



PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA  
FÁBRICA DE LICORES DE ANTIOQUIA,  
ITAGÜI - COLOMBIA

Neider Sait Duran Quintero

Universidad de Pamplona  
Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Departamento MMI  
Pamplona, Colombia  
2020



PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA  
FÁBRICA DE LICORES DE ANTIOQUIA,  
ITAGÜI - COLOMBIA

Neider Sait Duran Quintero

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al  
título de Ingeniero en Mecatrónica

Director:

Yara Angeline Oviedo Durango  
Msc. Controles Industriales

Universidad de Pamplona  
Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Departamento MMI  
Pamplona, Colombia  
2020

*Dedico este trabajo a...*

*“Dios, por acompañarme y guiarme en cada paso que doy.*

*A mi madre y mis hermanos por creer incondicionalmente en mí.*

*A mis dos nonas y mi padre por implantar habilidades y valores para la vida.*

*A toda mi familia y mi novia, quienes siempre han estado para mí.*

*“*

# Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos:

A mi madre, por su esfuerzo, amor y dedicación a formar el hombre que hoy en día soy.  
Gracias a ti estoy culminando una de mis más grandes Metas.

A mis hermanos, por inspirarme a mejorar cada día.

A mi abuela por motivarme a continuar y nunca desfallecer.

De la misma manera, agradezco a mi directora de grado, Yara Angeline Oviedo por impartirme sus conocimientos y orientarme en el desarrollo de mi práctica profesional.

Por último agradezco a mis docentes, compañeros y amigos que me compartieron sus conocimientos, amistad y fortaleza, pues mi experiencia junto a ustedes enriquecieron mis capacidades de criterio y pensamiento.

## Resumen

En el presente proyecto se plantea una propuesta para la planta de producción de Aguardiente de la Fábrica de Licores de Antioquia. Para cumplir con este propósito se identificó y detallo el flujo de proceso mediante la representación del P&ID (Piping And Instrumentation Diagram) bajo la norma ISA 5.1. De esta manera se identificaron los equipos e instrumentos de proceso y las magnitudes físicas monitoreadas y controladas por estos; deduciendo así, tiempos parásitos, capacidad de producción, ergonomía del sistema SCADA y todas las carencias en cuestión de Automatización que fatigan la calidad, capacidad y seguridad en la planta. Al contrastar los requisitos de operación y los posibles alcances de la planta para mejorar las carencias en esta, se dispone a sugerir la instrumentación adecuada a cada evento de acuerdo al diagnóstico y requisitos previamente planteados; para que bajo estos criterios, lograr reconstruir la instrumentación y equipos de proceso, junto a el sistema SCADA; seleccionando los diferentes dispositivos de automatización bajo el análisis de los alcances de los dispositivos que ofrecen varios fabricantes, entre los cuales se tendrán en cuenta: PLC's, HMI's, Módulos I/O análogos y digitales y las redes de comunicaciones industriales que establecerán la interconexión del SCADA, todo esto sin desmeritar los requisitos de la FLA.

**Palabras clave: P&ID, ISA 5.1, SCADA, Automatización, Redes y Comunicaciones Industriales.**

## Abstract

In this project, a proposal is made for the Aguardiente production plant at the Fábrica de Licores de Antioquia. To fulfill this purpose, the process flow was identified and detailed by representing the P&ID (Pipeline And Instrumentation Diagram) under the ISA 5.1 standard of 2009. In this way, the process equipment and instruments and the monitored and controlled physical quantities were identified. For these; thus deducing parasitic times, production capacity, ergonomics of the SCADA and all the shortcomings in the matter of Automation that fatigue the quality, capacity of production and safety in the plant. By contrasting the operation requirements and the possible scope of the plant to improve the deficiencies in it, it is available to suggest the appropriate instrumentation for each event according to the diagnosis and requirements previously raised; so that under these criteria, to reconstruct the instrumentation and process equipment, together with the SCADA system; selecting the different automation devices under the analysis of the scope of the devices offered by various manufacturers, among which will be taken into account: PLC's, HMI's, analog and digital I / O modules and the industrial communications networks that will establish the interconnection of the SCADA, all this without detracting from the requirements of the FLA.

**Keywords: P&ID, ISA 5.1, SCADA, Automation, Networks and Industrial Communications.**

# Contenido

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>Resumen.....</b>                      | <b>IX</b>   |
| <b>Lista de Tablas .....</b>             | <b>XIV</b>  |
| <b>Lista de Figuras.....</b>             | <b>XVI</b>  |
| <b>1. Introducción.....</b>              | <b>1</b>    |
| 1.1 Justificación .....                  | 2           |
| 1.2 Objetivos .....                      | 4           |
| 1.2.1 Objetivo General .....             | 4           |
| 1.2.2 Objetivos Específicos.....         | 4           |
| <b>2. Marco Teórico.....</b>             | <b>5</b>    |
| 2.1 Fabricación de Aguardiente .....     | 2           |
| 2.1.1 FLA .....                          | 4           |
| 2.1.1 Planta de Aguardiente .....        | 4           |
| 2.2 Instrumentación Industrial .....     | 4           |
| 2.2.1 Definiciones en Control .....      | 4           |
| 2.2.2 Transmisores .....                 | 4           |
| 2.2.3 Medidas de Presión .....           | 4           |
| 2.2.4 Medidas de Caudal .....            | 4           |
| 2.2.5 Medidas de Nivel .....             | 4           |
| 2.2.6 Medidas de Temperaturas .....      | 4           |
| 2.2.7 Medidas de Peso.....               | 4           |
| 2.2.8 Elementos finales de Control ..... | 4           |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.3 Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) .....                              | 4         |
| 2.3.1 Resumen de la norma ISA 5.1 (R-1992) .....                                 | 4         |
| 2.3.2 Autodesk Plant 3D .....  | 4         |
| 2.3.3 Ventajas de AutoCAD Plant 3D .....   | 4         |
| 2.3.4 Modelado de precisión .....  | 4         |
| 2.3.5 Licencia Estudiantil.....  | 4         |
| 2.4 Control Automático de Proceso .....  | 4         |
| 2.4.1 Sistema de control de Proceso .....  | 4         |
| 2.4.2 Componentes básicos de los sistemas de Control .....                       | 4         |
| 2.5 Automatización Industrial.....   | 4         |
| 2.5.1 Pirámide de la Automatización .....  | 4         |
| 2.5.2 SCADA .....  | 4         |
| 2.5.3 Sistemas de Control Centralizados y Distribuidos.....                      | 4         |
| 2.5.4 Interfaz Hombre Máquina (HMI).....   | 4         |
| 2.5.5 Redes y COmunicaciones Industriales.....                                   | 4         |
| 2.5.6 Industria 4.0 .....  | 4         |
| <b>3. Metodología.....</b>   | <b>69</b> |
| 3.1 Detallar el P&ID de las etapas principales del proceso actual.....           | 4         |
| 3.1.3 Distribución de Planta.....  | 4         |
| 3.1.4 Localización de tanques .....  | 4         |
| 3.1.5 Diagrama de flujo del proceso .....  | 4         |
| 3.1.6 Implementación de la norma ISA 5.1 para el diseño del P&ID .....           | 4         |
| 3.1.3 Tablero de Control .....   | 4         |
| 3.1.4 Lazos de Control .....   | 4         |
| 3.1.5 Eventos o subprocesos vialmente automatizables.....                        | 4         |
| 3.1.6 Selección de la instrumentación para el sistema de control propuesto ..... | 4         |
| 3.1.7 Sistemas de Automatización .....   | 4         |
| 3.1.8 Selección de herramientas para la Automatización.....                      | 4         |

---

|  |            |
|--|------------|
| <b>4. Resultados.....</b>                      | <b>165</b> |
| 4.1 Topología de Control .....                 | 4          |
| 4.2 Diseño de HMI.....                         | 4          |
| <b>5. Conclusiones y recomendaciones .....</b> | <b>199</b> |
| 5.1 Conclusiones .....                         | 4          |
| 5.2 Recomendaciones.....                       | 4          |
| <b>6. Referencias .....</b>                    | <b>205</b> |

## Lista de tablas

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>Tabla 1.</b> Error de medida de caudal .....   | 11          |
| <b>Tabla 2</b> <i>Exactitud de los transmisores</i> .....   | 18          |
| <b>Tabla 3</b> <i>Ventajas y desventajas de los transmisores</i> .....                                    | 18          |
| <b>Tabla 4</b> <i>Características resumidas de los instrumentos medidores de caudal</i> .....             | 24          |
| <b>Tabla 5</b> <i>Medidores de nivel de líquidos</i> .....  | 26          |
| <b>Tabla 6</b> <i>Sistemas de medida de peso</i> .....  | 29          |
| <b>Tabla 7</b> <i>Ejemplo de etiqueta para instrumentos</i> .....   | 37          |
| <b>Tabla 8</b> <i>Código de identificación de instrumentos. ISA-S5.1-84 (R-1992)</i> .....                | 39          |
| <b>Tabla 9</b> <i>Representación gráfica de señales en ISA 5.1</i> .....                                  | 41          |
| <b>Tabla 10</b> <i>Símbolos generales de funciones o de instrumentos</i> .....                            | 42          |
| <b>Tabla 11</b> <i>Símbolos de cuerpos de válvulas de control y de persianas</i> .....                    | 42          |
| <b>Tabla 12.1</b> <i>Símbolos de actuadores</i> .....   | 43          |
| <b>Tabla 12.2</b> <i>Símbolos de actuadores</i> .....   | 43          |
| <b>Tabla 13</b> <i>Abreviaciones para Instrumentos y Equipos de Proceso de la planta.</i> .....           | 76          |
| <b>Tabla 14</b> <i>Lazos de control, Instrumentos y Equipos de Proceso del P&amp;ID1.</i> .....           | 79          |
| <b>Tabla 15</b> <i>Descripción de los Instrumentos y Equipos de Proceso del P&amp;ID1.</i> .....          | 80          |
| <b>Tabla 16</b> <i>Lazos de control, Instrumentos y Equipos de Proceso del P&amp;ID2.</i> .....           | 84          |
| <b>Tabla 17</b> <i>Descripción de los Instrumentos y Equipos de Proceso del P&amp;ID2.</i> .....          | 85          |
| <b>Tabla 18</b> <i>Instrumentos y Equipos de Proceso del P&amp;ID3</i> .....                              | 90          |
| <b>Tabla 19</b> <i>Descripción de los Instrumentos y Equipos de Proceso del P&amp;ID3.</i> .....          | 91          |
| <b>Tabla 20</b> <i>Instrumentos y Equipos de Proceso del P&amp;ID4</i> .....                              | 94          |
| <b>Tabla 21</b> <i>Descripción de los Instrumentos y Equipos de Proceso del P&amp;ID4.</i> .....          | 96          |
| <b>Tabla 22</b> <i>Partes del tablero principal</i> .....   | 98          |
| <b>Tabla 23</b> <i>Función de los instrumentos y lazos de control</i> .....                               | 99          |
| <b>Tabla 24</b> <i>Requisitos de Operación y Mejoramiento de la Planta de Aguardiente en la FLA</i> ..... | 109         |
| <b>Tabla 25</b> <i>Eventos vialmente automatizables del diagrama de flujo de proceso</i> .....            | 111         |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 26</b> <i>Instrumentos, actuadores o equipos de proceso propuestos para automatizar llenado de tanque de agua.</i> .....                    | 112 |
| <b>Tabla 27</b> <i>Instrumentos, actuadores o equipos de proceso propuestos para automatizar llenado de tanques de Etanol.</i> .....                 | 113 |
| <b>Tabla 28</b> <i>Instrumentos, actuadores o equipos de proceso propuestos para automatizar la fabricación de Jarabe.</i> .....                     | 115 |
| <b>Tabla 29</b> <i>Instrumentos, actuadores o equipos de proceso propuestos para automatizar la fabricación de Esencia.</i> .....                    | 115 |
| <b>Tabla 30</b> <i>Instrumentos, actuadores o equipos de proceso propuestos para automatizar la fabricación de productos no tradicionales.</i> ..... | 116 |
| <b>Tabla 31</b> <i>Medidores de nivel de líquidos.</i> .....   | 132 |
| <b>Tabla 32</b> <i>Detalles de la eMT8I21XE.</i> .....   | 162 |
| <b>Tabla 33</b> <i>Partes de la pieza de la unidad principal tipo XBC-H.</i> .....   | 170 |
| <b>Tabla 34</b> <i>Registros de datos Modbus en un Variador H100.</i> .....  | 173 |

## Lista de figuras

|   | <b>Pag.</b> |
|---|-------------|
| <b>Figura 1.</b> Definiciones de los instrumentos.....  | 9           |
| <b>Figura 2.</b> <i>Medida de caudal con varios instrumentos</i> .....                        | 11          |
| <b>Figura 3.</b> <i>Medida de caudal con varios instrumentos</i> .....                        | 12          |
| <b>Figura 4.</b> <i>Comunicaciones en Serie</i> .....   | 17          |
| <b>Figura 5.</b> <i>Elementos mecánicos de presión</i> .....                                  | 19          |
| <b>Figura 6.</b> <i>Características de elementos electromecánicos</i> .....                   | 20          |
| <b>Figura 7.</b> <i>Características de los elementos de vacío</i> .....                       | 20          |
| <b>Figura 8.</b> <i>Instrumentos de presión y campo de aplicación</i> .....                   | 21          |
| <b>Figura 9.</b> <i>Principios de medida de los medidores de caudal.</i> .....                | 22          |
| <b>Figura 10.</b> <i>Disposición de las tomas de presión diferencial.</i> .....               | 23          |
| <b>Figura 11.</b> <i>Placa-orificio, tobera y tubo Venturi</i> .....                          | 23          |
| <b>Figura 12.</b> <i>Balanzas y Básculas</i> .....  | 28          |
| <b>Figura 13.</b> <i>Válvula de control típica</i> .....                                      | 29          |
| <b>Figura 14.</b> <i>Tipos de válvulas de control</i> .....                                   | 32          |
| <b>Figura 15.</b> <i>Entorno Plant 3D</i> .....   | 44          |
| <b>Figura 16.</b> <i>Sistema de control en intercambiador de Calor</i> .....                  | 46          |
| <b>Figura 17.</b> <i>Niveles jerárquicos y sus funciones en un sistema automatizado</i> ..... | 49          |
| <b>Figura 18.</b> <i>Sistema en lazo cerrado sujeto a perturbaciones</i> .....                | 50          |
| <b>Figura 19.</b> <i>Sistema SCADA Típico</i> .....   | 52          |
| <b>Figura 20.</b> <i>Ilustración de sistema de control Centralizado</i> .....                 | 53          |
| <b>Figura 21.</b> <i>Ilustración de sistemas de control distribuido</i> .....                 | 54          |
| <b>Figura 22.</b> <i>Requisitos mínimos que debe tener una HMI</i> .....                      | 55          |
| <b>Figura 23.</b> <i>Pirámide de las comunicaciones</i> .....                                 | 56          |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 24.</b> <i>Normas para las comunicaciones</i> .....  | 58  |
| <b>Figura 25.</b> <i>Modelo OSI</i> .....  | 59  |
| <b>Figura 26.</b> <i>Estructura de red en forma de punto a punto</i> .....                                       | 60  |
| <b>Figura 27.</b> <i>Estructura de red en forma de bus</i> .....   | 61  |
| <b>Figura 28.</b> <i>Estructura de red en forma de árbol</i> .....   | 68  |
| <b>Figura 29.</b> <i>Estructura de red en forma de anillo</i> .....  | 63  |
| <b>Figura 30.</b> <i>Estructura de red en forma de estrella</i> .....  | 64  |
| <b>Figura 31.</b> <i>Ilustración temporal del desarrollo de la automatización</i> .....                          | 65  |
| <b>Figura 32.</b> <i>Pirámide de Automatización e Industria 4.0</i> .....  | 65  |
| <b>Figura 33.</b> <i>Distribución de zonas en el bloque de preparación, (medidas en metros)</i> .....            | 71  |
| <b>Figura 34.</b> <i>Zonas de interés para el desarrollo de la propuesta de automatización</i> .....             | 73  |
| <b>Figura 35</b> <i>Dimensiones de las zonas de interés</i> .....  | 74  |
| <b>Figura 36</b> <i>Diagrama de Flujo de proceso</i> .....   | 75  |
| <b>Figura 37</b> <i>P&amp;ID 1, Suministro de Alcohol y Agua</i> .....   | 77  |
| <b>Figura 38</b> <i>P&amp;ID 2, Fabricación de Jarabe y Esencia</i> .....  | 82  |
| <b>Figura 39</b> <i>P&amp;ID 3, Preparación de Producto</i> .....  | 88  |
| <b>Figura 40</b> <i>P&amp;ID 4, trasiegos y depósito</i> .....   | 93  |
| <b>Figura 41</b> <i>Sistema de Control</i> .....   | 97  |
| <b>Figura 42</b> <i>Tablero de control Principal</i> .....   | 98  |
| <b>Figura 43</b> <i>Diagrama de flujo automático para la planta en función de los requisitos de la FLA</i> ..... | 110 |
| <b>Figura 44</b> <i>Medidor de Sonda</i> .....   | 119 |
| <b>Figura 45</b> <i>Nivel de cristal</i> .....   | 119 |
| <b>Figura 46</b> <i>Instrumentos de nivel de flotador (directo y magnético)</i> .....                            | 121 |
| <b>Figura 47</b> <i>Instrumentos de nivel por palpador servooperado</i> .....                                    | 121 |
| <b>Figura 48</b> <i>Medidor de nivel magnetoestrictivo</i> .....   | 122 |
| <b>Figura 49</b> <i>Medidor manométrico</i> .....  | 123 |
| <b>Figura 50</b> <i>Medidor de tipo burbujeo</i> .....   | 123 |
| <b>Figura 51</b> <i>Tipos de diafragmas</i> .....  | 124 |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 52</b> <i>Medidor de nivel de desplazamiento</i> .....                                   | 125 |
| <b>Figura 53</b> <i>Medidor de nivel resistivo/conductivo</i> .....                                | 126 |
| <b>Figura 54</b> <i>Medidor de capacidad</i> .....   | 127 |
| <b>Figura 55</b> <i>Transductor ultrasónico de nivel</i> .....                                     | 127 |
| <b>Figura 56</b> <i>Transductor ultrasónico de nivel adentro de un tanque</i> .....                | 129 |
| <b>Figura 57</b> <i>Medidor de nivel láser</i> .....   | 130 |
| <b>Figura 58</b> <i>Presión diferencial creada por la placa orificio</i> .....                     | 134 |
| <b>Figura 59</b> <i>Tipos de elementos</i> .....   | 134 |
| <b>Figura 60</b> <i>Tubo de Pitot</i> .....  | 135 |
| <b>Figura 61</b> <i>Tubo de Annubart</i> .....   | 136 |
| <b>Figura 62</b> <i>Placa-orificio variable</i> .....  | 136 |
| <b>Figura 63</b> <i>Medidor de codo</i> .....  | 137 |
| <b>Figura 64</b> <i>Medidor de Transmisores de fuelle y de diafragma</i> .....                     | 138 |
| <b>Figura 65</b> <i>Rotámetro</i> .....  | 139 |
| <b>Figura 66</b> <i>Medidor de Turbina</i> .....   | 139 |
| <b>Figura 67</b> <i>Medición de caudal por ultrasonidos</i> .....                                  | 140 |
| <b>Figura 68</b> <i>Medidor de placa</i> .....   | 141 |
| <b>Figura 69</b> <i>Medidor magnético de caudal</i> .....  | 143 |
| <b>Figura 70</b> <i>Medidor de disco basculante</i> .....  | 144 |
| <b>Figura 71</b> <i>Galga extensiométrica</i> .....  | 146 |
| <b>Figura 72</b> <i>Sistemas de medidas de peso</i> .....  | 147 |
| <b>Figura 73</b> <i>Válvula de control con Feedback</i> .....                                      | 148 |
| <b>Figura 74</b> <i>Variadores de frecuencia</i> .....   | 149 |
| <b>Figura 75</b> <i>Grupos de tareas en el sistema de control con estructura distribuida</i> ..... | 150 |
| <b>Figura 76</b> <i>Controladores ControlLogix 5580</i> .....                                      | 153 |
| <b>Figura 77</b> <i>Sistemas de control CompactLogix™ 5380</i> .....                               | 154 |
| <b>Figura 78</b> <i>Sistemas de control Micro800</i> .....   | 155 |
| <b>Figura 79</b> <i>Terminales Gráficos</i> .....  | 155 |
| <b>Figura 80</b> <i>Objetivo Industria 4.0</i> .....   | 156 |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 81</b> <i>Familia S7-1500</i> .....  | 158 |
| <b>Figura 82</b> <i>Familia S7-1200</i> .....  | 159 |
| <b>Figura 83</b> <i>XGK, XGI CPU</i> .....   | 159 |
| <b>Figura 84</b> <i>Variadores de Varias Potencias de LSIS</i> .....   | 160 |
| <b>Figura 85</b> <i>Ofertas de la serie eMT</i> .....  | 161 |
| <b>Figura 86</b> <i>eMT8121XE</i> .....  | 162 |
| <b>Figura 87</b> <i>Múltiple conexión de dispositivos con cMT-SVR</i> .....                                      | 163 |
| <b>Figura 88</b> <i>Comunicación Ethernet con periferia descentralizada</i> .....                                | 166 |
| <b>Figura 89</b> <i>XGT series Comunicación</i> .....  | 167 |
| <b>Figura 90</b> <i>Descripción de interfaz BootpServer</i> .....  | 168 |
| <b>Figura 91</b> <i>Asignación de datos en protocolo Ethernet IP</i> .....                                       | 169 |
| <b>Figura 92</b> <i>Nombre de la pieza de la unidad principal tipo XBC-H</i> .....                               | 170 |
| <b>Figura 93</b> <i>Topología bus para Comunicación Serial</i> .....   | 171 |
| <b>Figura 94</b> <i>Requisitos de esclavos para Comunicación Serial</i> .....                                    | 172 |
| <b>Figura 95</b> <i>Datos a transmitir en Modbus</i> .....   | 172 |
| <b>Figura 96</b> <i>Topología de control entre HMIs y PLC</i> .....  | 174 |
| <b>Figura 97</b> <i>Página de matriz de datos enviadas por Modbus TCP desde el PLC al PC</i> .....               | 174 |
| <b>Figura 98</b> <i>Hojas de cálculo para cada línea de envasado, inventarios en tanque y recuperación</i> ..... | 175 |
| <b>Figura 99</b> <i>Historial generado automáticamente por cada operación de envasado</i> .....                  | 175 |
| <b>Figura 100</b> <i>Historial generado automáticamente para los inventarios en tanques</i> .....                | 176 |
| <b>Figura 101</b> <i>Topología de control</i> .....  | 177 |
| <b>Figura 102</b> <i>Pantalla Principal de la HMI</i> .....  | 178 |
| <b>Figura 103</b> <i>Nivel de acceso de la HMI</i> .....   | 179 |
| <b>Figura 104</b> <i>Preparación en Automático</i> .....   | 180 |
| <b>Figura 105</b> <i>Trasiego automático a los diferentes tanques de depósito</i> .....                          | 181 |
| <b>Figura 106</b> <i>Interpretación de estado de las válvulas</i> .....  | 182 |
| <b>Figura 107</b> <i>Interpretación de estado de las bombas</i> .....  | 182 |
| <b>Figura 108</b> <i>Tanques auxiliares en HMI</i> .....   | 183 |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 109</b> <i>Preparación no tradicional.</i> .....   | 184 |
| <b>Figura 110</b> <i>Trasiegos en HMI.</i> .....   | 185 |
| <b>Figura 111</b> <i>Trasiegos a línea 1</i> .....   | 186 |
| <b>Figura 112</b> <i>Trasiegos a línea 4</i> .....   | 186 |
| <b>Figura 113</b> <i>Trasiegos a línea 3.</i> .....  | 187 |
| <b>Figura 114</b> <i>Trasiegos a línea Tetrapack.</i> .....  | 187 |
| <b>Figura 115</b> <i>Trasiegos a línea Tetrapack sin Azucarl.</i> .....  | 188 |
| <b>Figura 116</b> <i>Tanques de depósito Existentes</i> .....  | 188 |
| <b>Figura 117</b> <i>Sistema de Inventarios.</i> .....   | 189 |
| <b>Figura 118</b> <i>Sistema de Recuperación.</i> .....  | 190 |
| <b>Figura 119</b> <i>Parámetros de operación</i> .....   | 191 |
| <b>Figura 120</b> <i>Conexión de red del cMT.</i> .....  | 192 |
| <b>Figura 121</b> <i>Interfaz del cMT-SVR</i> .....  | 193 |
| <b>Figura 122</b> <i>Control de acceso en cMT-SVR.</i> .....   | 193 |
| <b>Figura 123</b> <i>Interfaz HMI virtualizada desde un computador mediante cMT-Viewer</i> .....                               | 194 |
| <b>Figura 124</b> <i>Interfaz HMI virtualizada desde un Smartphone android mediante cMT-Viewer</i> .....                       | 194 |
| <b>Figura 125</b> <i>Apertura de válvula desde HMI virtual.</i> .....  | 195 |
| <b>Figura 126</b> <i>Monitoreo de Transmisor indicador de nivel en tanque 15 desde HMI virtual.</i> .....                      | 195 |
| <b>Figura 127</b> <i>Monitoreo y control de variador para bomba de tanques de depósito de alcohol, desde HMI virtual</i> ..... | 196 |
| <b>Figura 128</b> <i>Alarmas visuales en instrumentos y elementos finales de control, desde HMI virtual.</i> .....             | 196 |
| <b>Figura 129</b> <i>Registro histórico de alarmas, vistos desde HMI virtual</i> .....   | 197 |

