomba de agua purificada en modo mantenimiento del Dashboard web</i> .....	111
<b>Figura 108</b> <i>Apertura de válvula 3 y bomba de agua ultrafiltrada en modo mantenimiento del Dashboard web</i> .....	112
<b>Figura 109</b> <i>Apertura de válvula 4 y bomba de agua ultrafiltrada en modo mantenimiento del Dashboard web</i> .....	112
<b>Figura 110</b> <i>Comparación del valor a despachar y el valor despachado de agua del tanque 1</i> .....	113
<b>Figura 111</b> <i>Comparación del valor a despachar y el valor despachado de agua del tanque 5</i> .....	114

## Resumen

La empresa AquaHer del cantón Rocafuerte dispone de un proceso de despacho de agua mediante surtidores, el cual estaba desorganizado y automatizado de manera que no se aprovechaba la máxima capacidad de surtidores para destinar los diferentes tipos de agua hacia los tanqueros que entregan los productos al consumidor.

El presente proyecto plantea rediseñar la automatización del proceso de despacho y crear un sistema de monitoreo y control web local para facilidad de visualización y operación dentro de la empresa. De esta manera se aprovecha la máxima capacidad de surtidores para despachar todos los productos al mismo tiempo con un control preciso para evitar el desperdicio de agua.

Para la implementación de este proyecto se profundizó en el comportamiento del proceso de despacho, de esta manera se plantearon las mejoras estructurales para el proceso, también se revisó el estado del arte de los equipos y softwares necesarios para determinar la mejor manera de controlar y monitorear el proceso, además, se consultó con los operadores las posibles mejoras para que se sientan cómodos con los cambios a realizar.

Las mejoras en el proceso incluyen la instalación de nuevas tuberías y sensores, diseño de un nuevo programa para el controlador lógico programable y de nuevas pantallas de operación y visualización tanto para el panel de operador como para el dashboard web, también se estableció una red PROFINET para compartir información entre los controladores que intervienen en los procesos productivos de la planta y, además, se instaló el sistema SCADA en el servidor local de la empresa.

Finalmente, se validó el funcionamiento del proceso de despacho con varias pruebas dentro de la planta, también, se entregó la documentación del proyecto, donde reposan diagramas e información del nuevo sistema implementado.

*Palabras clave:* controlador lógico programable, panel de operador, dashboard, PROFINET, SCADA

### **Abstract**

The AquaHer company in the Rocafuerte city has a water dispatch process through pumps, which was disorganized and automated in such a way that the maximum capacity of the pumps was not used to allocate the different types of water to the tankers that deliver the products to the consumer.

This project proposes to redesign the automation of the dispatch process and create a local web monitoring and control system for ease of visualization and operation within the company. In this way, the maximum capacity of the dispensers is used to dispatch all the products at the same time with precise control to avoid wasting water.

For the implementation of this project, the behavior of the dispatch process was deepened, in this way the structural improvements for the process were proposed, the state of the art of the necessary equipment and software was also reviewed to determine the best way to control and monitor the process, in addition, the operators were consulted on possible improvements so that they feel comfortable with the changes to be made.

Improvements in the process include the installation of new pipes and sensors, design of a new program for the programmable logic controller and new operation and visualization screens for both the operator panel and the web Dashboard, a PROFINET network was also established. to share information between the controllers involved in the production processes of the plant and, in addition, the SCADA system was installed on the company's local server.

Finally, the operation of the dispatch process was validated with several tests within the plant, also, the project documentation was delivered, where diagrams and information of the new implemented system rest.

*Keywords:* programmable logic controller, operator panel, dashboard, PROFINET, SCADA

## Capítulo I: Generalidades

### Antecedentes

Un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) es un concepto mediático entre el controlador programable (PLC) y el operador del proceso, este sistema puede ser visualizado y se puede operar el proceso remotamente desde un computador o un teléfono inteligente, con el fin de optimizar la ejecución del mismo.

Existen diversas formas de implementar este sistema mediante diferentes aplicaciones, como se describe en los siguientes trabajos realizados con anterioridad.

Palacios y Mera, en su proyecto “Diseño e implementación de un Sistema SCADA para el control remoto de un proceso a través de un dispositivo móvil basado en el software My Scada e Information Server”, utilizan estos aplicativos para establecer una comunicación entre el SCADA en un servidor web y el controlador programable in situ, utilizando un celular como dispositivo para operar el proceso de control de un motor trifásico con un variador de frecuencia. (Palacios & Mera, 2012)

En el proyecto de tesis nombrado “Diseño e Implementación de un sistema SCADA para monitoreo de flujo y temperatura del sistema de llenado aséptico de jugo de maracuyá de la Agro-Industria Frutas de la Pasión C. LTDA”, realizado por Salazar y Villacreses, se utilizaron los softwares WinCC de Siemens para el HMI y FactoryTalk View de Rockwell Automation para el SCADA. (Salazar & Villacreses, 2015)

María José Yagual, en su proyecto “Diseño e Implementación de un Sistema SCADA para el proceso de Mezcla de Pintura utilizando herramientas de la Industria 4.0.”, utiliza el aplicativo WONDERWARE INTOUCH para desarrollar el SCADA y mediante un servidor OPC-KEPServer realiza la comunicación. (Yagual, 2019)

En Colombia, se realizó el proyecto “Diseño e Implementación de un SCADA Web para un Probador Portable de Medidores de Gas”, en el cual se utilizó el servidor IntegraXor para el diseño del

SCADA y un servidor OPC del mismo fabricante, de esta manera se trabajó el sistema desde la nube, pudiendo ser operado desde cualquier dispositivo inteligente. (Zárate, Rovira, & Salab, 2015)

### **Planteamiento del problema**

La empresa AquaHer del cantón Rocafuerte tiene un proceso de despacho de agua hacia tanqueros en su planta, el cual no aprovecha eficientemente los recursos del área asignada, esto debido a que dos de los tres tipos de agua que producen no son canalizados independientemente y no pueden ser despachados al mismo tiempo, lo cual retrasa los pedidos de agua. Además, el control instalado no es preciso al momento de los despachos, por lo que constantemente el agua se rebosa de los tanques y se desperdicia.

Tampoco tienen un sistema de supervisión y control web en donde se pueda acceder a los monitores y controles de manera remota, lo que imposibilita el acceso a muchos usuarios involucrados en el proceso ya que su cuarto de operación se encuentra en un mezanine elevado.

### **Justificación e importancia**

El despacho de agua hacia los tanqueros por parte de la empresa AquaHer S.A. no está optimizado, debido a esto, los conductores de los tanqueros deben esperar estacionados a que les toque el turno y en muchos casos este tiempo de espera es muy alto. Otro problema es la exactitud de los surtidores, los cuales no llenan la cantidad de agua que se les asigna, esto provoca que los tanques no sean llenados completamente o que estos se desborden y el agua se desperdicie, lo que genera pérdidas para la empresa. También existe un inconveniente en la distribución de los surtidores, ya que los cinco posibles estacionamientos para ser surtidos no pueden despachar todos los tipos de agua ofertados. Finalmente, en este proceso, el operador debe estar pendiente de la pantalla HMI para que no ocurran imprevistos que puedan desencadenar pérdidas para la empresa.

El rediseño y la mejora continua de este proceso resulta un problema de carácter urgente para la empresa AquaHer S.A., ya que necesitan optimizar el despacho de los diferentes tipos de agua hacia

sus clientes. Además, la implementación de un sistema SCADA es una petición importante para el desarrollo de la empresa, ya que la meta es alcanzar las tecnologías de la Industria 4.0. y ser más productivos, a la vez que se tiene un mejor control de los procesos dentro de la empresa, pudiendo ejecutar operaciones de control o supervisión desde cualquier lugar de la planta, ya que la zona donde se encuentra el cuarto de operación del proceso de despacho no es fácilmente accesible.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Rediseñar la automatización e implementar un sistema SCADA Web local para el proceso de despacho de agua mediante surtidores en la empresa AQUAHER S.A. del cantón Rocafuerte.

### ***Objetivos específicos***

- Elaborar un documento para el proyecto donde se reflejen las variables y conexiones del PLC, HMI y SCADA, así como un diagrama esquemático del proceso de despacho.
- Instalar un sensor de presión en la tubería de aire comprimido, así como el cableado de control y red hacia el PLC ubicado en el área de despacho.
- Establecer la lógica de control para el PLC del área de despacho considerando el flujo del proceso, los eventos y las protecciones necesarias para un correcto funcionamiento.
- Implementar una red industrial Profinet para la obtención de las señales de los sensores de nivel de los tanques de almacenamiento desde otro PLC ubicado en el área de producción.
- Diseñar las pantallas del HMI y el SCADA de una manera amigable y entendible para los operadores de la planta, garantizando una rápida y óptima navegación y estableciendo una jerarquía de permisos.
- Instalar el sistema SCADA Web en el servidor de la red local de la empresa, así como determinar los clientes con acceso al monitoreo y/o control del proceso.



## **Alcance**

Este proyecto consiste en rediseñar la automatización del proceso de despacho de agua para la empresa AquaHer S.A., además, implementar un sistema SCADA Web local para la operación remota desde cualquier lugar dentro de la empresa.

Se necesita escalar de manera correcta los datos de los sensores de caudal de los diferentes tipos de agua para un despacho preciso sin pérdida de producto.

También se instalarán presostatos para activar paros por altas presiones en las tuberías de agua o bajas presiones en la tubería de aire comprimido que acciona las válvulas de los surtidores, así como protecciones de los arrancadores de las bombas y paro de emergencia, estableciendo una lógica para un paro seguro.

Es indispensable levantar información del proceso, realizar diagramas esquemáticos y elaborar la documentación de las conexiones eléctricas de fuerza y control, así como una tabla de variables del PLC, tanto de entrada y salida como de control interno.

Se diseñará un nuevo programa para el PLC y se establecerá una comunicación PROFINET para obtener datos de los sensores de nivel de los tanques de agua. El despacho de agua se podrá hacer manual o automático y en el segundo caso se podrá hacer por medio de volumen llenado o por tiempo transcurrido. En caso de una emergencia se deben abrir todas las válvulas de despacho y se apagarán todas las bombas de manera inmediata.

También se diseñarán nuevas pantallas para el control mediante un panel de operador. También se instalará un sistema SCADA en el servidor local para control y monitorear del proceso mediante un Dashboard web.

Finalmente se entregará un documento a la empresa donde reposará toda la información del proyecto y los programas serán entregados digitalmente. Se incluirá en la entrega el programa antiguo que quedó obsoleto y que fue recuperado desde el PLC.

## Capítulo II: Estado del Arte

### Sistema de bombeo de agua

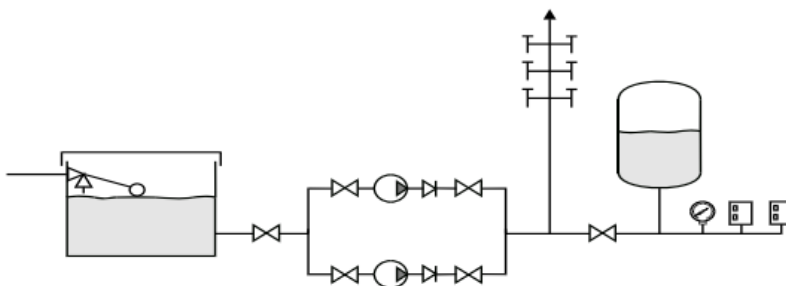
Según (Blanco, Velarde, & Fernández, 1994), un sistema de bombeo es un conjunto de elementos que posibilitan la conducción de fluidos a través de tuberías y almacenes temporales, cumpliendo las condiciones de presión y caudal del sistema.

Algo similar enuncia (HYEN Projects, 2022), cuando dice que es un conjunto de estructuras, equipos, tuberías y accesorios, que impulsan el fluido desde la toma de abastecimiento hasta un reservorio o una red de distribución.

En la Figura 1, se observa un esquema referencial de un sistema de bombeo de agua.

### Figura 1

*Sistema referencial de bombeo de agua*



*Nota.* Tomado de Sistemas de Bombeo, por (Blanco, Velarde, & Fernández, 1994)

Los principales elementos actuadores para el sistema de bombeo de agua son las bombas, las cuales se encargan de empujar el líquido a través de las tuberías, y las válvulas, que permiten o impiden el paso del agua.

### **Bombas**

Una bomba es una máquina que basa su funcionamiento en el Principio de Bernoulli, el cual menciona que la energía de un fluido ideal que se encuentra circulando en un conducto cerrado permanece constante en todos los puntos de su recorrido. (Rodríguez, 2022).

Entonces, la bomba convierte la energía mecánica en energía hidráulica la cual ofrece al fluido, aumentando su presión o caudal.

Las bombas se clasifican en dos grupos, las bombas de desplazamiento positivo (volumétricas) y las bombas rotodinámicas, siendo las segundas las más utilizadas en sistemas de bombeo de agua.

### **Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo**

Desplazan cierto volumen de fluido por unidad de tiempo, sin importar la presión. Utilizan émbolos, paletas, engranajes u otros órganos propulsores.

### **Bombas rotodinámicas**

Tienen rodetes girando a altas velocidades que aspiran el fluido y lo empujan, estas aumentan la energía del fluido a base de energía cinética, lo cual también genera un aumento de presión. Se utilizan para mover grandes caudales a presiones moderadas. Se pueden clasificar según la dirección en radiales, axiales y mixtas.

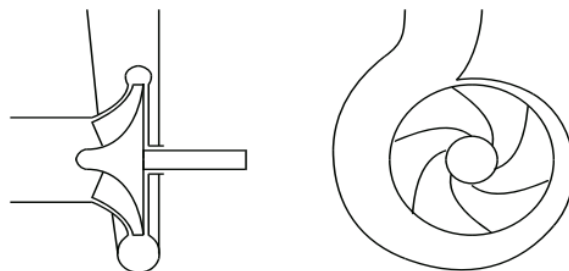
### ***Radiales o centrífugas***

El movimiento del fluido tiene una trayectoria perpendicular al eje de rotación. Se utilizan cuando se necesitan grandes alturas y caudales moderados.

La Figura 2 muestra un esquema básico de una bomba centrífuga.

### **Figura 2**

*Esquema de bomba centrífuga*



*Nota.* Tomado de Sistemas de Bombeo, por (Blanco, Velarde, & Fernández, 1994)

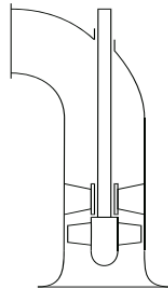
### ***Axiales***

El movimiento del fluido tiene una trayectoria en la misma dirección del eje de rotación. Se utilizan cuando se necesitan grandes caudales a bajas alturas.

La Figura 3 muestra un esquema básico de una bomba axial.

### **Figura 3**

*Esquema de bomba axial*



*Nota.* Tomado de Sistemas de Bombeo, por (Blanco, Velarde, & Fernández, 1994)

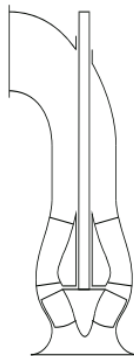
### ***Mixtas***

El movimiento del fluido es en otra dirección o una mezcla de las direcciones antes mencionadas y tienen un uso para casos intermedios.

La Figura 4 muestra un esquema básico de una bomba mixta.

### **Figura 4**

*Esquema de bomba mixta*



*Nota.* Tomado de Sistemas de Bombeo, por (Blanco, Velarde, & Fernández, 1994)

## Válvulas

Una válvula es un mecanismo de cierre y regulación, la cual determina la rama de la instalación por la cual estará circulando el fluido y también define la operación del sistema, esto según (Blanco, Velarde, & Fernández, 1994).

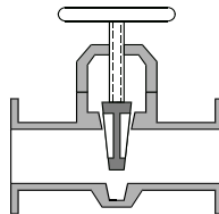
Para (Borrás, 2020), una válvula es un elemento mecánico que puede iniciar, detener o regular la circulación del fluido en las tuberías mediante el movimiento de piezas móviles.

### Válvula de compuerta

Normalmente accionada por un tornillo, esta válvula posee una compuerta circular o rectangular que se desliza perpendicularmente a la tubería. Suelen ser válvulas de apertura y cierre, pero no de regulación. En la *Figura 5* se observa un gráfico referencial de este tipo de válvula.

**Figura 5**

*Esquema de válvula de compuerta*



*Nota.* Tomado de Sistemas de Bombeo, por (Blanco, Velarde, & Fernández, 1994)

**Figura 6**

*Esquema de válvula mariposa*



*Nota.* Tomado de Sistemas de Bombeo, por (Blanco, Velarde, & Fernández, 1994)

### Válvula mariposa

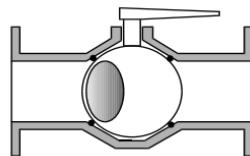
Tienen un disco dentro, que gira 90° para abrir y regresa lo mismo para cerrar el paso de fluido, es utilizada solo para apertura y cierre, rara vez se utiliza para regulación, pero se puede usar con los complementos correctos. Es de fácil accionamiento y tiene un buen funcionamiento. Se puede ver un esquema de la válvula en la Figura 6.

### Válvula esférica

También conocida como válvula de bola, es de gran aplicación para regulación de flujo, soporta altas presiones y no producen pérdidas relevantes. Tiene una esfera que gira perpendicularmente a la tubería, tiene un agujero del mismo tamaño de la tubería en la dirección axial para un paso total de fluido y parcial cuando está medianamente cerrada. La Figura 7 muestra un esquema de la válvula mencionada.

### Figura 7

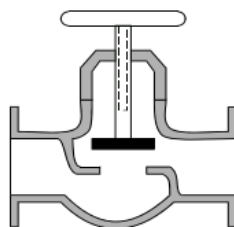
*Esquema de válvula de bola*



*Nota.* Tomado de Sistemas de Bombeo, por (Blanco, Velarde, & Fernández, 1994)

### Figura 8

*Esquema de válvula de globo*



*Nota.* Tomado de Sistemas de Bombeo, por (Blanco, Velarde, & Fernández, 1994)

### Válvula de globo

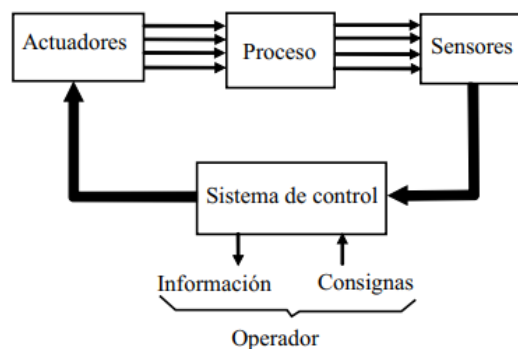
Es una válvula accionada por tornillo, normalmente utilizada en domicilios. Presenta grandes pérdidas de carga. Tiene una cavidad esférica con una pared divisora que tiene un orificio central por donde circula el fluido. El mecanismo posee un disco que bloquea el orificio total o parcialmente, con el fin de aperturar, cerrar o principalmente regular el paso de agua. En la Figura 8 se presenta un esquema de la válvula de globo.

### Automatización industrial

Para (Llopis, Romero, & Ariño, 2010) la automatización es el diseño y la implementación de un sistema que responde de manera automática a las señales de entrada para luego dar una orden de acción como señal de salida. En la Figura 9 se muestra la estructura básica de un sistema automatizado, en el cual se presentan los sensores como señal de entrada y actuadores como señales de salida, además, la inclusión de un operador que da ciertas órdenes para que el sistema de control opere de la manera que se espera.

### Figura 9

*Estructura de un sistema automatizado*



*Nota.* Tomado de Automatización industrial, por (Llopis, Romero, & Ariño, 2010)

Se trata de un sistema de lazo cerrado, donde la mayoría de las veces se manejan señales binarias, de activado o desactivado, sin embargo, pueden encontrarse señales analógicas con valores en rangos definidos tanto para los sensores como para los actuadores.

## ***Clasificación tecnológica***

### **Automatismos cableados**

Se trata de automatismos que funcionan con lógica cableada, es decir, con dispositivos interconectados eléctricamente entre sí para generar una lógica de control. La desventaja de estos es que son poco flexibles y ocupan mucho espacio, además, no son capaces de establecer sistemas de control complejo. Las ventajas son la robustez y el bajo coste de su implementación, además, es de fácil acceso para los operadores.

### **Automatismos programados**

Estos automatismos son implementados mediante software ejecutado por un microprocesador, el cual relaciona entradas y salidas con una lógica programada, de esta manera se puede centralizar el control en un único dispositivo que recibe las señales y envía las órdenes para el funcionamiento del proceso. Estos automatismos pueden ser un PLC, un microcontrolador o un PC. Las ventajas son la gran flexibilidad, la implementación de controles complejos y el espacio reducido que ocupan.

### ***Controlador Lógico Programable – PLC***

Según la (NEMA, 2021), los PLCs son instrumentos electrónicos con memoria, capaces de guardar instrucciones de operaciones lógicas, secuencias de acciones, funciones de temporización y conteo, y cálculos para controlar máquinas o procesos mediante módulos E/S digitales o analógicos.

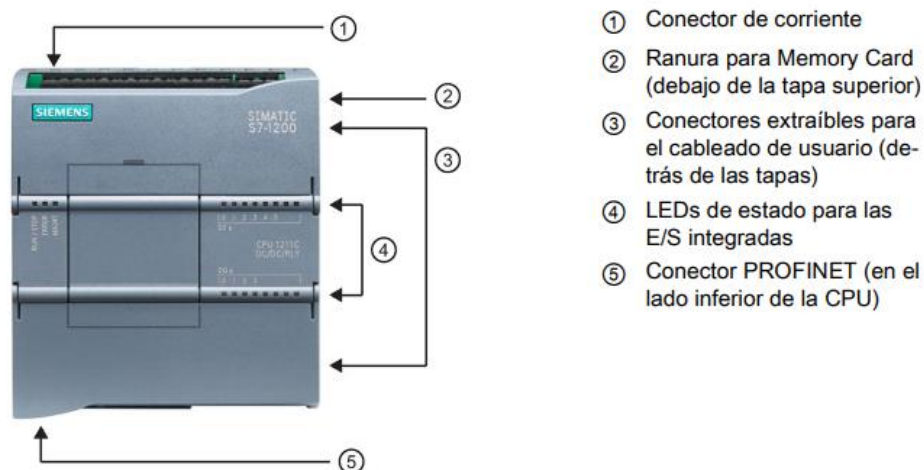
### **PLC Siemens SIMATIC S7-1200**

El controlador PLC Siemens S7-1200 posee características y componentes capaces de incorporar el dispositivo a la industria de la automatización. Tiene una fácil configuración y una alta compatibilidad con otros equipos e instrumentos; puede ser utilizado en una gran cantidad de aplicaciones al ser un controlador muy potente. Tiene la lógica para supervisar y controlar el estado de los dispositivos conectados a sus entradas y salidas, además, tiene la capacidad de integrarse con paneles de operador para una mejor operación del proceso. (SIEMENS, 2018).



**Figura 10**

PLC Siemens SIMATIC S7-1200



*Nota.* Tomado de Controlador programable S7-1200, por (SIEMENS, 2018)

La programación del PLC se lleva a cabo con el software STEP7 en el TIA Portal.

### **Interfaz Humano Máquina - HMI**

La empresa de desarrollo de software de automatización, (Wonderware, 2022), sugiere que, la HMI es el interfaz entre el proceso y el operador, es un panel de instrumentos del último. Esta herramienta es utilizada para coordinar, controlar y supervisar procesos industriales y de fabricación, la cual genera información útil desde variables y procesos complejos.

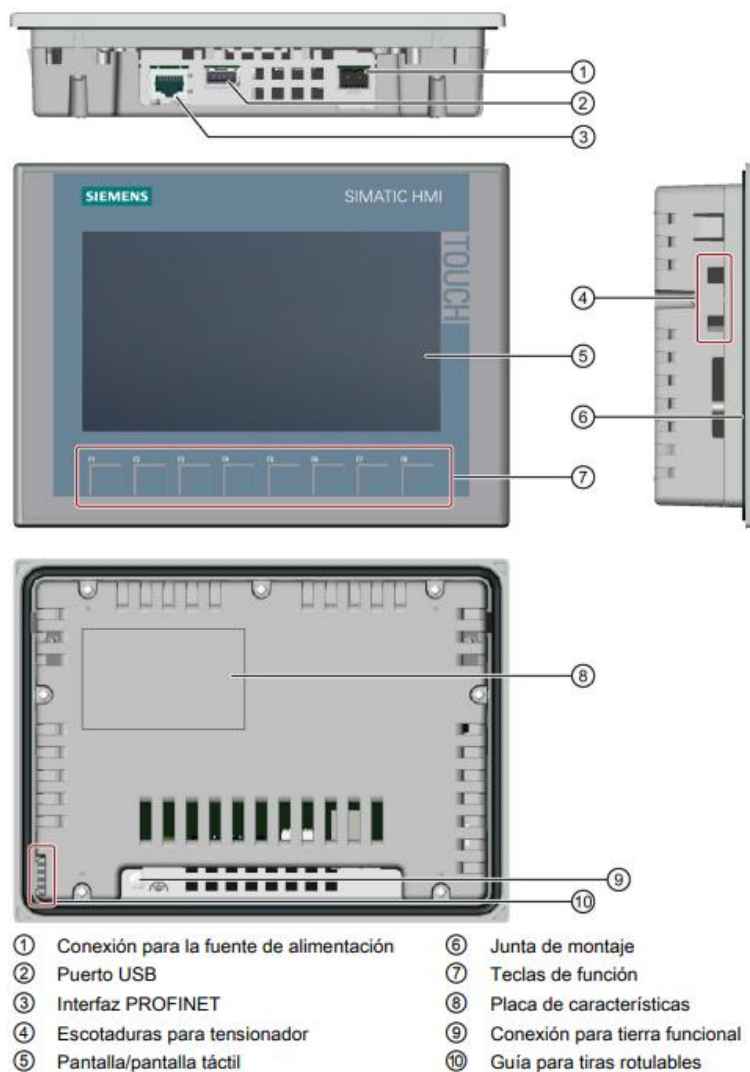
#### **Basic Panel Siemens SIMATIC KTP700 Basic PN**

Es un dispositivo capaz de presentar una interfaz gráfica llamada HMI, con el cual se puede operar y monitorizar el proceso de automatización programado en el PLC al cual está conectado. Tiene una interfaz PROFINET con la cual puede vincularse al PLC y a otros dispositivos compatibles. Tiene una pantalla táctil de siete pulgadas y ocho botones de función. Este panel se configura y maneja con gran facilidad. (SIEMENS, 2014).

La programación se lleva a cabo con el software WinCC en el TIA Portal.

**Figura 11**

*Panel de Operador SIMATIC KTP700 Basic PN*



*Nota.* Tomado de SIMATIC HMI - Paneles de Operador, por (SIEMENS, 2014)

### **Protocolo de comunicación PROFINET**

PROFINET es un estándar de Ethernet Industrial – TCP/IP y es de los más utilizados en las redes de comunicación industrial, ya que permite enlazar los distintos dispositivos conectados a la red con alta rapidez, robustez y seguridad. La conectividad se da con el cable Ethernet y facilita el acceso a dispositivos de campo, mejora la escalabilidad en las infraestructuras y tiene la posibilidad de conexiones remotas muy seguras con VPN. (INCIBE, 2017).

## Sistema SCADA

Un sistema de supervisión, control y adquisición de datos, también llamado SCADA, es una aplicativo o software diseñado para comunicarse con el controlador de un proceso o máquina y presentar mediante una interfaz gráfica los datos relevantes del mismo, para supervisar su funcionamiento y controlarlo remotamente enviando órdenes.

Normalmente está instalado en un computador y se comunica dentro de una red local, ejecutándose en tiempo real mientras informa los detalles del proceso al operador.

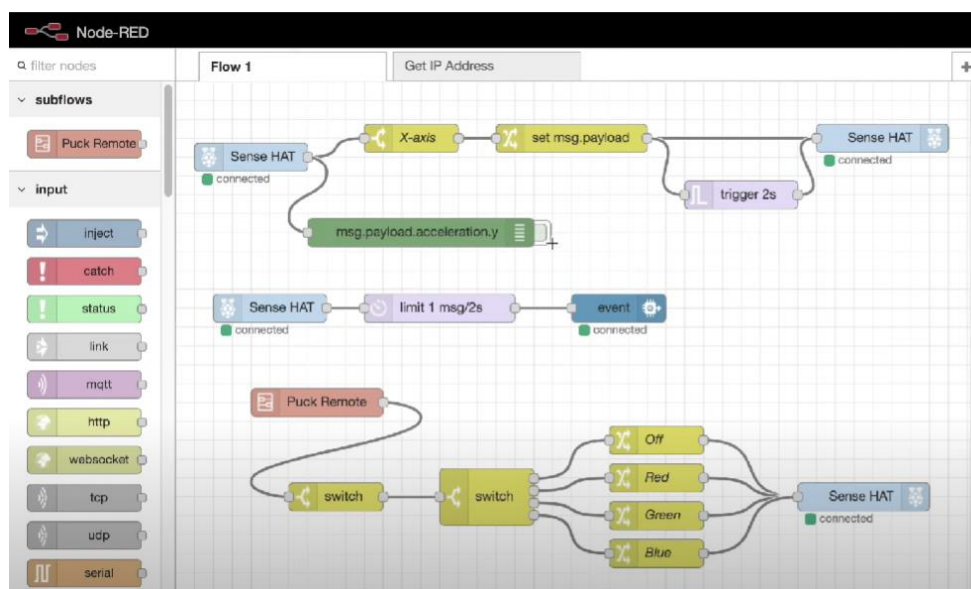
## Software Node-RED

Es una herramienta de programación para la interconexión de hardware, aplicaciones y servicios, posee un editor basado en navegador web y funciona mediante nodos que pueden ser usados a conveniencia. (Node-RED, 2022)

Se ejecuta en un entorno basado en Node.js y se almacenan como JSON; puede ser ejecutado en computador, microcontroladores y microcontroladores, o en la nube.