# 1. Introducción

En este proyecto se diseña una propuesta de automatización a la planta de Aguardiente de la Fábrica de Licores de Antioquia (FLA), esto para mejorar las condiciones de operación, producción, fiabilidad y seguridad en la misma. Debido al aumento en la demanda de productos de bebidas alcohólicas ofertadas por la FLA y al déficit de ergonomía en cuestión de software e interacción del operario con el SCADA, junto la fatiga que los turnos de trabajo pueden generar, la FLA decide mejorar todas las condiciones mencionadas anteriormente, bajo algunos requisitos de operación, administrativos y de Tecnología a usar.

Debido a que no se conoce con precisión la documentación acerca del P&ID de la planta, se decide diseñar el P&ID representando toda la información de interés bajo la norma ISA 5.1. De esta manera se estandariza la información bajo normas flexibles para su posterior análisis, cabe destacar que cada proceso, procedimiento o evento que ocurre durante la producción en la planta es candidato a ser automatizable en la medida en que dependa de los operarios y la instrumentación adecuada para dicho fin.

El tipo de sistema de control se ira construyendo en base a las ubicaciones y funcionalidades de los nuevos instrumentos, actuadores y equipos de proceso, ya que con estos dos criterios se resuelve la pregunta, ¿sistema de control Centralizado o Descentralizado? Una vez se define el tipo de sistema de control se elabora la red de comunicaciones industriales.

Los diversos fabricantes de tecnologías para la automatización e Internet de las Cosas (IOT), ofrecen gran variedad en soluciones para las diferentes situaciones que plantea un entorno industrial, por este motivo se tendrán en cuenta varios fabricantes inclinando la balanza a la relación beneficio/ facilidad de implementación, teniendo en cuenta los requisitos que la FLA decida implementar.

Una vez seleccionado los elementos anteriormente mencionados, se procede a diseñar el sistema de control y adquisición de datos (SCADA), presentando una simulación del mismo para ilustrar los procedimientos principales o generales de la planta. De esta manera se lleva a cabo el desarrollo y presentación del sistema planteado en la propuesta.

## 1.1 Justificación

La Fábrica de Licores de Antioquia FLA (1920) es una empresa colombiana con más de cien años elaborando licores y alcoholes para el mercado tanto nacional como internacional. [1]. La planta de elaboración de Aguardiente Antioqueño de la FLA, posee 7 etapas a nivel general: A) Llenado de dos tanques de etanol al 96% B) Llenado de Tanque de agua de la línea general C) Llenado de tanque con agitador obteniendo una Jarabe y Esencia D) Preparación del aguardiente E) Transporte y almacén del aguardiente a 10 tanques de depósito F) Preparación de cremas y bebidas no tradicionales. G) Transporte de los productos a la correspondiente línea de envasado (5 líneas de envasado).

Cada una de las etapas presenta ciertas carencias desde el contexto de la automatización; instrumentos indicadores, ciegos y pilotos son los medios de alerta que se usan para identificar el llenado y/o vaciado de un tanque, del mismo modo la mayoría de los eventos presentes en la producción dependen en gran parte de los actuadores accionados manualmente por los operarios fundamentándose en la pericia y experiencia de los mismos, lo cual da hincapié a posibles errores humanos que afectan directamente a la calidad de la producción y riesgos al capital humano que opera la planta; además hay riesgos de incendio y explosión, ya que la materia prima fundamental para el proceso de fabricación de Aguardiente es el Etanol al 96% (quien es altamente inflamable) y dado que existe un sistema eléctrico, este se ve expuesto a incendios donde cumplen un papel de peligrosidad las bodegas de almacén: de botellas de vidrio, Ron añejo y Aguardiente en barriles de roble blanco; por consiguiente la planta puede llegar a ser un lugar de trabajo altamente peligroso. Los últimos incendios han sido el 19 de enero del 2020 y el 7 de febrero del 2017. [7,8]

Se propone un plan de automatización mediante un sistema SCADA en las etapas: A, B, C, D, E, F y G donde se analizará el mercado en busca de las herramientas e instrumentación de varios fabricantes buscando la relación costo/beneficio, para establecer el sistema que brinde mayor eficiencia, rendimiento y seguridad al mejorar la coherencia del proceso, con la condición de avanzar hacia la optimización de recursos y mitigar riesgos de seguridad a propósito de ofrecer confiabilidad y calidad del producto final, de modo que, es preciso contrastar los resultados de los riesgos que afectan al capital humano (Físicos, Químicos, Psicológicos y fatiga por el bajo nivel en la ergonomía industrial) y los riesgos en las instalaciones industriales (Eléctricos, Estructurales, Fatiga mecánica, Fatiga térmica y el ruido).

Si se plantea una situación de emergencia dentro de la planta en la situación actual (que depende en gran medida del capital humano para su funcionamiento) y la propuesta de automatización, donde en definitiva se evidencia en justa razón que los niveles de seguridad

---

y confiabilidad de la propuesta logran inferir en los resultados, logrando evitar situaciones catastróficas, debido a que el sistema SCADA monitorea y controla automáticamente el proceso atendiendo a los estados de alarma presentes durante la producción.

---

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Proponer un sistema de automatización en el proceso de producción de aguardiente en la Fábrica de Licores de Antioquia, localizada en Itagüí, Antioquia.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Categorizar las etapas de producción de la planta.
- Crear el P&ID de las etapas principales de producción.
- Identificar eventos en cada etapa que califiquen para ser automatizados.
- Designar la instrumentación adecuada en cada evento.
- Ilustrar el SCADA del proceso general.

## **2. Marco Teórico**

## 2.1 Fabricación de Aguardiente

### 2.1.1 Fábrica de Licores de Antioquia.

Con 100 años de experiencia elaborando los mejores licores en Colombia, convierten a la Fábrica de Licores de Antioquia en la número uno del país con gran proyección internacional. Una de las últimas actualizaciones fuertes que se ha desarrollado en la FLA, fue con la Inauguración Planta Envasadora. La Fábrica de Licores de Antioquia FLA (1920), desde su constitución ha instaurado tecnología que permite optimizar la manufactura de producción que impacta directamente en la calidad y capacidad de producción; se ejemplifica cuando en 1934 se adquiere la primera destiladora con una capacidad de más de 2000 botellas diarias, desde entonces la FLA ha demostrado que al invertir en tecnología para sus instalaciones, ha logrado incursionar en diferentes categorías de bebidas alcohólicas, hasta llegar a ser catalogada por Goodwill Comunicaciones como una de las empresas más prestigiosas del país ocupando el primer lugar en el sector de bebida. [1]

### 2.1.2 Planta de Aguardiente

La planta de Aguardiente posee dos tanques principales de 28000 L para preparar cualquiera de los 4 productos que habitualmente producen:

*Aguardiente Antioqueño:* Es elaborado con Alcoholes extraneutros, esencias naturales de anís, azúcar refinada de alta pureza y agua potable tratada por filtros de carbón, todos estos insumos mezclados conjugan el sabor del Aguardiente Antioqueño , el cual presenta notas dulces y alcohólicas ligeramente suaves, que mezcladas lo hacen poseedor de un delicioso y placentero sabor característico. [2]

*Aguardiente Antioqueño Sin Azúcar:* Es elaborado con Alcoholes extraneutros, esencias naturales de anís, azúcar refinada de alta pureza y agua potable tratada por filtros de carbón, todos estos insumos mezclados conjugan el sabor del Aguardiente Antioqueño SIN AZÚCAR , el cual presenta notas agradables ligeramente suavizadas, que aunadas logran un cálido e incomparable sabor y aroma. [2]

*Aguardiente Antioqueño 24° Sin Azúcar:* Es un descendiente de la familia Antioqueño de gran suavidad. Elaborado con Alcoholes extra puros, tiene unas notas dulces, ligeramente suaves que lo hacen poseedor de un delicioso y placentero sabor, que al mezclarse con sus componentes naturales aromáticos logra un cálido e incomparable equilibrio entre aroma y

sabor. Su apariencia incolora, translúcida y brillante, refleja su carácter natural y personalidad propia. [2]

*Aguardiente Antioqueño Real sin Azúcar*: Una bebida espirituosa de inigualable placer sensorial y único en su categoría Premium. Con una apariencia y color natural, de matices grises de perla que se combinan con un blanco ambarino tenue, haciéndolo único frente a cualquier otro aguardiente en su categoría. Su sabor proviene de los toneles de roble americano donde reposa y alcanza matices muy suaves y delicados. [2]

Cada categoría de Aguardiente conlleva un flujo de proceso similar, es por esta razón que se usa la misma planta para producir los diferentes tipos de productos además de producir bebidas no tradicionales, como lo suelen ser las cremas. Estos productos son almacenados en 10 tanques de depósito, además de tener un sistema auxiliar de tanques que se encargan de preparar la receta de cada producto, estos tanques son llamados: Jarabe y Esencia. Cabe destacar que antes de enviar la preparación a depósito, esta es llevada al área de laboratorio para validar la concentración de alcohol, PH y Acides para validar la calidad del producto. Una vez en depósito, estos productos son enviados hacia el área de envasado donde se preparan para envasarse y empacarse para ser listo a ser comercializado. [3]

## 2.2 Instrumentación Industrial

Los instrumentos de control están universalmente aceptados. Hoy en día, es inimaginable la existencia de una industria moderna sin instrumentos. Y, aunque existiera, las necesidades, que crea el mercado, de obtener productos terminados con las garantías de calidad exigidas y en la cantidad suficiente para que el precio obtenido sea competitivo, forzarían a modificar esta hipotética industria, incluyendo en la transformación subsiguiente la automatización del proceso mediante los instrumentos de medición y control. En la industria se presenta pues, repetidamente, la necesidad de conocer y entender el funcionamiento de los instrumentos y el papel que juegan dentro del control del proceso. [4]

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos: la fabricación de los productos derivados del petróleo, de los productos alimenticios, la industria cerámica, las centrales generadores de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la industria textil, etc. [4]

En todos estos procesos, es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el pH, la conductividad, la velocidad, la humedad, el punto de rocío, etc. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar.

Los procesos industriales a controlar pueden dividirse ampliamente en dos categorías: procesos continuos y procesos discontinuos. En general, en ambos tipos deben mantenerse las variables (presión, caudal, nivel, temperatura, etc.), bien en un valor deseado fijo, bien en un valor variable con el tiempo de acuerdo con una relación predeterminada, o bien guardando una relación determinada con otra variable.

### 2.2.1 Definiciones en Control

Los instrumentos de control empleados en las industrias de proceso tales como químicos, petroquímicos, alimenticios, metalúrgicos, energética, textil, papel, etc., tienen su propia terminología; los términos empleados definen las características propias de medida y de control y las está cas y dinámicas de los diversos instrumentos utilizados: [4]

- Indicadores, registradores, controladores, transmisores y válvulas de control.

La terminología empleada se ha unificado con el fin de que los fabricantes, los usuarios y los organismos o entidades que intervienen directa o indirectamente en el campo de la instrumentación industrial empleen el mismo lenguaje. Las definiciones de los términos empleados se relacionan con las sugerencias hechas por ANSI/ISA-S51.1-1979 (R 1993) aprobadas el 26 de mayo de 1995. Se representan en la gura *X* y son las siguientes (Figuran entre paréntesis los términos ingleses equivalentes). [4]

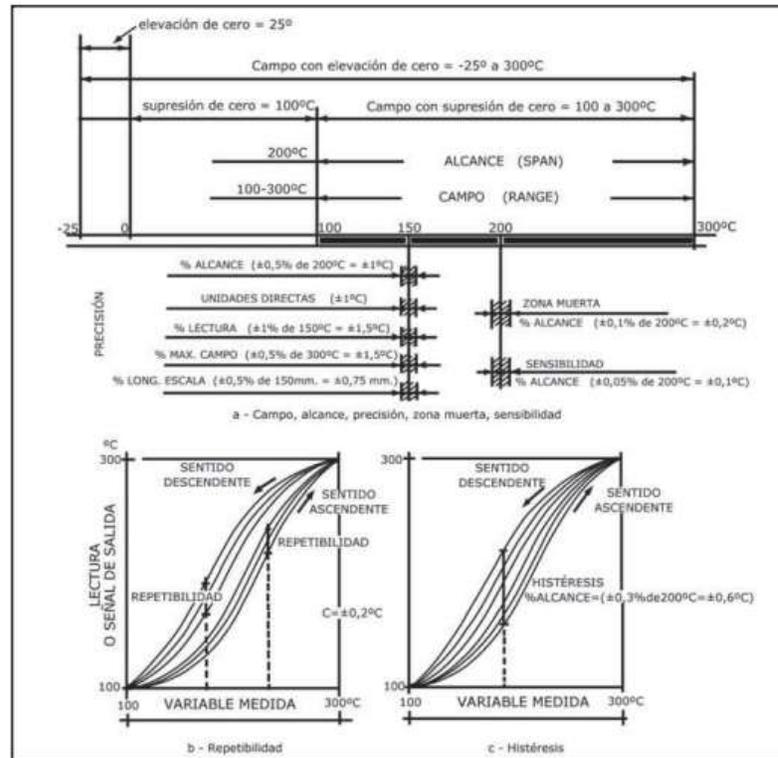
#### ▪ Campo de Medida

El campo de medida (range) es el espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida, de recepción o de transmisión del instrumento. Viene expresado estableciendo los dos valores extremos. Ejemplo: un manómetro de intervalo de medida 0- 10 bar, un transmisor de presión electrónico de 0-25 bar con señal de salida 4-20 mA c.c. o un instrumento de temperatura de 100-300 °C. Otro término derivado es el de dinámica de medida o rangeabilidad (rangeability), que es el cociente entre el valor de medida superior e inferior de un instrumento. Por ejemplo, una válvula de control lineal que regule linealmente el caudal desde el 2% hasta el 100% de su carrera tendrá una rangeabilidad de  $100/2 = 50$ . [4]

Para describir las características anteriores, se ilustra la figura 1.