**Figura 12**

*Interfaz de desarrollo de Node-RED*



*Nota.* Tomado de Node-RED, por (Node-RED, 2022)

### **Nodo de comunicación con PLC S7**

Es un nodo de Node-RED para interactuar con los PLCs Siemens S7. Se configura con el nodo S7 Endpoint, donde se ingresa la dirección IP del PLC, las variables que serán compartidas y la frecuencia de lectura y escritura. (Node-RED, 2022)

El direccionamiento de las variables en Node-RED se diferencia a la nomenclatura de Step7, siguiendo la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Tabla de direccionamiento de variables*

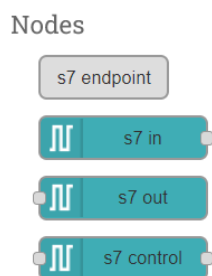
<b>Dirección Node--RED</b>	<b>Dirección S7</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
DB5,X0.1	DB5.DBX0.1	Bool	Bit 1 del byte 0 de la base de datos DB5
DB23,B1	DB23.DBB1	Byte	Byte 1 de la base de datos DB23
DB42,I3	DB42.DBW3	Entero con signo	Número de 16 bits desde el byte 3 de la base de datos DB42
DB19,DW6	DB19.DBD6	Palabra doble sin signo	Número de 32 bits desde el byte 6 de la base de datos DB19
DB21,R7	DB21.DBD7	Real	Número coma flotante de 32 bits, desde el byte 7 de la base de datos DB21

*Nota.* Se tomaron algunos ejemplos de la tabla original. Tomado de node-red-contrib-s7, por (Node-RED, 2022)

En la Figura 13, se muestran los nodos disponibles de este paquete. El nodo s7 endpoint sirve para la configuración de la conexión con el PLC físico; el nodo S7 in para leer una variable del PLC, el nodo s7 out para escribir sobre una variable del PLC; y el nodo s7 control para un control avanzado de la conexión con el PLC.

**Figura 13**

*Nodos del paquete node-red-contrib-s7*



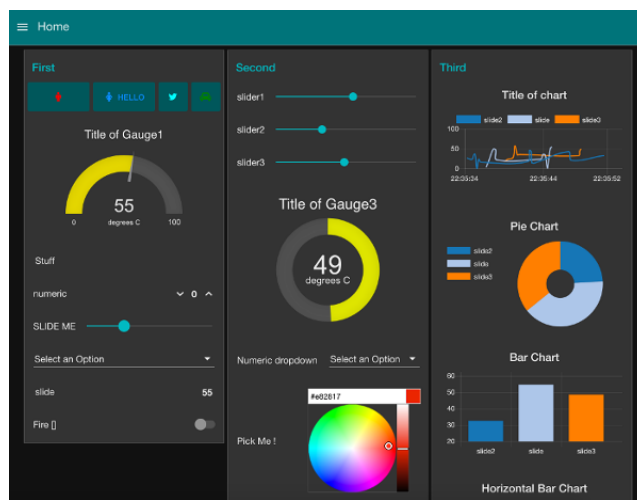
*Nota.* Tomado de node-red-contrib-s7, por (Node-RED, 2022)

### ***Dashboard de Node-RED***

Este paquete proporciona varios nodos para la creación de una interfaz gráfica, entre ellos están botones, switches, entrada de texto y números, salida de texto, gráficos tipo gauge y chart, entre otros.

**Figura 14**

*Ejemplo de Dashboard de Node-RED*



*Nota.* Tomado de node-red-dashboard, por (Node-RED, 2022)

## Instrumentación industrial

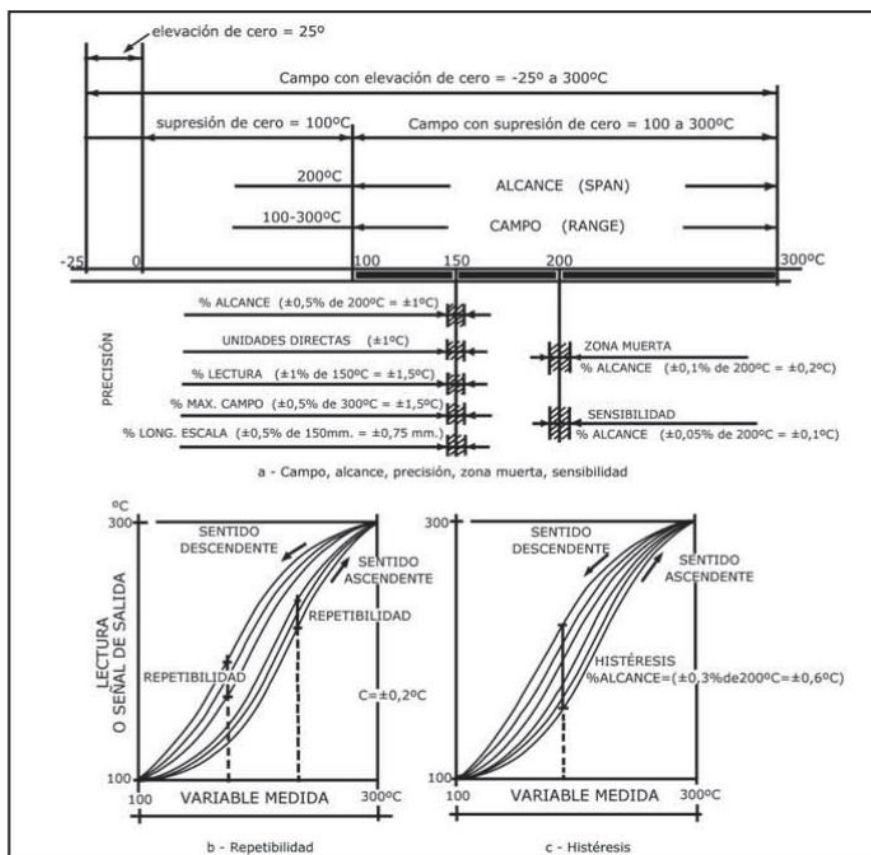
Para (Creus, 2010), en cualquier proceso es necesario controlar y mantener magnitudes, como presión caudal, nivel, temperatura, entre otras, para esto son imprescindibles los instrumentos de medición.

En un sistema de control, se compara el valor de la variable medida con el valor deseado y se ejecutan acciones de corrección en caso de haber diferencias.

Estos instrumentos tienen diversas características a tomar en cuenta al momento de seleccionar el correcto según la aplicación. La Figura 15 muestra las definiciones y características de los instrumentos de medición, así como el comportamiento regular de los mismos.

**Figura 15**

*Definiciones de los instrumentos*



*Nota.* Tomado de Instrumentación Industrial, por (Creus, 2010)

## Caudalímetro

Se trata de dispositivos que miden la cantidad de volumen o masa que pasa a través de un conducto por unidad de tiempo. Los medidores de caudal pueden ser volumétricos o másicos, si la respuesta está en volumen de fluido o en masa de fluido respectivamente. (Creus, 2010)

Los medidores volumétricos determinan el caudal, ya sea por desplazamiento o por deducción. En la industria, la medición se lleva a cabo con elementos que proporcionan una presión diferencial en el paso del fluido, como placa orificio o tubos Venturi, Pitot o Annubar.

### Medidor magnético

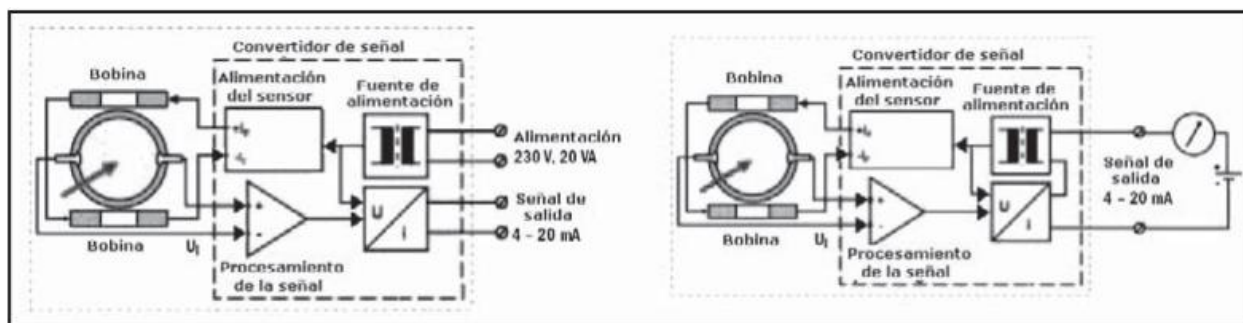
El sensor mide un voltaje inducido por el líquido que fluye por el conducto, el transmisor los convierte en una señal estándar de salida para ser leída por el sistema de control. La medición se realiza en velocidad lineal, la cuál se convierte en señal de caudal conociendo el área de la sección de la tubería.

El voltaje inducido entre los electrodos y el sensor es generado por la fuerza del campo magnético cuando se energizan las bobinas, esto es medido con un magnetómetro.

El funcionamiento de estos dispositivos se basa en la Ley de Faraday, la cual dice que el voltaje inducido es directamente proporcional a la velocidad del líquido que se mueve a través de un campo magnético.

**Figura 16**

*Transductor de caudal volumétrico de 4-20 mA*



*Nota.* Tomado de Instrumentación Industrial, por (Creus, 2010)

## Presostato

Son dispositivos electromecánicos que responden con una señal eléctrica ante un impulso o desplazamiento mecánico. El elemento mecánico puede ser una espiral o hélice, un diafragma, un fuelle o la combinación de estos. Su funcionamiento puede ser resistivo, magnético, capacitivo, extensométrico y piezoeléctrico. (Creus, 2010)

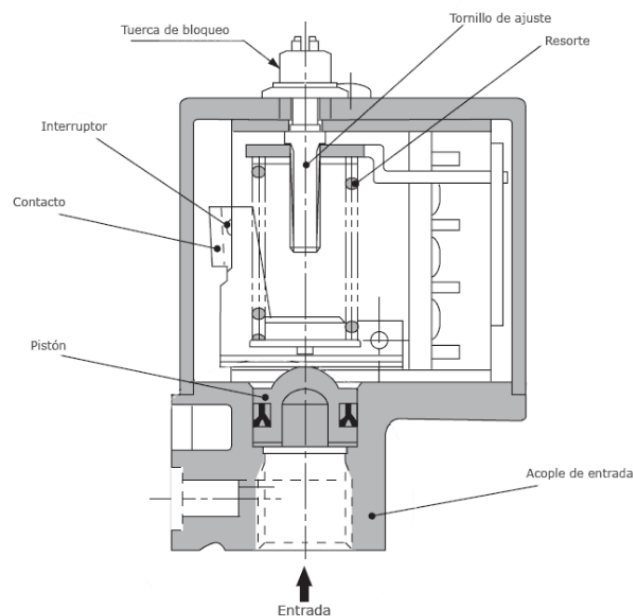
La presión es una fuerza por unidad de área, esta puede ser medida como absoluta, atmosférica, relativa, diferencial o del vacío.

### Presostato diferencial

Funciona en un rango de presiones ajustables, este abre o cierra un contacto al comparar la presión del fluido con la presión seccionada en el dispositivo, esta señal eléctrica del contacto se conecta al sistema de control para realizar las acciones necesarias. Este presostato actúa como un sensor de tipo encendido/apagado, es decir, envía una señal de verdadero o falso.

### Figura 17

Esquema de un presostato



*Nota.* Tomado de ¿Qué es un presostato?, por (FESMEX, 2020)



### Capítulo III: Proceso y dimensionamiento de componentes

#### Proceso de despacho

El proceso de despacho consiste en canalizar, mediante tuberías, el agua almacenada en tanques de 1250 m<sup>3</sup> hacia surtidores que se aberturan mediante válvulas con accionamiento neumático, e impulsar esta agua con bombas hasta los tanqueros receptores del producto que será enviado al consumidor.

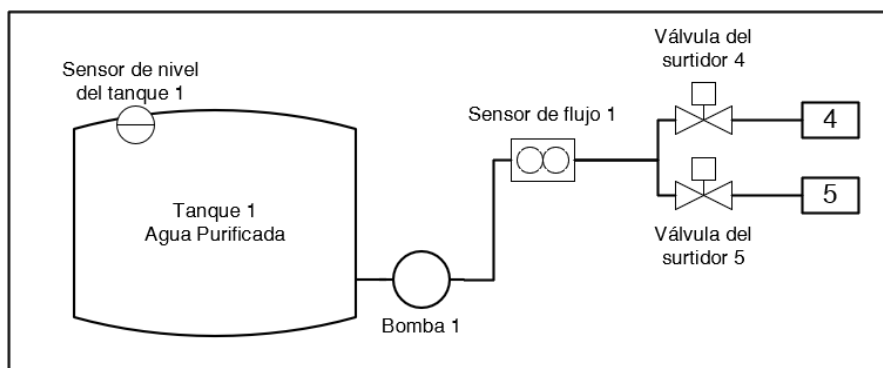
En la empresa AquaHer se puede despachar agua desde cuatro reservorios, de los cuales dos son de agua purificada (tanque 1 y tanque 2), uno de agua ultrafiltrada (tanque 3) y uno de agua genérica (tanque 5).

Los tanqueros se pueden ubicar en cinco estacionamientos, los cuales están diferenciados según el agua que pueden surtir: desde el surtidor 1 solo se puede despachar agua genérica (tanque 5), desde el surtidor 2 se puede despachar agua genérica (tanque 5) y agua purificada (tanque 2), desde el surtidor 3 se puede despachar agua ultrafiltrada (tanque 3) y agua purificada (tanque 2), desde el surtidor 4 se puede despachar agua ultrafiltrada (tanque 3) y agua purificada (tanque 2), desde el surtidor 5 se puede despachar solamente agua purificada (tanque 1).

En la Figura 18, la Figura 19, la Figura 20 y la Figura 21 se observan diagramas representativos del proceso según el tanque desde el cual se está surtiendo el agua.

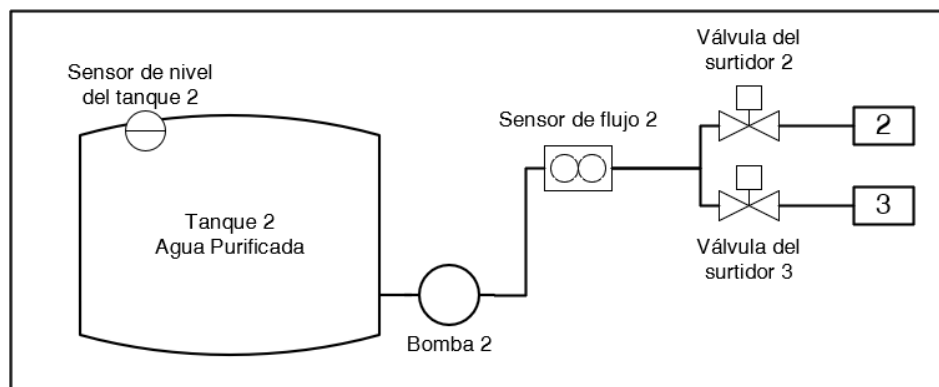
#### Figura 18

*Diagrama del despacho de agua desde el tanque 1 hacia los surtidores 4 y 5*

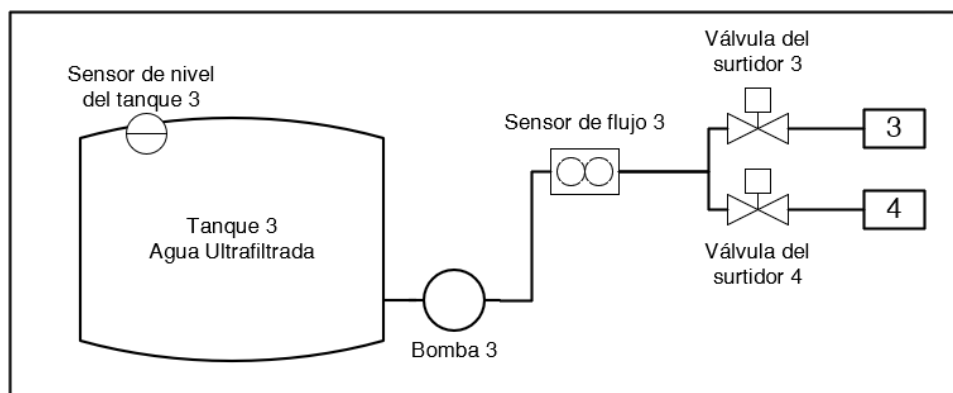


**Figura 19**

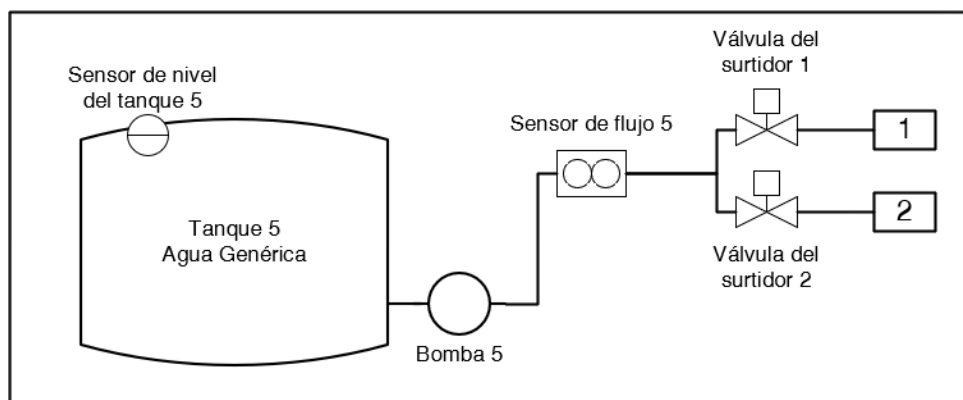
*Diagrama del despacho de agua desde el tanque 2 hacia los surtidores 2 y 3*

**Figura 20**

*Diagrama del despacho de agua desde el tanque 3 hacia los surtidores 3 y 4*

**Figura 21**

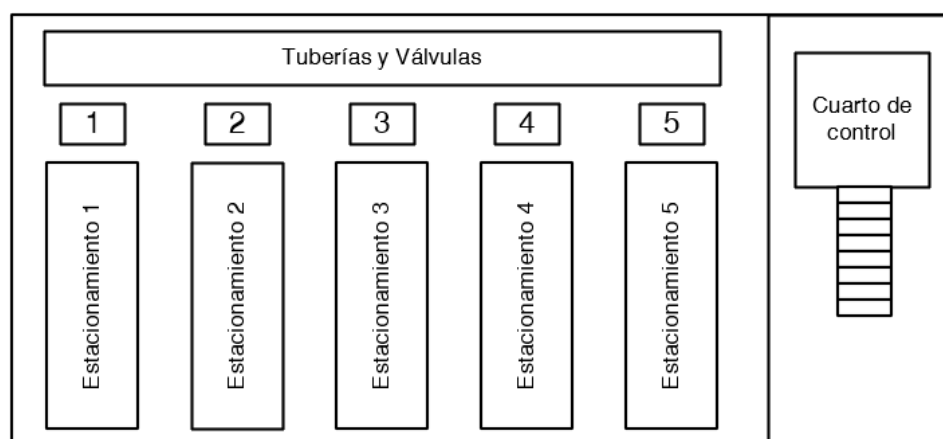
*Diagrama del despacho de agua desde el tanque 5 hacia los surtidores 1 y 2*



Los surtidores están posicionados empezando desde el más lejano del cuarto de control hasta el más cercano, teniendo una vista de frente como en la Figura 22. El cuarto de control se encuentra en un primer piso subiendo las escaleras, desde aquí se tiene acceso al panel de operador y se encuentra el tablero de control.

**Figura 22**

*Diagrama del despacho de agua desde el tanque 5*



**Nueva canalización desde el tanque 3**

**Figura 23**

*Tuberías principales de agua ultrafiltrada y agua genérica*



Antes de la propuesta para el proyecto, se despachaba el agua ultrafiltrada y el agua genérica usando la misma tubería, lo cual ocasionaba la mezcla de los productos con el agua que se queda rezagada a lo largo de toda la canalización desde el tanque hasta los surtidores. Debido a esto no se podían despachar los dos tipos de agua al mismo tiempo, solo una a la vez, esto ocasionaba retrasos de los pedidos.

### Figura 24

*Ramificación de tuberías de despacho de agua ultrafiltrada y agua genérica*



Para mejorar esto se realizó una nueva canalización desde el tanque 3 hasta el área de despachos, como se puede ver en la Figura 23 y en la Figura 24, de esta manera el agua ultrafiltrada y el agua genérica pueden ser despachadas independientemente y al mismo tiempo, generando mayor productividad en el proceso, se encuentra el detalle de la Tabla 2. Aunque esto fue realizado antes de la aprobación de este proyecto, por lo que esta actividad no cuenta como parte del presupuesto del mismo.

**Tabla 2**

*Identificación de las tuberías principales de agua ultrafiltrada y agua genérica*

<b>N°</b>	<b>Elemento</b>	<b>Observación</b>
1	Tubería de agua ultrafiltrada	Se ramifica hacia los surtidores 3 y 4. Tubería nueva.
2	Tubería de agua genérica	Se ramifica hacia los surtidores 1 y 2

*Nota.* Los elementos referenciados en la tabla son los componentes reales dentro de la empresa


### **Actuadores y sensores del proceso**

En la Tabla 3 se muestra la lista de actuadores y en la Tabla 4 se muestra la lista de sensores que están presentes en el proceso de despacho, en estas se presentan los detalles de funcionamiento y si fueron instalados o ya estaban colocados antes del inicio de este proyecto.

Dentro de los actuadores, todos estaban colocados y funcionando antes del inicio de este proyecto.

**Tabla 3**

*Actuadores involucrados en el proceso de despacho*

<b>Componente</b>	<b>Imagen</b>	<b>Función</b>	<b>Observación</b>
Válvula mariposa con actuador neumático (8)		Aperturar la salida de agua por los surtidores	Instaladas antes de iniciar el presente proyecto. Una en los surtidores 1-5, dos en los surtidores 2-3-4



Componente	Imagen	Función	Observación
Bomba eléctrica 50 HP (4)		Impulsar el agua desde los tanques hacia los surtidores	Instaladas antes de iniciar el presente proyecto. Una por cada tanque con agua para despachar


*Nota.* Las imágenes presentadas en la tabla fueron tomadas a los elementos reales dentro de la empresa

Dentro de los sensores, la mayoría estaban colocados y funcionando antes del inicio de este proyecto.

**Tabla 4**

*Sensores involucrados en el proceso de despacho*

Componente	Imagen	Función	Observación
Sensor de nivel tipo ultrasónico (4)		Determinar el nivel de agua dentro de los tanques	Instalados antes de iniciar el presente proyecto. Uno por cada tanque con agua para despachar
Sensor de flujo volumétrico tipo electromagnético (3)		Determinar la cantidad de agua que está siendo despachada por unidad de tiempo	Instalados antes de iniciar el presente proyecto. Uno por cada tubería principal de despacho. A la nueva tubería instalada no se le colocará por ahora.

Componente	Imagen	Función	Observación
Presostato diferencial (5)		Avisar en caso de exceder una presión máxima establecida	Instalados cuatro antes de iniciar el presente proyecto en cada tubería principal de despacho. Instalado una durante la implementación de este proyecto en la tubería de aire comprimido.

*Nota.* Las imágenes presentadas en la tabla fueron tomadas a los elementos reales dentro de la empresa

### Tableros eléctricos y protecciones

**Figura 25**

*Tablero de fuerza donde se encuentran conectadas las bombas del proceso de despacho*



Durante la implementación del presente proyecto no se realizó ningún cambio dentro de los tableros eléctricos ni de fuerza ni de control, sin embargo, en el PLC se reorganizó el orden de las entradas y salidas para que tengan una mejor lógica secuencial con respecto al proceso.

En la Figura 25 se observa el tablero de fuerza para las diferentes bombas. También en la Tabla 5 se muestran los elementos que componen las protecciones y el arranque de las bombas.

**Tabla 5**

*Elementos de los tableros de fuerza involucrados en el proceso de despacho*

<b>N°</b>	<b>Componente</b>	<b>Función</b>	<b>Observación</b>
1	Contactador 1	Abrir paso de energía al arrancador de la bomba 1	3P – 160A
2	Contactador 2	Abrir paso de energía al arrancador de la bomba 2	3P – 160A
3	Contactador 3	Abrir paso de energía al arrancador de la bomba 3	3P – 160A
4	Contactador 5	Abrir paso de energía al arrancador de la bomba 5	3P – 160A
5	Arrancador 1	Arrancar la bomba 1 aligerando el pico de corriente y proteger contra fallas	3P – 90A
6	Arrancador 2	Arrancar la bomba 2 aligerando el pico de corriente y proteger contra fallas	3P – 90A
7	Arrancador 3	Arrancar la bomba 3 aligerando el pico de corriente y proteger contra fallas	3P – 160A
8	Arrancador 5	Arrancar la bomba 5 aligerando el pico de corriente y proteger contra fallas	3P – 160A



N°	Componente	Función	Observación
9	Caja de fusibles 1	Proteger eléctricamente el sistema de la bomba 1	3P – 160A
10	Caja de fusibles 2	Proteger eléctricamente el sistema de la bomba 2	3P – 160A
11	Caja de fusibles 3	Proteger eléctricamente el sistema de la bomba 3	3P – 160A
12	Caja de fusibles 5	Proteger eléctricamente el sistema de la bomba 5	3P – 160A

*Nota.* Los elementos referenciados en la tabla son los componentes reales dentro de la empresa

En la Figura 26 se puede ver el tablero de control. Los diferentes elementos del tablero se especifican en la Tabla 6.

### Figura 26

*Tablero de control del proceso de despacho*



*Nota.* Izquierda, interior del tablero. Centro, pared interna del tablero. Derecha, puerta del tablero.

**Tabla 6***Elementos del tablero de control involucrado en el proceso de despacho*

<b>N°</b>	<b>Componente</b>	<b>Función</b>	<b>Observación</b>
1	Relé 1	Activación de válvula de surtidor 2 de agua purificada	Bobina 220V
2	Relé 2	Activación de válvula de surtidor 3 de agua purificada	Bobina 220V
3	Relé 3	Activación de válvula de surtidor 4 de agua purificada	Bobina 220V
4	Relé 4	Activación de válvula de surtidor 5 de agua purificada	Bobina 220V
5	Relé 5	Activación de válvula de surtidor 1 de agua genérica	Bobina 220V
6	Relé 6	Activación de válvula de surtidor 2 de agua genérica	Bobina 220V
7	Relé 7	Activación de válvula de surtidor 3 de agua ultrafiltrada	Bobina 220V
8	Relé 8	Activación de válvula de surtidor 4 de agua ultrafiltrada	Bobina 220V
9	Relé 9	Activación de bomba del tanque 2	Bobina 220V
10	Relé 10	Activación de bomba del tanque 1	Bobina 220V
11	Relé 11	Activación de bomba del tanque 3	Bobina 220V
12	Relé 12	Activación de bomba del tanque 5	Bobina 220V
13	Breaker 1	Protección general del tablero	Voltaje de 220V

N°	Componente	Función	Observación
14	Breaker 2	Protección del PLC	Voltaje de 220V
15	Switch Industrial Ethernet	Acoger en la misma red a los dispositivos que intervienen en el proceso	Cuatro puertos ethernet
16	Fuente de 24VDC	Energizar sensores y PLC	Capacidad hasta 10 A
17	PLC S7 1200, DI-14, DQ-10, AI-2	Lectura de variables booleanas y escritura de salidas de actuadores para agua purificada.	CPU 1214C AC/DC/Rly
18	Módulo de 8 entradas analógicas	En desuso	SM 1231 AI8
19	Módulo de 4 entradas analógicas	Leer las señales de los sensores de flujo volumétrico	SM 1231 AI4
20	Módulo de 8 salidas digitales	Activación de actuadores par agua ultrafiltrada y genérica	SM 1222 DQ8 x relé
21	Distribuidor de corriente	Repartir energía eléctrica para todo el tablero	220VAC y 24VDC
22	Panel de operador	Interfaz gráfica para operar y supervisar el proceso de despacho	KTP700 Basic PN
23	Pulsador tipo hongo	Paro para casos de emergencia	Rojo con contacto NA

*Nota.* Los elementos referenciados en la tabla son los componentes reales dentro de la empresa

## Capítulo IV: Solución temporal para despachar agua ultrafiltrada

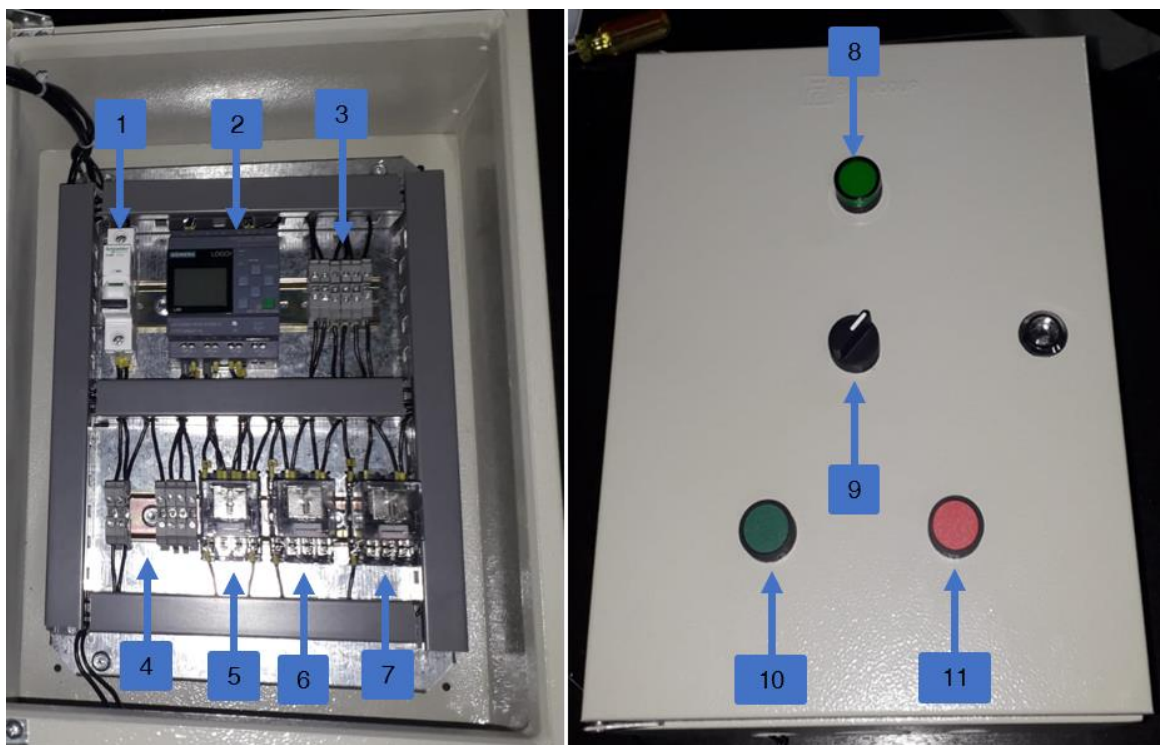
### Sub-tablero de control

Al realizar la nueva canalización para el despacho de agua ultrafiltrada, el proceso cambió por completo, por lo que el sistema instalado, es decir, el programa en el PLC y las pantallas en la HMI no estaban diseñadas para este cambio. Ya que el proyecto final iba a demorar un tiempo en estar listo, se propuso una solución temporal con un sub-tablero utilizando un PLC LOGO y otros elementos en desuso que estaban en la bodega de la empresa con el fin de no parar el despacho de este producto.