**Figura 1**

*Definiciones de los instrumentos. [4]*



▪ **Alcance**

El alcance (span) es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento. En los ejemplos anteriores es de 10 bar para el manómetro, de 25 bar para el transmisor de presión y de 200 ° C para el instrumento de temperatura. [4]

▪ **Error**

El error de la medida es la desviación que presentan las medidas prácticas de una variable de proceso con relación a las medidas teóricas o ideales, como resultado de las imperfecciones de los aparatos y de las variables parásitas que afectan al proceso. [4]

**Ecuación 1**

*Ecuación de error en un instrumento. [4]*

$$Error = Valor \text{ leído en el instrumento} - Valor \text{ ideal de la variable medida}$$

El error absoluto es:

**Ecuación 2**

*Ecuación de error absoluto en un instrumento. [4]*

$$\text{Error absoluto} = \text{Valor leído} - \text{Valor verdadero}$$

El error relativo representa la calidad de la medida y es:

**Ecuación 3**

*Ecuación de error relativo en un instrumento. [4]*

$$\text{Error relativo} = \text{Error absoluto} / \text{Error verdadero}$$

Si el proceso está en condiciones de régimen permanente existe el llamado error estático. En condiciones dinámicas el error varía considerablemente debido a que los instrumentos tienen características comunes a los sistemas físicos: absorben energía del proceso y esta transferencia requiere cierto tiempo para ser transmitida, lo cual da lugar a retardos en la lectura del aparato. Siempre que las condiciones sean dinámicas, existirá en mayor o menor grado el llamado *error dinámico* (diferencia entre el valor instantáneo y el indicado por el instrumento): su valor depende del tipo de fluido del proceso, de su velocidad, del elemento primario (termopar, bulbo y capilar), de los medios de protección (vaina), etc. El error medio del instrumento es la media aritmética de los errores en cada punto de la medida determinados para todos los valores crecientes y decrecientes de la variable medida. [4]

Cuando una medición se realiza con la participación de varios instrumentos, colocados unos a continuación de otros, el valor final de la medición estará constituido por los errores inherentes a cada uno de los instrumentos. Si el límite del error relativo de cada instrumento es  $\pm a$ ,  $\pm b$ ,  $\pm c$ ,  $\pm d$ , etc., el máximo error posible en la medición será la suma de los valores anteriores, es decir:

**Ecuación 4**

*Máximo error posible en una medida. [4]*

$$+ (a + b + c + d + \dots)$$

Ahora bien, como es improbable que todos los instrumentos tengan al mismo tiempo su error máximo en todas las circunstancias de la medida, suele tomarse como error total de una medición la raíz cuadrada de la suma algebraica de los cuadrados de los errores máximos de los instrumentos, es decir, la expresión:

**Ecuación 5**

*Ecuación de error total en un instrumento. [4]*

$$\pm\sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + \dots}$$

Por ejemplo, el error obtenido al medir un caudal con un diafragma (véase la figura 2), un transmisor electrónico de 4-20 mA c.c., un receptor y un integrador electrónicos es de:

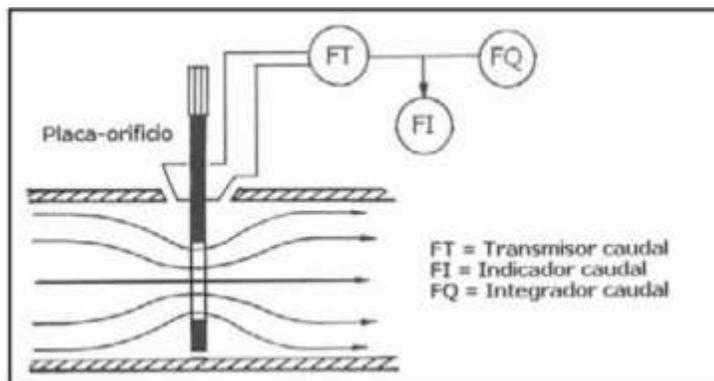
**Tabla 1**

*Error de medida de caudal. [4]*

| Elemento de Lazo                  | Errores  |
|-----------------------------------|--|
| Diafragma                         | 2%   |
| Transmisor Electrónico            | 0.5%   |
| Receptor Electrónico              | 0.5%   |
| Integrador Electrónico            | 0.5%   |
| <i>Error Total de la Medición</i> | $\pm\sqrt{2^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 0.5^2} = 2.18\%$ |

**Figura 2**

*Medida de caudal con varios instrumentos. [4]*



▪ **Incertidumbre de la medida**

Cuando se realiza una operación de calibración, se compara el instrumento a calibrar con un aparato patrón para averiguar si el error (diferencia entre el valor leído por el instrumento y el verdadero valor medido con el aparato patrón) se encuentra dentro de los límites dados por el fabricante del instrumento. Como el aparato patrón no permite medir exactamente el valor verdadero (también tiene un error) y como además en la operación de comparación intervienen diversas fuentes de error, no es posible caracterizar la medida por un único valor, lo que da lugar a la llamada incertidumbre de la medida. [4]

Entre las fuentes de incertidumbre se encuentran:

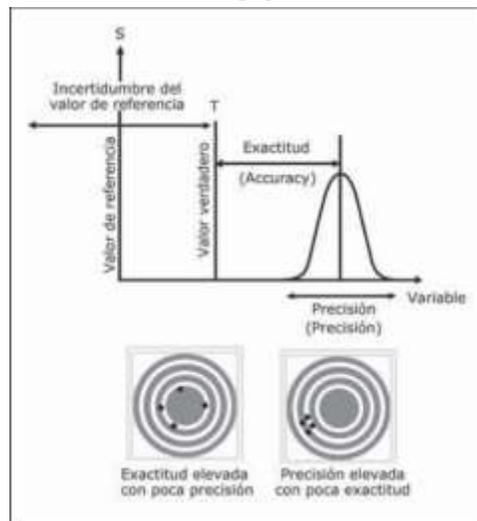
- ” Influencia de las condiciones ambientales.
- Lecturas diferentes de instrumentos analógicos realizadas por los operadores.
- Variaciones en las observaciones repetidas de la medida en condiciones aparentemente idénticas.
- Valores inexactos de los instrumentos patrón.
- Muestra del producto no representativa. Por ejemplo, en la medida de temperatura con un termómetro patrón de vidrio, la masa del bulbo cambia la temperatura de la muestra del proceso cuya temperatura desea medirse.” [4]

### ▪ Exactitud

La exactitud (véase la figura 3) es la cualidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas próximas al valor verdadero de la magnitud medida. En otras palabras, es el grado de conformidad de un valor indicado a un valor estándar aceptado o valor ideal, considerando este valor ideal como si fuera el verdadero. El grado de conformidad independiente es la desviación máxima entre la curva de calibración de un instrumento y una curva característica especificada, posicionada de tal modo tal que se reduce al mínimo dicha desviación máxima. La exactitud (accuracy) define los límites de los errores como dos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio durante un período de tiempo determinado (normalmente 1 año). La exactitud se da en términos de inexactitud, es decir, un instrumento de temperatura de 0-100 °C con temperatura del proceso de 100 °C y que marca 99,98 °C se aproxima al valor real en 0,02 °C, o sea tiene una inexactitud de 0,02 °C. [4]

### Figura 3

*Medida de caudal con varios instrumentos. [4]*



Hay que señalar que los valores de la exactitud de un instrumento se consideran, en general, establecidos para el usuario, es decir, son los proporcionados por los fabricantes de los instrumentos. Sin embargo, estos últimos también suelen considerar los valores de calibración en fábrica y de inspección. Por ejemplo, un instrumento que en fábrica tiene una exactitud de calibración de  $\pm 0,8\%$ , en inspección le corresponde  $\pm 0,9\%$  y la dada al usuario es  $\pm 1\%$ . Con ello, se pretende tener un margen de seguridad para compensar los efectos de las diferencias de apreciación de las personas que efectúan la calibración, las diferentes exactitudes de los instrumentos de medida utilizados, las posibles alteraciones debidas al desplazamiento del instrumento de un punto a otro, los efectos ambientales y de envejecimiento, etc. [4]

### ▪ **Precisión**

La precisión (precisión) es la cualidad de un instrumento por la que ende a dar lecturas muy próximas unas a otras, es decir, es el grado de dispersión de las mismas. Un instrumento puede tener una pobre exactitud, pero una gran precisión. Por ejemplo, un manómetro de intervalo de medida de 0 a 10 bar, puede tener un error de cero considerable marcando 2 bar sin presión en el proceso y diversas lecturas de 7,049, 7,05, 7,051, 7,052 efectuadas a lo largo del tiempo y en las mismas condiciones de servicio, para una presión del proceso de 5 bar. Tendrá un error práctico de 2 bar, pero los valores leídos estarán muy próximos entre sí con una muy pequeña dispersión máxima de  $7,052 - 7,049 = 0,003$ , es decir, el instrumento tendrá una gran precisión. [4]

Por lo tanto, los instrumentos de medida estarán diseñados por los fabricantes para que sean precisos, y como periódicamente se descalibran, deben reajustarse para que sean exactos. A señalar que el término precisión es sinónimo de repetibilidad. [4]

### ▪ **Zona muerta**

La zona muerta (dead zone o dead band) es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir, que no produce su respuesta. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida. [4]

### ▪ **Sensibilidad**

La sensibilidad (sensitivity) es la razón entre el incremento de la señal de salida o de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo. Por ejemplo, si en un transmisor electrónico de 0-10 bar, la presión pasa de 5 a 5,5 bar y la señal de salida de 11,9 a 12,3 mA c.c., la sensibilidad es el cociente: [4]

**Ecuación 6**

*Relación de sensibilidad en señales eléctricas. [4]*

$$\frac{\left(\frac{12.3 - 11.9}{20 - 4}\right)}{\left(\frac{5.5 - 5}{10}\right)} = \pm 0.5 \text{mA c. c./bar}$$

**▪ Repetibilidad**

“La repetibilidad (repeatability) es la capacidad de reproducción de las posiciones de la pluma o del índice o de la señal de salida del instrumento, al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación, recorriendo todo el campo. La repetibilidad es sinónimo de precisión. A mayor repetibilidad, es decir, a un menor valor numérico (por ejemplo, si en un instrumento es 0,05% y en otro es 0,005%, este segundo tendrá más repetibilidad), los valores de la indicación o señal de salida estarán más concentrados, es decir, habrá menos dispersión y una mayor precisión.

La repetibilidad se expresa en tanto por ciento del alcance; un valor representativo es el de  $\pm 0,1\%$ . Nótese que el término repetibilidad no incluye la histéresis (véase la figura 7). Para determinarla, el fabricante comprueba la diferencia entre el valor verdadero de la variable y la indicación o señal de salida del instrumento recorriendo todo el campo, y partiendo, para cada determinación, desde el valor mínimo del campo de medida. De este modo, en el caso de un manómetro puede haber anotado los siguientes datos relacionados.” [4]

**▪ Histéresis**

La histéresis (*hysteresis*) es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el índice o la pluma del instrumento o la señal de salida para el mismo valor cualquiera del campo de medida, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente. Se expresa en tanto por ciento del alcance de la medida. Por ejemplo: si en un termómetro de 0-100%, para el valor de la variable de 40 °C, la aguja marca 39,9 °C al subir la temperatura desde 0 °C, e indica 40,1 °C al bajar la temperatura desde 100 °C, el valor de la histéresis es de: [4]

**Ecuación 7**

*Ecuación de histéresis en un instrumento. [4]*

$$\frac{40.1 - 39.9}{100 - 0} \times 100 = \pm 0.2\%$$

Hay que señalar que el término “zona muerta” está incluido dentro de la histéresis.

**▪ Fiabilidad**

Medida de la probabilidad de que un instrumento continúe comportándose dentro de límites especificados de error a lo largo de un tiempo determinado y bajo unas condiciones especificadas. [4]

**Resolución**

Es la menor diferencia de valor que el instrumento puede distinguir. En los instrumentos analógicos interviene el operador según donde observe la posición de la aguja, su error de paralaje en la lectura efectuada y la distancia entre los valores marcados en la escala. [4]

**▪ Ruido**

Cualquier perturbación eléctrica o señal accidental no deseada que modifica la transmisión, indicación o registro de los datos deseados. Un caso especial es la interferencia de radiotransmisores RFI (Radio Frequency Interference). Puede expresarse en unidades de la señal de salida o en tanto por ciento del alcance. [4]

**▪ Linealidad**

La aproximación de una curva de calibración a una línea recta especificada. [4]

**2.2.2 Transmisores**

“Los transmisores captan la variable de proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia en forma de señal neumática, electrónica, digital, óptica, hidráulica o por radio. La señal neumática es de 3 a 15 psi (libras por pulgada cuadrada) (equivale a 0,206-1,033 bar o 0,21-1,05 kg/cm<sup>2</sup>) adoptada en Estados Unidos y los países de habla inglesa, o 0,2-1 bar (20-100 kPa) empleada en los países que utilizan el sistema métrico decimal.

La señal electrónica normalizada es de 4 a 20 mA de corriente continua, si bien se utilizan de 1 a 5 mA c.c., de 10 a 50 mA c.c. y de 0 a 20 mA c.c. La señal digital consiste una serie de impulsos en forma de bits. “[4]

La señal hidráulica se utiliza cuando son necesarias presiones elevadas para el accionamiento de pistones hidráulicos en elementos finales de control. Las señales de radio se emplean para la transmisión en ambientes hostiles (altas temperaturas, terrenos muy accidentados) y a grandes distancias (industria del petróleo). Las necesidades de los usuarios son el motor que impulsa el desarrollo de la instrumentación. Entre estas necesidades se encuentran:

- “Aumento de la productividad.
- Aumento de la calidad del proceso.
- Repetibilidad de características de los productos fabricados. Es decir, el cliente no recibe un producto con mayor calidad de la indicada en sus especificaciones ni debe reclamar por recibir un producto de peor calidad de la especificada (normas ISO 9000).
- Reducción de los costes de fabricación (ahorro energético, etc.).
- Seguridad (se evitan malas maniobras que pueden causar pérdidas de producto).
- Normalización de los instrumentos.” [4]

*Transmisores neumáticos:* Los transmisores neumáticos se basan en el sistema tobera-obturador que, mediante bloques amplificadores con retroalimentación por equilibrio de movimientos o de fuerzas, convierte el movimiento del elemento primario de medición a una señal neumática de 3-15 psi (libras por pulgada cuadrada) o bien su equivalente en unidades métricas 0,2-1 bar (0,2-1 Kg/cm<sup>2</sup>) (20-100 kPa), siendo su exactitud del orden del  $\pm 0,5\%$ . [4]

*Transmisores electrónicos:* Basados en detectores de inductancia, o utilizando transformadores diferenciales o circuitos de puente de Wheatstone, o empleando una barra de equilibrio de fuerzas, convierten la señal de la variable a una señal electrónica de 4-20 mA c.c. Su exactitud es del orden del  $\pm 0,5\%$ . [4]

*Transmisores digitales:* El término "inteligente" (smart) indica que el instrumento es capaz de realizar funciones adicionales a la de la simple transmisión de la señal del proceso. Estas funciones adicionales pueden ser:

- “Generación de señales digitales.
- Comunicabilidad.

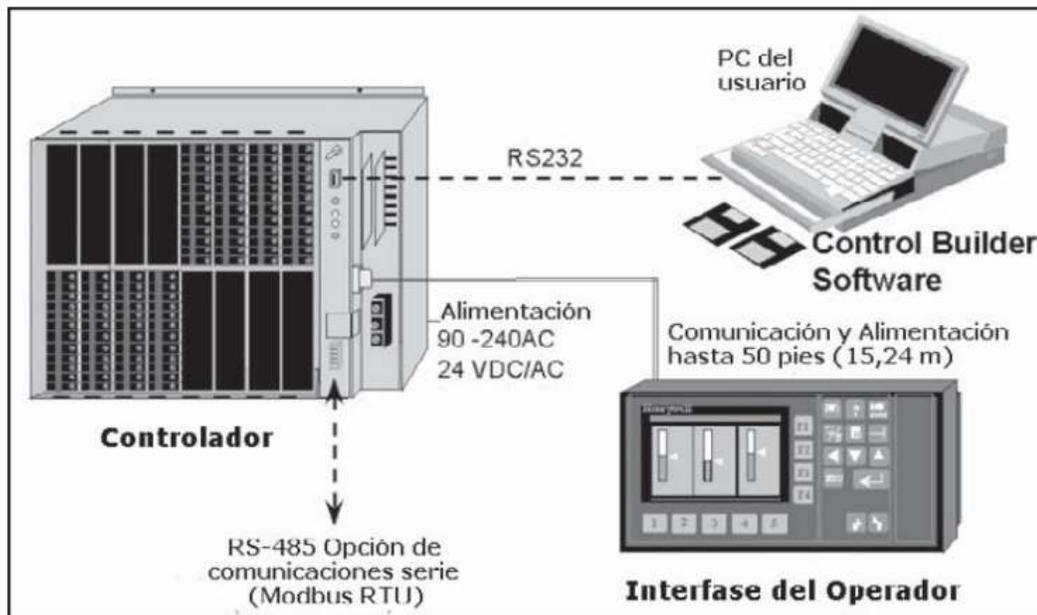
- Uso de otros sensores tales como de presión y temperatura para compensar las variaciones del ruido y conseguir una mayor exactitud.
- Cambio fácil de rangos. La "inteligencia" se aplica también a otras variables, tal como la temperatura donde el transmisor puede trabajar con distintas sondas de resistencia y termopares y diversos campos de medida, gracias a la linealización de las escalas y a la compensación de la unión fría que aporta el microprocesador." [4]

*Transmisor inteligente capacitivo:* El sensor capacitivo está basado en la variación de capacidad que se produce, en un condensador formado por dos placas fijas y un diafragma sensible interno y unido a las mismas, cuando se les aplica una presión o presión diferencial a través de dos diafragmas externos. [4]

*Transmisor inteligente piezoresistivo:* El sensor piezoresistivo está fabricado a partir de una delgada película de silicio y utiliza técnicas de dopaje para generar una zona sensible a los esfuerzos. Se comporta como un circuito dinámico de puente de Wheatstone que incorpora un microprocesador. [4]

#### Figura 4

*Comunicaciones en Serie. [4]*



Representación gráfica de comunicación de PLC y Transmisor inteligente mediante la interfaz RS-485 bajo Modbus RTU.

**Tabla 2***Exactitud de los transmisores. [4]*

| <b>Transmisor</b>        | <b>Señal</b>        | <b>Exactitud</b> |
|--------------------------|---------------------|------------------|
| Neumático                | 3-15 psi, 0.2-1 bar | ±0.5%            |
| Electrónico Convencional | 4-20 mA c.c.        | ±0.5%<br>±0.1%   |
| Electrónico Inteligente  | 4-20 mA c.c.        | ±0.2%            |
| Digital                  | Digital             | ±0.01%           |

**Tabla 3***Ventajas y desventajas de los transmisores. [4]*

| <b>Transmisor</b>                     | <b>Ventajas</b>   | <b>Desventajas</b>   |
|---------------------------------------|---|--|
| Neumático                             | Rapidez   | Aire limpio, sencillo, no guarda información<br>Distancias limitadas, mantenimiento caro<br>Sensible a vibraciones |
| Electrónico convencional              | Rapidez   | Sensible a vibraciones y ruidos eléctricos<br>Derivas Térmicas   |
| Electrónico Inteligente 4-20 mA c.c.  | Mayor Exactitud<br>Intercambiable<br>Estable, fiable<br>Campo de medida más amplio<br>Bajo coste mantenimiento  | Lento (para variables rápidas puede dar problemas)   |
| Electrónico Inteligente señal digital | Mayor Exactitud<br>Más estabilidad<br>Fiable, autodiagnóstico<br>Comunicaciones bidireccionales<br>Configuración remota<br>Campo medida más amplio<br>Bajo coste mantenimiento<br>Inmunidad a ruidos eléctricos<br>Menor n° de instrumentos en stock para recambios | Lento (para variables rápidas puede dar problemas)   |
|                                       |   | Coste más alto de los instrumentos   |

### 2.2.3 Medidas de Presión

“La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). En el Sistema Internacional (S.I.) está normalizada en pascal de acuerdo con las Conferencias Generales de Pesas y Medidas 13 y 14, que tuvieron lugar en París en octubre de 1967 y 1971, y según la Recomendación Internacional número 17, ratificada en la III

Conferencia General de la Organización Internacional de Metrología Legal. El pascal es 1 newton por metro cuadrado (1 N/m<sup>2</sup>), siendo el newton la fuerza que aplicada a un cuerpo de masa 1 kg le comunica una aceleración de 1 m/s<sup>2</sup>.” [4]

*Elementos mecánicos:* Podemos dividirlos en elementos primarios de medida directa que miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas (barómetro cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana) y en elementos primarios elásticos que se deforman con la presión interna del fluido que contienen. Los elementos primarios elásticos más empleados son el tubo de Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle. [4]

**Figura 5**

*Elementos mecánicos de presión.* [4]

|                   | Campo de medida  | Exactitud en % de toda la escala | Temperatura máxima de servicio | Presión estática máxima |
|-------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Barómetro cubeta  | 0,1-3 m cda      | 0,5-1 %                          | Ambiente                       | 6 bar                   |
| Tubo en U         | 0,2-1,2 m cda    | 0,5-1 %                          | ↓                              | 10 bar                  |
| Tubo inclinado    | 0,01-1,2 m cda   | ↓                                | ↓                              | ↓                       |
| Toro pendular     | 0,5-10 m cda     | ↓                                | ↓                              | 100-600 bar             |
| Manómetro campana | 0,005-1 m cda    | ↓                                | ↓                              | Atmosférica             |
| Tubo Bourdon      | 0,5-6000 bar     | ↓                                | 90° C                          | 6000 bar                |
| Espiral           | 0,5-2500 bar     | ↓                                | ↓                              | 2500 bar                |
| Helicoidal        | 0,5-5000 bar     | ↓                                | ↓                              | 5000 bar                |
| Diafragma         | 50 mm cda-2 bar  | ↓                                | ↓                              | 2 bar                   |
| Fuelle            | 100 mm cda-2 bar | ↓                                | ↓                              | ↓                       |
| Presión absoluta  | 6-760 mm Hg abs  | 1 %                              | Ambiente                       | Atmosférica             |
| Sello volumétrico | 3-600 bar        | 0,5-1 %                          | 400° C                         | 600 bar                 |

*Elementos electromecánicos:* Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico combinado con un transductor eléctrico, que genera la correspondiente señal eléctrica. El elemento mecánico consiste en un tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos que a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o en un desplazamiento mecánico. Los elementos electromecánicos se clasifican según el principio de funcionamiento en los siguientes tipos: resistivos, magnéticos, capacitivos, extensométricos y piezoeléctricos. [4]

**Figura 6**  
Características de elementos electromecánicos. [4]

|                        | Margen en bar  | Exactitud en % de toda la escala | Estabilidad en el tiempo | Subcarga  | Temp. máx. de servicio +°C | Nivel señal salida | Impedancia salida | Error de cero por influencia temporal, ambiente | Resolución | Sensibilidad a vibraciones |
|------------------------|--|----------------------------------|--------------------------|-----------|----------------------------|--------------------|-------------------|---|------------|----------------------------|
| Equilibrio de fuerzas  | 2-6000   | 0,5                              | Media a mala             | 150 %     | 85                         | 10 V               | 600 Ω             | 0,9-2,3 %                                       | Continua   | Alta                       |
| Resistivos             | 0-0,1 a 0-300  | 1                                | Mala                     | 150 %     | 80                         | Variac. rem.       | 0-Res. total      | 0,7-3 %   | 0,25 %     | ↓                          |
| Magnéticos             | Inductancia variable<br>↓<br>Refectancia variable      | 0,5                              | Media                    | 150 %     | ↓                          | 0-5 V              | 2 kΩ              | 0,9-2,3 %                                       | Continua   | ↓                          |
|                        |  | 1                                | Media                    | 150 %     | ↓                          | 0-5 V              | 2 kΩ              | 0,6-2,4 %                                       | ↓          | ↓                          |
| Capacitivos            | 0,05-5 a 0,05-600                                      | 1                                | Media a buena            | 150 %     | 150                        | ↓                  | 5 kΩ              | 0,5-1,9 %                                       | ↓          | Media                      |
| Galgas extensométricas | Cementadas<br>↓<br>Sin cementar<br>↓<br>Piezoresistivo | 0-0,5 a 0-3000                   | 0,5                      | Mala      | ↓                          | 120                | 35 mV             | 350 Ω   | 0,5-2,4 %  | Alta                       |
|                        |  | 0-0,01 a 0-600                   | 1                        | Mala      | 200 %                      | ↓                  | ↓                 | 350 Ω   | ↓          | ↓                          |
|                        |  | 0-2 a 0-600                      | 0,1                      | Muy buena | 200 %                      | 107                | 2-10 V            | 600 Ω   | 0,4-1 %    | ↓                          |
| Piezoelectrónicos      | 0,1-600  | 1                                | Mala                     | ↓         | 90                         | 600 mV/bar         | 1000 MΩ           | 1-4,8 %   | 1/5000     | Baja                       |

Elementos electrónicos de vacío: “Los elementos electrónicos de vacío se emplean para la medida de alto vacío, son muy sensibles y se clasifican en los siguientes tipos:

- Medidor McLeod.
- Mecánicos – Tubo Bourdon, fuelle y diafragma.
- Propiedades de un gas – Conductividad térmica.
- Térmicos – Termopar, Pirani, bimetálico.
- Ionización – Filamento caliente, cátodo frío.” [4]

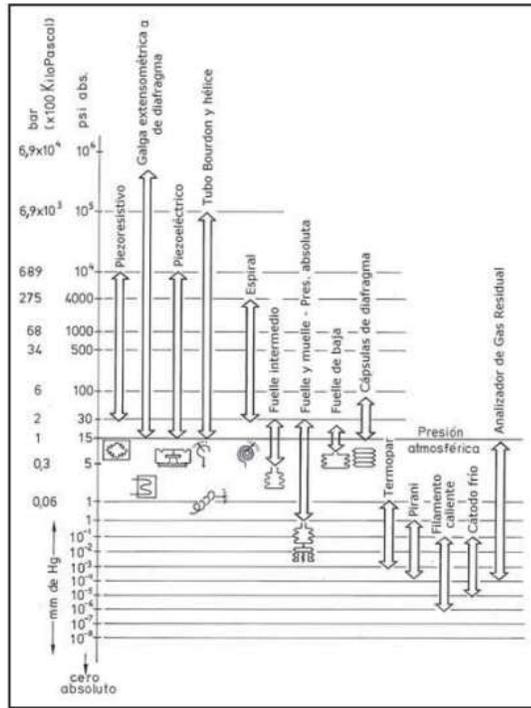
Véase la figura 7, para ilustrar las características de los instrumentos en vacío.

**Figura 7**  
Características de los elementos de vacío. [4]

|            | Margen (torrs)     | Escala      | Exactitud        |
|------------|--------------------|-------------|------------------|
| Mecánicos  | 760 - 5            | Lineal      | 1 %              |
| McLeod     | $5 \cdot 10^{-5}$  | ↓           | 1 - 10 % lectura |
| Térmicos   | Termopar           | Logarítmica | Alta             |
|            | Pirani             |             | —                |
|            | Bimetálico         |             | —                |
| Ionización | Filamento caliente | ↓           | —                |
|            | Cátodo frío        |             | —                |

Véase la figura 8, para ilustrar las características de los instrumentos de presión.

**Figura 8**  
*Instrumentos de presión y campo de aplicación. [4]*

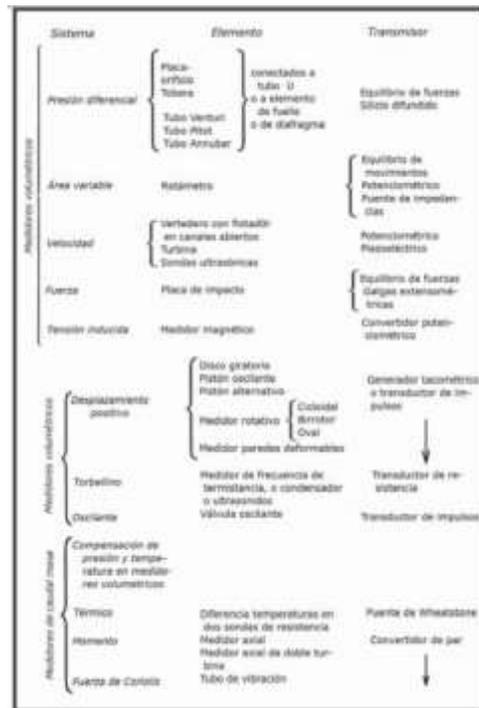


### 2.2.4 Medidas de Caudal

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en las efectuadas en laboratorio y en plantas piloto es muy importante la medición de caudales de líquidos y gases. (Véase la figura 9) [4]

Existen dos tipos de medidores, los volumétricos que determinan el caudal en volumen del fluido, y los de masa que determinan el caudal masa. Se reservan los medidores volumétricos para la medida general de caudal y se destinan los medidores de caudal másico a aquellas aplicaciones en las que la exactitud de la medida es importante, por ejemplo en las determinaciones finales del caudal del producto para su facturación. [4]

**Figura 9**  
Principios de medida de los medidores de caudal. [4]



▪ **Medidores Volumétricos**

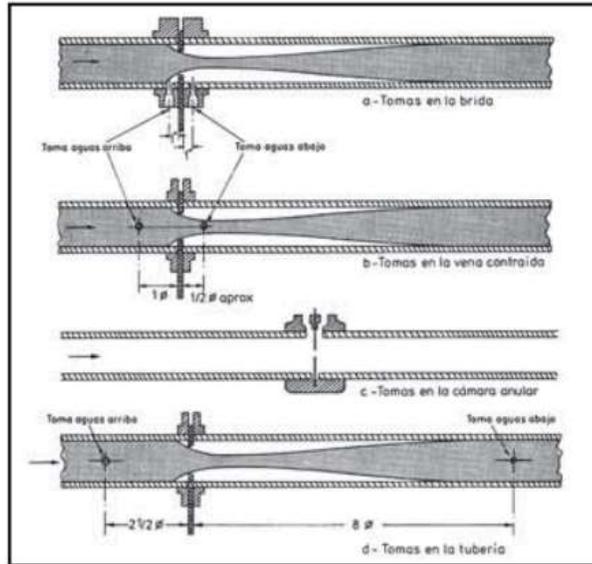
Los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen de fluido, bien sea directamente (desplazamiento), bien indirectamente por deducción o inferencia (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino). Es necesario señalar que la medida de caudal volumétrico en la industria se lleva a cabo principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido. Entre estos elementos se encuentran la placa orificio o diafragma, la tobera, el tubo Venturi, el tubo Pitot y el tubo Annubar. [4]

▪ **Elementos de presión diferencial**

La placa-orificio o diafragma consiste en una placa perforada instalada en la tubería. Dos tomas, conectadas en la parte anterior y posterior de la placa, captan esta presión diferencial proporcional al cuadrado del caudal. La disposición de las tomas puede verse en la figura 10 y los instrumentos de presión diferencial en la figura 11 [4]

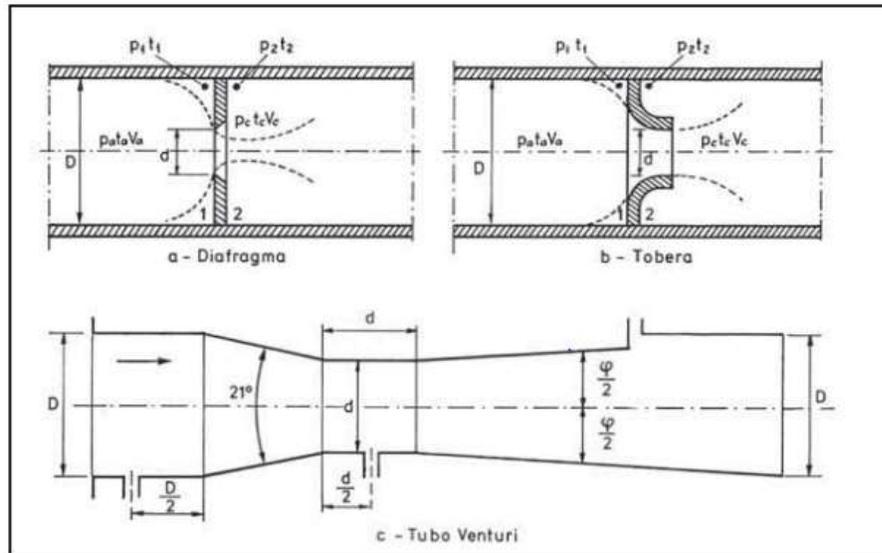
**Figura 10**

*Disposición de las tomas de presión diferencial. [4]*



**Figura 11**

*Placa-orificio, tobera y tubo Venturi. [4]*



## Características resumidas de los instrumentos medidores de caudal

**Tabla 4**

*Características resumidas de los instrumentos medidores de caudal [4, pag 193]*

| 4                  | Rangabilidad | Exactitud (%) | Escala     | Presión Max. °C | Temperatura Max. °C | Pérdida de carga | Servicio          | Materiales                      | Coste relativo | Ventajas                                       | Desventajas  |
|--------------------|--------------|---------------|------------|-----------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------------------------|----------------|--|--|
| Placa              | 3:1          | 2% - 4%       | Cuadrática | 400             | 500                 | Media            | Líquido/vapor/gas | Metales/plásticos               | Bajo           | Simple, económica                              | Posible obturación, desgaste                                 |
| Tobera             | 3:1          | 2%            | Cuadrática | 400             | 500                 | Media            | Líquido/vapor/gas | Metales/plásticos               | Alto           | Simple, exactitud                              | Posible obturación, coste alto                               |
| Tubo venturi       | 3:1          | 1%            | Cuadrática | 400             | 500                 | Baja             | Líquido/vapor/gas | Metales/plásticos               | Alto           | Exactitud poca AP                              | Posible obturación, coste muy alto                           |
| Tubo pitot         | 3:1          | 1%-3%         | Cuadrática | 400             | 500                 | Muy baja         | Líquido/vapor/gas | Metales/plásticos               | Bajo           | Simple, económico                              | Poca exactitud, Posible obturación                           |
| Tubo anubar        | 3:1          | 0,5%-1,5%     | Cuadrática | 400             | 500                 | Muy baja         | Líquido/vapor/gas | Metales/plásticos               | Bajo           | Mayor exactitud, poca AP                       | Posible obturación   |
| Rotámetro          | 10:1         | 1%-2%         | Lineal     | 400             | 250                 | Media            | Líquido/vapor/gas | Metales/plásticos               | Bajo           | Simple, económico, mayor exactitud             | Posible obturación   |
| Vertedero          | 10:1         | 1%-2%         | Especial   | atmosférica     | 60                  | Baja media       | Líquidos          | Metales                         | Alto           | Simple, bajo coste                             | Posible obturación   |
| Turbina            | 20:1         | 0,25%         | Lineal     | 200             | 250                 | Alta             | Líquido/gas       | Metales                         | Alto           | Exactitud, margen amplio                       | Desgaste, daños por caudal excesivo                          |
| Ultrasonico        | 20:1         | 2%            | Lineal     | 100             | 250                 | Ninguna          | Líquido/ gas      | Metales/plásticos               | Alto           | Cualquier líquido, baja AP, bajo mantenimiento | Coste inicial alto, sensible a variaciones densidad          |
| Placa de impacto   | 10:1         | 1%            | Cuadrática | 100             | 400                 | Media            | Líquidos          | Metales                         | Medio          | Fluidos viscosos                               | Poca capacidad   |
| Magnético          | 40:1         | 0,5%-1%       | Lineal     | 20-200          | 150                 | Ninguna          | Líquidos          | Metales/ teflón/fibra de vidrio | Alto           | Exactitud, baja AP                             | Líquidos conductores, electrodos pueden recubrirse           |
| Disco basculante   | 10:1         | 1%-5%         | Lineal     | 100             | 80                  | Alta             | Líquido/gas       | Metales/plásticos               | Bajo           | Económico                                      | Desgaste, líquidos limpios, uso limitado en grandes tuberías |
| Pistón oscilante   | 10:1         | 0,50%         | Lineal     | 10-150          | 120                 | Alta             | Líquido/gas       | Metales                         | Medio          | Exactitud, campo amplio económico              | Desgaste, líquidos limpios, uso limitado en grandes tuberías |
| Pistón alternativo | 10:1         | 0,50%         | Lineal     | 25              | 100                 | Alta             | Líquido/gas       | Metales                         | Medio          | Exactitud, campo amplio                        | Desgaste, líquidos limpios, uso limitado en grandes tuberías |
| Cicloidal          | 10:1         | 0,50%         | Lineal     | 100             | 150                 | Alta             | Líquido/gas       | Metales                         | Medio          | Exactitud, campo amplio, baja AP               | Desgaste, líquidos limpios, uso limitado en grandes tuberías |
| Birrotor           | 10:1         | 0,50%         | Lineal     | 100             | 200                 | Alta             | Líquido/gas       | Metales                         | Medio          | Exactitud campo amplio, reversible             | Desgaste, líquidos limpios, uso limitado en grandes tuberías |
| Oval               | 10:1         | 0,50%         | Lineal     | 100             | 180                 | Alta             | Líquido/gas       | Metales                         | Medio          | Exactitud campo amplio, reversible             | Desgaste, líquidos limpios, uso limitado en grandes tuberías |
| Torbellino         | 10:1         | 1%            | Lineal     | 50              | 100                 | Media            | Líquido/vapor/gas | Metales/plásticos               | Alto           | Margen amplio, poca AP, fácil instalación      | Caro, vibración afecta exactitud                             |
| Vórtex             | 10:1         | 1%            | Lineal     | 50              | 100                 | Media            | Líquido/vapor/gas | Metales/plásticos               | Alto           | Margen amplio, poca AP, fácil instalación      | Caro, vibración afecta exactitud                             |
| Térmico            | 10:1         | 1%            | Lineal     | 100             | 65                  | Ninguna          | Gas               | Metales/plásticos               | Alto           | Económico, fluidos de baja densidad            | Poca exactitud, limpieza periódica                           |
| Hilo caliente      |              |               | Especial   | 100             | 65                  | Baja             | Gas               | Metales/plásticos               | Medio          | Medida caudales gases turbulentos              | Investigación, usos industriales limpio                      |
| Coriolis           | 10:1         | 0,50%         | Lineal     | 900             | -250°C a 400°C      | Baja             | Líquido/vapor/gas | Metales/plásticos               | Alto           | Exactitud elevada, caudal masa                 | Sensible a vibraciones, coste alto                           |

### 2.2.5 Medición de Nivel

“En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales.