En la Figura 27 se identifican los elementos instalados en el tablero armado y en la Tabla 7 se detallan cada uno de ellos.

### Figura 27

*Sub-tablero de control armado para la solución temporal del proceso de despacho*



**Tabla 7**

*Elementos del sub-tablero de control armado para la solución temporal del proceso de despacho*

<b>N°</b>	<b>Componente</b>	<b>Función</b>
1	Breaker 1P 2A	Protección para el tablero
2	PLC LOGO	Control del proceso de despacho de agua ultrafiltrada
3	Borneras	Distribución hacia los elementos de maniobra
4	Borneras	Ingreso de energía y salida de señales de activación
5	Relé 1	Activación de bomba 3
6	Relé 2	Apertura de válvula de surtidor 3
7	Relé 3	Apertura de válvula de surtidor 4
8	Luz indicadora	Indica que se está despachando agua ultrafiltrada
9	Selector 1	Selecciona entre los surtidores 3 y 4
10	Pulsador verde	Inicia el proceso
11	Pulsador rojo	Detiene el proceso

*Nota.* Los elementos referenciados en la tabla son los componentes reales dentro de la empresa

### **Programación y servidor web LOGO**

Se desarrolló un programa simple para el PLC LOGO que controla el proceso de despacho de agua ultrafiltrada mediante temporizadores. En la Figura 28 se muestra el diseño del programa utilizando el software LOGOSoft Comfort. Además, se activó el servidor web del PLC para controlar mediante el computador en red, donde se puede modificar el tiempo del temporizador de despacho y visualizar el tiempo transcurrido, así como el surtidor habilitado, esto con el fin de evitar la manipulación del PLC dentro del tablero de control que debe estar cerrado normalmente, esto se puede mirar en la Figura 29.

Figura 28

Programa de PLC diseñado en LOGOSoft Comfort

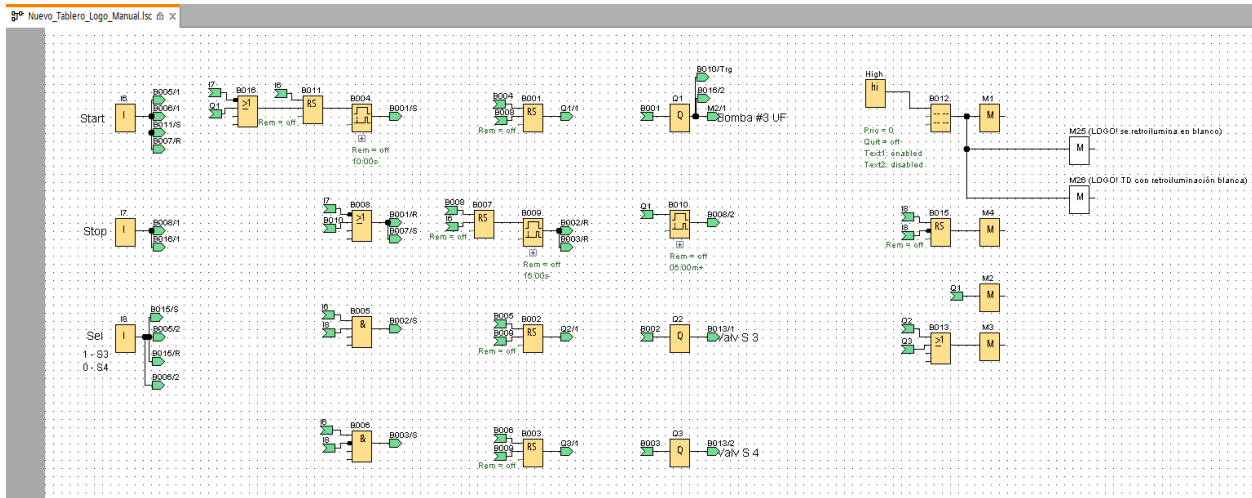
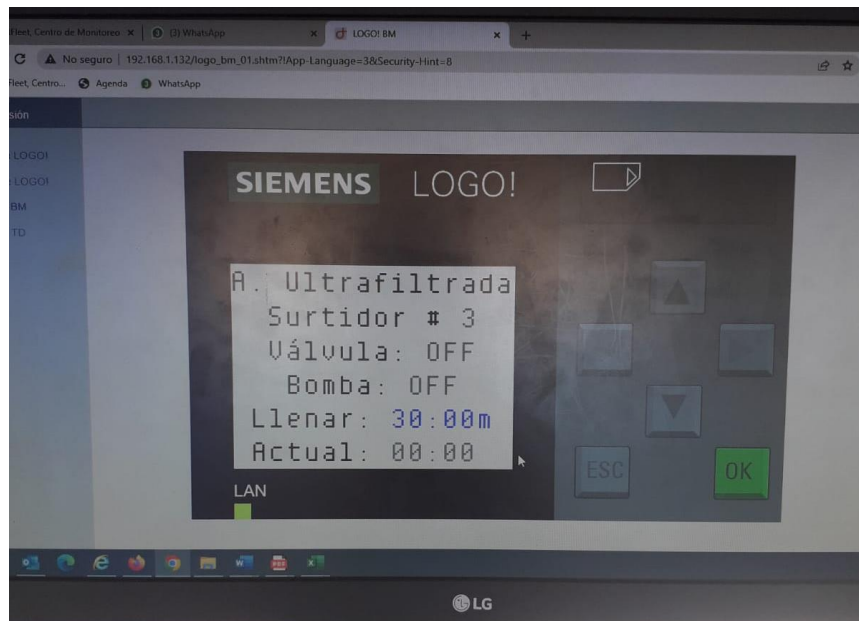


Figura 29

Servidor del PLC LOGO para control remoto desde el computador



## Capítulo V: Automatización del proceso

### Dispositivos y red PROFINET

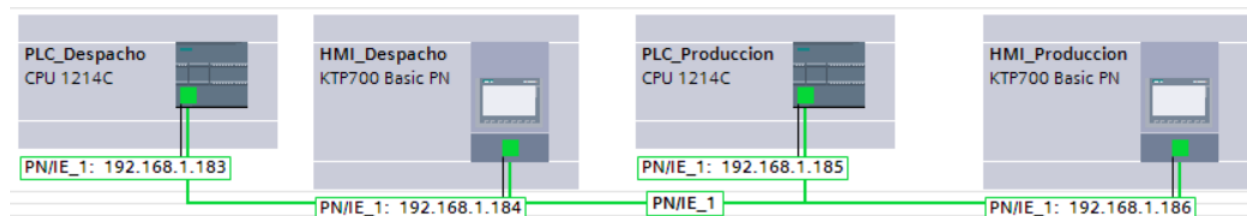
#### Creación de proyecto y direccionamiento IP

Como primer paso para el proyecto de programación del PLC se incluyen el PLC y la HMI de despacho dentro del nuevo proyecto que se comparte con el PLC y la HMI de producción, ya que todos los dispositivos deben estar en el mismo proyecto para poder definir la red PROFINET.

También se asignan direcciones IP dentro de la misma red para los cuatro dispositivos y conectar a la misma subred PN, como en la Figura 30.

**Figura 30**

*Conexión y direccionamiento de los dispositivos involucrados en el proyecto*



#### Bloques PROFINET en servidor y cliente

Antes de poder intercambiar información en la red se debe crear la base de datos que será compartida, para esto se establece la misma base en ambos PLC, tanto en el que envía como en el que recibe. A esta base de datos se le debe quitar el acceso optimizado y luego se compila. Ver resultado en Figura 31.

**Figura 31**

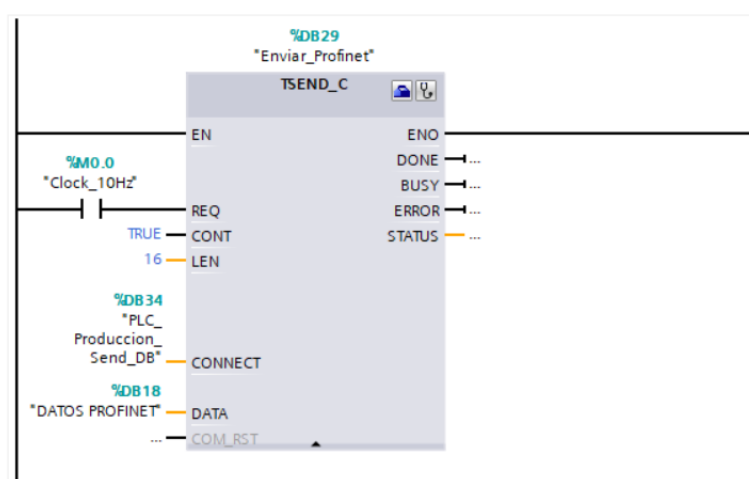
*Base de datos con variables que serán compartidas vía PROFINET*

17. Datos Profinet				
Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	
Static				
NIVEL_AP_TQ1_MB	Real	0.0	0.0	
NIVEL_AP_TQ2_MB	Real	4.0	0.0	
NIVEL_AUF_TQ3_MB	Real	8.0	0.0	
NIVEL_AG_TQ5_MB	Real	12.0	0.0	

Para compartir información entre los dos PLC se agregan los bloques de envío y recepción en su programa principal. A estos se incluye la frecuencia de activación y la longitud de la información de envío, que en este caso son 16 bytes, 4 por cada variable de tipo Real. Finalmente se conecta la base de datos con el bloque., como se puede ver en la Figura 32 y en la Figura 33.

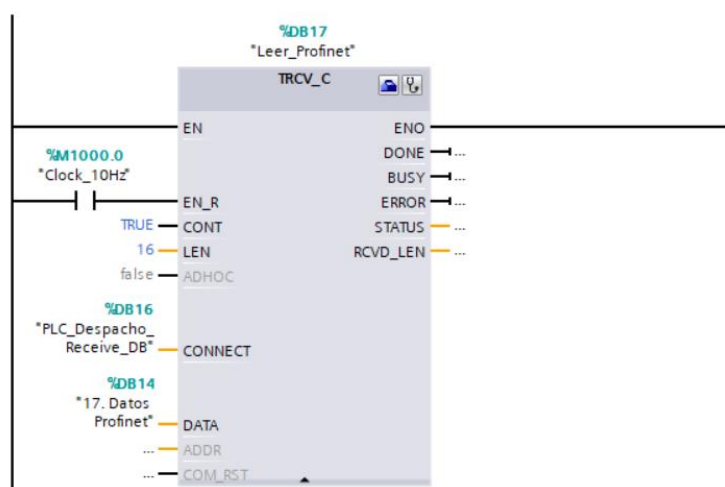
**Figura 32**

*Bloque de envío mediante PROFINET en el programa del PLC de producción*



**Figura 33**

*Bloque de recepción mediante PROFINET en el programa del PLC de despacho*





Una vez realizado este paso, se realizó la conexión física del switch industrial ethernet ubicado en el tablero de producción con el que está ubicado en el tablero de despacho. Para esto se usaron 80 metros de cable UTP categoría 5e.

## Programa del PLC

### *Definición de variables de entrada y salida del PLC*

**Tabla 8**

*Variables de entrada del PLC de despacho*

Dirección	Nombre	Tipo	Comentario
%I0.0	FALLA_B_TQ1	Bool	Falla en el arrancador de la bomba del tanque 1
%I0.1	FALLA_B_TQ2	Bool	Falla en el arrancador de la bomba del tanque 2
%I0.2	FALLA_B_TQ3	Bool	Falla en el arrancador de la bomba del tanque 3
%I0.3	FALLA_B_TQ5	Bool	Falla en el arrancador de la bomba del tanque 5
%I0.4	EMERGENCIA_STOP	Bool	Botón de emergencia
%I0.5	FALLA_PRESION_AIRE	Bool	Presostato aire comprimido
%IW18	FLUJO_AP_TQ1	Int	Sensor de flujo de tubería de tanque 1
%IW20	FLUJO_AP_TQ2	Int	Sensor de flujo de tubería de tanque 2
%IW22	FLUJO_AUF_TQ3	Int	Sensor de flujo de tubería de tanque 3
%IW24	FLUJO_AG_TQ5	Int	Sensor de flujo de tubería de tanque 5

*Nota.* Las variables se encuentran ordenadas según la numeración de los tanques

Una vez definido el proceso de despacho se pueden definir todas las variables que intervienen, tanto de entrada como de salida, en la Tabla 8 se muestra el listado de las entradas conectadas al PLC y en la Tabla 9 se observa la lista de salidas que van del PLC a los actuadores.

**Tabla 9**

*Variables de salida del PLC de despacho*

<b>Dirección</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Comentario</b>
%Q0.0	VALV_AP_TQ1_S4	Bool	Válvula purificada tanque 1 surtidor 4
%Q0.1	VALV_AP_TQ1_S5	Bool	Válvula purificada tanque 1 surtidor 5
%Q0.2	BOMBA_AP_TQ1	Bool	Bomba purificada tanque 1
%Q0.4	VALV_AP_TQ2_S1	Bool	Válvula purificada tanque 2 surtidor 1
%Q0.5	VALV_AP_TQ2_S2	Bool	Válvula purificada tanque 2 surtidor 2
%Q0.6	VALV_AP_TQ2_S3	Bool	Válvula purificada tanque 2 surtidor 3
%Q0.7	BOMBA_AP_TQ2	Bool	Bomba purificada tanque 2
%Q2.0	VALV_AUF_TQ3_S3	Bool	Válvula ultrafiltrada tanque 3 surtidor 3
%Q2.1	VALV_AUF_TQ3_S4	Bool	Válvula ultrafiltrada tanque 3 surtidor 4
%Q2.2	BOMBA_AUF_TQ3	Bool	Bomba ultrafiltrada tanque 3
%Q2.4	VALV_AG_TQ5_S1	Bool	Válvula genérica tanque 5 surtidor 1
%Q2.5	VALV_AG_TQ5_S2	Bool	Válvula genérica tanque 5 surtidor 2
%Q2.6	BOMBA_AG_TQ5	Bool	Bomba genérica tanque 5

*Nota.* Las variables se encuentran ordenadas según la numeración de los tanques y surtidores

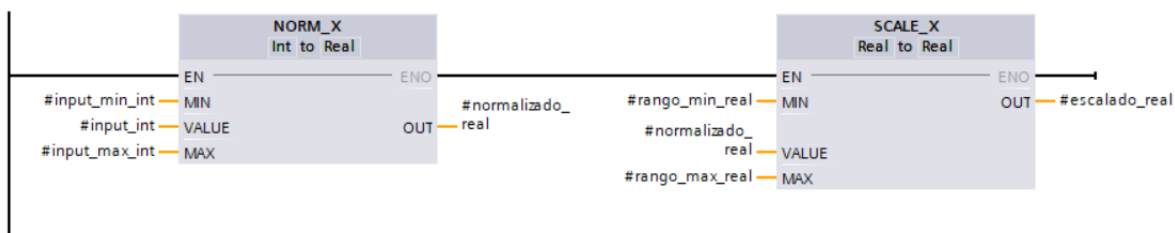
### ***Bloque de escalamiento analógico***

Para obtener la medición de los sensores de flujo volumétrico instalados en las tuberías de despacho principales, se normaliza y escala el valor leído por el PLC, para esto se crea un bloque de función de escalamiento analógico, con la intención de usar el mismo bloque para todos los sensores del

mismo tipo. El primer paso es la normalización, es decir, llevar la entrada a un rango de entre 0 y 1, el siguiente paso es escalar al rango de medición del sensor, esta información se encuentra en la placa del mismo. Ver Figura 34.

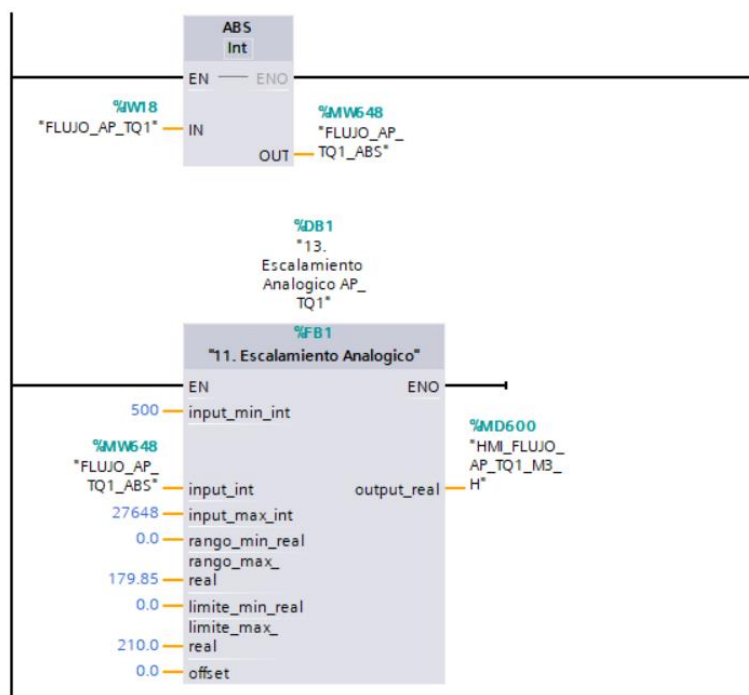
**Figura 34**

*Bloques NORM\_X y SCALE\_X para el procesamiento de las entradas analógicas*



**Figura 35**

*Uso de bloque de función de escalamiento para el flujómetro del tanque 1*



Para la aplicación de este bloque se ingresa el equivalente analógico de la salida del sensor, en este caso el sensor envía una señal de 4 a 20 mA, por lo que al bloque se ingresa el mínimo y máximo que son 500 y 27648. Luego se ingresa el rango máximo de medición del sensor, que para este es 180

m<sup>3</sup>/h, sin embargo, se fueron haciendo correcciones hasta llegar a un valor de 179.85. Finalmente, se agrega un valor límite máximo de medición, el cual está en 210 m<sup>3</sup>/h. Estos datos se colocaron en el bloque anteriormente creado y se observa en la Figura 35.

Para los demás sensores se realizó el mismo proceso adecuando los valores de entrada al bloque según el rango de medición, las características de fabricación y su señal de salida.

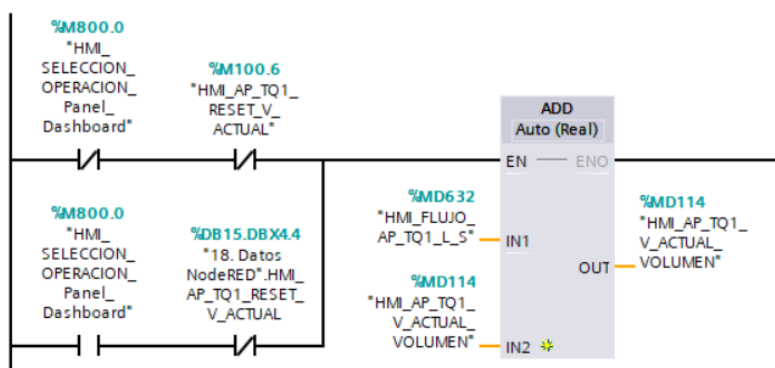
### **Bloque de acumulación de agua**

Para controlar la cantidad de agua que está siendo despachada se utiliza un bloque de interrupción con frecuencia de 1 segundo, de esta manera, con un bloque de suma como se muestra en la Figura 36, cada segundo se añade la velocidad a la que está pasando el fluido y se va acumulando en litros, que es la medida que se utiliza para los despachos.

Esto funciona tanto con control por HMI como con control por Dashboard, mientras no se resetee el acumulador.

### **Figura 36**

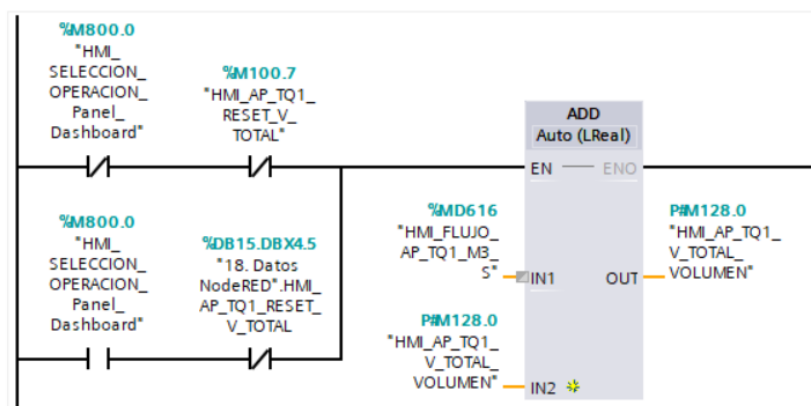
*Segmento de acumulación de agua del despacho actual del tanque 1*



De una manera muy parecida funciona la acumulación total de despachos de los tanques, en este caso no se resetea cada vez que se realiza un nuevo despacho, sino que se acumulan todos los despachos que se han hecho. En este caso se puede resetear con el botón de reseteo total. En la Figura 37 se observa que ahora la acumulación se realiza en metros cúbicos para poder grabar una mayor cantidad de agua despachada.

Figura 37

Segmento de acumulación de agua de los despachos totales del tanque 1



Este proceso se repite para todos los tanques, ya que el funcionamiento es el mismo para el despacho de todos los tipos de agua.

### Bloque de acumulación de tiempo

Si se requiere realizar control por tiempo transcurrido también se utiliza un bloque de interrupción con frecuencia de 1 segundo. En este caso se utiliza una variable que acumula los segundos de despacho total, luego se divide para 60 para obtener los minutos (Figura 38) y se obtiene el módulo de la división para almacenar los segundos restantes (Figura 39).

Figura 38

Segmento de acumulación de tiempo del despacho actual del tanque 1 – parte 1

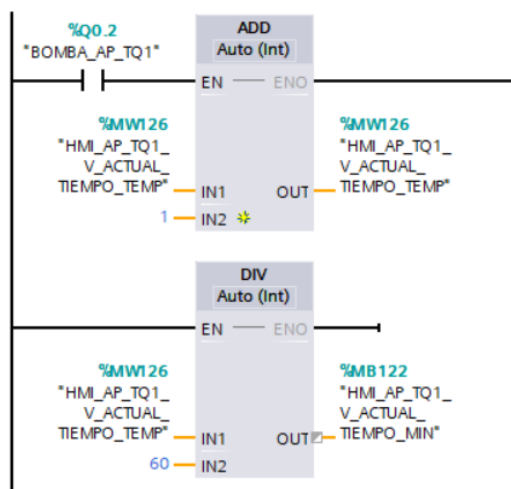
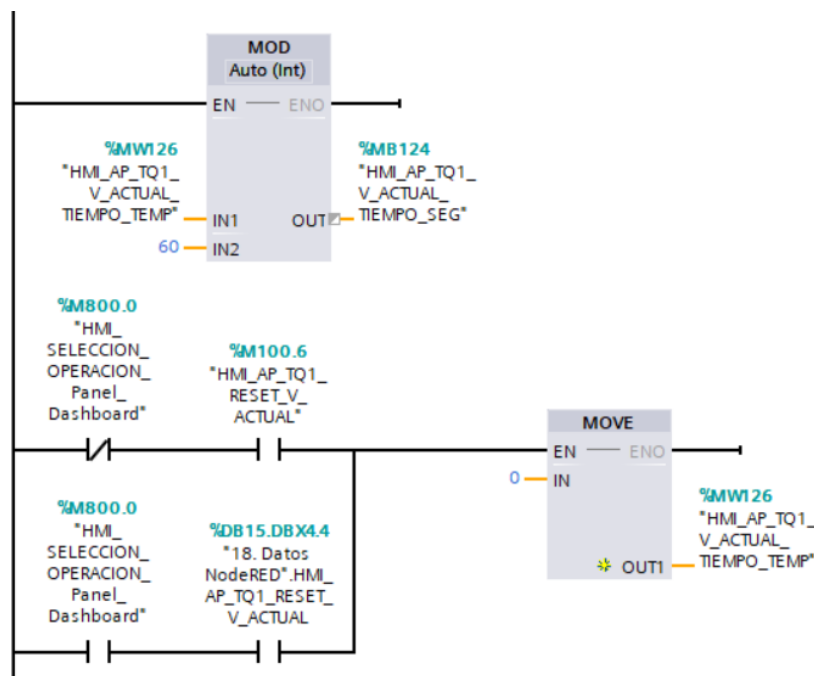


Figura 39

Segmento de acumulación de tiempo del despacho actual del tanque 1 – parte 2



Este se puede resetear desde la HMI o desde el Dashboard, según cuál esté habilitado. El tiempo no se acumula con todos los despachos, solo se mantiene para los despachos individuales.

Para el despacho de los otros tipos de agua tiene el mismo funcionamiento.

### Bloque de función de despacho

#### Comprobación para poder despachar

Antes de proceder al despacho, se comprueba que se pueda dar este sin presentar ningún inconveniente. No debe existir ningún tipo de falla, el nivel de agua en el tanque debe ser adecuado y tiene que ser un volumen adecuado para despachar (no se pueden despachar unos pocos litros) en caso de hacerlo por volumen, en caso de hacerlo por tiempo no se toma en cuenta el volumen de agua escrito. Si todo se cumple se activa la marca de listo para despachar, esto se muestra en la Figura 40.

### Activación de válvula neumática

El siguiente paso para el despacho es abrir la válvula del surtidor, para esto se comprueba que no esté activado el modo mantenimiento y se divide la condición para caso manual o caso automático, en el segundo caso se comprueba si es por tiempo o por volumen. Luego se verifica el switch de selección del surtidor y se activa cuando se le da al botón de encendido, esto se muestra en la Figura 41.

La válvula se cierra después de un tiempo transcurrido luego de que la bomba se apague, para que termine de salir el agua que se queda acumulada en la tubería. Verificar en el título Temporizador de seguridad en el apagado.

En caso de estar activado el modo mantenimiento solo se puede abrir o cerrar la válvula desde la pantalla de mantenimiento de manera manual. Esto se puede ver en la Figura 42.

Para todas las demás válvulas de los surtidores ocurre el mismo proceso de comprobación y funcionan de la misma forma.

**Figura 40**

*Segmento de comprobaciones para permitir despachar*

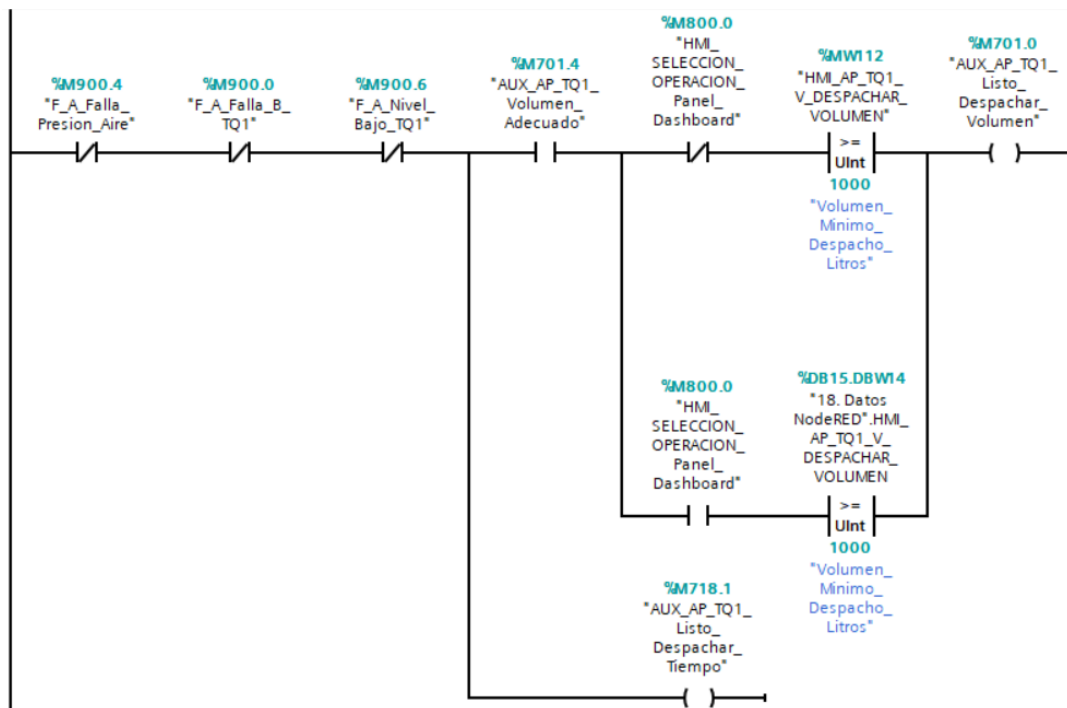


Figura 41

Segmento de activación de salida para válvula del surtidor

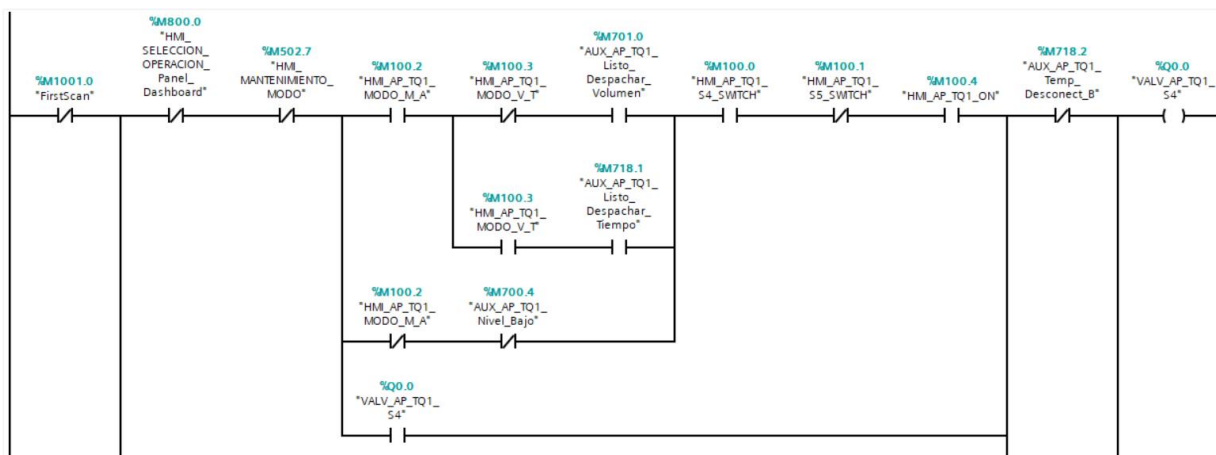
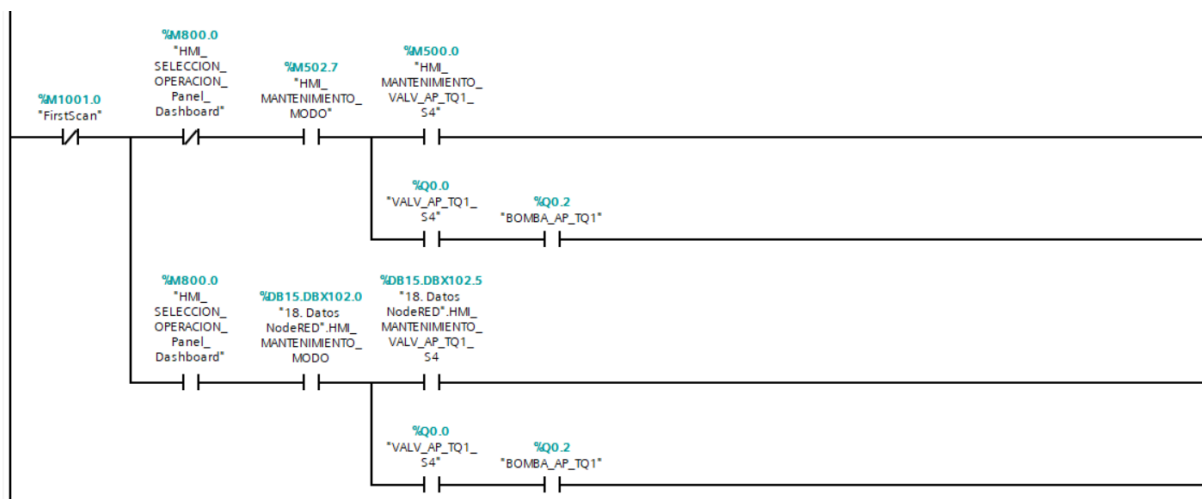


Figura 42

Segmento de activación de válvula por mantenimiento



### Encendido de bomba

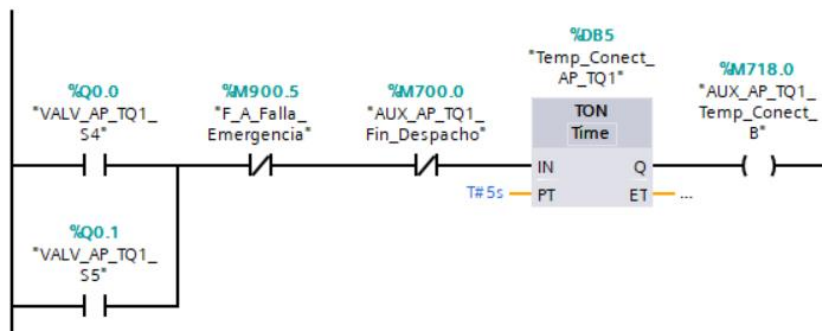
#### Temporizador de seguridad en el encendido

Antes de encender la bomba, se activa un temporizador para garantizar que la válvula esté completamente abierta y no ocurra algún accidente. Cuando se activa la marca de fin de despacho se apaga automáticamente, como se muestra en la Figura 43.



Figura 43

Segmento de temporización en el encendido de la bomba

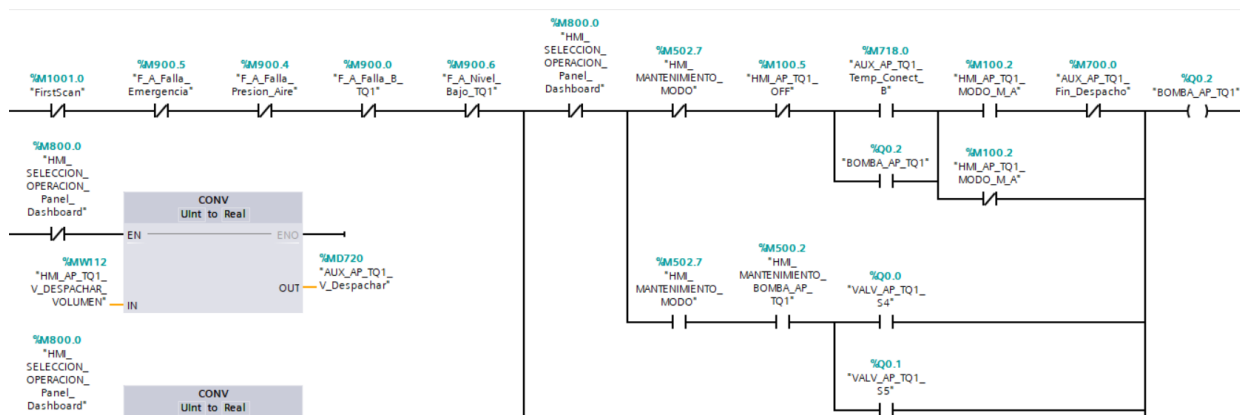


### Condiciones para el encendido

Para que la bomba se encienda no debe haber ninguna falla leída por el PLC, además, debe estar abierta una válvula con anticipación y debe haber pasado el tiempo de seguridad. En caso de activar el modo mantenimiento solo se puede encender manualmente siempre y cuando haya una válvula abierta. Esto se ve en la Figura 44.

Figura 44

Segmento de activación de la salida para el encendido de la bomba



### Fin de despacho

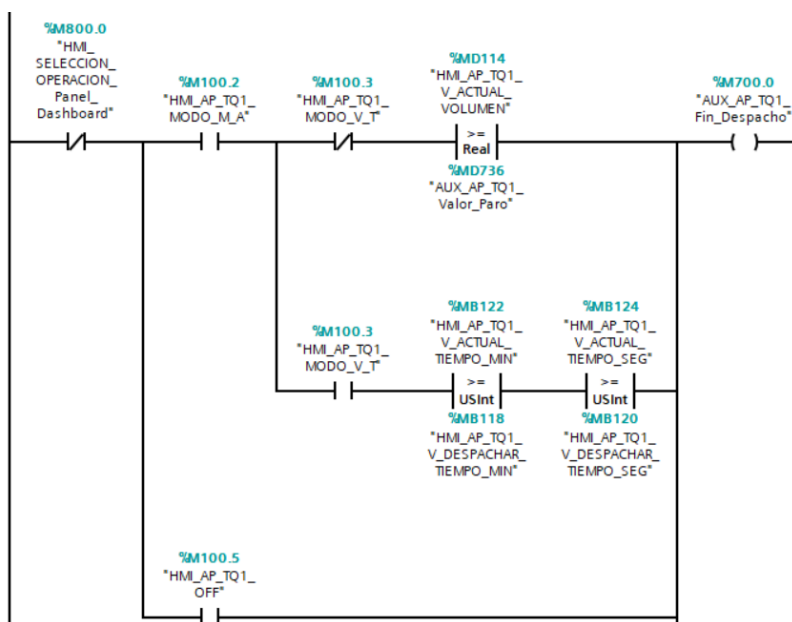
Para detener el despacho automáticamente deben ocurrir una de dos cosas, ver la Figura 45, si está en modo volumen debe haber llenado el valor escrito y si está en modo tiempo debe haber

transcurrido los minutos y segundos ingresados, también se puede parar presionando el botón de apagado.

En caso de un despacho manual, este se puede detener con el botón de apagado.

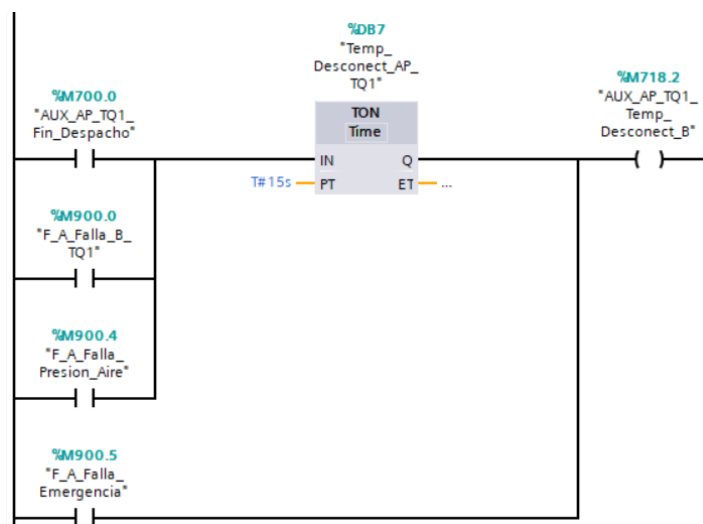
**Figura 45**

*Segmento de control para fin de despacho*



**Figura 46**

*Segmento de temporización en el cierre de la válvula*



### ***Temporizador de seguridad en el apagado***

Una vez activada la marca de fin de despacho, o cuando ocurre alguna falla, se apaga la bomba y se activa un temporizador de seguridad, ver Figura 46, que cuando completa su ciclo es el encargado de volver a cerrar la válvula que estaba abierta, con el fin de que el agua que se encuentra dentro de la tubería salga y no genere presión interna o pueda ocurrir algún daño en la misma.

En caso de un paro de emergencia se activa al instante, pero adicionalmente se abren todas las válvulas y se apagan todas las bombas.

El funcionamiento del proceso de despacho es el mismo para todos los tipos de agua y funciona de la misma manera, también es igual para cualquiera de las válvulas que han sido seleccionadas.

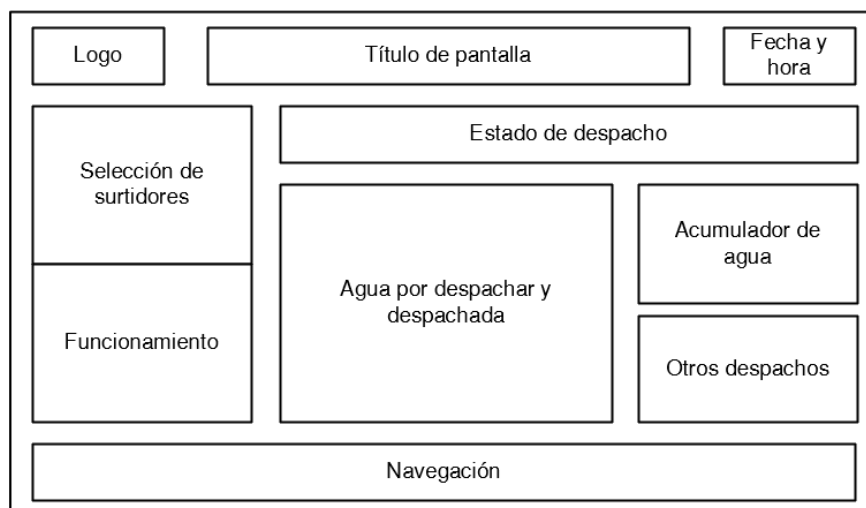
### **Pantallas de la HMI**

#### ***Estructura principal***

Para el diseño de las pantallas de la HMI se tuvo una reunión con los operadores del proceso en planta, ellos sugirieron que las pantallas sean muy parecidas a las que tenían instaladas con anterioridad para evitar confusiones y sentirse cómodos en el manejo de la misma.

#### **Figura 47**

##### *Plantilla para las pantallas de control de despacho*



En la Figura 47 se observa el modelo de la plantilla base para las pantallas principales de control de despacho de agua, previa aprobación de la empresa.


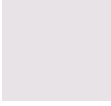



En la parte superior se mantiene en todas las pantallas el logo, el título de la pantalla y la fecha y hora. En la parte inferior se mantiene la navegación, que incluye enlace directo a las pantallas de operación de todos los productos, flujo general del proceso y la pantalla de alarmas.

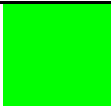






### ***Código de colores***

En la Tabla 10 se enlistan los colores utilizados en las diferentes pantallas de la HMI, así como la función que cumple cada uno de ellos. Se empezó con una escala de grises para los fondos y textos, verde y naranja para las acciones de encendido y apagado respectivamente, rojo para caso de fallas y escala de azules para visualización y operación variados.

**Tabla 10**

*Colores usados en las pantallas*

<b>Código RGB</b>	<b>Muestra</b>	<b>Uso</b>
49; 42; 48		Textos
231; 227; 231		Fondo de los textos
148; 150; 148		Fondo de las pantallas
198; 195; 198		Señalización de apagado
255; 154; 0		Acción para apagar

Código RGB	Muestra	Uso
0; 255; 0		Acción para encender Señalización de encendido
255,0,0		Señalización de fallas Señalización de emergencia
0; 207; 255		Modo automático
255; 207; 0		Modo manual Botón para resetear
206; 255; 255		Visualización de estado Visualización de despacho actual
156; 207; 255		Modos volumen/tiempo Botón de navegación a flujo
0; 121; 206		Identificación de agua en tanque

*Nota.* Los colores utilizados fueron socializados con los operadores para una mejor adaptación

### **Textos y avisos**

Se configuraron listas de textos para identificar el estado de despacho de cada uno de los tanques. En modo de texto describe la situación actual y también muestra algún tipo de falla. Ver Figura 48.

También se realizó la configuración de avisos de bit para la pantalla de alarmas, de esta manera se muestran las fallas presentes con la posibilidad de resetearlas. Ver Figura 49.

Figura 48

*Lista de textos para estado de despacho*

Listas de textos	
Nombre ▲	Selección
HMI_AG_TQ5_ESTADO	Rango (... - ...)
HMI_AP_TQ1_ESTADO	Rango (... - ...) ▼
HMI_AP_TQ2_ESTADO	Rango (... - ...)
HMI_AUF_TQ3_ESTADO	Rango (... - ...)
<Agregar>	

Entradas de la lista de textos		
Predet..	Valor ▲	Texto
<input type="radio"/>	0	Manual Apagado
<input type="radio"/>	1	Manual Encendido
<input type="radio"/>	2	Manual Llenando
<input type="radio"/>	3	Automatico Apagado
<input type="radio"/>	4	Automatico Encendido
<input type="radio"/>	5	Automatico Llenando
<input type="radio"/>	6	Despacho Completo
<input type="radio"/>	7	Bajo Nivel del Tanque 1
<input type="radio"/>	8	Fallo Bomba 1
<input type="radio"/>	9	Fallo Presion de Aire
<input type="radio"/>	10	Paro de Emergencia
<Agregar>		

Figura 49

*Avisos de bit para el lanzamiento de alarmas*

Avisos de bit						
ID	Alarm text	Categoría	Variable de disparo	Bit de ..	Dirección de disparo	
1	Falla en Bomba del Tanque 1	Fallas	Fallas_Alarmas_1	8	Fallas_Alarmas_1.x8	
2	Falla en Bomba del Tanque 2	Fallas	Fallas_Alarmas_1	9	Fallas_Alarmas_1.x9	
3	Falla en Bomba del Tanque 3	Fallas	Fallas_Alarmas_1	10	Fallas_Alarmas_1.x10	
4	Falla en Bomba del Tanque 5	Fallas	Fallas_Alarmas_1	11	Fallas_Alarmas_1.x11	
5	Falla de Presión de Aire	Fallas	Fallas_Alarmas_1	12	Fallas_Alarmas_1.x12	
6	Paro de Emergencia	Emergencias	Fallas_Alarmas_1	13	Fallas_Alarmas_1.x13	
7	Bajo Nivel en el Tanque 1	Advertencias	Fallas_Alarmas_1	14	Fallas_Alarmas_1.x14	
8	Bajo Nivel en el Tanque 2	Advertencias	Fallas_Alarmas_1	15	Fallas_Alarmas_1.x15	
9	Bajo Nivel en el Tanque 3	Advertencias	Fallas_Alarmas_1	0	Fallas_Alarmas_1.x0	
10	Bajo Nivel en el Tanque 5	Advertencias	Fallas_Alarmas_1	1	Fallas_Alarmas_1.x1	

### ***Diseño de las pantallas***

Se presentan las pantallas diseñadas para la HMI del proceso de despacho de agua, las pantallas de operación se repiten ya que realizan la misma acción de control, pero con diferente producto, por lo tanto, solo se presenta una pantalla de cada una, lo mismo ocurre con las pantallas de flujo específico.

## Pantalla de inicio

Desde la pantalla de inicio se tiene acceso a todas las pantallas de operación, las cuales tienen un fondo gris. Por otro lado, desde aquí es la única manera de acceder a las pantallas de configuración, mantenimiento, información y administración de usuarios. También, tiene enlazada la pantalla de flujo general.

**Figura 50**

*Pantalla de inicio - HMI*



## Pantalla de control por volumen

Las pantallas de control comparten la misma interfaz, del lado izquierdo se manipula la selección de los surtidores y se da inicio o paro al despacho y a la derecha se muestra el cuadro de salida del acumulador de agua despachada y debajo un resumen de los demás despachos con los otros tipos de agua.

En la parte central, cuando está seleccionado el despacho por volumen, se encuentra el cuadro de ingreso de la cantidad de agua que será despachada y debajo de ese el cuadro de salida de la cantidad que ha sido despachada, aquí mismo se puede resetear el despacho actual y hay un enlace a la pantalla de flujo específico.

Figura 51

*Pantalla de control por volumen - HMI*



**Pantalla de control por tiempo**

En la parte central, cuando está seleccionado el despacho por tiempo, se encuentra el cuadro de ingreso de la cantidad de tiempo que será habilitado el proceso y debajo de ese el cuadro de salida de la cantidad tiempo que ha transcurrido, aquí mismo se puede resetear el despacho actual y hay un enlace a la pantalla de flujo específico.

Figura 52

*Pantalla de control por tiempo - HMI*





### Pantalla de flujo general

Desde la pantalla de flujo general se visualiza el nivel de agua de todos los tanques, la apertura o el cierre de todas las válvulas, el encendido y apagado de las bombas y la señal de flujo que están midiendo los sensores. También se presentan enlaces a las pantallas de flujo específico de detalle.

### Pantalla de flujo específico

En esta pantalla se muestra un diagrama de canalización desde el tanque de almacenamiento hasta los surtidores donde es despachada el agua. Las tuberías cambian a color azul cuando está pasando agua por ellas. También se muestra la señalización de los sensores y la activación de los actuadores.

### Pantalla de configuración

Desde la pantalla de configuración se puede establecer el nivel mínimo permitido de agua en los tanques para que se pueda llevar a cabo el despacho, también se determina la cantidad de agua remanente en las tuberías después de haber apagado las bombas.

En esta pantalla se puede cambiar el método de operación, para trabajar desde el panel de operador o desde el Dashboard web.

### Figura 53

*Pantalla de flujo general - HMI*

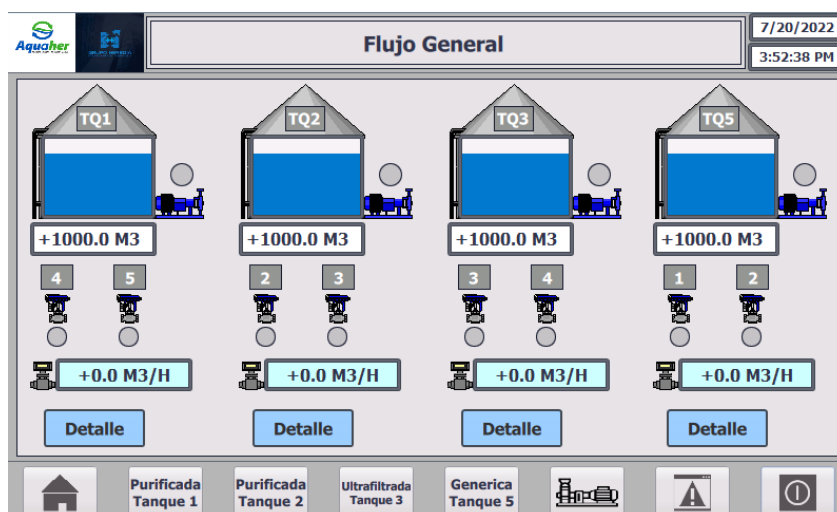


Figura 54

Pantalla de flujo específico - HMI

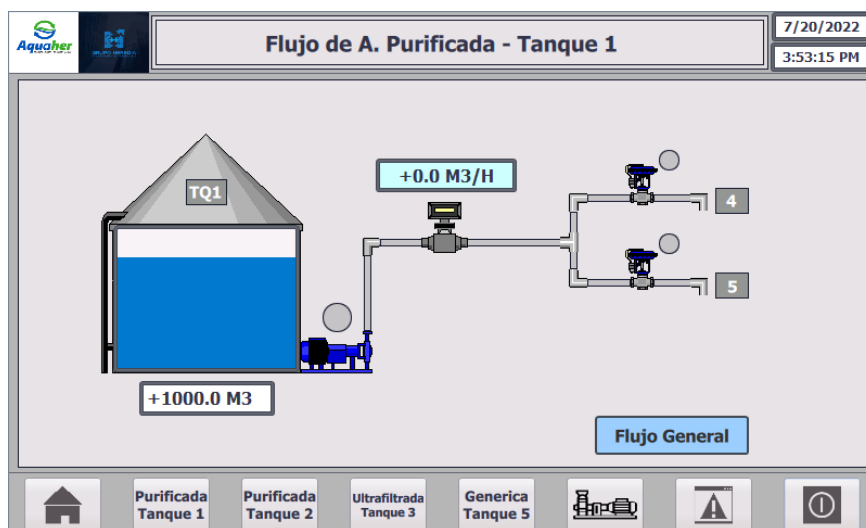
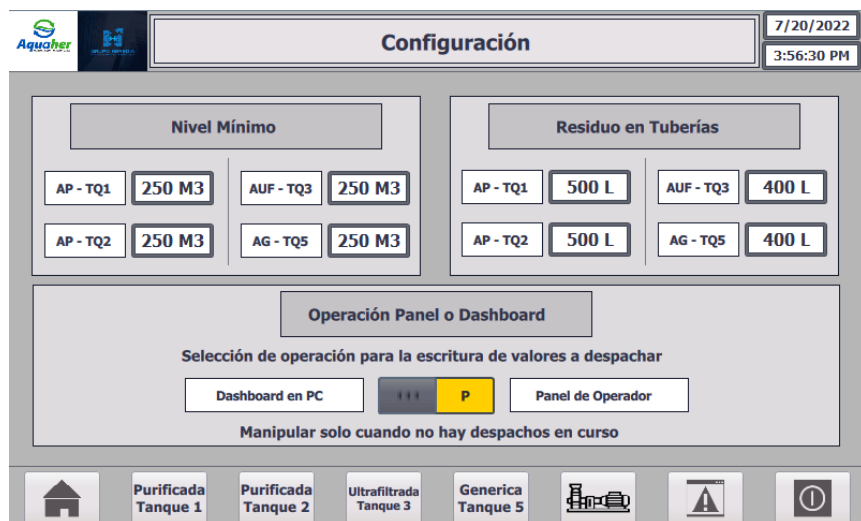


Figura 55

Pantalla de configuración - HMI



### Pantalla de mantenimiento

La pantalla de mantenimiento sirve para activar y desactivar todos los actuadores individualmente para verificar su funcionamiento, también está validada que las bombas solo sean encendidas si existe al menos una válvula abierta. Para activar este modo hay que habilitar el switch.

Desde aquí también se visualiza el comportamiento de los sensores y las señales de fallas.

Figura 56

Pantalla de mantenimiento - HMI



### Pantalla de alarmas

La pantalla de alarmas está configurada para que muestre los detalles de las fallas que se presentan y no desaparecen hasta que sean reseteadas.

Dependiendo del tipo de falla se presenta en un color determinado.

Figura 57

Pantalla de alarmas - HMI

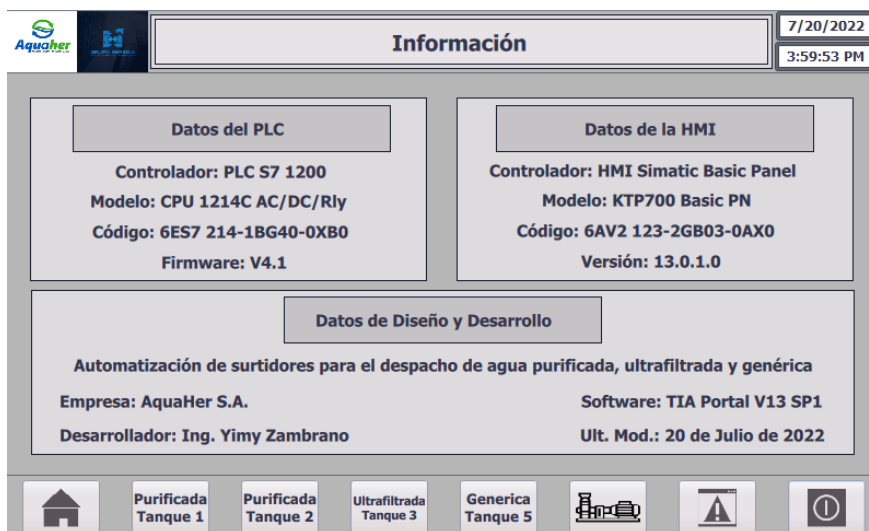


## Pantalla de información

En la pantalla de información se muestra un detalle de las características del PLC y la HMI utilizados, así como un resumen del proyecto y el software utilizado para desarrollarlo.

**Figura 58**

*Pantalla de información - HMI*



## Capítulo VI: Desarrollo del SCADA web local

### Base de datos en el PLC

El primer paso para la implementación del sistema es crear la base de datos de las variables que serán compartidas a Node-RED, esta base de datos no debe tener activado el acceso optimizado al bloque. Una vez creada se debe compilar. En la Figura 59 muestra la parte superior de la base de datos.

Luego se crea una tabla de observación y forzado con todas las variables de la base de datos creada anteriormente, esto con el fin de visualizar la dirección de las variables a compartir. En la Figura 60 se muestra la parte superior de la tabla de observación y forzado.

Figura 59

Base de datos con variables que serán compartidas a Node-RED

18. Datos NodeRED		
Nombre	Tipo de datos	Offset
Static		
FALLA_B_TQ1	Bool	0.0
FALLA_B_TQ2	Bool	0.1
FALLA_B_TQ3	Bool	0.2
FALLA_B_TQ5	Bool	0.3
EMERGENCIA_STOP	Bool	0.4
FALLA_PRESION_AIRE	Bool	0.5
VALV_AP_TQ1_S4	Bool	0.6
VALV_AP_TQ1_S5	Bool	0.7
BOMBA_AP_TQ1	Bool	1.0
VALV_AP_TQ2_S1	Bool	1.1
VALV_AP_TQ2_S2	Bool	1.2
VALV_AP_TQ2_S3	Bool	1.3
BOMBA_AP_TQ2	Bool	1.4
VALV_AUF_TQ3_S3	Bool	1.5
VALV_AUF_TQ3_S4	Bool	1.6
BOMBA_AUF_TQ3	Bool	1.7
VALV_AG_TQ5_S1	Bool	2.0
VALV_AG_TQ5_S2	Bool	2.1
BOMBA_AG_TQ5	Bool	2.2
HMI_AP_TQ1_ESTADO	Byte	3.0

Figura 60

Tabla de observación y forzado de la base de datos de Node-RED

	Nombre	Dirección	Formato visualiza...
1	*18. Datos NodeRED*.FALLA_B_TQ1	%DB15.DBX0.0	BOOL
2	*18. Datos NodeRED*.FALLA_B_TQ2	%DB15.DBX0.1	BOOL
3	*18. Datos NodeRED*.FALLA_B_TQ3	%DB15.DBX0.2	BOOL
4	*18. Datos NodeRED*.FALLA_B_TQ5	%DB15.DBX0.3	BOOL
5	*18. Datos NodeRED*.EMERGENCIA_STOP	%DB15.DBX0.4	BOOL
6	*18. Datos NodeRED*.FALLA_PRESION_AIRE	%DB15.DBX0.5	BOOL
7	*18. Datos NodeRED*.VALV_AP_TQ1_S4	%DB15.DBX0.6	BOOL
8	*18. Datos NodeRED*.VALV_AP_TQ1_S5	%DB15.DBX0.7	BOOL
9	*18. Datos NodeRED*.BOMBA_AP_TQ1	%DB15.DBX1.0	BOOL
10	*18. Datos NodeRED*.VALV_AP_TQ2_S1	%DB15.DBX1.1	BOOL
11	*18. Datos NodeRED*.VALV_AP_TQ2_S2	%DB15.DBX1.2	BOOL
12	*18. Datos NodeRED*.VALV_AP_TQ2_S3	%DB15.DBX1.3	BOOL
13	*18. Datos NodeRED*.BOMBA_AP_TQ2	%DB15.DBX1.4	BOOL
14	*18. Datos NodeRED*.VALV_AUF_TQ3_S3	%DB15.DBX1.5	BOOL
15	*18. Datos NodeRED*.VALV_AUF_TQ3_S4	%DB15.DBX1.6	BOOL
16	*18. Datos NodeRED*.BOMBA_AUF_TQ3	%DB15.DBX1.7	BOOL
17	*18. Datos NodeRED*.VALV_AG_TQ5_S1	%DB15.DBX2.0	BOOL
18	*18. Datos NodeRED*.VALV_AG_TQ5_S2	%DB15.DBX2.1	BOOL
19	*18. Datos NodeRED*.BOMBA_AG_TQ5	%DB15.DBX2.2	BOOL
20	*18. Datos NodeRED*.HMI_AP_TQ1_ESTADO	%DB15.DBB3	DEC
21	*18. Datos NodeRED*.HMI_AP_TQ1_MODO_M_A	%DB15.DBX4.0	BOOL
22	*18. Datos NodeRED*.HMI_AP_TQ1_MODO_V_T	%DB15.DBX4.1	BOOL
23	*18. Datos NodeRED*.HMI_AP_TQ1_OFF	%DB15.DBX4.2	BOOL
24	*18. Datos NodeRED*.HMI_AP_TQ1_ON	%DB15.DBX4.3	BOOL
25	*18. Datos NodeRED*.HMI_AP_TQ1_RESET_V_ACTUAL	%DB15.DBX4.4	BOOL
26	*18. Datos NodeRED*.HMI_AP_TQ1_RESET_V_TOTAL	%DB15.DBX4.5	BOOL
27	*18. Datos NodeRED*.HMI_AP_TQ1_S4_SWITCH	%DB15.DBX4.6	BOOL
28	*18. Datos NodeRED*.HMI_AP_TQ1_S5_SWITCH	%DB15.DBX4.7	BOOL

## Configuración del PLC en Node-RED

### Tabla de variables S7 Endpoint

Para compartir las variables de la base de datos del PLC es necesario crear una tabla CSV con las direcciones respectivas para Node-RED, esto se muestra en la Tabla 11. Esto es necesario hacerlo antes de empezar con la configuración de Node-RED, ya que un paso es cargar la tabla de variables.