La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables, tales como la presión y la temperatura, permite añadir "inteligencia" en la medida del nivel, y obtener exactitudes en la lectura altas, del orden del  $\pm 0,2\%$ , en el inventario de materias primas o finales o en transformación en los tanques del proceso.

El transmisor de nivel "inteligente" hace posible la interpretación del nivel real (puede eliminar o compensar la influencia de la espuma en flotación del tanque, en la lectura), la eliminación de las falsas alarmas (tanques con olas en la superficie debido al agitador de

paletas en movimiento), y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión.

Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de nivel de líquidos y de sólidos, que son dos mediciones claramente diferenciadas.

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, bien aprovechando características eléctricas del líquido o bien utilizando otros fenómenos.

Los primeros instrumentos de medida directa se dividen en: sonda, cinta y plomada, nivel de cristal, nivel de flotador, magnético, palpador servooperado y magnetoestrictivo.” [4]

“ Los aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática son:

- Medidor manométrico
- Medidor de tipo burbujeo
- Medidor de presión diferencial de diafragma

El empuje producido por el propio líquido lo aprovecha el medidor de desplazamiento. Los instrumentos que utilizan las características eléctricas del líquido son:

- Medidor resistivo/conductivo
- Medidor capacitivo
- Medidor ultrasónico
- Medidor de radar o microondas
- Medidor de radiación
- Medidor de láser

Y los que se basan en otros fenómenos:

- Medidor óptico
- Vibratorio
- Detector de nivel térmico o de dispersión térmica. “[4]

**Tabla 5**  
*Medidores de nivel de líquidos [4, pag 227]*

| Instrumento         | Campo de medida | Exactitud % de la escala | Pres. Max. Bar | Temp. Max, fluido, °C | Desventajas  | Ventajas  |
|---------------------|-----------------|--------------------------|----------------|-----------------------|--|---|
| Sonda               | Limitado        | 0,5mm                    | Atm            | 60                    | Manual, sin olas, tanques abiertos   | Barato, exacto  |
| Cristal             | Limitado        | -                        | 150            | 300                   | Sin transmisión, en algunos procesos no se puede utilizar  | Seguro, exacto, barato, indicación visual   |
| Flotador            | 0-10m           | ±1-2%                    | 400            | 250                   | Posible agarrotamiento, solo utilizado en líquidos limpios   | Simple, independiente de la naturaleza líquida, interfaces con flotadores de densidad determinada |
| Manométrico         | Altura tanque   | ±1%                      | Atm            | 60                    | Tanques abiertos, fluidos limpios  | Barato  |
| Membrana            | 0-25m           | ±1%                      | Atm            | 60                    | Tanques abiertos   | Barato  |
| Burbujeo            | Altura tanque   | ±1%                      | 400            | 200                   | Le afecta la densidad del líquido, mantenimiento importante, contaminación líquido por sustancias externas               | Barato, versátil  |
| Presión diferencial | 0-10 m          | ±0,1% a ±0,5%            | 150            | 600                   | Le afecta la densidad del líquido, posible agarrotamiento membrana y purga con líquido, caro                             | Compensa cambios de presión en la parte superior del taque  |
| Desplazamiento      | 0-25m           | ±0,5%                    | 100            | 400                   | Le afecta la densidad del líquido expuesto a corrosión, no adecuado para aguas negras, caro                              | Fácil limpieza, robustos, medida interfaces, muy exacto   |
| Conductivo          | Lineado         | ±3mm                     | 80             | 800                   | Solo líquidos conductores, medida en un punto, interfase solo entre líquidos conductores y no conductores                | Barato, versátil, sin partes móviles, no es influido por cambios temperatura o densidad           |
| Capacitivo          | 0-6m            | ±2%                      | 85 a 250       | 200 a 800             | Le afecta densidad del líquido, recubrimiento del electrodo, es difícil la medida interfaces y la detección de espuma    | Resistencia a la corrosión  |
| Ultrasónico         | 0-3m            | ±2%                      | 400            | 200                   | Caro, sensible a densidad, espuma, humedad del vapor   | Todo tipo tanques y líquidos, sin contacto con el líquido   |
| Radar               | 0-30m           | ±2,5mm                   |                | 230                   | Sensible a la constante dieléctrica del líquido, turbulencia excesiva, palas del agitador y al recubrimiento del líquido | Todo tipos tanques y líquidos y espuma  |
| Radiación           | 0-2,5 m a ± 2%  | ±0,5% a ±6mm             | -              | 150                   | Fuente radioactiva, caro aprobación de la junta energía nuclear  | Todo tipo tanques (sin contacto líquido)  |
| Laser               | 10 mm a ±2%     | ±0,5%                    | -              | 1500                  | Líquidos turbios con vapor transparente  | Todo tipo tanques (sin contacto líquido)  |
| Óptico              | Limitado        | ±6mm                     | -              | 120                   | El modelo de refracción solo para líquidos limpios, el de reflexión necesita vapores limpios en la superficie            | Barato  |
| Vibratorio          | Limitado        | ±5mm                     | -              | 150                   | -  | Barato  |
| Dispersión térmica  | Limitado        | ±10 mm                   | -              | 450                   | La detección de espuma y de interfaces limitada y la conductividad térmica   | Barato  |
| HTG                 | 0-25m           | ±0,1%                    | Atm            | 200                   | -  | Masa, nivel, densidad   |
| Híbrido             | 0-25m           | ±0,1%                    | Atm            | 200                   | -  | Masa, densidad, inventario, mezclas   |

## 2.2.6 Medida de Temperaturas

“La medida de la temperatura es una de las más comunes y de las más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Casi todos los fenómenos físicos están afectados por ella. La temperatura se utiliza, frecuentemente, para inferir el valor de otras variables del proceso.

Existen diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y que son utilizados para medirla:

a) Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases).

- b) Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).
- c) Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).
- d) La f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- e) Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).
- f) Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).

De este modo, se emplean los siguientes instrumentos: termómetros de vidrio, termómetros bimetalicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termómetros de resistencia, termopares, pirómetros de radiación, termómetros ultrasónicos y termómetros de cristal de cuarzo.” [4]

### 2.2.7 Peso

El peso de un cuerpo es la fuerza con que es atraído por la Tierra. La relación entre la masa del cuerpo, es decir, la cantidad de materia que contiene, y su peso viene dado por la expresión:

#### **Ecuación 8**

*Ecuación para hallar el peso. [Autor]*

$$P = m \times g$$

En la que:

P = peso

m = masa

g = aceleración debida a la gravedad

“Como la masa de un cuerpo es constante y la aceleración de la gravedad varía con el lugar (es de 9,78 en el ecuador y 9,83 en los polos) y también con la altura, es obvio que el peso del cuerpo variará según el lugar de la Tierra y la altura a los que esté sobre el nivel del mar.

Esto es evidente efectuando la medida con una balanza o resorte. Sin embargo, en una balanza clásica de cruz, la medida se efectúa por comparación con masas conocidas y, como éstas están sometidas también a la misma fuerza de gravitación, la lectura será independiente del lugar donde se realiza la medición. Asimismo, como los demás tipos de básculas se ajustan usualmente con pesos patrón, las medidas realizadas serán también independientes de las variaciones de g respecto a la altura y al lugar de la Tierra donde estén instaladas.

Otro factor que influye en la medición es la diferencia de empuje del aire (por el principio de Arquímedes) sobre el cuerpo y sobre el peso patrón; su influencia es tan pequeña que el

error cometido queda comprendido dentro del error normal aceptado en las operaciones de pesaje.

En la industria interesa determinar el peso de las sustancias en las operaciones de inventario de materias primas, de productos finales, en la mezcla de ingredientes, etc.

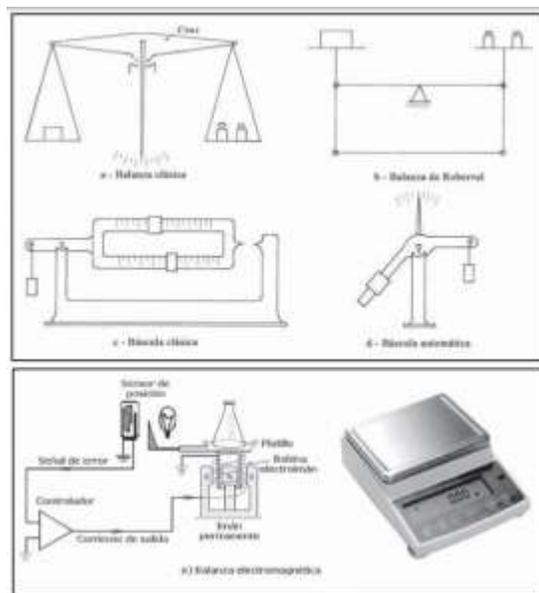
Existen varios métodos para medir el peso (véase la figura 12):

1. Comparación con otros pesos patrones (balanzas y básculas).
2. Células de carga a base de galgas extensométricas.
3. Células de carga hidráulicas.
4. Células de carga neumáticas.

La comparación con otros pesos patrones la realizan las balanzas y las básculas.” [4]

**Figura 12**

*Balanzas y Básculas. [4]*



Una comparación de los sistemas de medida del peso puede verse en la tabla 6.

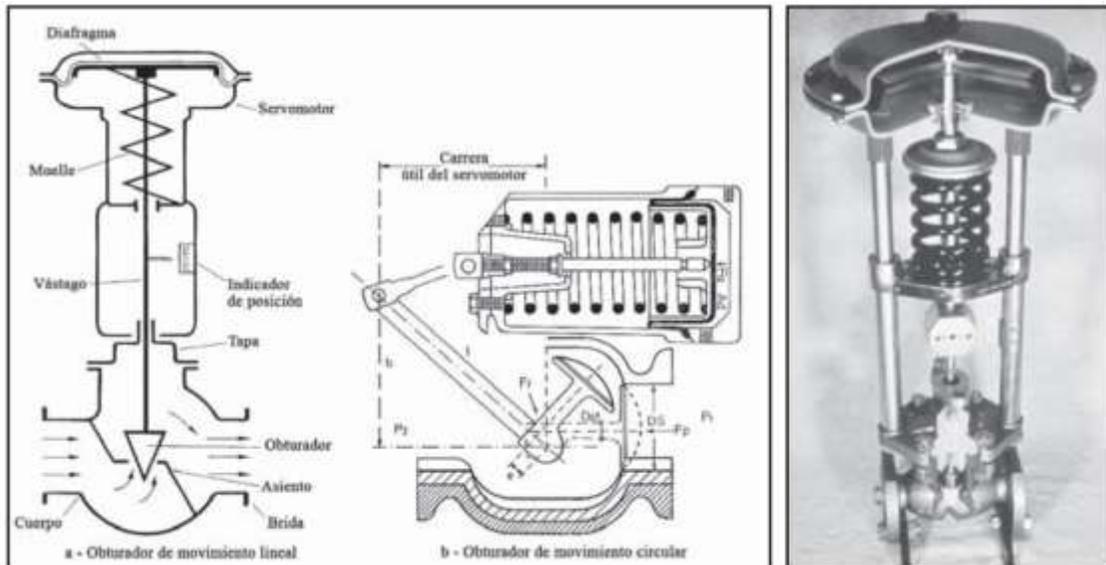
**Tabla 6**  
*Sistemas de medida de peso [4, pag 323]*

| Sistema               | Capacidad          | Exactitud                    | Ventajas   | Desventajas   |
|-----------------------|--------------------|------------------------------|--|---|
| Balanza               | Gramos a 300 Kg    | $\pm 0,002\%$ a $\pm 0,05\%$ | Simple, exacta, barata   | Respuesta lenta, corrosión local  |
| Báscula               | Gramos a toneladas | $\pm 0,1\%$                  | Simple, exacta, barata   | Respuesta lenta, corrosión local  |
| Galga extensiométrica | 20 Kg a 150 Tm     | $\pm 0,03\%$ a $\pm 0,25\%$  | Instalación simple, indicación a distancia, protegida contra la corrosión  | Caras, compensación de temperatura  |
| Célula hidráulica     | 1200 Kg a 4500 Tm  | $\pm 0,25\%$                 | Instalación simple, resistente a vibraciones, admite 40% de sobrecarga, A prueba de explosión, indicación a distancia. Respuesta rápida. | Caras, transmisor electrónico para sumar señales de varias células. Afectada por la temperatura. Calibración frecuente. |
| Célula neumática      | 10 Kg a 10 Tm      | $\pm 0,2\%$                  | Se adapta bien a control neumático, indicación a distancia   | Aire instrumentos. Afectada por la temperatura. Calibración frecuente. Respuesta lenta.                                 |

### 2.2.8 Elementos finales de Control

En el control automático de los procesos industriales, la válvula de control (véase la figura 13) juega un papel muy importante en el bucle de regulación. Realiza la función de variar el caudal de fluido de control que modifica, a su vez, el valor de la variable medida, comportándose como un orificio de área continuamente variable. Dentro del bucle de control ene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador. [4]

**Figura 13**  
*Válvula de control típica. [6]*



“La válvula de control neumática consiste en un servomotor accionado por la señal neumática de 3-15 psi (0,2-1 Kg/cm<sup>2</sup> ). El servomotor está conectado directamente a un vástago que posiciona el obturador con relación al asiento. La posición relativa entre el obturador y el asiento permite pasar el fluido desde un caudal nulo (o casi nulo) hasta el caudal máximo, y con una relación entre el caudal y la carrera que viene dada por las curvas características de la válvula.

El cuerpo de la válvula de control contiene en su interior el obturador y los asientos, y está provista de rosca o de bridas para conectar la válvula a la tubería. El obturador es quien realiza la función de control de paso del fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotativo. Está unido a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y que es accionado por el servomotor.”[4]

### ▪ Tipos de Válvulas

“Las válvulas pueden ser de varios tipos según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador. Básicamente, se clasifican en dos grandes grupos: válvulas con obturador de movimiento lineal y válvulas con obturador de movimiento rotativo.” [5]

### ▪ Válvulas con obturador de movimiento lineal

Las válvulas de movimiento lineal, en las que el obturador se mueve en la dirección de su propio eje, se clasifican en válvula de globo, válvula en ángulo, válvula de tres vías mezcladora o diversora, válvula de jaula, válvula de compuerta, válvula en Y, válvula de cuerpo par do, válvula Saunders y válvula de compresión. [6]

#### 2.2.8.1.1 Válvula de globo

“Llamada así por disponer de un obturador en forma de globo, se caracteriza porque el flujo de entrada o salida es perpendicular al eje del obturador.

Las válvulas de simple asiento, que cierran en contra de la presión del proceso, precisan de un actuador de mayor tamaño. Por lo tanto, se emplean cuando la presión diferencial del fluido es baja y se precisa que las fugas, a través de la válvula con el obturador en posición de cierre, sean mínimas. El cierre estanco se logra con asientos provistos de una arandela de teflón o de otros materiales blandos.

En la válvula de doble asiento, o de simple asiento con obturador equilibrado, la fuerza de desequilibrio desarrollada por el fluido a través del obturador es menor que en la válvula de simple asiento. Esto es debido a que, en la válvula de doble asiento, el fluido actúa en sentidos contrarios sobre los obturadores, y en la válvula con obturador equilibrado lo hace por encima y por debajo del único obturador. Por este motivo se emplean en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. En posición de

cierre, las fugas a través de la válvula son mayores que en una válvula de simple asiento, debido a que es mecánicamente imposible que el doble obturador asiente perfectamente sobre los dos asientos.

Como dato orientativo, puede señalarse que según la norma ANSI/FCI 70-2-2006, las fugas admisibles son del 0,01% del caudal máximo en la válvula de simple asiento (clase IV metal a metal) y de 0,1% en la válvula de doble asiento (clase III). Asimismo, las válvulas con asiento dotado de anillo de teflón para cierre estanco (clase VI) admiten un caudal de fuga del 0,00001%, o 0,15 a 6,75 ml/minuto de aire o nitrógeno.” [4]

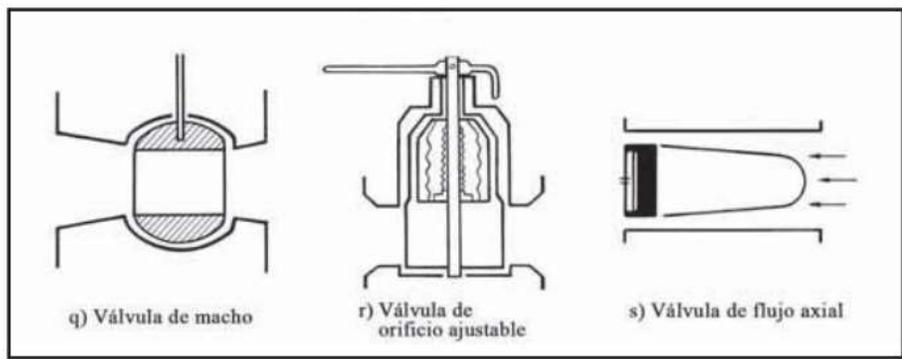
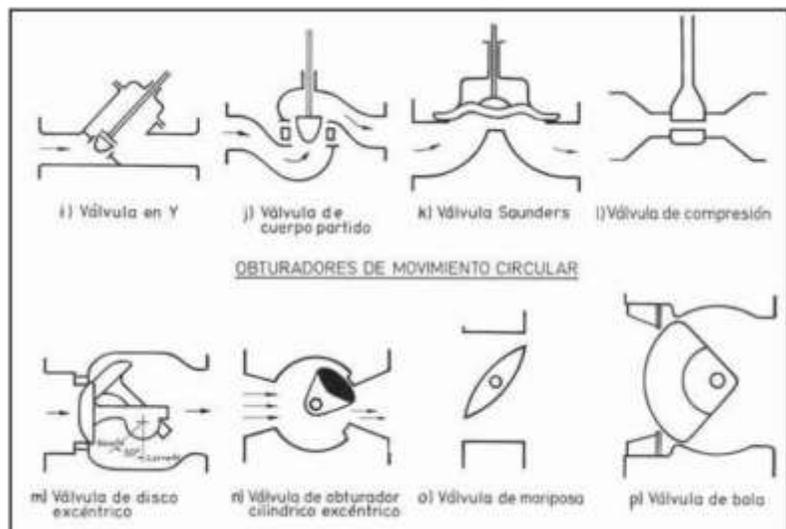
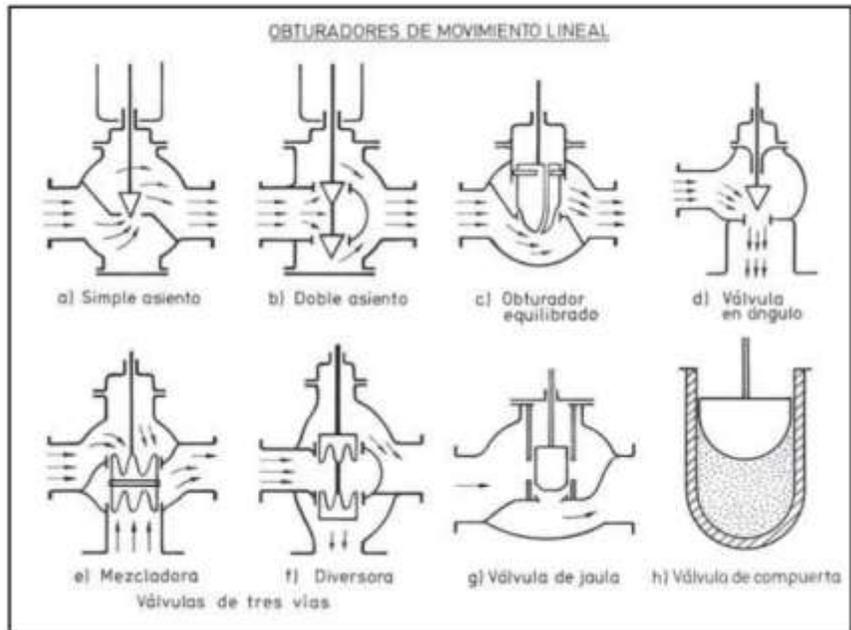
#### **2.2.8.1.2 Válvula en ángulo**

“La válvula en ángulo (figura 14) presenta un flujo de salida perpendicular al flujo de entrada con un recorrido menos curvilíneo que en una válvula de globo, por lo que permite obtener un flujo de caudal regular sin excesivas turbulencias y es, además, adecuada para sustituir a una válvula de globo cuando el fluido circula con sólidos en suspensión o a excesiva velocidad provocada por una alta presión diferencial de trabajo.