**Tabla 11**

*Comparación en las direcciones de las variables PLC vs Node-RED*

Nombre	Tipo	Dirección PLC	Dirección Node-RED
FALLA_B_TQ1	Bool	%DB15.DBX0.0	DB15,X0.0
FALLA_B_TQ2	Bool	%DB15.DBX0.1	DB15,X0.1
FALLA_B_TQ3	Bool	%DB15.DBX0.2	DB15,X0.2
FALLA_B_TQ5	Bool	%DB15.DBX0.3	DB15,X0.3
EMERGENCIA_STOP	Bool	%DB15.DBX0.4	DB15,X0.4
FALLA_PRESION_AIRE	Bool	%DB15.DBX0.5	DB15,X0.5
VALV_AP_TQ1_S4	Bool	%DB15.DBX0.6	DB15,X0.6
VALV_AP_TQ1_S5	Bool	%DB15.DBX0.7	DB15,X0.7
BOMBA_AP_TQ1	Bool	%DB15.DBX1.0	DB15,X1.0
VALV_AP_TQ2_S1	Bool	%DB15.DBX1.1	DB15,X1.1
VALV_AP_TQ2_S2	Bool	%DB15.DBX1.2	DB15,X1.2
VALV_AP_TQ2_S3	Bool	%DB15.DBX1.3	DB15,X1.3
BOMBA_AP_TQ2	Bool	%DB15.DBX1.4	DB15,X1.4
VALV_AUF_TQ3_S3	Bool	%DB15.DBX1.5	DB15,X1.5
VALV_AUF_TQ3_S4	Bool	%DB15.DBX1.6	DB15,X1.6
BOMBA_AUF_TQ3	Bool	%DB15.DBX1.7	DB15,X1.7

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección PLC</b>	<b>Dirección Node-RED</b>
VALV_AG_TQ5_S1	Bool	%DB15.DBX2.0	DB15,X2.0
VALV_AG_TQ5_S2	Bool	%DB15.DBX2.1	DB15,X2.1
BOMBA_AG_TQ5	Bool	%DB15.DBX2.2	DB15,X2.2
HMI_AP_TQ1_ESTADO	Byte	%DB15.DBB3	DB15,B3
HMI_AP_TQ1_MODAL_M_A	Bool	%DB15.DBX4.0	DB15,X4.0
HMI_AP_TQ1_MODAL_V_T	Bool	%DB15.DBX4.1	DB15,X4.1
HMI_AP_TQ1_OFF	Bool	%DB15.DBX4.2	DB15,X4.2
HMI_AP_TQ1_ON	Bool	%DB15.DBX4.3	DB15,X4.3
HMI_AP_TQ1_RESET_V_ACTUAL	Bool	%DB15.DBX4.4	DB15,X4.4
HMI_AP_TQ1_RESET_V_TOTAL	Bool	%DB15.DBX4.5	DB15,X4.5
HMI_AP_TQ1_S4_SWITCH	Bool	%DB15.DBX4.6	DB15,X4.6
HMI_AP_TQ1_S5_SWITCH	Bool	%DB15.DBX4.7	DB15,X4.7
HMI_AP_TQ1_V_ACTUAL_TIEMPO_MIN	USInt	%DB15.DBB5	DB15,B5
HMI_AP_TQ1_V_ACTUAL_TIEMPO_SEG	USInt	%DB15.DBB6	DB15,B6
HMI_AP_TQ1_V_ACTUAL_VOLUMEN	Real	%DB15.DBD8	DB15,R8
HMI_AP_TQ1_V_DESPACHAR_TIEMPO_MIN	USInt	%DB15.DBB12	DB15,B12
HMI_AP_TQ1_V_DESPACHAR_TIEMPO_SEG	USInt	%DB15.DBB13	DB15,B13
HMI_AP_TQ1_V_DESPACHAR_VOLUMEN	UInt	%DB15.DBW14	DB15,WORD14
HMI_AP_TQ1_V_TOTAL_VOLUMEN_INT	UDInt	%DB15.DBD16	DB15,DW16
HMI_AP_TQ2_ESTADO	Byte	%DB15.DBB20	DB15,B20
HMI_AP_TQ2_MODAL_M_A	Bool	%DB15.DBX21.0	DB15,X21.0
HMI_AP_TQ2_MODAL_V_T	Bool	%DB15.DBX21.1	DB15,X21.1
HMI_AP_TQ2_OFF	Bool	%DB15.DBX21.2	DB15,X21.2

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección PLC</b>	<b>Dirección Node-RED</b>
HMI_AP_TQ2_ON	Bool	%DB15.DBX21.3	DB15,X21.3
HMI_AP_TQ2_RESET_V_ACTUAL	Bool	%DB15.DBX21.4	DB15,X21.4
HMI_AP_TQ2_RESET_V_TOTAL	Bool	%DB15.DBX21.5	DB15,X21.5
HMI_AP_TQ2_S1_SWITCH	Bool	%DB15.DBX21.6	DB15,X21.6
HMI_AP_TQ2_S2_SWITCH	Bool	%DB15.DBX21.7	DB15,X21.7
HMI_AP_TQ2_S3_SWITCH	Bool	%DB15.DBX22.0	DB15,X22.0
HMI_AP_TQ2_V_ACTUAL_TIEMPO_MIN	USInt	%DB15.DBB23	DB15,B23
HMI_AP_TQ2_V_ACTUAL_TIEMPO_SEG	USInt	%DB15.DBB24	DB15,B24
HMI_AP_TQ2_V_ACTUAL_VOLUMEN	Real	%DB15.DBD26	DB15,R26
HMI_AP_TQ2_V_DESPACHAR_TIEMPO_MIN	USInt	%DB15.DBB30	DB15,B30
HMI_AP_TQ2_V_DESPACHAR_TIEMPO_SEG	USInt	%DB15.DBB31	DB15,B31
HMI_AP_TQ2_V_DESPACHAR_VOLUMEN	UInt	%DB15.DBW32	DB15,WORD32
HMI_AP_TQ2_V_TOTAL_VOLUMEN_INT	UDInt	%DB15.DBD34	DB15,DW34
HMI_AUF_TQ3_ESTADO	Byte	%DB15.DBB38	DB15,B38
HMI_AUF_TQ3_MODO_M_A	Bool	%DB15.DBX39.0	DB15,X39.0
HMI_AUF_TQ3_MODO_V_T	Bool	%DB15.DBX39.1	DB15,X39.1
HMI_AUF_TQ3_OFF	Bool	%DB15.DBX39.2	DB15,X39.2
HMI_AUF_TQ3_ON	Bool	%DB15.DBX39.3	DB15,X39.3
HMI_AUF_TQ3_RESET_V_ACTUAL	Bool	%DB15.DBX39.4	DB15,X39.4
HMI_AUF_TQ3_RESET_V_TOTAL	Bool	%DB15.DBX39.5	DB15,X39.5
HMI_AUF_TQ3_S3_SWITCH	Bool	%DB15.DBX39.6	DB15,X39.6
HMI_AUF_TQ3_S4_SWITCH	Bool	%DB15.DBX39.7	DB15,X39.7
HMI_AUF_TQ3_V_ACTUAL_TIEMPO_MIN	USInt	%DB15.DBB40	DB15,B40



<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección PLC</b>	<b>Dirección Node-RED</b>
HMI_AUF_TQ3_V_ACTUAL_TIEMPO_SEG	USInt	%DB15.DBB41	DB15,B41
HMI_AUF_TQ3_V_ACTUAL_VOLUMEN	Real	%DB15.DBD42	DB15,R42
HMI_AUF_TQ3_V_DESPACHAR_TIEMPO_MIN	USInt	%DB15.DBB46	DB15,B46
HMI_AUF_TQ3_V_DESPACHAR_TIEMPO_SEG	USInt	%DB15.DBB47	DB15,B57
HMI_AUF_TQ3_V_DESPACHAR_VOLUMEN	UInt	%DB15.DBW48	DB15,WORD48
HMI_AUF_TQ3_V_TOTAL_VOLUMEN_INT	UDInt	%DB15.DBD50	DB15,DW50
HMI_AG_TQ5_ESTADO	Byte	%DB15.DBB54	DB15,B54
HMI_AG_TQ5_MODO_M_A	Bool	%DB15.DBX55.0	DB15,X55.0
HMI_AG_TQ5_MODO_V_T	Bool	%DB15.DBX55.1	DB15,X55.1
HMI_AG_TQ5_OFF	Bool	%DB15.DBX55.2	DB15,X55.2
HMI_AG_TQ5_ON	Bool	%DB15.DBX55.3	DB15,X55.3
HMI_AG_TQ5_RESET_V_ACTUAL	Bool	%DB15.DBX55.4	DB15,X55.4
HMI_AG_TQ5_RESET_V_TOTAL	Bool	%DB15.DBX55.5	DB15,X55.5
HMI_AG_TQ5_S1_SWITCH	Bool	%DB15.DBX55.6	DB15,X55.6
HMI_AG_TQ5_S2_SWITCH	Bool	%DB15.DBX55.7	DB15,X55.7
HMI_AG_TQ5_V_ACTUAL_TIEMPO_MIN	USInt	%DB15.DBB56	DB15,B56
HMI_AG_TQ5_V_ACTUAL_TIEMPO_SEG	USInt	%DB15.DBB57	DB15,B57
HMI_AG_TQ5_V_ACTUAL_VOLUMEN	Real	%DB15.DBD58	DB15,R58
HMI_AG_TQ5_V_DESPACHAR_TIEMPO_MIN	USInt	%DB15.DBB62	DB15,B62
HMI_AG_TQ5_V_DESPACHAR_TIEMPO_SEG	USInt	%DB15.DBB63	DB15,B63
HMI_AG_TQ5_V_DESPACHAR_VOLUMEN	UInt	%DB15.DBW64	DB15,WORD64
HMI_AG_TQ5_V_TOTAL_VOLUMEN_INT	UDInt	%DB15.DBD66	DB15,DW66
HMI_FLUJO_AP_TQ1_M3_H	Real	%DB15.DBD70	DB15,R70

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección PLC</b>	<b>Dirección Node-RED</b>
HMI_FLUJO_AP_TQ2_M3_H	Real	%DB15.DBD74	DB15,R74
HMI_FLUJO_AUF_TQ3_M3_H	Real	%DB15.DBD78	DB15,R78
HMI_FLUJO_AG_TQ5_M3_H	Real	%DB15.DBD82	DB15,R82
HMI_NIVEL_AP_TQ1_M3	Real	%DB15.DBD86	DB15,R86
HMI_NIVEL_AP_TQ2_M3	Real	%DB15.DBD90	DB15,R90
HMI_NIVEL_AUF_TQ3_M3	Real	%DB15.DBD94	DB15,R94
HMI_NIVEL_AG_TQ5_M3	Real	%DB15.DBD98	DB15,R98
HMI_MANTENIMIENTO_MODO	Bool	%DB15.DBX102.0	DB15,X102.0
HMI_MANTENIMIENTO_BOMBA_AP_TQ1	Bool	%DB15.DBX102.1	DB15,X102.1
HMI_MANTENIMIENTO_BOMBA_AP_TQ2	Bool	%DB15.DBX102.2	DB15,X102.2
HMI_MANTENIMIENTO_BOMBA_AUF_TQ3	Bool	%DB15.DBX102.3	DB15,X102.3
HMI_MANTENIMIENTO_BOMBA_AG_TQ5	Bool	%DB15.DBX102.4	DB15,X102.4
HMI_MANTENIMIENTO_VALV_AP_TQ1_S4	Bool	%DB15.DBX102.5	DB15,X102.5
HMI_MANTENIMIENTO_VALV_AP_TQ1_S5	Bool	%DB15.DBX102.6	DB15,X102.6
HMI_MANTENIMIENTO_VALV_AP_TQ2_S1	Bool	%DB15.DBX102.7	DB15,X102.7
HMI_MANTENIMIENTO_VALV_AP_TQ2_S2	Bool	%DB15.DBX103.0	DB15,X103.0
HMI_MANTENIMIENTO_VALV_AP_TQ2_S3	Bool	%DB15.DBX103.1	DB15,X103.1
HMI_MANTENIMIENTO_VALV_AUF_TQ3_S3	Bool	%DB15.DBX103.2	DB15,X103.2
HMI_MANTENIMIENTO_VALV_AUF_TQ3_S4	Bool	%DB15.DBX103.3	DB15,X103.3
HMI_MANTENIMIENTO_VALV_AG_TQ5_S1	Bool	%DB15.DBX103.4	DB15,X103.4
HMI_MANTENIMIENTO_VALV_AG_TQ5_S2	Bool	%DB15.DBX103.5	DB15,X103.5
HMI_SELECCION_OPERACION_Panel_Dashboard	Bool	%DB15.DBX103.6	DB15,X103.6

*Nota.* La nomenclatura es similar, pero tienen diferencias en las letras y signos de puntuación.

Una vez tenemos organizada la nomenclatura de las direcciones se crea una tabla CSV con el formato que se muestra en la Figura 61 en el mismo orden en el que se compararon anteriormente.

**Figura 61**

*Tabla de variables Node-RED en formato CSV*

8	DB15,X0.7	VALV_AP_TQ1_S5
9	DB15,X1.0	BOMBA_AP_TQ1
10	DB15,X1.1	VALV_AP_TQ2_S1
11	DB15,X1.2	VALV_AP_TQ2_S2
12	DB15,X1.3	VALV_AP_TQ2_S3
13	DB15,X1.4	BOMBA_AP_TQ2
14	DB15,X1.5	VALV_AUF_TQ3_S3
15	DB15,X1.6	VALV_AUF_TQ3_S4
16	DB15,X1.7	BOMBA_AUF_TQ3
17	DB15,X2.0	VALV_AG_TQ5_S1
18	DB15,X2.1	VALV_AG_TQ5_S2
19	DB15,X2.2	BOMBA_AG_TQ5
20	DB15,B3	HMI_AP_TQ1_ESTADO
21	DB15,X4.0	HMI_AP_TQ1_MODAL_M_A
22	DB15,X4.1	HMI_AP_TQ1_MODAL_V_T
23	DB15,X4.2	HMI_AP_TQ1_OFF
24	DB15,X4.3	HMI_AP_TQ1_ON
25	DB15,X4.4	HMI_AP_TQ1_RESET_V_ACTUAL
26	DB15,X4.5	HMI_AP_TQ1_RESET_V_TOTAL
27	DB15,X4.6	HMI_AP_TQ1_S4_SWITCH
28	DB15,X4.7	HMI_AP_TQ1_S5_SWITCH
29	DB15,B5	HMI_AP_TQ1_V_ACTUAL_TIEMPO_MIN
30	DB15,B6	HMI_AP_TQ1_V_ACTUAL_TIEMPO_SEG
31	DB15,R8	HMI_AP_TQ1_V_ACTUAL_VOLUMEN

### Conexión con el PLC

El primer paso es agregar un bloque de función en el PLC donde se igualen las variables internas del PLC con las variables de la base de datos, para poder obtener los datos del procesamiento interno, como se muestra en la Figura 62 y en la Figura 63.

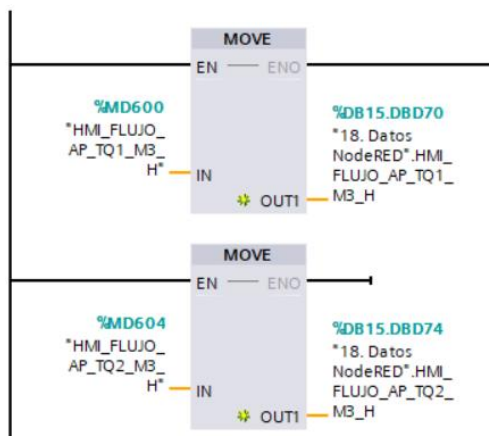
**Figura 62**

*Enlace de variables booleanas internas con variables de la base de datos*



Figura 63

Enlace de variables reales internas con variables de la base de datos



Luego, para lanzar el servidor de Node-RED primero escribimos “node-red” en el terminal de Windows, como se observa en la Figura 64, con el fin de tener acceso vía navegador al software.

Figura 64

Activación del servidor Node-RED por terminal

```

23 Jul 11:06:12 - [info]
Welcome to Node-RED
=====
23 Jul 11:06:12 - [info] Node-RED version: v2.2.2
23 Jul 11:06:12 - [info] Node.js version: v16.15.1
23 Jul 11:06:12 - [info] Windows_NT 10.0.22000 x64 LE
23 Jul 11:06:12 - [info] Loading palette nodes
23 Jul 11:06:13 - [info] Dashboard version 3.1.7 started at /ui
23 Jul 11:06:13 - [info] Settings file : C:\Users\yjzzg\.node-red\settings.js
23 Jul 11:06:13 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
23 Jul 11:06:13 - [info] User directory : \Users\yjzzg\.node-red
23 Jul 11:06:13 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
23 Jul 11:06:13 - [info] Flows file : \Users\yjzzg\.node-red\flows.json
23 Jul 11:06:13 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
23 Jul 11:06:13 - [warn]

-----
Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.

If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
your credentials.

You should set your own key using the 'credentialSecret' option in
your settings file. Node-RED will then re-encrypt your credentials
file using your chosen key the next time you deploy a change.
-----

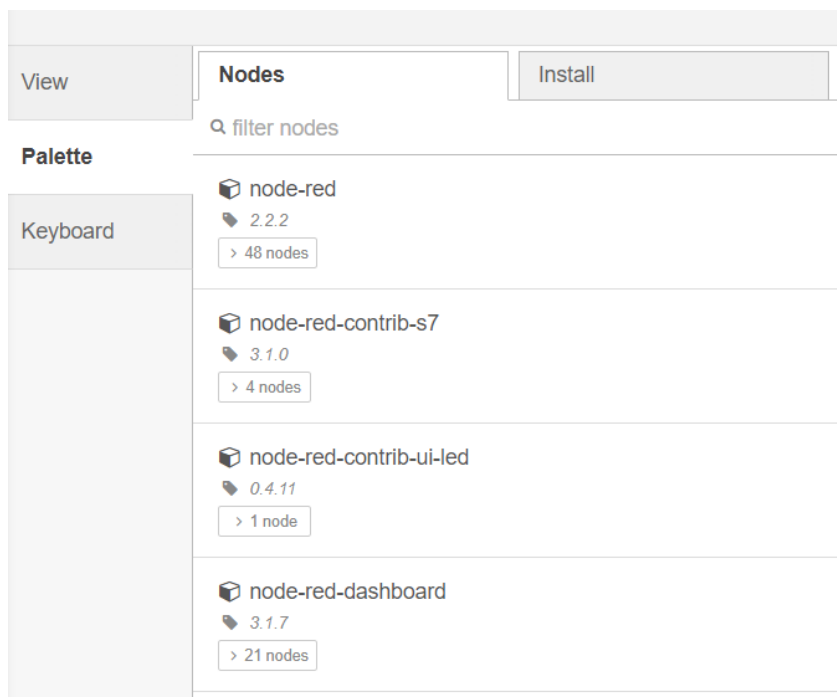
23 Jul 11:06:13 - [info] Starting flows
23 Jul 11:06:13 - [info] Started flows

```

Dentro del servidor, se agregan los nodos que se muestran en la Figura 65, para poder empezar con el diseño de los flujos y el Dashboard.

**Figura 65**

*Paleta de nodos utilizados en Node-RED*



En la Tabla 12, se describe el uso de cada uno de los nodos instalados.

**Tabla 12**

*Descripción de nodos utilizados en Node-RED*

<b>Nodo</b>	<b>Función</b>
node-red	Funciones básicas de Node-RED, necesarias para todo proyecto
node-red-contrib-s7	Conexión con PLC SIMATIC S7, nodos de lectura y escritura
node-red-dashboard	Diseño de Dashboard, distintos elementos para usar
node-red-contrib-ui-led	Añade un nodo de señalización led en Dashboard

Figura 66

Propiedades de conexión del nodo S7 Endpoint con el PLC

The screenshot shows the 'Edit s7 endpoint node' dialog box with the 'Connection' tab selected. The 'Variables' tab is also visible. The 'Connection' section contains the following fields:

- Transport:** Ethernet (ISO-on-TCP)
- Address:** 192.168.1.183
- Port:** 102
- Mode:** Rack/Slot
- Rack:** 0
- Slot:** 1
- Cycle time:** 500 ms
- Timeout:** 2000 ms
- Name:** PLC Despacho

Figura 67

Importación de variables a Node-RED desde tabla CSV

The screenshot shows the 'Edit s7 endpoint node' dialog box with the 'Variables' tab selected. The 'Variable list' section contains the following variables:

Variable Name	Value
DB15,X1.6	VALV_AUF_TQ3_S4
DB15,X1.7	BOMBA_AUF_TQ3
DB15,X2.0	VALV_AG_TQ5_S1
DB15,X2.1	VALV_AG_TQ5_S2
DB15,X2.2	BOMBA_AG_TQ5
DB15,P2	HML AB_TQ1_ESTADO

At the bottom of the list, there are buttons for '+ Add', 'Remove all', 'Import', and 'Export'.

Luego se configura la conexión con el PLC utilizando el nodo para S7, con los parámetros que se observan en la Figura 66. Es necesario ubicar la dirección IP exacta del PLC que se quiere conectar, el puerto 102 y para el PLC S7-1200 se utiliza Rack 0 y Slot 1. También se puede modificar el tiempo de ciclo para el intercambio de datos, en este caso se dejó en 500 ms.

Finalmente, en la pestaña de variables, se importa la tabla CSV que se creó con anterioridad para obtener la lista de variables cargada en el servidor, ver Figura 67.

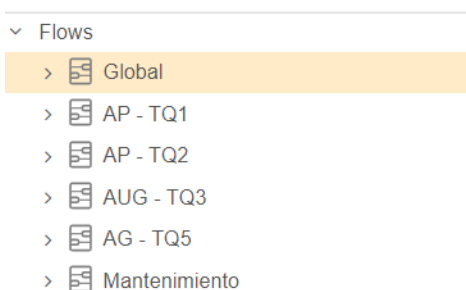
Es indispensable tener todas las variables a utilizar cargadas en el servidor para empezar a trabajar en los flujos.

### Flujos de Node-RED

Para el diseño del software en Node-RED se crearon seis flujos. Cuatro de control y monitoreo específico, uno de monitoreo global y un de operación de mantenimiento, estos se detallan en la Tabla 13 y se muestran en la Figura 68.

#### Figura 68

*Lista de flujos de Node-RED*



**Tabla 13**

*Descripción de los flujos diseñados*

Flujo	Función
AP-TQ1	Conexiones para variables de entrada y salida y visualización de las mismas, correspondientes al despacho de agua purificada del tanque 1

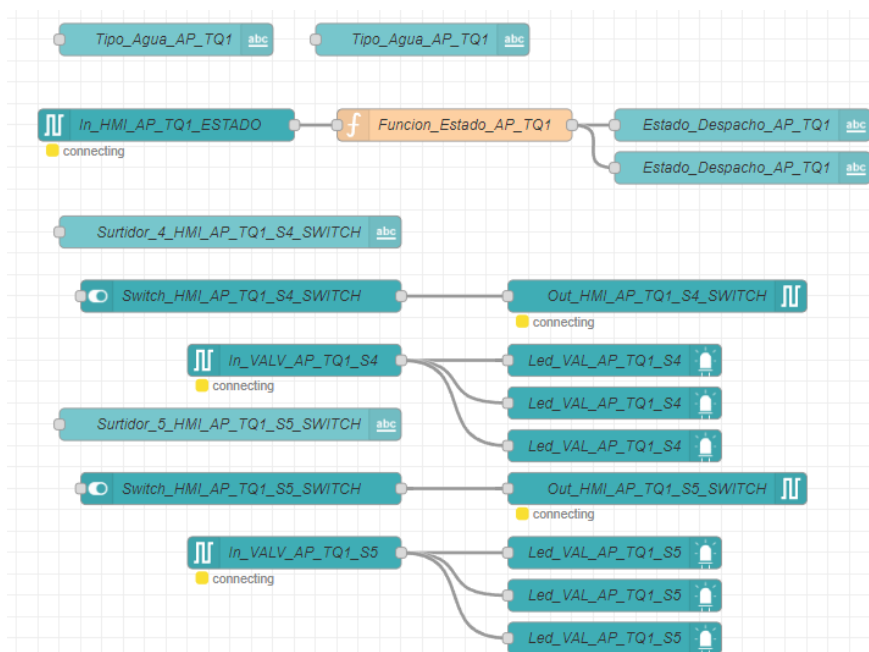
AP-TQ2	Conexiones para variables de entrada y salida y visualización de las mismas, correspondientes al despacho de agua purificada del tanque 2
AUF-TQ3	Conexiones para variables de entrada y salida y visualización de las mismas, correspondientes al despacho de agua ultrafiltrada del tanque 3
AG-TQ5	Conexiones para variables de entrada y salida y visualización de las mismas, correspondientes al despacho de agua genérica del tanque 5
Global	Conexiones para variables de entrada y salida y visualización de las mismas, que comparten todos los despachos
Mantenimiento	Conexiones para variables de entrada y salida y visualización de las mismas, correspondientes al modo mantenimiento

*Nota.* Los flujos AP-TQ1, AP-TQ2, AUF-TQ3 y AG-TQ5, tienen la misma estructura y realizan el mismo trabajo, pero con sus variables correspondientes.

### Flujo de control y monitoreo específico

**Figura 69**

*Flujo AP-TQ1 – Estado y surtidores*



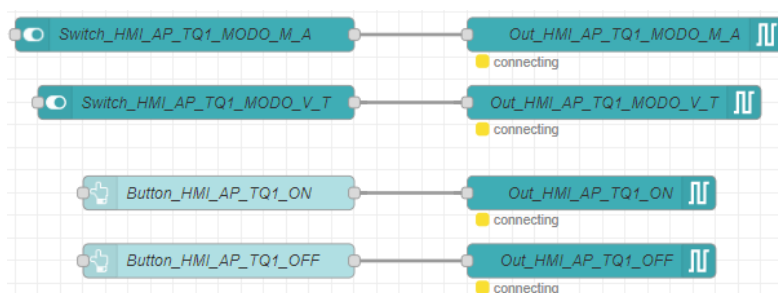


En este flujo se presenta el estado del despacho y se permite la selección del surtidor por el cual es va a despachar el producto. También se envía la señal de visualización de activación por medio del nodo Led.

En el siguiente punto se colocan dos switches, uno para controlar el modo manual y automático y otro para controlar el despacho por volumen o por tiempo. También se colocan dos botones, para el encendido y apagado del proceso.

**Figura 70**

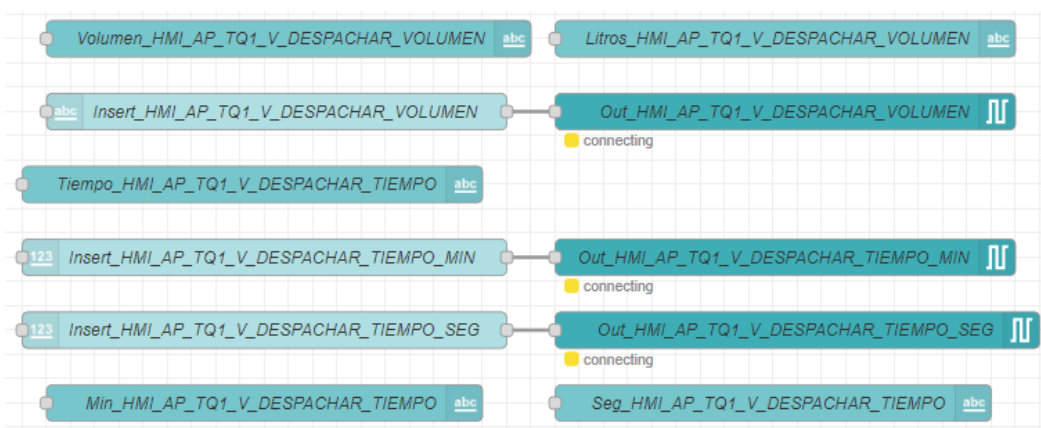
*Flujo AP-TQ1 – Modos y On/Off*



Luego se colocan nodos de ingreso de datos para la cantidad de agua que será despachada o para la cantidad de tiempo que durará el despacho.

**Figura 71**

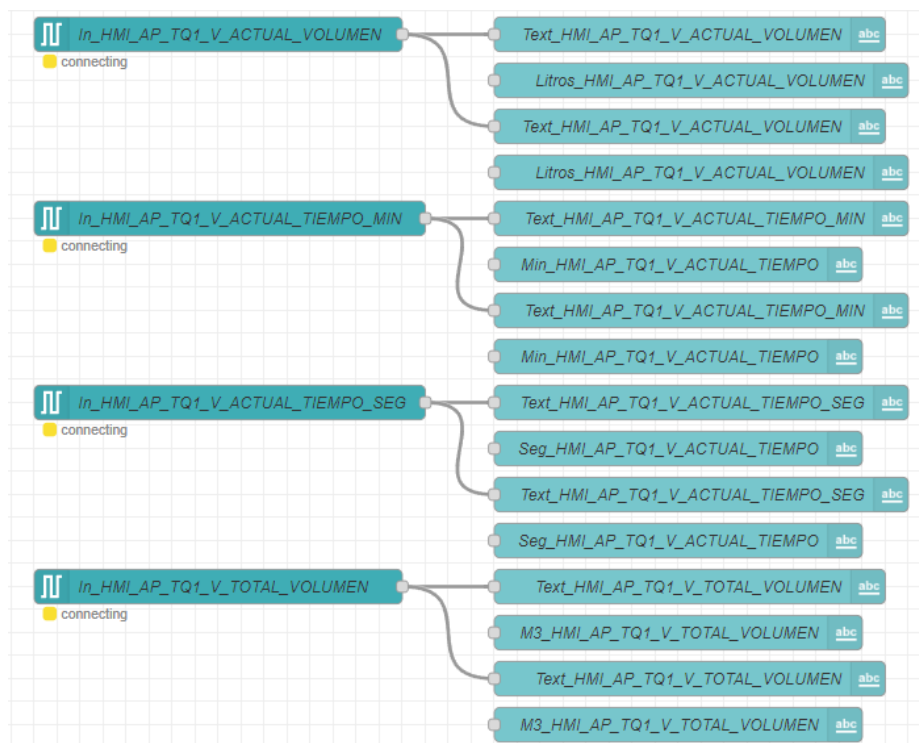
*Flujo AP-TQ1 – Ingreso de valores a despachar*



También se presentan como salida todos los valores actuales de despacho, tanto de líquido despachado como de tiempo transcurrido. Así mismo se presenta el valor acumulado de los despachos.

**Figura 72**

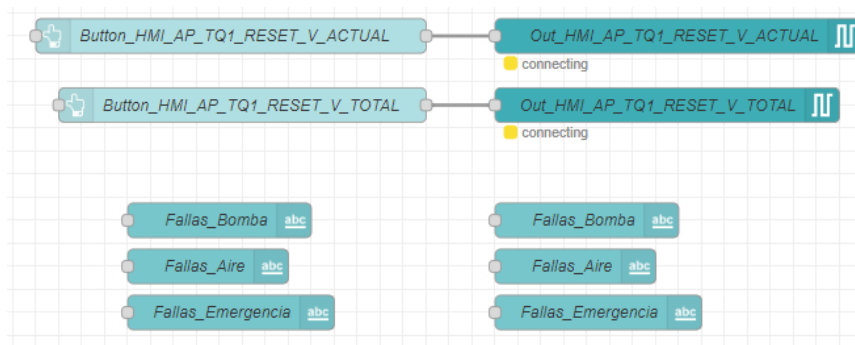
*Flujo AP-TQ1 – Salida de valor actual despachado*



Finalmente, se permite resetear los valores del proceso por medio de los botones de reseteo incluidos en el Dashboard del proyecto.

**Figura 73**

*Flujo AP-TQ1 – Reseteo de despacho y fallas*



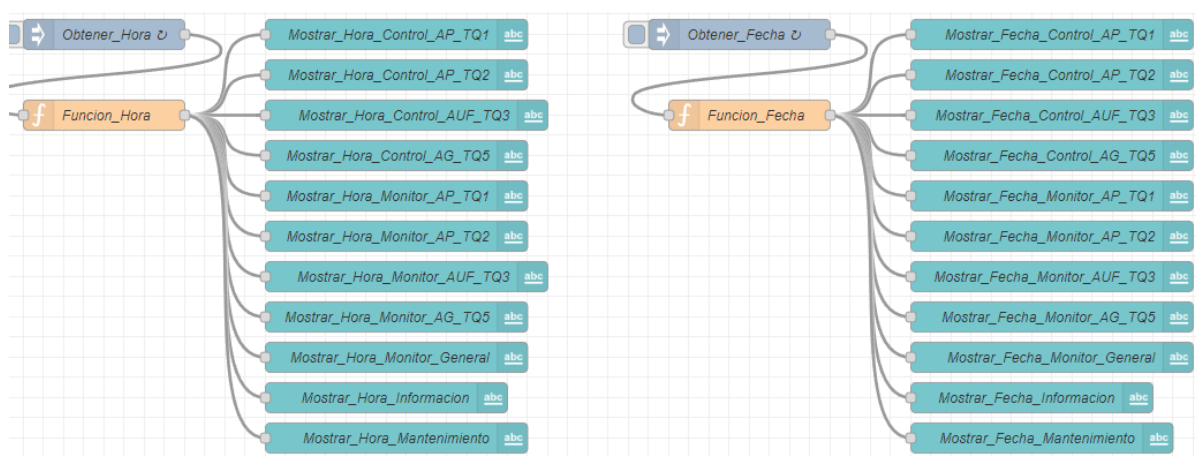
### Flujo de monitoreo global

La hora y la fecha son datos que se muestran siempre, por eso desde un bloque de programación en JavaScript se obtienen estos valores y son vinculados a todas las pantallas.

En este flujo también se observa la activación del modo control por panel de operador o control por Dashboard. Después se muestra la señalización led de la activación de las bombas y de las fallas presentes en el proceso.

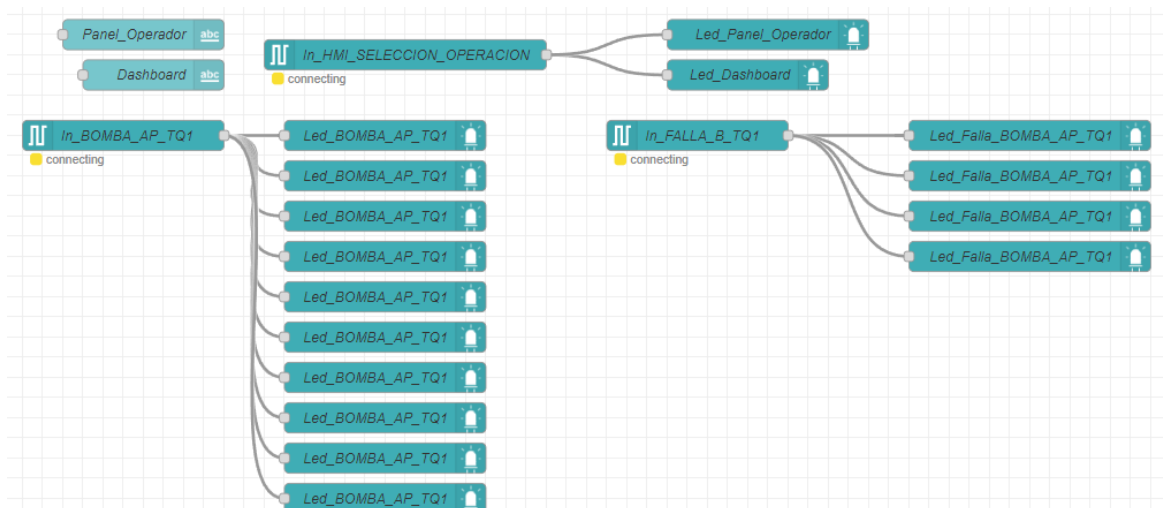
**Figura 74**

#### Flujo Global – Hora y fecha



**Figura 75**

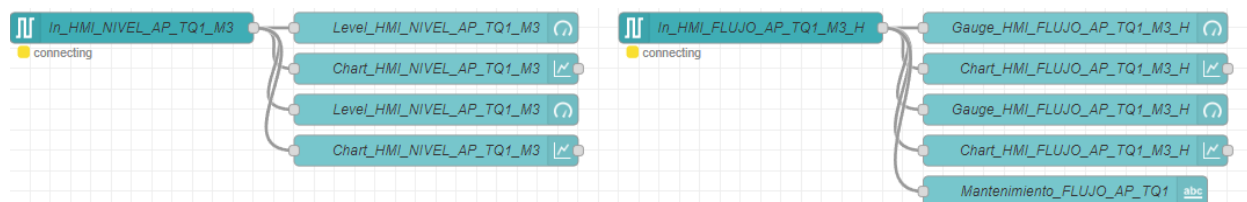
#### Flujo Global – Operación, bombas y fallas



Finalmente se muestran los niveles de los tanques y las medidas de flujo de los sensores y se presentan en indicadores tipo nivel y tipo gauge, respectivamente.

**Figura 76**

### Flujo Global – Nivel y flujo

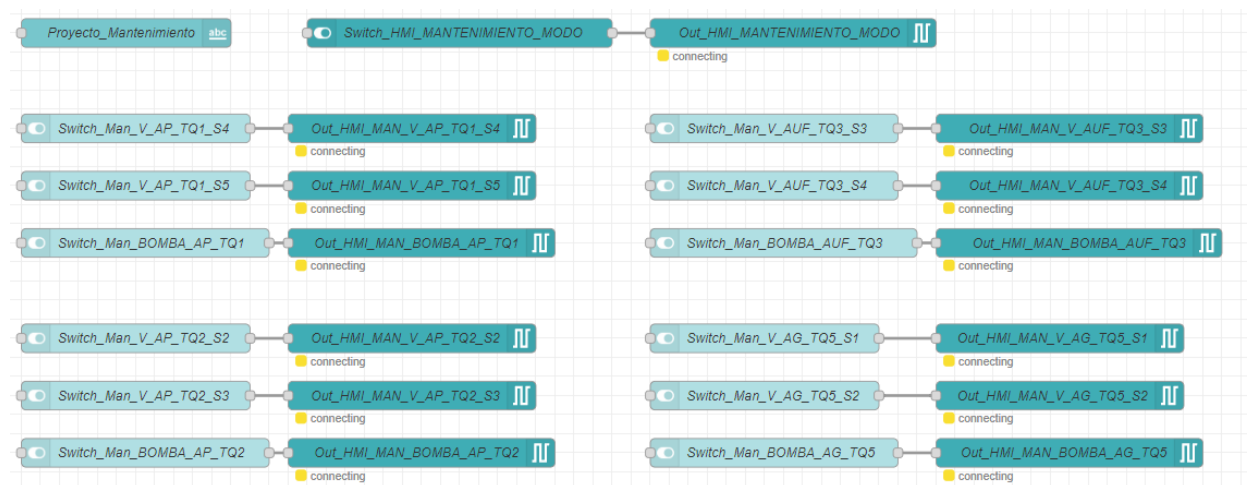


### Flujo de operación de mantenimiento

En el flujo de mantenimiento se agregan todos los controles manuales para verificación de los actuadores, tanto de válvulas como de bombas, y se permite la activación del modo mantenimiento por medio de un switch.

**Figura 77**

### Flujo Mantenimiento



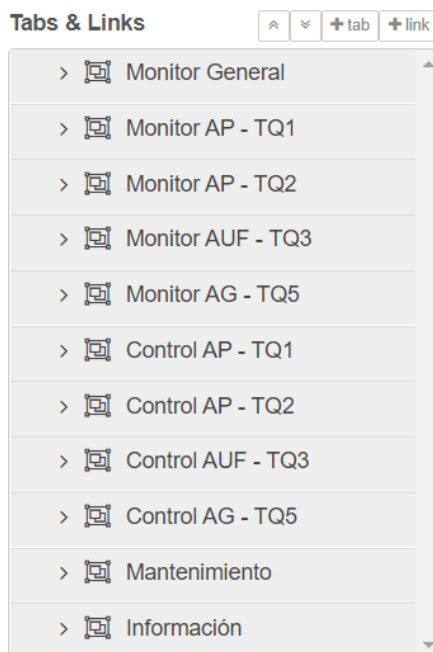
### Diseño de Dashboard en Node-RED

El diseño de las pantallas de la Dashboard se trató de hacer lo más parecido posible al panel de operador en las pantallas de control, y en las pantallas de monitoreo se adaptó el diseño para una buena

visualización de los datos del proceso. En la Figura 78 se muestran las once pantallas que se crearon para la presentación del Dashboard del proyecto y en la Tabla 14 se detallan cada una según su función.

**Figura 78**

*Lista de pantallas de Dashboard de Node-RED*



**Tabla 14**

*Descripción de las pantallas diseñados*

Pantalla	Función
Monitor General	Visualizar la actividad de los despachos en general, activación de los surtidores, nivel de los tanques, medición de sensores y lectura de fallas.
Monitor AP-TQ1	Visualizar la actividad del despacho de agua purificada del tanque 1, activación de surtidores y de bomba, nivel del tanque, flujo de agua, valores actuales de despacho en cantidad de agua y de tiempo, señalización de fallas y de otros despachos.

Pantalla	Función
Monitor AP-TQ2	Visualizar la actividad del despacho de agua purificada del tanque 2, activación de surtidores y de bomba, nivel del tanque, flujo de agua, valores actuales de despacho en cantidad de agua y de tiempo, señalización de fallas y de otros despachos.
Monitor AUF-TQ3	Visualizar la actividad del despacho de agua ultrafiltrada del tanque 3, activación de surtidores y de bomba, nivel del tanque, flujo de agua, valores actuales de despacho en cantidad de agua y de tiempo, señalización de fallas y de otros despachos.
Monitor AG-TQ5	Visualizar la actividad del despacho de agua genérica del tanque 5, activación de surtidores y de bomba, nivel del tanque, flujo de agua, valores actuales de despacho en cantidad de agua y de tiempo, señalización de fallas y de otros despachos.
Control AP-TQ1	Controlar los modos de despacho, el encendido y apagado, el surtidor por el cual se va a despachar y los parámetros de volumen y/o tiempo de funcionamiento en el proceso de despacho de agua purificada del tanque 1. También se visualizan valores actuales, fallas y otros despachos.
Control AP-TQ2	Controlar los modos de despacho, el encendido y apagado, el surtidor por el cual se va a despachar y los parámetros de volumen y/o tiempo de funcionamiento en el proceso de despacho de agua purificada del tanque 2. También se visualizan valores actuales, fallas y otros despachos.
Control AUF-TQ3	Controlar los modos de despacho, el encendido y apagado, el surtidor por el cual se va a despachar y los parámetros de volumen y/o tiempo de

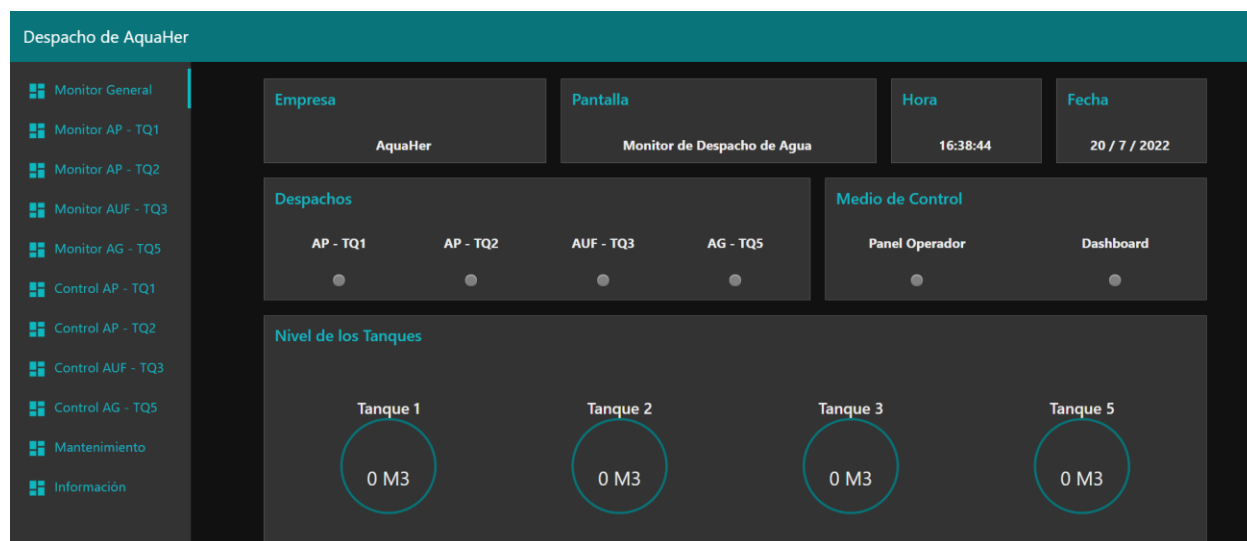
Pantalla	Función
Control AG-TQ5	<p>funcionamiento en el proceso de despacho de agua ultrafiltrada del tanque 3.</p> <p>También se visualizan valores actuales, fallas y otros despachos.</p> <p>Controlar los modos de despacho, el encendido y apagado, el surtidor por el cual se va a despachar y los parámetros de volumen y/o tiempo de funcionamiento en el proceso de despacho de agua genérica del tanque 5.</p> <p>También se visualizan valores actuales, fallas y otros despachos.</p>
Mantenimiento	<p>Activar manualmente cada actuador para verificar la funcionalidad de los mismos. Muestra señales de los sensores y de los posibles fallos.</p>
Información	<p>Resumen del proyecto y elementos usados para la realización del mismo.</p>

*Nota.* Las pantallas Monitor AP-TQ1, Monitor AP-TQ2, Monitor AUF-TQ3 y Monitor AG-TQ5 tienen la misma estructura y realizan el mismo trabajo, pero con sus variables correspondientes. Lo mismo pasa con las pantallas Control AP-TQ1, Control AP-TQ2, Control AUF-TQ3 y Control AG-TQ5.

### ***Pantalla de monitor general***

#### **Figura 79**

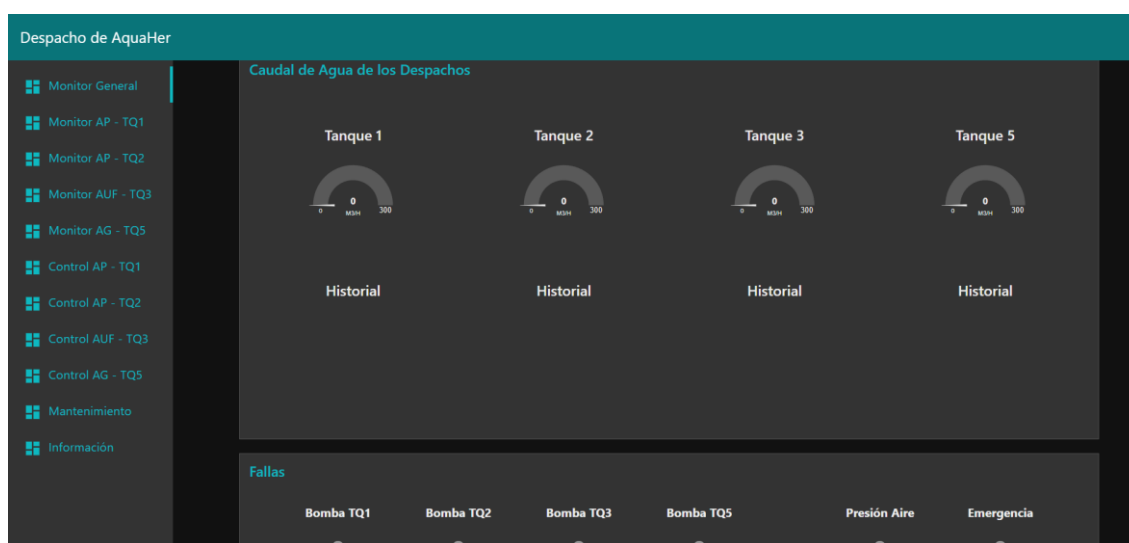
#### ***Pantalla de monitor general (1) - Dashboard***



En esta pantalla, primero se muestran los despachos que están en funcionamiento y si el control se está realizando mediante el panel de operador o el Dashboard web. Luego se observa el nivel de los tanques con gráficos históricos, los mismo pasa con los flujos medidos por los sensores en la siguiente fila. Finalmente se observan señalizaciones de las posibles fallas que se pueden presentar.

**Figura 80**

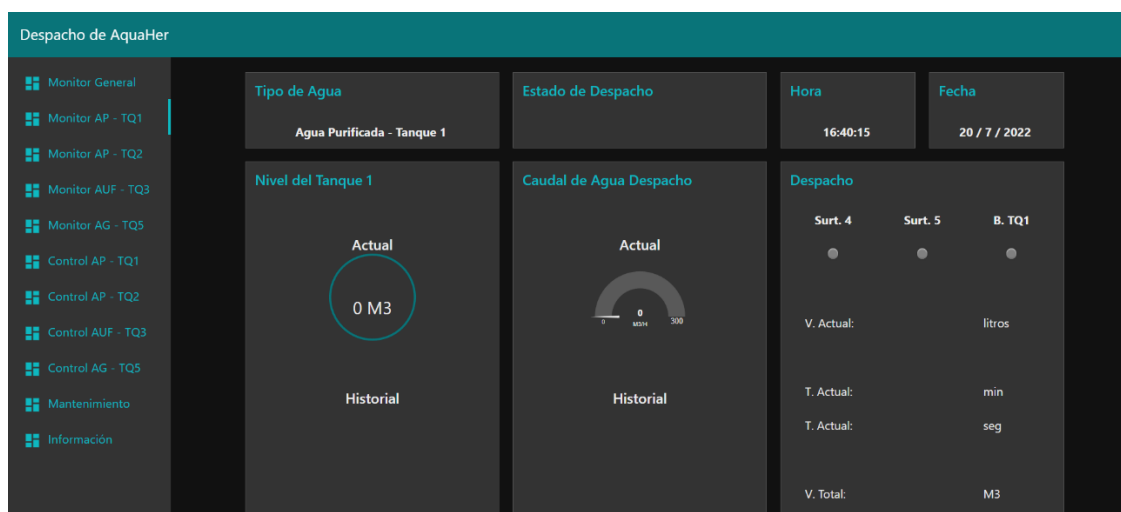
*Pantalla de monitor general (2) - Dashboard*



*Pantalla de monitor específico*

**Figura 81**

*Pantalla de monitor específico (1) - Dashboard*



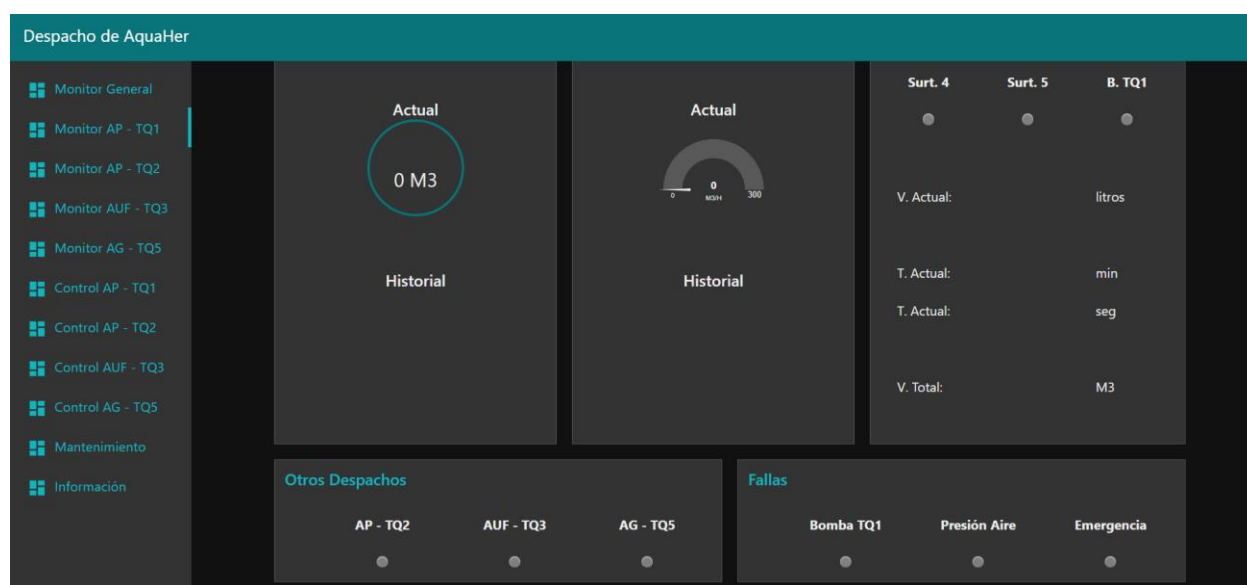


La pantalla de monitor específico es similar para el despacho de agua de los cuatros tanques, con las variables correspondientes a cada uno. Primero se observa a la izquierda el nivel del tanque y al centro el flujo de agua que pasa por la tubería, a la derecha se muestra el surtidor que está activado y si la bomba está encendida. También se observan los valores actuales de volumen y tiempo del despacho en curso y el valor acumulado de despachos.

Finalmente se muestra si hay otro despacho en curso y si existe alguna falla en el proceso.

## Figura 82

### *Pantalla de monitor específico (2) - Dashboard*



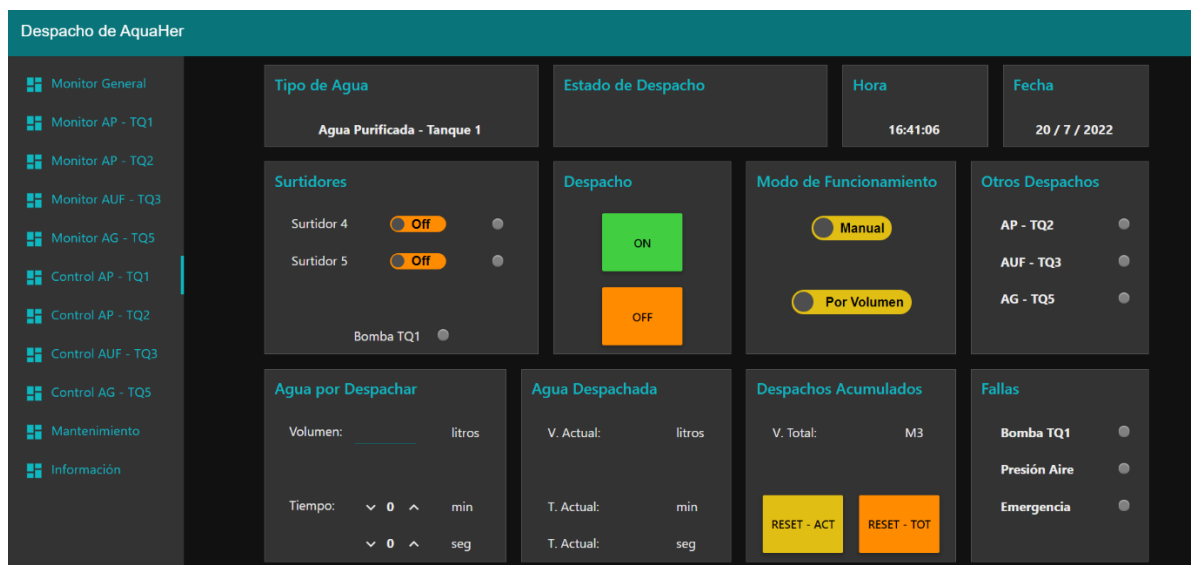
### ***Pantalla de control específico***

La pantalla de monitor específico es similar para el despacho de agua de los cuatros tanques, con las variables correspondientes a cada uno. Primero se encuentran los switches de selección del surtidor, en el centro los botones de encendido y apagado y luego los switches de control manual o automático y de despacho por volumen o por tiempo, a la derecha se muestra si hay otro despacho en curso.

Más abajo se ingresan los valores de despacho, ya sean volumen o tiempo y en el centro s muestran los valores actuales del proceso. Luego están los botones de reseteo y más a la derecha la señalización si existe alguna falla en el proceso.

**Figura 83**

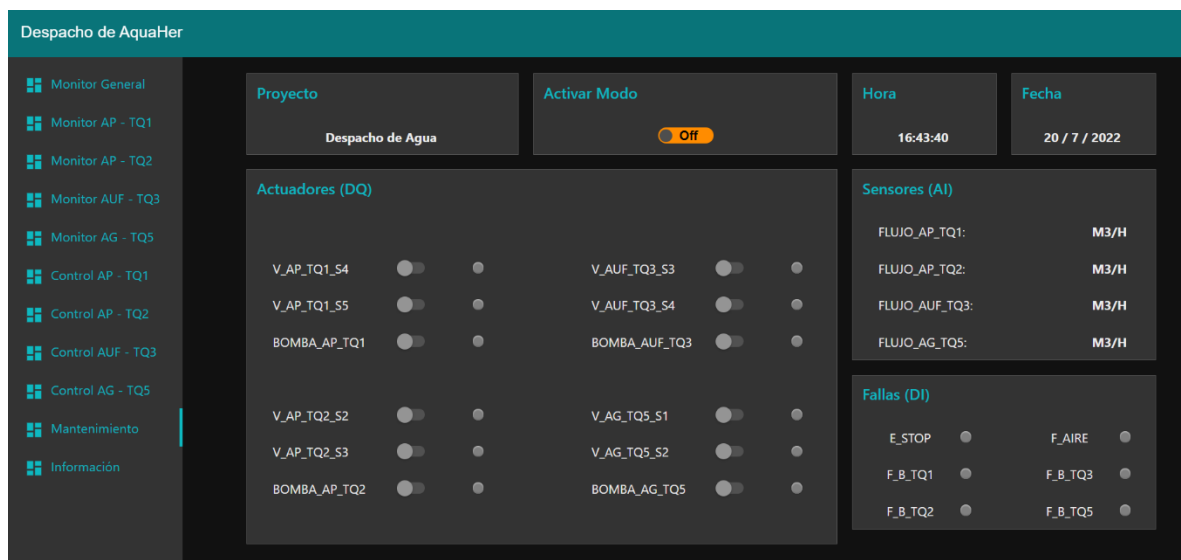
*Pantalla de control específico - Dashboard*



*Pantalla de mantenimiento*

**Figura 84**

*Pantalla de mantenimiento - Dashboard*



En la pantalla de mantenimiento primero se muestra el switch de activación del modo, el cual debe activarse para poder usar los controles que están en esta. Luego se encuentran los switches de activación de los actuadores, con los cuales se valida el correcto funcionamiento de los mismos.