El diseño de la válvula es idóneo para el control de fluidos que vaporizan (flashing), es decir para los fluidos que dentro del estrechamiento existente en las partes internas (entre el obturador y el asiento) y debido a una alta presión diferencial, han aumentado su velocidad y se encuentran a una presión inferior al punto de vaporización. En estas condiciones, el fluido está en estado líquido a la entrada y salida de la válvula y en estado de vapor/líquido dentro de la misma. De este modo, las burbujas de vapor formadas implosionan (pasando a líquido) y pueden provocar daños mecánicos graves al chocar contra las partes internas o contra el cuerpo de la válvula. “[4]

**Figura 14**

*Tipos de válvulas de control [4]*



### 2.2.8.1.3 Válvula de tres vías

La válvula de tres vías se emplea generalmente para mezclar fluidos –válvulas mezcladoras (figura 14e) – o bien para derivar, de un flujo de entrada, dos de salida –válvulas diversoras (figura 14f). Las válvulas de tres vías intervienen típicamente en el control de temperatura de intercambiadores de calor, facilitando un control muy rápido de la temperatura, gracias a que el fluido de calefacción (vapor o fluido térmico) puede derivar, a través de la válvula, sin pasar por el intercambiador.

### 2.2.8.1.4 Válvula de jaula

La válvula de jaula (figura 14g) recibe esta denominación por la forma de jaula que tiene, bien con los orificios dispuestos en una jaula fija en cuyo interior desliza el obturador, en cuyo caso se denomina válvula de jaula ja o bien con orificios en el obturador, en cuyo caso se denomina válvula de jaula móvil.

Como el obturador está contenido dentro de la jaula, la válvula es muy resistente a las vibraciones y al desgaste. Por otro lado, el obturador puede disponer de aros grafitados que asientan contra la jaula y permiten lograr un cierre estanco. Sin embargo, no es la válvula adecuada cuando el fluido es pegajoso, viscoso o contiene sólidos en suspensión, ya que entonces el fluido tiende a colocarse entre el obturador y la jaula y puede dar lugar a obstrucciones y agarrotamientos.

### 2.2.8.1.5 Válvula de compuerta

Esta válvula (figura 14h), denominada también válvula de tajadera, efectúa su cierre con un disco vertical plano, o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido.

Por su disposición es adecuada generalmente para control todo-nada, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo de fluido cuando está en posición de apertura total y, por lo tanto, se caracteriza por una baja caída de presión.

### 2.2.8.1.6 Válvula en Y

La válvula en Y (figura 14i) tiene el asiento y el obturador inclinados  $45^\circ$  respecto al flujo del fluido. Si el cuerpo está instalado en horizontal, es difícil desmontar las partes internas inclinadas  $45^\circ$  con relación a la horizontal. Es adecuada como válvula de cierre y de control. Como válvula todo-nada se caracteriza por su baja pérdida de carga y como válvula de control presenta una gran capacidad de caudal. Posee una característica de auto drenaje cuando está inclinada con un cierto ángulo. Se emplea usualmente en instalaciones criogénicas.

### 2.2.8.1.7 Válvula de cuerpo partido

Esta válvula (figura 14j) es una modificación de la válvula de globo de simple asiento teniendo el cuerpo partido en dos partes entre las cuales está presionado el asiento. Esta

disposición permite una fácil sustitución del asiento y facilita un flujo suave del fluido sin espacios muertos en el cuerpo. Se emplea principalmente para fluidos viscosos y en la industria alimentarla.

#### **2.2.8.1.8 Válvula Saunders**

En la válvula Saunders o de diafragma (figura 14k) el obturador es una membrana flexible que, a través de un vástago unido a un servomotor, es forzada contra un resalte del cuerpo, que actúa de asiento, cerrando así el paso del fluido. La válvula se caracteriza porque el cuerpo puede revestirse fácilmente de goma o de plástico para trabajar con fluidos agresivos.

Tiene la desventaja de que el servomotor de accionamiento debe ser muy potente. Se utiliza principalmente en procesos químicos difíciles, en particular en el manejo de fluidos negros o agresivos o bien en el control de fluidos conteniendo sólidos en suspensión.

#### **2.2.8.1.9 Válvula de manguito**

La válvula de manguito, que puede verse en la figura 14L, funciona mediante el pinzamiento de dos o más elementos flexibles, por ejemplo un tubo de goma. Igual que las válvulas Saunders o de diafragma, se caracteriza porque proporciona un óptimo control en posición de cierre parcial y se aplica, fundamentalmente, en el manejo de fluidos negros corrosivos, viscosos o conteniendo partículas sólidas en suspensión.

#### ▪ Válvulas con obturador de movimiento rotativo

Las válvulas en las que el obturador tiene un movimiento rotativo se clasifican en: válvula de disco excéntrico rotativo (Camflex), válvula de obturador cilíndrico excéntrico, válvula de mariposa, válvula de bola, válvula de macho, válvula de orificio ajustable y válvula de flujo axial.

#### **2.2.8.1.10 Válvula de disco excéntrico (Camflex)**

La válvula de disco excéntrico (Camflex) (Figura 14m) consiste en un obturador de superficie segmentada esférica que se auto alinea durante el movimiento de giro excéntrico, proporcionando un cierre estanco y unas bajas fuerzas dinámicas del fluido. Esto permite utilizar un servomotor de par reducido. Por otra parte, la tapa de extensión permite la operación para un margen amplio de temperaturas. La válvula puede tener un cierre estanco mediante aros de teflón dispuestos en el asiento y se caracteriza por su gran capacidad de caudal, comparable a las válvulas de mariposa y a las de bola.

#### **2.2.8.1.11 Válvula de obturador cilíndrico excéntrico**

Esta válvula (figura 14n) tiene un obturador cilíndrico excéntrico que asienta contra un cuerpo cilíndrico. El cierre hermético se consigue con un revestimiento de goma o de teflón en la cara del cuerpo donde asienta el obturador. La válvula es de bajo coste y es adecuada para fluidos corrosivos o conteniendo sólidos en suspensión.

#### **2.2.8.1.12 Válvula de mariposa**

En la válvula de mariposa (figura 14o) el cuerpo está formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular. La válvula puede cerrar herméticamente mediante un anillo de goma encastrado en el cuerpo.

Un servomotor exterior acciona el eje de giro del disco y ejerce su par máximo cuando la válvula está casi cerrada (en control todo-nada se consideran  $90^\circ$  y en control continuo  $60^\circ$ , a partir de la posición de cierre, ya que la última parte del giro es bastante inestable), siempre que la presión diferencial permanezca constante. En la selección de la válvula es importante considerar las presiones diferenciales correspondientes a las posiciones de completa apertura y de cierre; se necesita una fuerza grande del actuador para accionar la válvula en caso de una caída de presión elevada.

Las válvulas de mariposa se emplean para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión.

#### **2.2.8.1.13 Válvula de bola**

En estas válvulas, el cuerpo tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de esfera o de bola (de ahí su nombre). La bola tiene un corte adecuado (usualmente en V) que da la curva característica de la válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. El cierre estanco se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula está cerrada. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente al 75% del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos viscosos, o bien en fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

El tipo más común de las válvulas de bola es la válvula de bola segmentada, llamada así por la forma de segmento esférico del obturador (figura 14p).

#### **2.2.8.1.14 Válvula de orificio ajustable**

En la válvula de orificio ajustable el obturador consiste en una camisa de forma cilíndrica que está perforada con dos orificios, uno de entrada y otro de salida, y que gira mediante una palanca exterior accionada manualmente o por medio de un servomotor. El giro del

obturador tapa, parcial o totalmente, las entradas y salidas de la válvula, controlando así el caudal. La válvula incorpora, además, una tajadera cilíndrica que puede deslizar dentro de la camisa gracias a un macho roscado de accionamiento exterior. Así, la tajadera puede fijarse manualmente en una posición determinada para limitar el caudal máximo (figura 14r).

La válvula es adecuada en los casos en que es necesario ajustar manualmente el caudal máximo del fluido, cuando el caudal puede variar entre límites amplios de forma intermitente o continua y cuando no se requiere un cierre estanco. Se utiliza para combustibles gaseosos o líquidos, vapor, aire comprimido y líquidos en general

#### **2.2.8.1.15 Válvula de flujo axial**

Las válvulas de flujo axial consisten en un diafragma accionado neumáticamente que mueve un pistón, el cual, a su vez, comprime un fluido hidráulico contra un obturador formado por un material elastómero. De este modo, el obturador se expansiona para cerrar el flujo anular del fluido.

Este tipo de válvulas se emplea para gases y es especialmente silencioso. Otra variedad de la válvula de flujo axial es la válvula de manguito, que es accionada por compresión exterior del manguito a través de un fluido auxiliar a una presión superior a la del propio fluido. Se utiliza también para gases (ver figura 14s).

## **2.3 Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)**

Para designar y representar los instrumentos de medición y control se emplean normas muy variadas que a veces varían de industria en industria. Esta gran variedad de normas y sistemas utilizados en las organizaciones industriales indica la necesidad universal de una normalización en este campo. Varias sociedades han dirigido sus esfuerzos en este sentido, y entre ellas se encuentran, como más importantes, la ISA (Instrument Society of America) de la Sociedad de Instrumentos de Estados Unidos y la DIN alemana, cuyas normas tienen por objeto establecer sistemas de designación (código y símbolos) de aplicación a las industrias químicas, petroquímicas, aire acondicionado, etc.

**2.3.1 Resumen norma ISA-S5.1-84 (R-1992)**

A) Cada instrumento debe identificarse con un código alfanumérico o número de tag (tag number) que contenga el número de identificación del lazo. Una identificación representativa es la siguiente:

**Tabla 7**

*Ejemplo de etiqueta para instrumentos. [4]*

|     |     |                                  |
|-----|-----|----------------------------------|
| TIC | 103 | - Identificación del instrumento |
| T   | 103 | - Identificación del lazo        |
|     | 103 | - Número del lazo                |
| TIC |     | - Identificación funcional       |
| T   |     | - Primera letra                  |
| IC  |     | - Letras sucesivas               |

B) El número de letras funcionales para un instrumento debe ser mínimo, no excediendo de cuatro. Para ello conviene: 1) Disponer las letras en subgrupos. Por ejemplo, un controlador de temperatura con un interruptor de alarma puede identificarse con dos círculos, uno el TIC-3 y el otro TSH-3. 2) En un instrumento que indica y registra la misma variable medida puede omitirse la letra I (indicación).

C) La numeración de bucles puede ser paralela o serie. La numeración paralela inicia una secuencia numérica para cada nueva primera letra (TIC-100, FRC-100, LIC-100, AI-100, etc.). La numeración serie identifica los bucles de instrumentos de un proyecto o secciones de un proyecto con una secuencia única de números, sin tener en cuenta la primera letra del bucle (TIC-100, FRC-101, LIC-102, AI-103, etc.). La secuencia puede empezar con el número 1 o cualquier otro número conveniente, tal como 001, 301 o 1201 y puede incorporar información codificada tal como área de planta; sin embargo, se recomienda simplicidad.

D) Si un bucle dado tiene más de un instrumento con la misma identificación funcional, es preferible añadir un sufijo, ejemplo FV-2A, FV-2B, FV-2C, etc., o TE-25-1, TE-25-2, TE-25-3, etc. Estos sufijos pueden añadirse obedeciendo a las siguientes reglas:

1. Deben emplearse letras mayúsculas A, B, C, etc.

2. En un instrumento tal como un registrador de temperatura multipunto que imprime números para identificación de los puntos, los elementos primarios pueden numerarse TE25-1, TE-25-2, TE-25-3, etc.
  3. Las subdivisiones interiores de un bucle pueden designarse por sufijos formados por letras y números.
- E) Un instrumento que realiza dos o más funciones puede designarse por todas sus funciones. Por ejemplo, un registrador de caudal FR-2 con pluma de presión PR-4 puede designarse FR-2/ PR-4. Un registrador de presión de dos plumas como PR-7/8; y una ventanilla de alarma para temperatura alta y baja como TAH/L-21.
- F) Los accesorios para instrumentos tales como rotámetros de purga, filtros manorreductores y potes de sello que no están representados explícitamente en un diagrama de flujo, pero que necesitan una identificación para otros usos, deben tenerla de acuerdo con su función y deben emplear el mismo número del bucle que el del instrumento asociado. Alternativamente, los accesorios pueden emplear el mismo número de identificación que el de sus instrumentos asociados, pero con palabras aclaratorias. Por consiguiente, una brida para una placa-orificio FE-7 debe designarse como FX-7 o bien como FE-7 BRIDAS. Un rotámetro regulador de purga asociado con un manómetro PI-8 puede identificarse como PI-8 PURGA. Una sonda empleada con un termómetro TI-9 será TW-9, o bien, TI-9 S.

Véase el resumen de la norma en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Código de identificación de instrumentos. ISA-S5.1-84 (R-1992) [4, pag 29]*

| PRIMERA LETRA (4) |                                   |                            | LETRAS SUCESIVAS (3)                |   |                           |
|-------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|---|---------------------------|
|                   | Variable medida o inicial         | Letra de modificación      | lectura o función de lectura pasiva | Función de salida   | Letra de modificación     |
| <b>A</b>          | Análisis (5, 19)                  |                            | Alarma                              |   |                           |
| <b>B</b>          | Quemador, combustión              |                            | Libre (1)                           | Libre (1)   | Libre (1)                 |
| <b>C</b>          | Libre (1)                         |                            |                                     | Control (13)  |                           |
| <b>D</b>          | Libre (1)                         | Diferencial (4)            |                                     |   |                           |
| <b>E</b>          | Tensión (f.e.m.)                  |                            | Sensor (elemento primario)          |   |                           |
| <b>F</b>          | Caudal                            | Relación (4)               |                                     |   |                           |
| <b>G</b>          | Libre (1)                         |                            | Vidrio, Dispositivo visión (9)      |   |                           |
| <b>H</b>          | Manual                            |                            |                                     |   | Alto (7, 15, 16)          |
| <b>I</b>          | Corriente (eléctrica)             |                            | Indicar (10)                        |   |                           |
| <b>J</b>          | Potencia                          | Exploración (7)            |                                     |   |                           |
| <b>K</b>          | Tiempo, programación tiempo       | Variación de tiempo (4.21) |                                     | Estación de control (22)                                  |                           |
| <b>L</b>          | Nivel                             |                            | Luz (11)                            |   | Bajo (7, 15, 16)          |
| <b>M</b>          | Libre (1)                         | Momentáneo (4)             |                                     |   | Medio, intermedio (7, 15) |
| <b>N</b>          | Libre (1)                         |                            | Libre (1)                           | Libre (1)   | Libre (1)                 |
| <b>O</b>          | Libre (1)                         |                            | Oficio, restricción                 |   |                           |
| <b>P</b>          | Presión, vacío                    |                            | Punto (ensayo) conexión             |   |                           |
| <b>Q</b>          | Cantidad                          | Integrar, totalizar (4)    |                                     |   |                           |
| <b>R</b>          | Radiación                         |                            | Registro (17)                       |   |                           |
| <b>S</b>          | Velocidad frecuencia              | Seguridad (8)              |                                     | Interruptor (13)  |                           |
| <b>T</b>          | Temperatura                       |                            |                                     | Transmisión (18)  |                           |
| <b>U</b>          | Multivariable (6)                 |                            | Multifunción (12)                   | Multifunción (12)   | Multifunción (12)         |
| <b>V</b>          | Vibración, análisis mecánico (19) |                            |                                     | Válvula, regulador tiro, persiana (13)                    |                           |
| <b>W</b>          | Peso, fuerza                      |                            | Vaina, sonda                        |   |                           |
| <b>X</b>          | Sin calificar (2)                 | Eje X                      | Sin calificar (2)                   | Sin calificar (2)   | Sin calificar (2)         |
| <b>Y</b>          | Evento, estado o presencia (20)   | Eje Y                      |                                     | Relé, Cálculo, conversión (13, 14, 18)                    |                           |
| <b>Z</b>          | Posición, Dimensión               | Eje Z                      |                                     | Motor, actuador, elemento final de control sin clasificar |                           |

### Notas explicativas:

(1) Para cubrir las designaciones no normalizadas que pueden emplearse repetidamente en un proyecto se han previsto letras libres. Estas letras pueden tener un significado como primera letra y otro como letra sucesiva. Por ejemplo, la letra N puede representar como primera letra el “módulo de elasticidad” y como sucesiva un “osciloscopio”.

(2) La letra sin clasificar X puede emplearse en las designaciones no indicadas que se utilicen sólo una vez o un número limitado de veces. Se recomienda que su significado figure en el exterior del círculo de identificación del instrumento. Ejemplo: XR-2 puede ser un registrador de presión y XX-4 un osciloscopio de tensión.

(3) La forma gramatical de los significados de las letras sucesivas puede modificarse según se requiera. Por ejemplo, “indicar” puede aplicarse como “indicador” o “indicación”, “transmitir” como “transmisor” o “transmitiendo”, etc.

(4) Cualquier primera letra, utilizada con las letras de modificación D (diferencial), F (relación), M (momentáneo), K (variación de tiempo) o Q (integración o totalización) o cualquier combinación de las mismas, tiene por objeto representar una nueva variable medida. Por ejemplo, los instrumentos TDI y TI indican dos variables distintas, la temperatura diferencial y la temperatura.

(5) La letra A para análisis abarca todos los análisis no indicados por una letra “libre”. Es conveniente definir el tipo de análisis al lado del símbolo.

(6) El empleo de la letra U como “multivariable” en lugar de una combinación de primeras letras, es opcional.

(7) El empleo de los términos de modificaciones: “alto”, “bajo”, “medio” o “intermedio” y “exploración”, es opcional.

(8) El término “seguridad” sólo debe aplicarse a elementos primarios y a elementos finales de control que protejan contra condiciones de emergencia (peligrosas para el personal o el equipo). Por este motivo, una válvula autorreguladora de presión que regula la presión de salida de un sistema, mediante el alivio o escape de fluido al exterior, debe ser PCV, pero si esta misma válvula se emplea contra condiciones de emergencia, se designa PSV. La designación PSV se aplica a todas las válvulas proyectadas para proteger contra condiciones de emergencia de presión sin tener en cuenta si las características de la válvula y la forma de trabajo la colocan en la categoría de válvula de seguridad, válvula de alivio o válvula de seguridad de alivio. Un disco de ruptura se designa PSE.