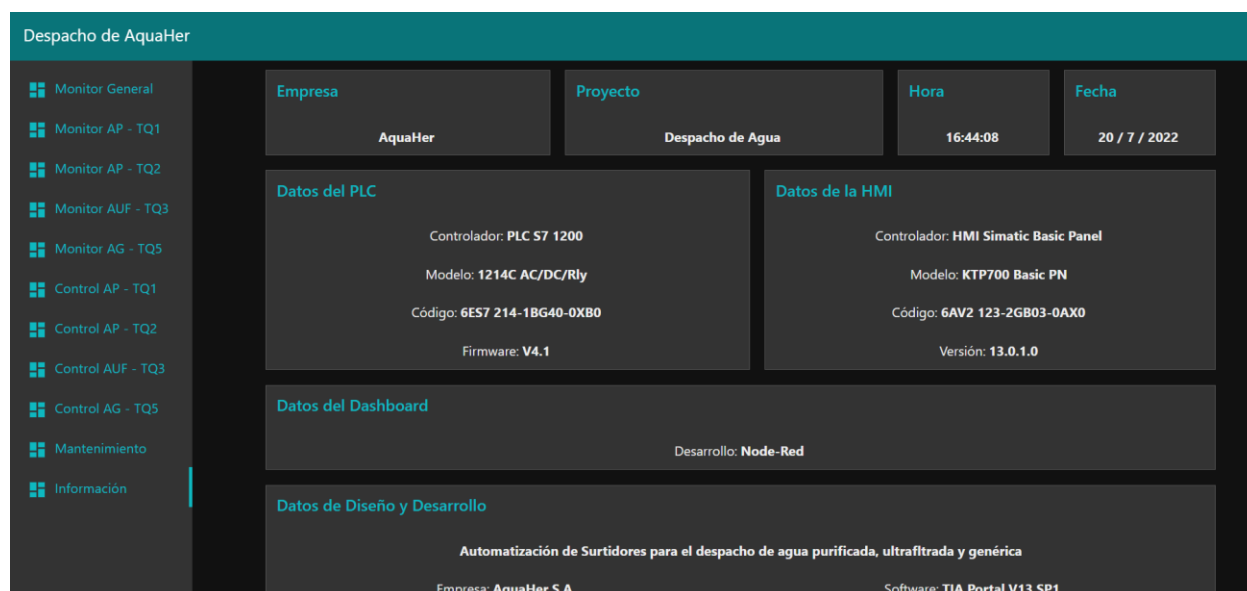
A la derecha se muestran las medidas de los sensores de flujo y más abajo las entradas digitales correspondientes a las fallas del proceso.

### ***Pantalla de información***

En esta última pantalla se observa información del proyecto, como los datos del PLC, la HMI y el Dashboard, así como el motivo del proyecto, la empresa, el desarrollador y el software con el cual fue desarrollado.

### **Figura 85**

#### ***Pantalla de información - Dashboard***



### **Instalación de software en servidor local**

El software fue instalado y en la Figura 86, se puede observar el resultado en el área de despacho, donde se encuentra el tablero de control con el panel de operador, la laptop de trabajo y la pantalla con el Dashboard en funcionamiento.

**Figura 86**

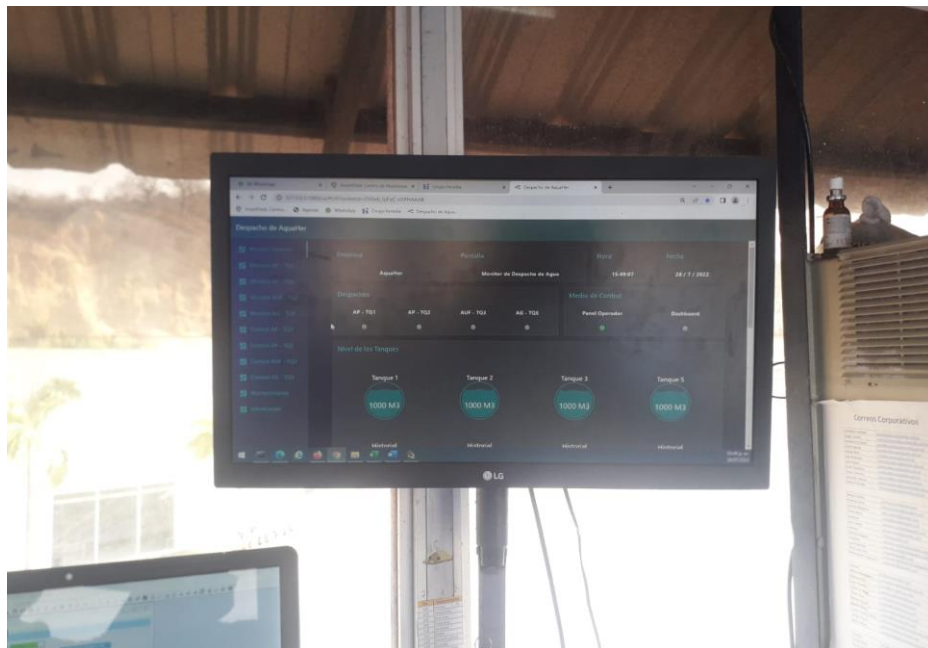
*Área de despacho*



También, en la Figura 87, se observa más de cerca el resultado de la instalación, visualizando la pantalla de monitor general.

**Figura 87**

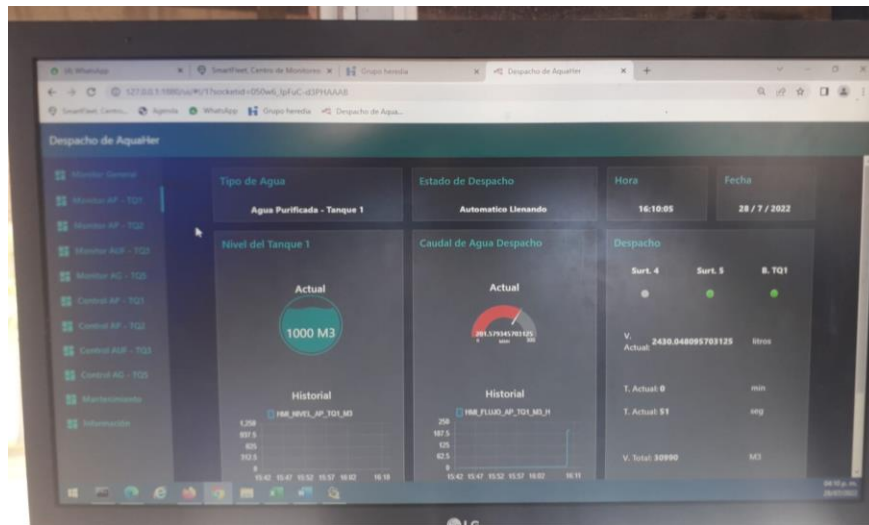
*Monitor general del sistema SCADA instalado*



En la Figura 88 y en la Figura 89 se puede ver el funcionamiento en tiempo real del sistema SCADA instalado en la empresa, visualizando el estado de despacho de agua purificada del tanque 1 y de agua genérica del tanque 5, respectivamente.

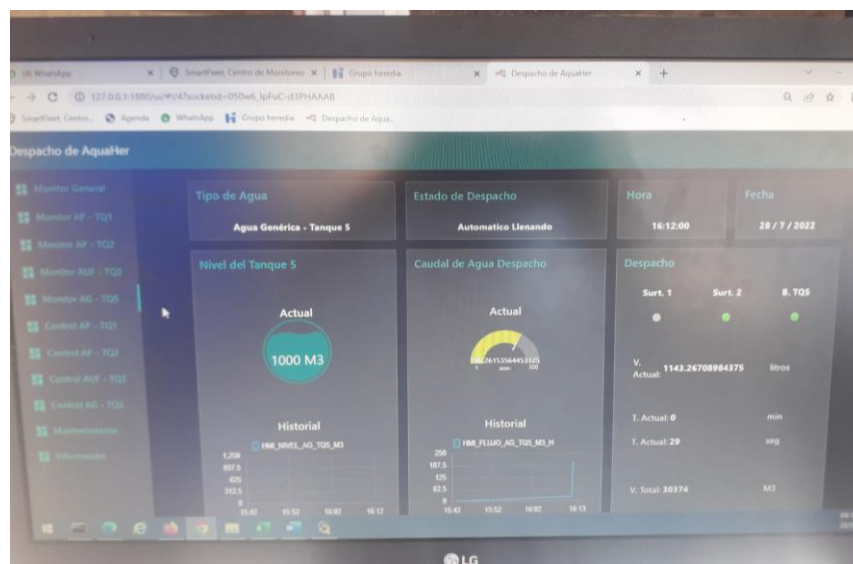
**Figura 88**

*Funcionamiento del Dashboard – Despacho de agua purificada del tanque 1*



**Figura 89**

*Funcionamiento del Dashboard – Despacho de agua genérica del tanque 5*



## Capítulo VII: Resultados: Funcionamiento y pruebas

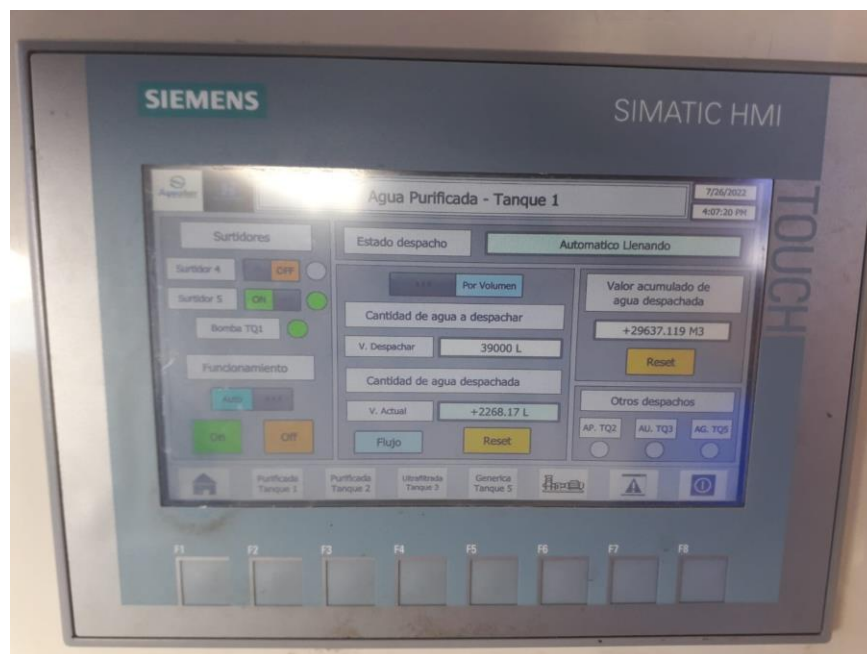
### Control por panel de operador

#### *Despacho del tanque 1*

La Figura 90 muestra el funcionamiento del panel de operador, donde se está controlando el despacho de agua purificada del tanque 1. Está abierta la válvula del surtidor 5 y encendida la bomba 1, está activado el control por volumen y el valor a despachar es de 39000 litros.

#### **Figura 90**

*Despacho de agua purificada del tanque 1 controlado por panel de operador*

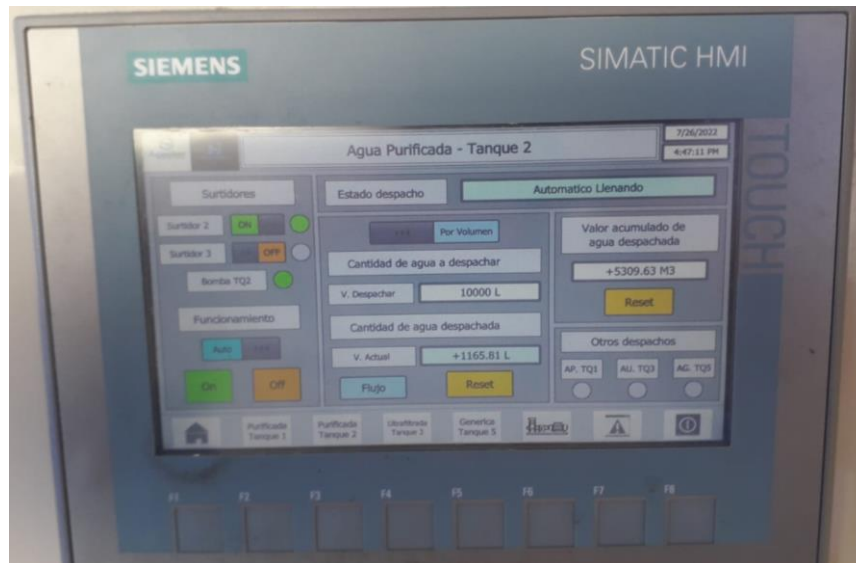


#### *Despacho del tanque 2*

La Figura 91 muestra el funcionamiento del panel de operador, donde se está controlando el despacho de agua purificada del tanque 2. Está abierta la válvula del surtidor 2 y encendida la bomba 2, está activado el control por volumen y el valor a despachar es de 10000 litros.

**Figura 91**

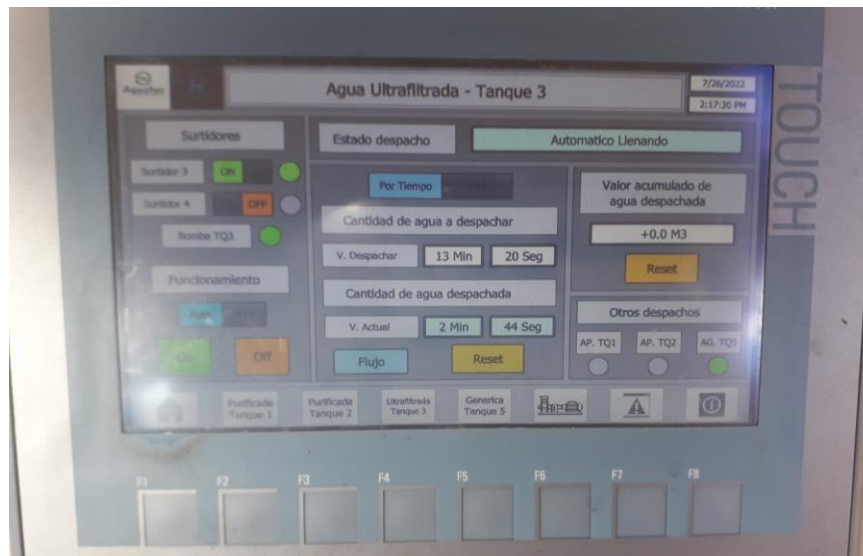
*Despacho de agua purificada del tanque 2 controlado por panel de operador*

**Despacho del tanque 3**

La Figura 92 muestra el funcionamiento del panel de operador, donde se está controlando el despacho de agua ultrafiltrada del tanque 3. Está abierta la válvula del surtidor 3 y encendida la bomba 3, está activado el control por tiempo y el valor a despachar es de 13 minutos y 20 segundos.

**Figura 92**

*Despacho de agua ultrafiltrada del tanque 3 controlado por panel de operador*

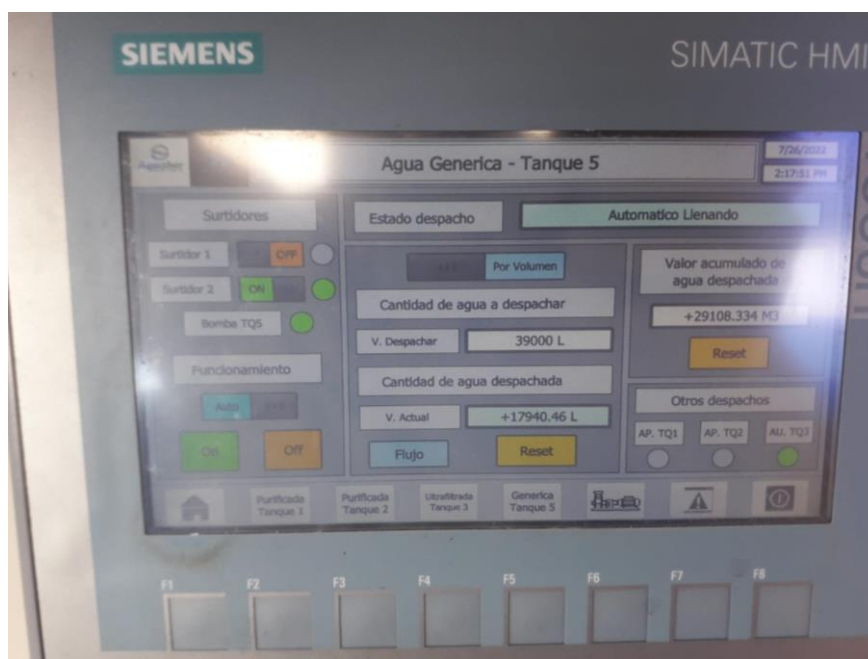


### **Despacho del tanque 5**

La Figura 93 muestra el funcionamiento del panel de operador, donde se está controlando el despacho de agua genérica del tanque 5. Está abierta la válvula del surtidor 2 y encendida la bomba 5, está activado el control por volumen y el valor a despachar es de 39000 litros.

**Figura 93**

*Despacho de agua genérica del tanque 5 controlado por panel de operador*



### **Monitoreo por panel de operador**

En la Figura 94 se presenta la pantalla de flujo específico de agua purificada del tanque 2, estando en funcionamiento en el panel de operador del proceso. Se observa el nivel del tanque, la activación de la bomba y la apertura de la válvula del surtidor 2, la lectura del sensor de caudal volumétrico y la animación de la tubería por donde está circulando agua.

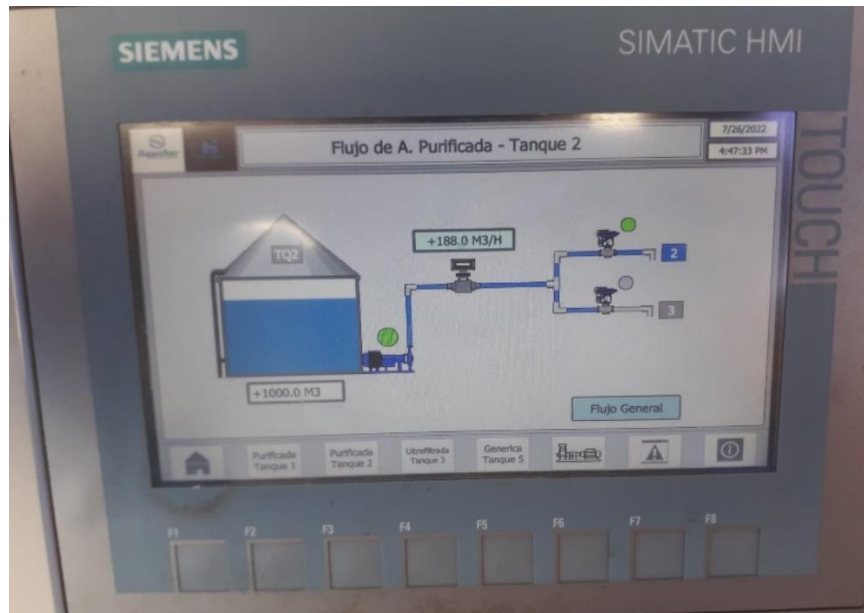
### **Mantenimiento por panel de operador**

En la Figura 95 se observa la utilización del modo mantenimiento del proceso, en este caso se abrieron manualmente las ocho válvulas que intervienen en el proceso de despacho para verificar su funcionamiento.



**Figura 94**

*Flujo específico de agua purificada del tanque 2 monitoreado por panel de operador*



**Figura 95**

*Apretura de válvulas en modo mantenimiento por panel de operador*



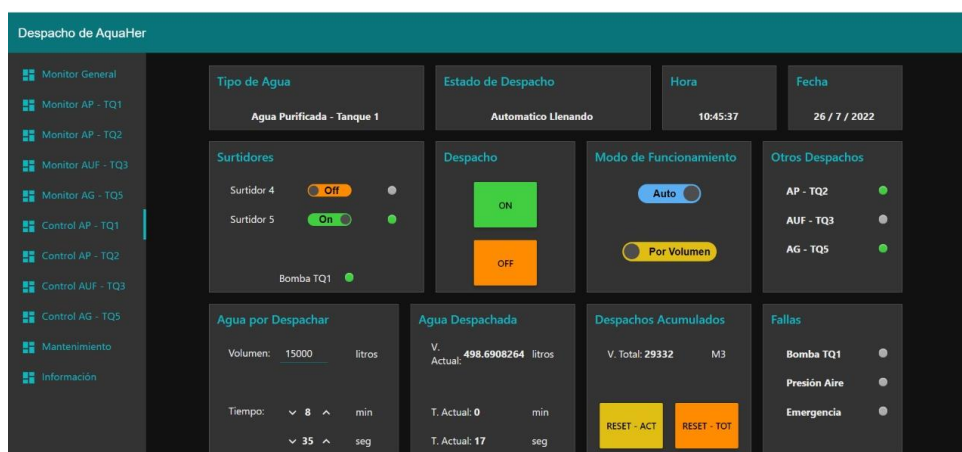
## Control por Dashboard

### Despacho del tanque 1

La Figura 96 muestra el funcionamiento del Dashboard, donde se está controlando el despacho de agua purificada del tanque 1. Está abierta la válvula del surtidor 5 y encendida la bomba 1, está activado el control por volumen y el valor a despachar es de 15000 litros.

**Figura 96**

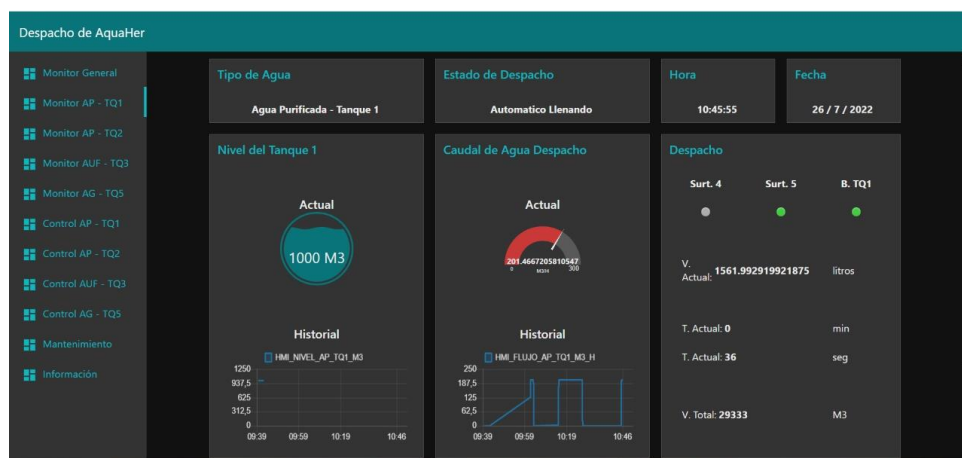
*Despacho de agua purificada del tanque 1 controlado por Dashboard web*



La Figura 97 muestra el monitoreo del mismo despacho, con gráficos del nivel y el caudal, y señalización para el encendido de los actuadores.

**Figura 97**

*Despacho de agua purificada del tanque 1 monitoreado por Dashboard web*

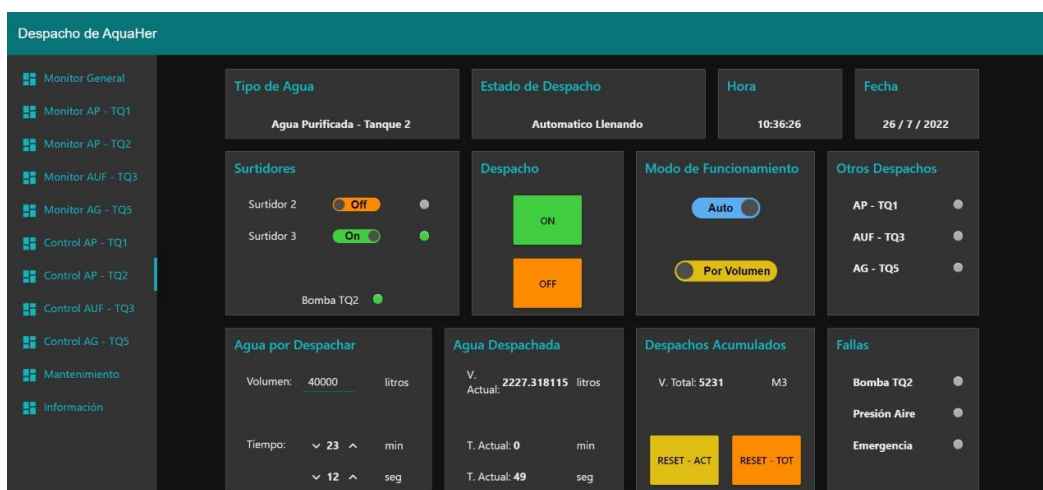


## Despacho del tanque 2

La Figura 98 muestra el funcionamiento del Dashboard, donde se está controlando el despacho de agua purificada del tanque 2. Está abierta la válvula del surtidor 3 y encendida la bomba 2, está activado el control por volumen y el valor a despachar es de 40000 litros.

**Figura 98**

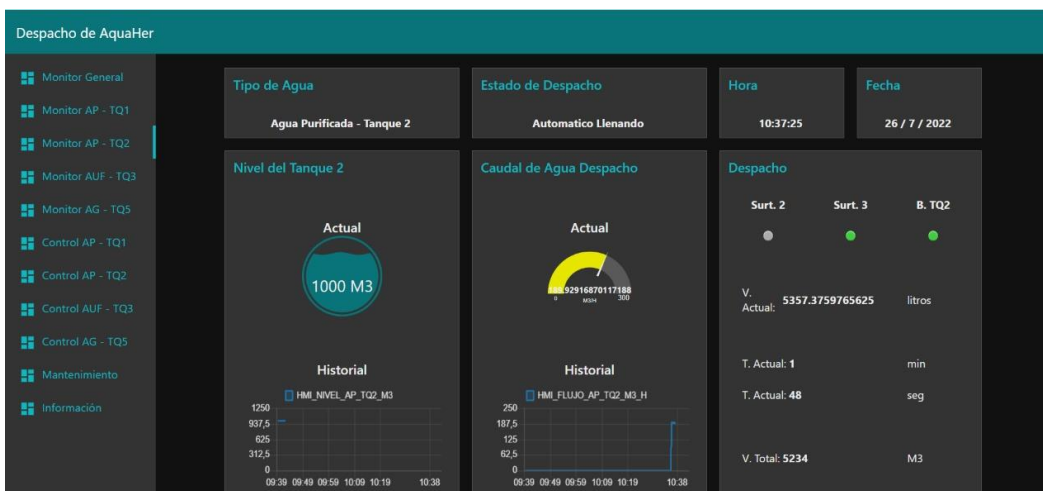
*Despacho de agua purificada del tanque 2 controlado por Dashboard web*



La Figura 99 muestra el monitoreo del mismo despacho, con gráficos del nivel y el caudal, y señalización para el encendido de los actuadores.

**Figura 99**

*Despacho de agua purificada del tanque 2 monitoreado por Dashboard web*

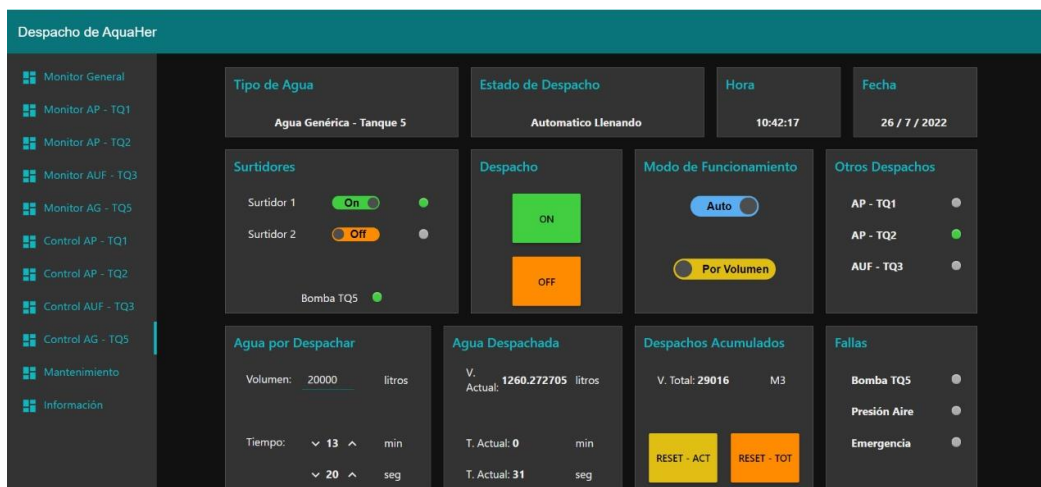


## Despacho del tanque 5

La Figura 100 muestra el funcionamiento del Dashboard, donde se está controlando el despacho de agua genérica del tanque 5. Está abierta la válvula del surtidor 1 y encendida la bomba 5, está activado el control por volumen y el valor a despachar es de 20000 litros.