(9) La letra de función pasiva G se aplica a los instrumentos que proporcionan una visión directa no calibrada del proceso, por ejemplo, niveles visuales y monitores de televisión.

(10) La letra “indicación” se refiere a la lectura de una medida real analógica o digital de proceso. En el caso de un ajuste manual puede emplearse para la indicación del dial o del ajuste, por ejemplo, el valor de la variable de iniciación.

(11) Una luz piloto que es parte de un bucle de control debe designarse por una primera letra seguida de la letra sucesiva L. Por ejemplo, una luz piloto que indica un período de tiempo

terminado se designará KQL. Si se desea identificar una luz piloto fuera del bucle de control, la luz piloto puede designarse en la misma forma. Por ejemplo, una luz piloto de marcha de un motor eléctrico puede identificarse EL, suponiendo que la variable medida adecuada es la tensión, o bien YL suponiendo que se vigila el estado de la operación. La letra sin clasificar X debe usarse sólo para aplicaciones con límites definidos. La designación XL no debe usarse para luces piloto de motores, siendo factible usar las letras, M, N u O para la luz piloto de un motor cuando el significado está previamente definido. Si se usa M debe quedar claro que la letra no representa la palabra “motor”, sino que pertenece a un estado de monitorización.

(12) El empleo de la letra U como “multifunción” en lugar de una combinación de otras letras, es opcional.

(13) Un aparato que conecta, desconecta o transfiere uno o más circuitos, puede ser un interruptor, un relé, un controlador TODO-NADA o una válvula de control, dependiendo de la aplicación. “”[4]

Los símbolos a emplear en los planos y dibujos de representación de instrumentos:

**Tabla 9**

*Representación gráfica de señales en ISA 5.1 [4, pag 31]*

|  |   |
|--|---|
|  | 1. Alimentación de instrumentos o conexión a proceso *    |
|  | 2. Señal sin definir                                      |
|  | 2. Señal neumática**                                      |
|  | 3. Señal eléctrica  |
|  | 4. Tubo capilar   |
|  | 5. Señal hidráulica                                       |
|  | 6. Señal electromagnética *** o sónica (sin hilo ni tubo) |

\* “Se sugieren las siguientes abreviaturas para representar el tipo de alimentación (o bien de purga de fluidos):

- AS Alimentación de aire      HS Alimentación hidráulica    IA – Aire de instrumentos
- NS Alimentación de nitrógeno      PA – Aire de planta    SS Alimentación de vapor
- ES Alimentación eléctrica      WS Alimentación de agua    GS Alimentación de gas

\*\* El símbolo de señal neumática se aplica también a cualquier señal que emplee gas como medio de transmisión. Si se emplea un gas distinto del aire debe identificarse con una nota al lado del símbolo o bien de otro modo. .

\*\*\* Los fenómenos electromagnéticos incluyen calor, ondas de radio, radiación nuclear y luz.” [4]

**Tabla 10**

*Símbolos generales de funciones o de instrumentos [4, pag 32]*

|  | UBICACIÓN PRIMARIA<br>*** ACCESIBLE NORMALMENTE AL OPERADOR  | MONTAJE EN CAMPO  | UBICACIÓN AUXILIAR<br>*** ACCESIBLE NORMALMENTE AL OPERADOR                           |
|--|--|---|---|
| INSTRUMENTOS DISCRETOS   | 1  (PI)   | 2    | 3   |
| VISUALIZACIÓN COMPARTIDA, CONTROL COMPARTIDO   | 4   | 5    | 6   |
| FUNCIÓN DE ORDENADOR   | 7   | 8    | 9   |
| CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)   | 10    | 11   | 12  |
| 13   | 14 <br>INSTRUMENTO CON CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN LARGO | 15 <br>INSTRUMENTOS - COMPARTEN UNA UBICACIÓN COMÚN * |   |
| 16 <br>LUZ PILOTO   | 17 <br>PUNTO L2 MONTADO EN SUBPANEL                 | 18  **<br>PURGA O APARATO DE FLUIDO                  |   |
| 19  **<br>POSICIÓN DE REPOSO PARA UN ACTUADOR DE TIPO GATILLO | 20 <br>SELLO DE DIAFRAGMA                           | 21  **<br>***<br>LÓGICA DE ENCLAVAMIENTO SIN DEFINIR |   |

**Tabla 11**

*Símbolos de cuerpos de válvulas de control y de persianas [4, pag 33]*

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| 1 <br>SÍMBOLO GENERAL | 2 <br>ÁNGULO   | 3 <br>MARIPOSA | 4 <br>VÁLVULA ROTATIVA |
| 5 <br>TRES VÍAS       | 6 <br>CUATRO VÍAS  | 7 <br>GLOBO    |  |
| 9 <br>DIAFRAGMA       | 10 <br>11 <br>12 <br>REGULADOR DE TIRO O PERSIANA |   |  |

**Tabla 12.1**

*Símbolos de actuadores [4, pag 33]*

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
|  <p>1<br/>CON O SIN POSICIONADOR U OTRO DISPOSITIVO PILOTO (puede ser posicionador, válvula solenoides, convertidor, etc)</p> <p>-----<br/>DIAFRAGMA DE RESORTE OPUESTO O CON ACTUADOR SIN ESPECIFICAR</p> |  <p>2<br/>PREFERIDO PARA DIAFRAGMA MONTADO CON PILOTO. EL CONJUNTO ES ACTUADO POR UNA ENTRADA (MOSTRADA TÍPICAMENTE CON ENTRADA ELÉCTRICA)</p> <p>-----<br/>DIAFRAGMA DE RESORTE OPUESTO O CON ACTUADOR SIN ESPECIFICAR</p> |  <p>3<br/>ALTERNATIVA PREFERIDA</p> <p>-----<br/>DIAFRAGMA DE RESORTE OPUESTO CON POSICIONADOR Y VÁLVULA PILOTO DE SOBRECARRERA QUE PRESURIZA EL DIAFRAGMA CUANDO ACTÚA</p> |  <p>4<br/>ALTERNATIVA OPCIONAL</p> <p>-----<br/>DIAFRAGMA DE RESORTE OPUESTO CON POSICIONADOR Y VÁLVULA PILOTO DE SOBRECARRERA QUE PRESURIZA EL DIAFRAGMA CUANDO ACTÚA</p> |
|  <p>5<br/>DIAFRAGMA DE PRESIÓN EQUILIBRADA</p>   |  <p>6<br/>MOTOR ROTATIVO (MOSTRADO TÍPICAMENTE CON SEÑAL ELÉCTRICA QUE PUEDE SER HIDRÁULICA O NEUMÁTICA)</p>  |  <p>7<br/>DIGITAL</p>   |   |
|  <p>8<br/>OPUESTO A RESORTE SIMPLE ACCIÓN</p> <p>-----<br/>CILINDRO, SIN POSICIONADOR U OTRO PILOTO</p>  |  <p>9<br/>DOBLE ACCIÓN</p> <p>-----<br/>CILINDRO, SIN POSICIONADOR U OTRO PILOTO</p>  |  <p>10<br/>PREFERIDO PARA CUALQUIER CILINDRO MONTADO CON UN PILOTO, DE MODO QUE EL CONJUNTO ES ACTUADO POR UNA ENTRADA CONTROLADA.</p>                                    |   |

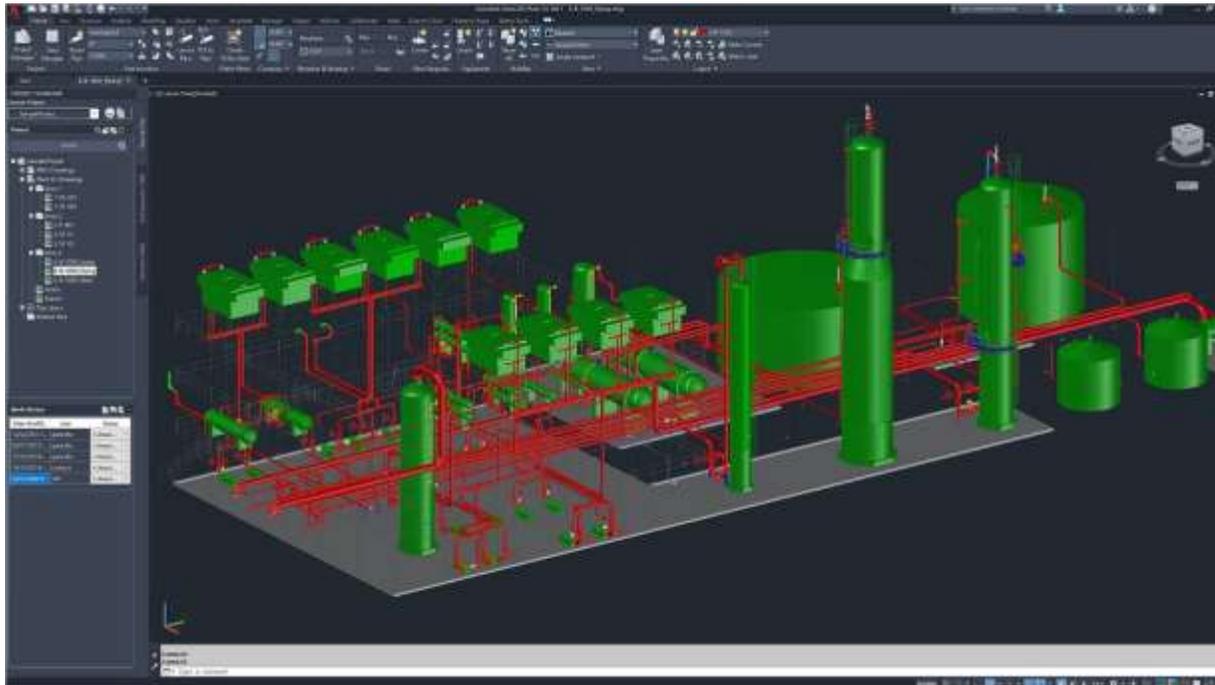
**Tabla 12.2**

*Símbolos de actuadores [4, pag 33]*

|  |   |  |
|--|---|--|
|  <p>11<br/>SOLENOIDE</p>  |  <p>12<br/>ALTERNATIVA PREFERIDA, UN CÍRCULO CON EL CÓDIGO INSTRUMENTO, TV O PUEDE USARSE EN LUGAR DEL SÍMBOLO DE ENCLAVAMIENTO</p> <p>-----<br/>CILINDRO, POSICIONADOR Y VÁLV PILOTO SOBRECARRERA</p> |  <p>13<br/>CILINDRO DE SIMPLE ACCIÓN (TP IMPLICADO)</p>                      |
|  <p>14<br/>VÁLVULA HIDRÁULICA DE 4 VÍAS CON COMUTACIÓN DE DOBLE SOLENOIDE</p>   |  <p>15<br/>ELECTROHIDRÁULICA</p>   |  <p>16<br/>ACTUADOR DE VÁLVULA CON CONVERTIDOR ELECTRO-NEUMÁTICO ACOPADO</p> |
|  <p>17<br/>RESORTE (OPUESTO) PILOTO<br/>ACTUADOR DE TIPO GATELLO CON REALISTE (MOSTRADO TÍPICAMENTE PARA UN ACTUADOR DE SOLENOIDE Y CON SEÑAL ELÉCTRICA TÍPICA PARA REALISTE REMOTO, CON UN REALISTE MANUAL ALTERNATIVO</p> |  <p>18<br/>SÓLO PARA VÁLVULAS DE ALIVIO O DE SEGURIDAD, INDICA UN PILOTO DE RESORTE, PESO O INTEGRAL</p>   |  <p>19<br/>ACTUADOR MANUAL O VOLANTE MANUAL</p>                              |

### 2.3.2 Autodesk Plant 3D

Software 3D para el diseño, modelado y desarrollo de procesos de plantas industriales. Construido sobre la plataforma familiar de software AutoCAD®, AutoCAD Plant 3D trae una solución moderna de diseño 3D a los diseñadores e ingenieros de plantas. La funcionalidad del software integrado AutoCAD® P&ID permite crear y editar P&IDs y conciliar los datos subyacentes con el modelo 3D. Generar y compartir isométricos, orthographics, y otros documentos. [4]

**Figura 15***Entorno Plant 3D [5]*

### 2.3.3 Ventajas de AutoCAD Plant 3D

- Diseño y edición de tuberías basados en especificaciones (Spec).
- Modelado paramétrico de equipos.
- Modelado estructural básico (complementado con otros productos).
- Generación automática de isométricas.
- Herramientas de creación de dibujo de Orthos.
- Herramientas de edición de especificaciones y catálogo de tuberías.
- Funcionalidad integrada con AutoCAD P&ID.
- Compatibilidad con Autodesk Navisworks y AutoCAD Inventor.
- Soporta las Normas ISA 5.1, DIN, etc.

### 2.3.4 Modelado de precisión

Mediante el diseño bajo especificaciones y las librerías de piezas estándar agiliza el proceso de implementación tanto de equipamiento, enrutados de tuberías y estructuras. Las

funcionalidades que integra de P&ID (Diagrama de Tuberías e instrumentación DTI) le permitirán editar diagramas P&ID así como comprobar la concordancia entre el diagrama y el modelo 3D de la instalación correspondiente. Genere y comparta isometrías, vistas ortográficas y el resto de documentos y requerimiento necesarios para la fabricación y mantenimiento de su instalación. [4]

### **2.3.5 Licencia Estudiantil**

Los estudiantes y educadores son elegibles para una licencia educativa individual si están inscritos o empleados en una institución educativa calificada que ha sido acreditada por una agencia gubernamental autorizada y tiene el propósito principal de enseñar a sus estudiantes inscritos.

Las instituciones educativas calificadas pueden acceder a licencias educativas gratuitas con fines de aprendizaje, enseñanza, capacitación, investigación y desarrollo que forman parte de las funciones de instrucción realizadas por la institución educativa.

## **2.4 Control Automático de Proceso**

“El objetivo del control automático de procesos es mantener en determinado valor de operación las variables del proceso tales como: temperaturas, presiones, flujos y compuestos.

Los procesos son de naturaleza dinámica, en ellos siempre ocurren cambios y si no se emprenden las acciones pertinentes, las variables importantes del proceso, es decir, aquellas que se relacionan con la seguridad, la calidad del producto y los índices de producción, no cumplirán con las condiciones de diseño.” [7]

### **2.4.1 Sistema de control de Proceso**

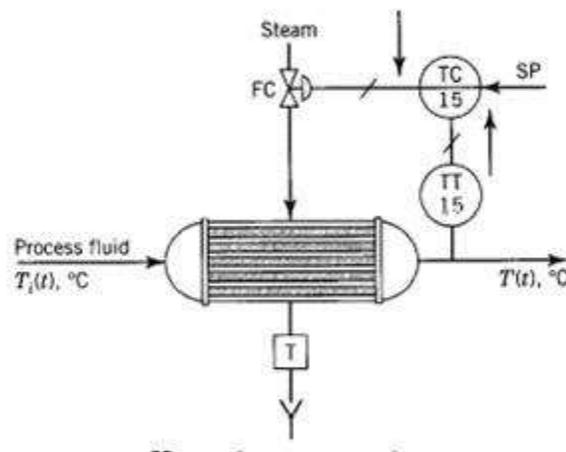
Para aclarar más las ideas expuestas aquí, considérese un intercambiador de calor en el cual la corriente en proceso se calienta mediante vapor de condensación, como se ilustra en la figura 16. [7]

El propósito de la unidad es calentar el fluido que se procesa, de una temperatura dada de entrada;  $T(t)$ , a cierta temperatura de salida,  $T(t)$ , que se desea. Como se dijo, el medio de calentamiento es vapor de condensación y la energía que gana el fluido en proceso es igual al calor que libera el vapor, siempre y cuando no haya pérdidas de calor en el entorno, esto es, el intercambiador de calor y la tubería tienen un aislamiento perfecto; en este caso, el calor que se libera es el calor latente en la condensación del vapor.

En este proceso existen muchas variables que pueden cambiar, lo cual ocasiona que la temperatura de salida se desvíe del valor deseado, si esto llega a suceder, se deben emprender algunas acciones para corregir la desviación; esto es, el objetivo es controlar la temperatura de salida del proceso para mantenerla en el valor que se desea. [7]

### Figura 16

*Sistema de control en intercambiador de Calor [6]*



Una manera de lograr este objetivo es primero, medir la temperatura  $T(t)$ , después comparar ésta con el valor que se desea y, con base en la comparación, decidir qué se debe hacer para corregir cualquier desviación. Se puede usar el flujo del vapor para corregir la desviación, es decir, si la temperatura está por arriba del valor deseado, entonces se puede cerrar la válvula de vapor para cortar el flujo del mismo (energía) hacia el intercambiador de calor. Si la temperatura está por abajo del valor que se desea, entonces se puede abrir un poco más la válvula de vapor para aumentar el flujo de vapor (energía) hacia el intercambiador. Todo esto lo puede hacer manualmente el operador y puesto que el proceso es bastante sencillo no debe representar ningún problema. Sin embargo, en la mayoría de las plantas de proceso existen cientos de variables que se deben mantener en algún valor determinado y con este procedimiento de corrección se requeriría una cantidad tremenda de operarios, por ello, sería preferible realizar el control de manera automática, es decir, contar con instrumentos que controlen las variables sin necesidad de que intervenga el operador. Esto es lo que significa el control automático de proceso. [7]

### 2.4.2 Componentes básicos de los sistemas de control

“Los cuatro componentes básicos de todo sistema de control, estos son:

1. *Sensor*, que también se conoce como elemento primario.
2. *Transmisor*, el cual se conoce como elemento secundario.
3. *Controlador*, que es el “cerebro” del sistema de control
4. *Elemento final de control*, frecuentemente se trata de una válvula de control aunque no siempre. Otros elementos finales de control comúnmente utilizados son las bombas de velocidad variable, los transportadores y los motores eléctricos.

La importancia de estos componentes estriba en que *realizan las tres operaciones básicas* que deben estar presentes *en todo sistema de control*; estas operaciones son:

1. *Medición (M)*: La medición de la variable que se controla se hace generalmente mediante la combinación de sensor y transmisor.
2. *Decisión (D)*: con base en la medición, el controlador decide qué hacer para mantener ña variable en el valor que se desea
3. *Acción (A)*: como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar una acción en el sistema, generalmente ésta es realizada por el elemento final de control

Como se dijo, estas tres operaciones, M, D y A son obligatorias para *todo* sistema de control. En algunos sistemas, la toma de decisión es sencilla, mientras que en otros es más compleja. El ingeniero que diseña el sistema de control debe asegurarse que las acciones que se emprendan tengan su efecto en la variable controlada, es decir, que la acción emprendida repercuta en el valor que se mide, de lo contrario el sistema no controla y puede ocasionar más perjuicio que beneficio.” [7]

## 2.5 Automatización Industrial

Un sistema automatizado es el conjunto de elementos (equipamiento, sistema de información, y procedimientos) interrelacionados funcionalmente entre sí que conforman una estructura jerárquicamente expandida cuya función es garantizar el desempeño independiente del proceso a través de operaciones de control y supervisión total del sistema, bajo las técnicas más modernas y cumpliendo los requisitos establecidos de acuerdo al tipo de planta. [8]

1. “Esquemas de comunicación que garantizan el intercambio confiable de datos, tanto vertical como horizontal entre todos los componentes del sistema.
2. Alta capacidad de adaptación en las características del proceso para futuras aplicaciones, automatización flexible.
3. Trabajo en Tiempo Real.
4. Operación según el principio de: “Control descentralizado bajo mando e información centralizados”.
5. Manejo y explotación de bases de datos.
6. Gran variedad de funciones implementadas que abarcan la explotación del sistema en las esferas de: automatización, control del proceso, monitoreo, ingeniería (simulación y parametrización), diagnóstico y ayuda, administración, etc.