**Figura 100**

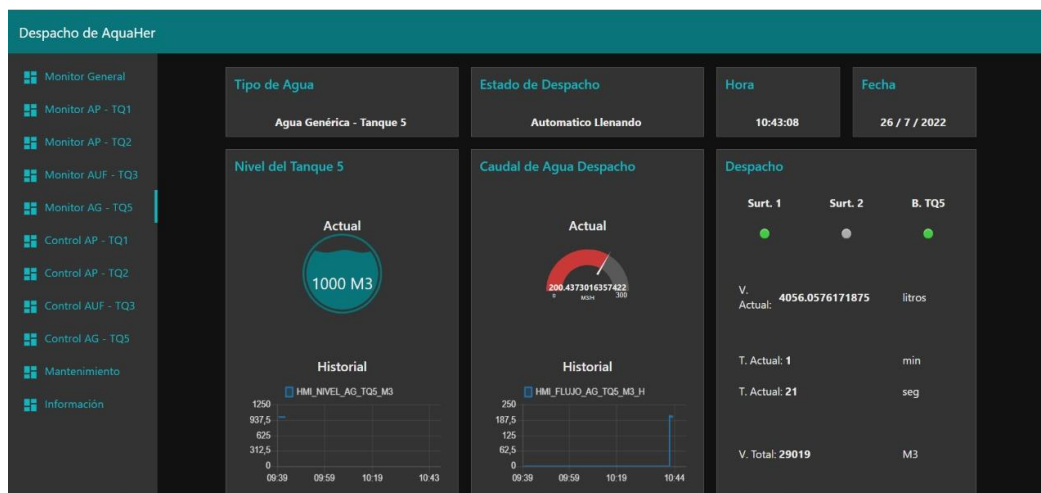
*Despacho de agua genérica del tanque 5 controlado por Dashboard web*



La Figura 101 muestra el monitoreo del mismo despacho, con gráficos del nivel y el caudal, y señalización para el encendido de los actuadores.

**Figura 101**

*Despacho de agua genérica del tanque 5 monitoreado por Dashboard web*



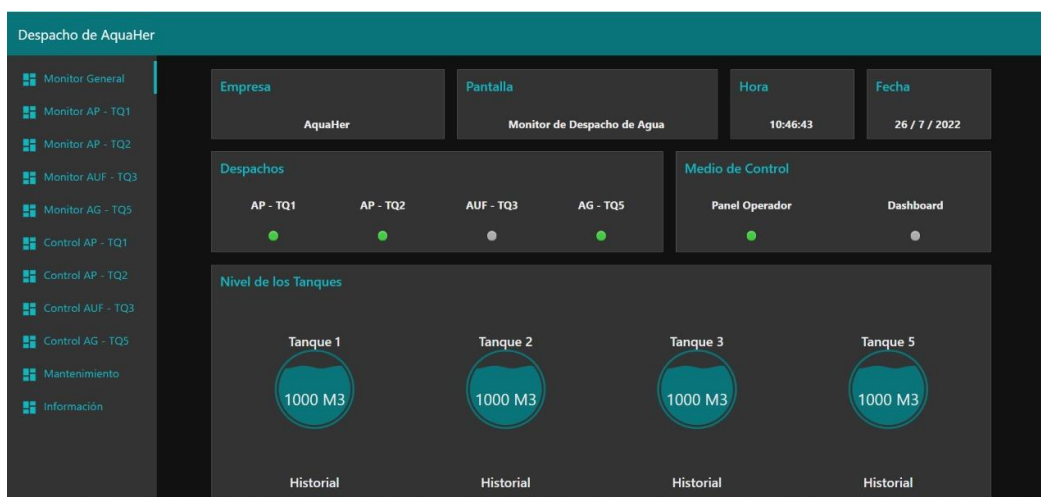
## Monitoreo por Dashboard

### Despacho de los tanques 1, 2 y 5

La Figura 102 y la Figura 103 presentan la pantalla de monitoreo general del despacho de agua de los tanques 1, 2 y 5, en el cual se muestra la señalización de los despachos activados, el nivel de todos los tanques y la medida de caudal volumétrico de los sensores.

**Figura 102**

*Despacho de agua de los tanques 1, 2 y 5 – Monitor general Dashboard web (1)*



**Figura 103**

*Despacho de agua de los tanques 1, 2 y 5 – Monitor general Dashboard web (2)*

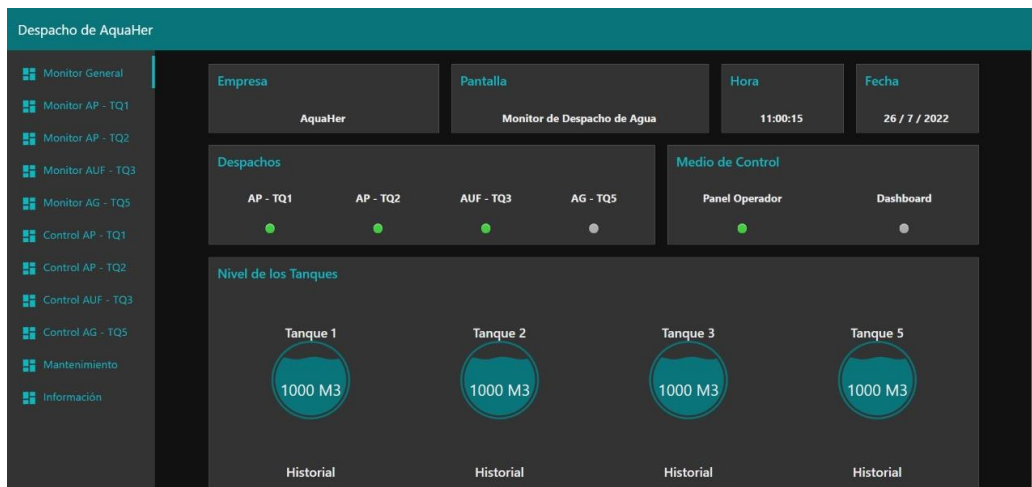


### Despacho de los tanques 1,2 y 3

La Figura 104 presenta la pantalla de monitoreo general del despacho de agua de los tanques 1, 2 y 3, en el cual se muestra la señalización de los despachos activados.

**Figura 104**

*Despacho de agua de los tanques 1, 2 y 3 – Monitor general Dashboard web*

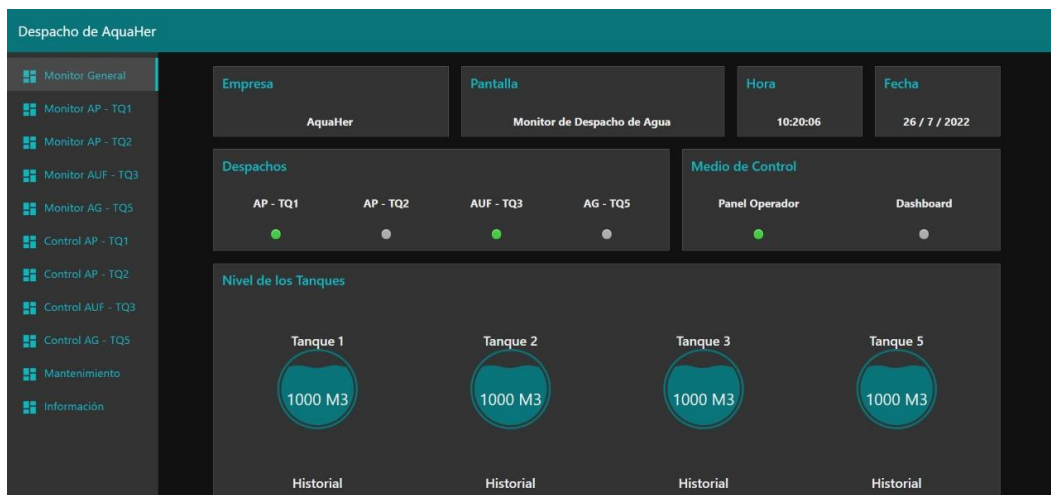


### Despacho de los tanques 1 y 3

La Figura 105 presenta la pantalla de monitoreo general del despacho de agua de los tanques 1 y 3, en el cual se muestra la señalización de los despachos activados.

**Figura 105**

*Despacho de agua de los tanques 1 y 3 – Monitor general Dashboard web*



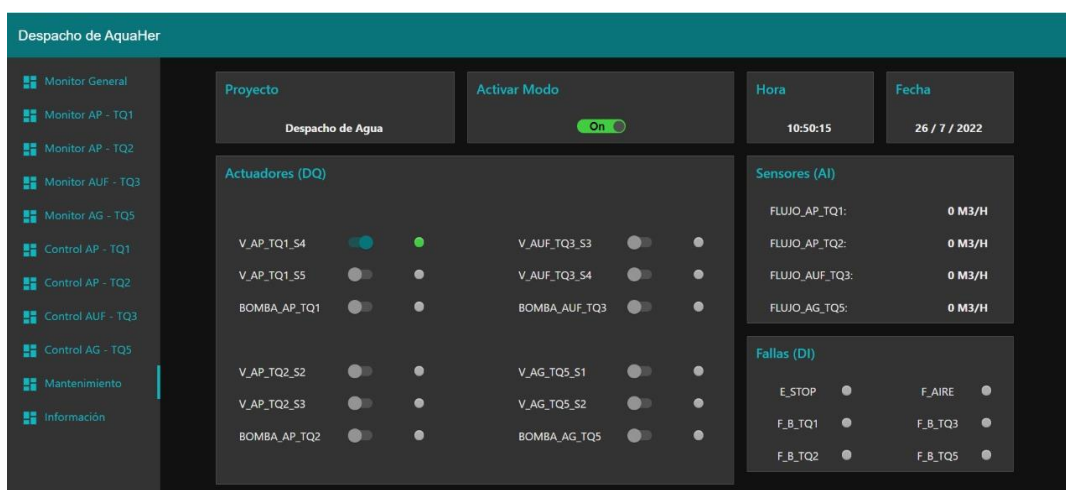
## Mantenimiento por Dashboard

### Actuadores del tanque 1

En la Figura 106 se muestra el modo mantenimiento activado en Dashboard, abriendo la válvula del surtidor 4 de agua purificada y en la Figura 107 se activa la bomba 1 estando la válvula abierta.

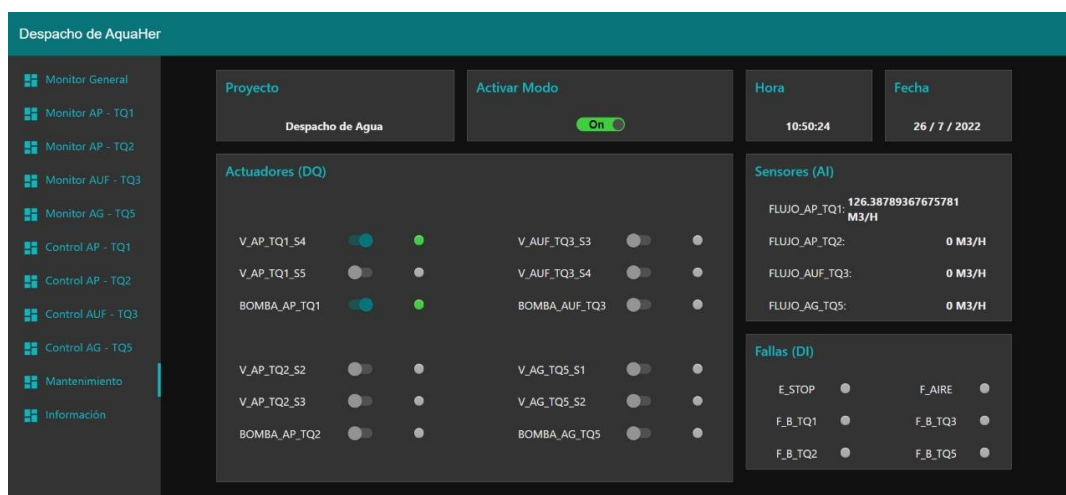
**Figura 106**

*Apertura de válvula del surtidor 4 de agua purificada en modo mantenimiento del Dashboard web*



**Figura 107**

*Encendido de bomba de agua purificada en modo mantenimiento del Dashboard web*

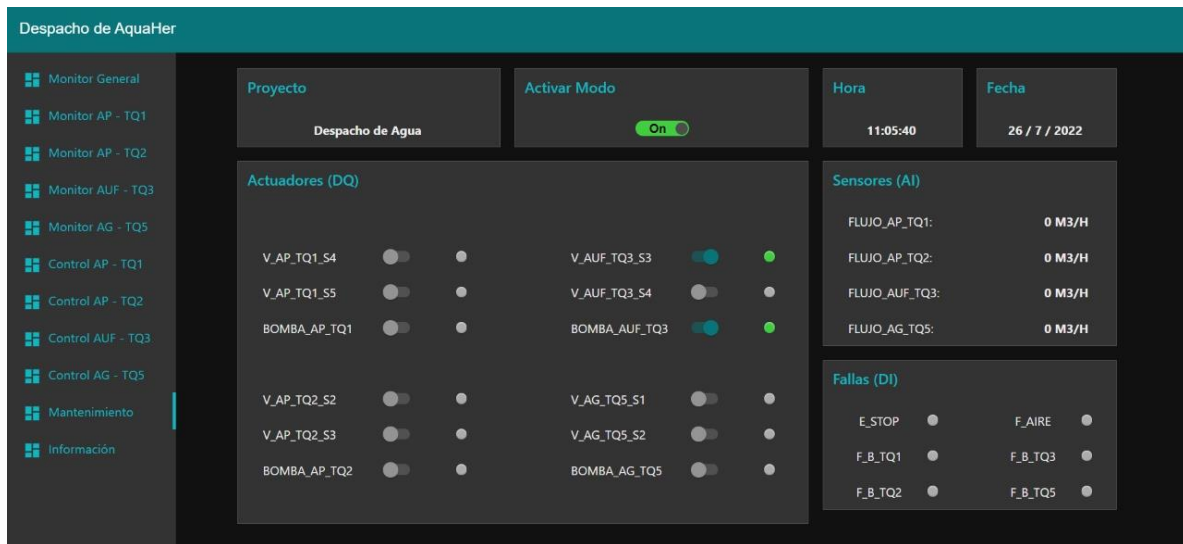


### Actuadores del tanque 3

En la Figura 108 se muestra el modo mantenimiento activado en Dashboard, abriendo la válvula del surtidor 3 de agua ultrafiltrada y activando la bomba 3, y en la Figura 109 se abre la válvula del surtidor 4 y así mismo encendiendo la bomba 3.

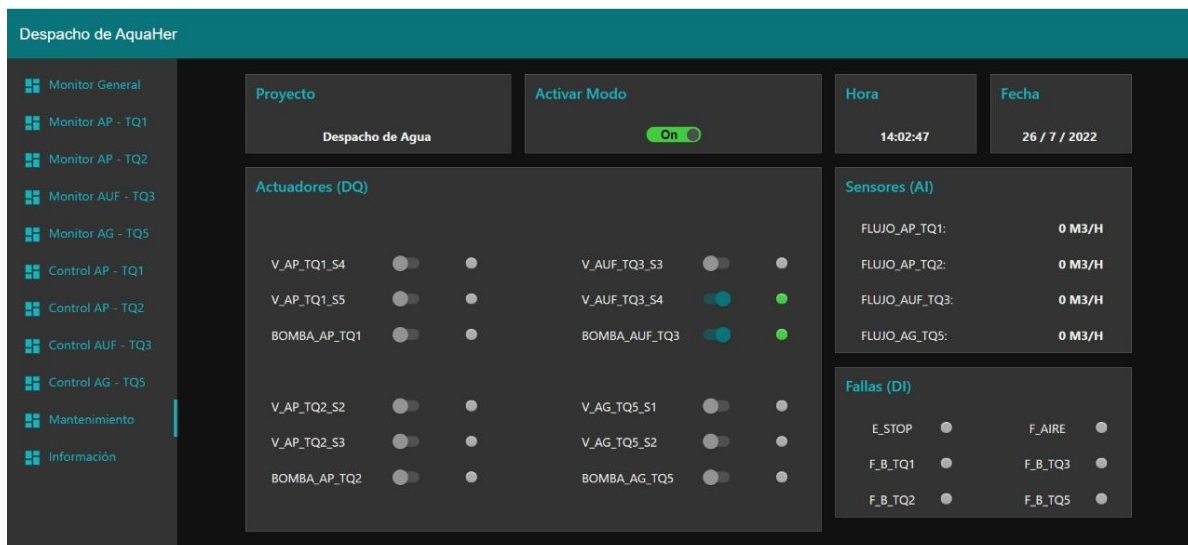
**Figura 108**

*Apertura de válvula 3 y bomba de agua ultrafiltrada en modo mantenimiento del Dashboard web*



**Figura 109**

*Apertura de válvula 4 y bomba de agua ultrafiltrada en modo mantenimiento del Dashboard web*





### Prueba de exactitud de llenado

La Figura 110 presenta el resultado del despacho completo de agua purificada del tanque 1, donde el valor deseado era de 39000 litros y se despachó un total de 39061.02 litros, teniendo un error del 0.16 %, mostrado en la Tabla 15, en este caso se despachó 61.02 litros más de lo deseado, lo cual representa un volumen poco significativo.

La Figura 111 presenta el resultado del despacho completo de agua genérica del tanque 5, donde el valor deseado era de 33100 litros y se despachó un total de 33088.89 litros, teniendo un error del 0.03 %, mostrado en la Tabla 15, en este caso se despachó 11.11 litros menos de lo deseado, lo cual representa un volumen poco significativo.

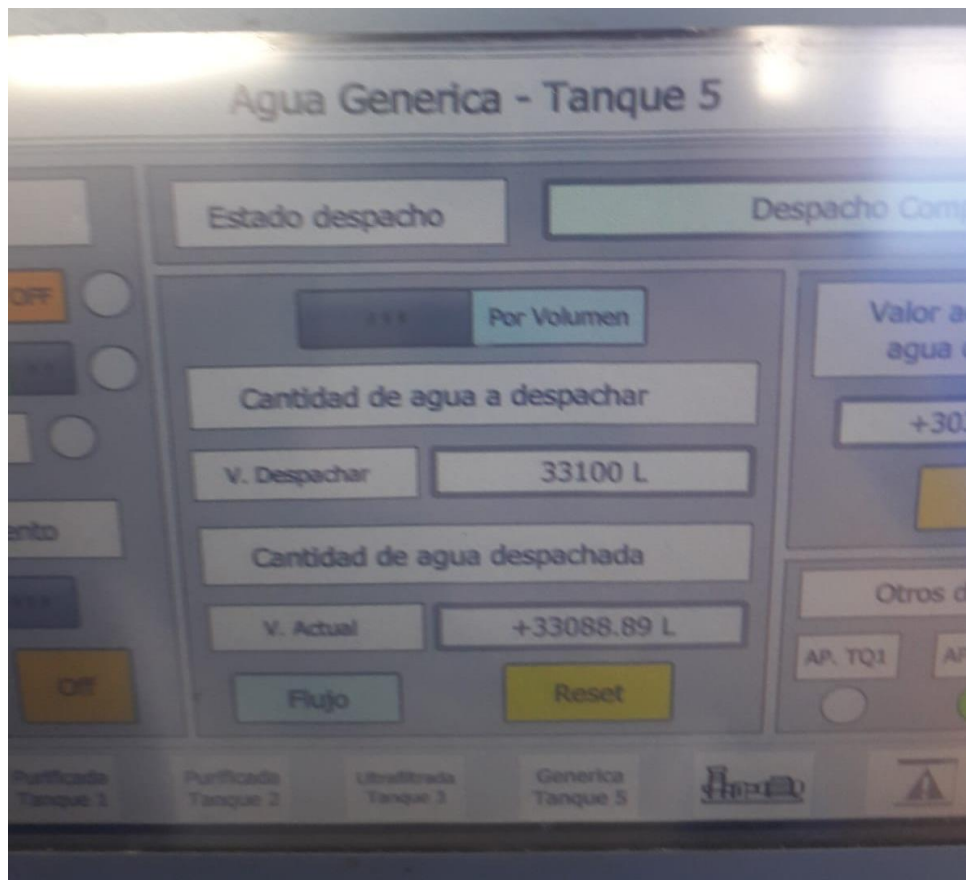
### Figura 110

*Comparación del valor a despachar y el valor despachado de agua del tanque 1*



**Figura 111**

*Comparación del valor a despachar y el valor despachado de agua del tanque 5*



Tomando datos de los despachos realizados, se obtuvieron valores de volumen despachado y se compararon con el volumen que se quería despachar, esto generó la Tabla 15, la cual también presenta la diferencia entre los valores y los errores porcentuales del proceso.

**Tabla 15**

*Cálculo de errores en el volumen de despacho*

Valor deseado (L)	Valor despachado (L)	Diferencia (L)	Error
39000	39061.02	61.02	0.16 %
33100	33088.89	-11.11	0.03 %

*Nota.* Los errores obtenidos son muy pequeños. El despacho puede considerarse muy exacto.

## Capítulo VIII: Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros

### Conclusiones

- La elaboración de un documento donde se reflejan las variables y conexiones del PLC, HMMI y SCADA, así como el diagrama esquemático del proceso de despacho permitió realizar el control y diseño adecuado del sistema, ya que previamente se conoció a profundidad el funcionamiento del proceso y los equipos que tenía instalados.
- La instalación del sensor de presión de aire resultó útil para aumentar la seguridad del proceso y el cableado de control y red para la implementación de la red industrial PROFINET, con el fin de compartir los datos del PLC ubicado en el área de producción, como las medidas de los sensores de los niveles de los tanques de 1250 m<sup>3</sup>.
- La lógica de control para el PLC de despacho fue establecida una vez conocido el proceso a profundidad, considerando el flujo de los eventos y las protecciones instaladas, con el fin de garantizar un correcto funcionamiento a largo plazo y un escalamiento de los sensores de caudal con un porcentaje de error menor o igual al 0.16%.
- La red industrial PROFINET fue configurada desde el PLC de producción como emisor de información con un bloque de programación TSEND\_C y el PLC de despacho como receptor con un bloque de programación TRCV\_C, con una longitud de 16 bytes correspondientes a los datos de tipo real de los niveles de los tanques.
- El diseño de las pantallas del HMI y SCADA se realizó en base a las sugerencias de los operadores de planta, adecuándose al diseño anterior para una mejor adaptación y garantizando una rápida y óptima navegación, además, estableciendo una jerarquía de permisos para las pantallas de mantenimiento y usuarios, y para el reseteo de valores de acumulación de despacho de agua de cada tanque.

- El sistema SCADA web diseñado con el software Node-RED se instaló en el servidor local de la empresa, dando acceso a los dispositivos ubicados en el área de despacho, producción y oficinas gerenciales.

### **Recomendaciones**

- Para la configuración del presostato diferencial, se recomienda medir la presión de trabajo con un manómetro para establecer los límites de presión con el cual el proceso funciona correctamente y ajustar esos valores al recorrido del presostato.
- Antes de realizar alguna modificación adicional al proceso, revisar el documento anexo con los detalles del proceso, de esta manera se evitan malas manipulaciones del sistema de control o del ajuste de señales del mismo.
- Consultar a los operadores del proceso sobre el diseño de las pantallas de operación y monitoreo, ya que ellos son quienes van a manejar el software y deben sentirse cómodos con el mismo.
- Trabajar el sistema SCADA de manera local, de esta manera se mantiene seguro y se garantiza evitar filtraciones de información en caso de que se quiera subir a internet. Se recomienda usar un VPN para acceder a la red local desde cualquier otro lugar fuera de la empresa.

### **Trabajos futuros**

Para un óptimo funcionamiento del proceso y un control y monitoreo total del mismo, se plantean los siguientes trabajos:

- Instalar un censo de caudal volumétrico a la tubería de despacho principal de agua ultrafiltrada del tanque 3, ya que sin este el control solo se puede hacer por tiempo, siendo menos exacto que controlándolo por volumen.
- Adecuar nuevos sensores de nivel en los tanques de agua, ya que los actuales están enviando información incorrecta, por lo que no se puede confiar en la lectura de los mismos.

## Bibliografía

- Aillón, M. (2010). *Diseño de un sistema SCADA de control automático de temperatura y humedad para los lechos de producción de humus de lombriz en la empresa BIOAGROTECSA CIA. LTDA.*  
Obtenido de Universidad Técnica de Ambato:  
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/101/1/t552ec.pdf>
- Andrade, R. (2019). Módulo didáctico para controlar nivel y caudal de agua, mediante sistema SCADA, PLC y algoritmo PID. *RIEMAT*, 4(2), 50-62. Obtenido de  
<https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/2196/2320>
- Automatas. (2006). *Sistemas SCADA*. Obtenido de <https://www.automatas.org/redes/scadas.htm>
- Blanco, E., Velarde, S., & Fernández, J. (1994). *Sistemas de bombeo*. Gijón: Universidad de Oviedo.
- Borrás, C. (2020). *¿Qué es una válvula y para qué sirve?* Obtenido de  
<https://www.caloryfrio.com/sanitarios/tuberias-accesorios/que-es-una-valvula-y-para-que-sirve.html>
- Chantera, P., & Tobar, D. (2013). *Estudio de lámparas LED para el alumbrado público y diseño de un sistema SCADA con control automático ON/OFF*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana:  
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4786?mode=full>
- Cortés, J., Mendoza, J., & Muriel, J. (2012). Control y supervisión de un sistema pick & place neumático a través de un PLC y un sistema SCADA. *Scientia Et Technica*, XVII(50), 141-146. Obtenido de  
<https://www.redalyc.org/pdf/849/84923878020.pdf>
- Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial* (Octava ed.). México: Alfaomega Grupo Editor.
- Digitalización - Ferriz. (2022). *Web Server Local en NodeRED con PLC Siemens S7-1200*. Obtenido de  
<https://www.youtube.com/watch?v=S8MuAeCNFx4>
- Ferrari, P., Flammini, A., & Vitturi, S. (2006). Análisis de rendimiento de redes PROFINET. *Computer Standards & Interfaces*, 28(24), 369-385.

FESMEX. (2020). *¿Qué es un presostato?* Obtenido de FESMEX:

<https://www.fesmex.com.mx/article/que-es-un-presostato/>

Hernández, M., & Ledesma, D. (2010). *Desarrollo de un sistema SCADA para la medición de voltajes con sistemas embebidos para el laboratorio de mecatrónica de la facultad de mecánica*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1137/1/25T00140.pdf>

HYEN Projects. (2022). *Sistemas de bombeo y presión de agua*. Obtenido de

<https://hyen.com.co/sistemas-de-bombeo-de-agua.html>

INCIBE. (2017). *Características y seguridad en PROFINET*. Obtenido de INCIBE-CERT: <https://www.incibe-cert.es/blog/caracteristicas-y-seguridad-profinet>

León, C., & Carrillo, K. (2021). *Diseño e implementación de un sistema SCADA basado en el software libre NodeRED para el monitoreo y operación de la planta didáctica MPS PA. Compact Workstation de FESTO*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana:

<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21905>

Llopis, R., Romero, J., & Ariño, C. (2010). *Automatización industrial*. Castellón de la Plana: Universidad Jaime I.

López, W., & Nelson, M. (2011). *Desarrollo de un sistema SCADA para la medición de temperatura con sistemas embebidos para el laboratorio de mecatrónica de la facultad de mecánica*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1145/1/25T00148.pdf>

Montalvo, I., & Cabezas, J. (2011). *Diseño de prototipo de aerogenerador con almacenamiento de energía, monitoreado por un sistema SCADA*. Obtenido de Universidad San Francisco de Quito:

<https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/980/1/99852.pdf>

NEMA. (2021). *Controladores Programables*. Obtenido de NEMA:

<https://www.nema.org/standards/view/programmable-controllers-part-1-general-information>

Node-RED. (2022). *Node-RED*. Obtenido de Node-RED: <https://nodered.org/>

Node-RED. (2022). *node-red-contrib-s7*. Obtenido de Node-RED: <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-s7>

Node-RED. (2022). *node-red-dashboard*. Obtenido de Node-RED: <https://flows.nodered.org/node/node-red-dashboard>

Palacios, F., & Mera, F. (25 de Julio de 2012). *Diseño e implementación de un Sistema SCADA para el control remoto de un proceso a través de un dispositivo móvil basado en el software My Scada e Information Server*. Obtenido de Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE:

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5821/1/AC-AUTM-ESPE-033694.pdf>

Rodriguez, H. (2022). *Cálculo de instalaciones de bombeo de agua*. Obtenido de Ingemecanica:

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn206.html>

Salazar, D., & Villacreses, A. (2015). *Diseño e Implementación de un sistema SCADA para monitoreo de flujo y temperatura del sistema de llenado aséptico de jugo de maracuyá de la Agro-Industria Frutas de la Pasión C. LTDA*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10430/1/UPS-GT001516.pdf>

SIEMENS. (2014). *SIMATIC HMI - Paneles de Operador*. Obtenido de SIEMENS:

[https://media.automation24.com/manual/es/90114350\\_hmi\\_basic\\_panels\\_2nd\\_generation\\_operating\\_instructions.pdf](https://media.automation24.com/manual/es/90114350_hmi_basic_panels_2nd_generation_operating_instructions.pdf)

SIEMENS. (2018). *Controlador programable S7-1200*. Obtenido de SIEMENS:

[https://media.automation24.com/manual/es/91696622\\_s71200\\_system\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf)

Sosa, B., & Luis, C. (2020). *Diseño e implementación de una red SCADA con PLCs en maestro esclavo aplicado a la enseñanza*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana:

<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19477>

Wonderware. (2022). *Interfaz Hombre-Máquina (HMI)*. Obtenido de Wonderware:

<https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/>

Yagual, M. J. (2019). *Diseño e implementación de un sistema SCADA para el proceso de mezcla de pintura utilizando herramientas de la Industria 4.0*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana:

<https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/4840/UPSE-TET-2019-0013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zárate, Y., Rovira, C., & Salab, O. (2015). *Diseño e Implementación de un SCADA Web para un Probador Portable de Medidores de Gas*. Obtenido de

[https://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra\\_revista/MetFlu11/4SCADAWeb.pdf](https://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu11/4SCADAWeb.pdf)

## Apéndices

**Apéndice A. Diagramas, conexiones y pantallas del proceso**

**Apéndice B. Tabla de variables del PLC**

**Apéndice C. Diagrama esquemático del PLC**