Para concebir un sistema automatizado es necesario tener presentes las diferentes partes que componen el mismo, ellas son:

1. Proceso tecnológico o planta.
2. Los medios técnicos de automatización.
3. Elementos acondicionadores de señales.
4. Interfaces con los medios de cómputo.
5. Medios de cómputo.
6. Aseguramiento matemático.
  - Métodos.
  - Algoritmos.
  - Software.
7. El aseguramiento informativo.
8. El aseguramiento organizativo.
9. Hombre-Operador.” [8]

### 2.5.1 Pirámide de la automatización

**Figura 17**

*Niveles jerárquicos y sus funciones en un sistema automatizado [9]*



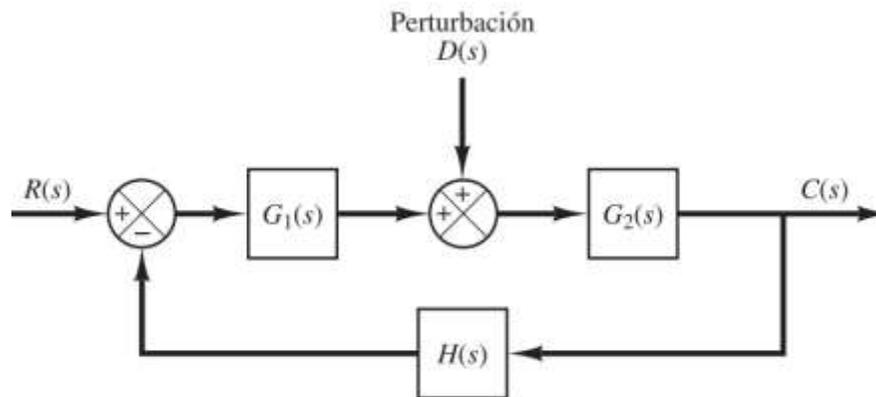
“Estos niveles jerárquicos van de acuerdo la pirámide de manufactura integrada por computadora (CIM) o de automatización en una fábrica o industria que se relaciona con el sistema de modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI), ya que se puede separar por segmentos los cuales realizan distintas operaciones y necesitan requerimientos distintos para operar, el orden es de forma ascendente.

*Nivel 1, Nivel de campo:* En este nivel se encuentran los instrumentos primarios y secundarios como sensores, transductores, válvulas, actuadores, elementos finales de control, según la jerarquía de la figura 17, esto se suelen ver en el campo o en la planta de producción, haciendo que el trabajo físico y el monitoreo sea constante y se realice en menores intervalos de tiempo.

*Nivel 2, Nivel de control:* Este nivel está comprendido por los programadores lógicos programables y el control simultaneo por realimentación, el algoritmo de control PID consta de tres parámetros distintos, el proporcional, el integral y el derivativo, toman información de todos los sensores, interruptores y otros dispositivos de entrada para posteriormente tomar decisiones sobre qué salidas activar para completar la tarea programada, el PID normalmente está integrado en el PLC y significa proporcional, integral y derivativo y permite mantener la variable dentro de un rango establecido de acuerdo al conjunto de parámetros del proceso. En la figura 18 se observa un lazo de control retroalimentado.

**Figura 18**

*Sistema en lazo cerrado sujeto a perturbaciones. [10]*



*Nivel 3, Nivel de supervisión:* Este nivel corresponde al sistema de supervisión control y adquisición de datos o SCADA, es esencialmente la combinación de los niveles anteriores y se suele utilizar para acceder a datos y sistemas controlando múltiples sistemas desde una sola ubicación y proporciona una interfaz gráfica con la que el usuario puede interactuar y controlar funciones en forma retoma a través del HMI.

*Nivel 4, Nivel de planificación:* Este nivel utiliza un sistema de administración de computadoras conocido como sistema de ejecución de fabricación o MES, este supervisa todo el proceso de fabricación en una planta o fábrica desde las materias primas hasta el producto terminado, esto permite a la empresa ver con mayor exactitud lo que está sucediendo y les permite tomar decisiones basadas en esa información, se pueden ajustar los pedidos de materias primas o insumos o los planes de envío basado en datos reales recibidos de los niveles anteriores.

*Nivel 5, Nivel de gestión:* Este nivel maneja el sistema de gestión integrado de las empresas, eso se conoce como ERP o planificación de recursos empresariales, es la forma como la alta dirección puede ver y controlar sus operaciones, suele ser un conjunto de aplicación informática diferentes, utiliza los niveles anteriores además de más software para lograr este nivel de integración permitiendo monitorear todos los niveles de la empresa, desde la fabricación, compras y ventas, además de la parte financiera y nómina entre otros, esto promueve la eficiencia y la transparencia dentro de la empresa.” [9]

### 2.5.2 Sistemas SCADA

“Los sistemas de Control Supervisorio y Adquisición de Datos, son conocidos por el término SCADA, que proviene de las siglas en inglés "Supervisory Control And Data Adquisition".

Un SCADA consiste en un software de aplicación diseñado especialmente para ejecutarse sobre ordenadores destinados al control de la producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores digitales autónomos, autómatas programables, instrumentación inteligente, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador.

- Esquema típico de sistemas SCADA

Esquema típico y componentes SCADA Los componentes de un sistema SCADA son los siguientes:

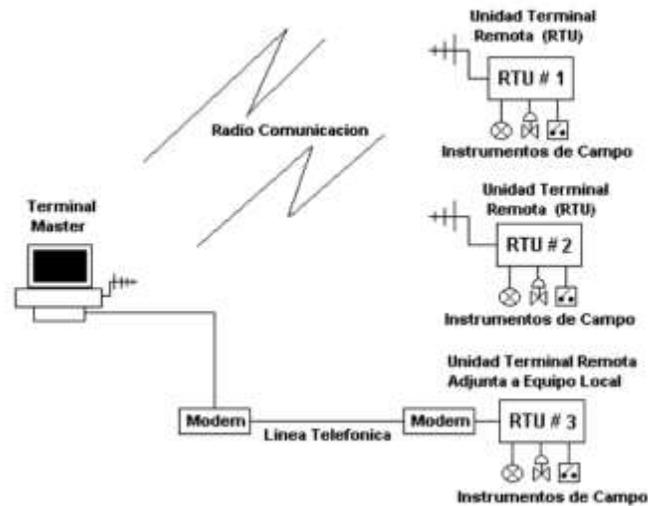
1. Instrumentación de campo.
2. Estaciones terminales remotas.
3. Red de comunicación.
4. Estación central de monitoreo.

Las Estaciones o Unidades Remotas (RTU: Remote Terminal Unit) reciben las señales directamente de los sensores de campo y a su vez comandan a los actuadores y demás elementos de control final. Para su interconexión disponen un canal de comunicación en serie por cable o radio frecuencia Son programables y tienen capacidad de soportar algoritmos de control. Un PLC también puede integrarse dentro de una RTU y formar parte de la estrategia de control que se quiera implementar en el lugar. Un protocolo de comunicación muy utilizado por varios fabricantes es el MODBUS.

La Estación Maestra, es un computador que permite correr un programa SCADA de cierta complejidad, que comprende diversas funciones de acuerdo a la aplicación.

Como puede apreciarse en la figura 19 un sistema SCADA se caracteriza por una combinación de telemetría (técnica empleada para transmitir y recibir información o datos sobre un determinado medio) y adquisición de datos. La información a transmitirse puede ser analógica o digital (nivel, temperatura, voltaje, velocidad, señales on/off, etc.) debiendo ser primeramente medida por los elementos y sensores ubicados a nivel de campo.”[15]

**Figura 19**  
*Sistema SCADA Típico [15].*



De forma general, los SCADA permiten al cliente conocer en todo momento el estado de una instalación, centralizando toda la información de los emplazamientos remotos en uno o varios Puestos de Control. Los equipos de control situados en las estaciones analizan los parámetros más importantes recogiendo los valores aportados por los diferentes sensores. Cuando se identifica una situación especial o de alerta estos equipos realizan la actuación adecuada y advienen del mismo al Puesto de Control, desde donde se procesa la información y se genera de forma automática la señal de mando apropiada. De igual forma, desde el Puesto Central se puede obtener, en tiempo real, cualquier información relativa a las estaciones remotas. [15]

### 2.5.3 Sistemas de control centralizados y distribuidos

“En los inicios de las máquinas industriales cableadas, los ingenieros que necesitaban modificar o solucionar problemas de operaciones tenían que abrirse camino a través de tableros de distribución y paredes de relés agrupados con cables e hilos, uno para cada función, volviéndose éstos más descuidados y menos confiables después de cada intervención.

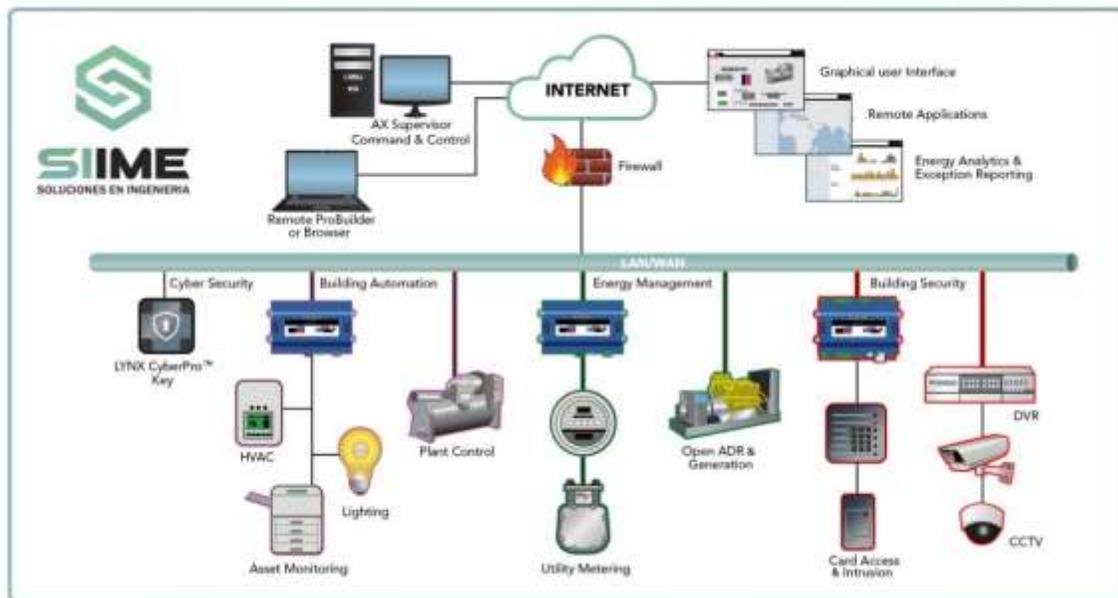
Los sistemas de control se encargan de interconectar todos los dispositivos, instrumentos y equipos de proceso, con el PLC Maestro. Este proceso se puede llevar a cabo mediante dos topologías, centralizado y distribuido.

### ▪ Sistemas de control centralizado

Los Sistemas de Control Centralizado (véase la figura 20), permiten la administración, explotación y mantenimiento unificado de las infraestructuras que componen una edificación. Los profesionales, desarrollan proyectos, asesorías e instalaciones de estos sistemas, integrando los diferentes subsistemas presentes en un edificio, tales como; climatización, iluminación, grupos electrógenos, sistemas hidráulicos (bombas y estanques), sistemas de desplazamiento vertical y horizontal (ascensores y escalas), detección y extinción de incendio, control de acceso y CCTV.” [11]

### Figura 20

*Ilustración de sistema de control Centralizado. [12]*



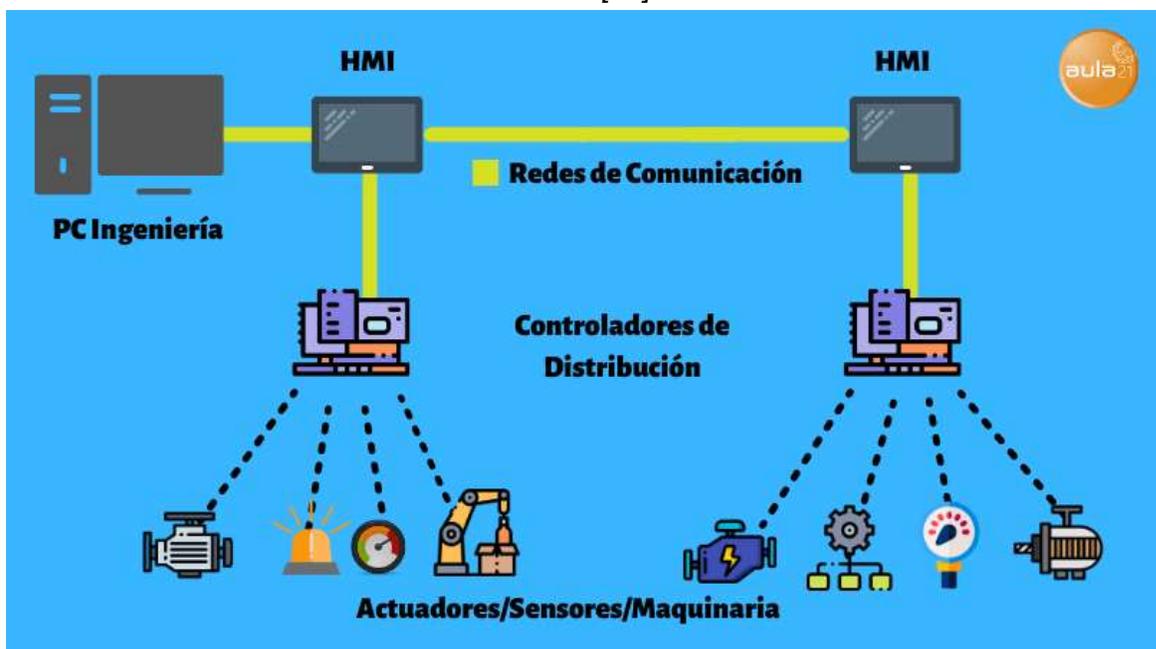
### ▪ Sistemas de control distribuido

“En 1975 aparece el denominado "control distribuido" (véase la figura 21) que cubre la necesidad de reducir el riesgo de averías, lograr una versatilidad que permita el cambio fácil del tipo de control y obtener la mayor economía posible en el control de la planta. En este tipo de control, uno o varios microprocesadores se encuentran repartidos en varios puntos de la planta, donde están conectados a varias señales de proceso correspondientes, en general, a una parte homogénea de la planta. Estos microprocesadores se distribuyen de forma arquitectónica y están conectados entre sí a través de una vía de comunicaciones, la cual comunica, a su vez, con el centro supervisor del control central, desde donde se tiene acceso de modo automático o manual a todas las variables de proceso de la planta.

La ventaja fundamental del control distribuido es la mayor seguridad y economía de funcionamiento, al ser los lazos de control de cada microprocesador de menor longitud (por estar situado en el centro óptimo de las variables de proceso captadas) y menos vulnerables al ruido o a los daños; por otro lado, ante la posible (pero poco probable) pérdida de la vía de comunicaciones (que suele ser redundante) los controladores continúan operando localmente. Además, el operador tiene acceso a todos los datos de los controladores (puntos de consigna, variables de proceso, señales de salida a válvulas, etc.) y puede visualizarlos a través de pantallas de televisión, ya que se halla en contacto con los mismos a través de la vía de comunicaciones.”[13]

**Figura 21**

*Ilustración de sistemas de control distribuido. [14]*



#### 2.5.4 Interfaz Hombre Máquina

“El Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es el interfaz entre el proceso y los operarios; se trata básicamente de un panel de instrumentos del operario. Es la principal herramienta utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. El HMI traduce variables de procesos complejos en información útil y procesable.

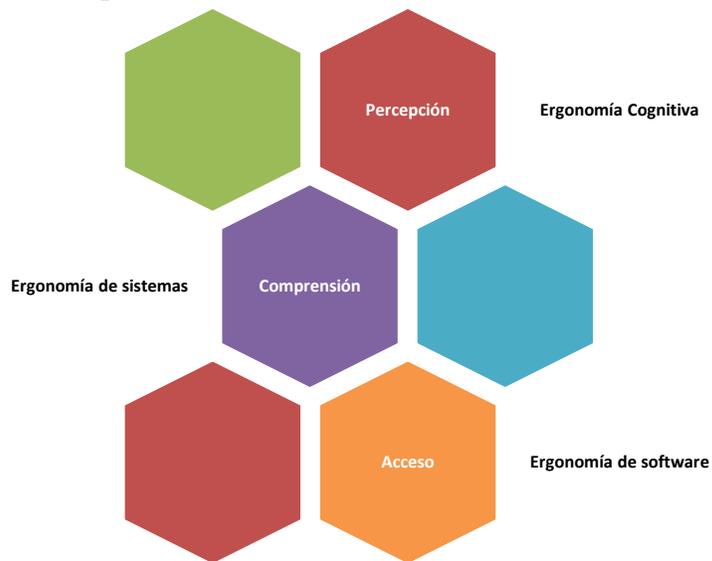
La función de los HMI consiste en mostrar información operativa en tiempo real y casi en tiempo real. Proporcionan gráficos de procesos visuales que aportan significado y contexto al estado del motor y de la válvula, niveles de depósitos y otros parámetros del proceso.

Suministran información operativa al proceso, y permiten el controlar y la optimización al regular los objetivos de producción y de proceso.”[16]

### ▪ Ergonomía de Software

#### Figura 22

*Requisitos mínimos que debe tener una HMI. [Autor].*



1. **Adecuado para realizar sus tareas:** Los productos deben tener las herramientas necesarias para poder realizar el trabajo para el que han sido creados facilitando la interacción entre el hombre y la máquina. Clara comprensión y definición de las opciones que ofrece el producto o software.
2. **Autodescriptivo:** Software intuitivo, comprensible y fácil de usar por el usuario. Es decir, un software ergonómico en el que el manual de instrucciones esté de más o que sea necesario solo para alcanzar niveles de excelencia en programas de alta complejidad.
3. **Controlable:** Permite que la persona que lo esté usando pueda cancelar acciones que haya iniciado o iniciar y detener procesos de todo tipo, como la transmisión de datos o el inicio o cierre de la aplicación misma.
4. **Conforme a las expectativas del usuario:** No se presente publicidad engañosa. Que el software funcione correctamente, que no dé errores, que los botones realicen las funciones correctamente, etc.
5. **Tolerante con los errores del usuario:** Software prevendría al usuario, advirtiéndole y guiándole para evitar cualquier tipo de daño o pérdida de información y, de haber el error, el usuario debe tener la opción de saber qué ha ocurrido, la razón por la que ha ocurrido y una batería de soluciones posibles. Errores de sintaxis.

**6. Personalizable por el usuario:** Ofrecer al usuario explicaciones simples, claras y coherentes que garanticen una buena adaptación al entorno del software para facilitar su aprendizaje.

**7. Fácil de aprender por el usuario:** Ofrecer al usuario explicaciones simples, claras y coherentes que garanticen una buena adaptación al entorno del software para facilitar su aprendizaje.

### 2.5.5 Redes y comunicaciones Industriales

“Las redes de comunicación industrial son la columna vertebral de cualquier arquitectura de sistemas de automatización, ya que ha proporcionado un poderoso medio de intercambio de datos, controlabilidad de datos y flexibilidad para conectar varios dispositivos.

Con el uso de redes de comunicación digital propietarias en las industrias, en la última década se ha logrado mejorar la precisión e integridad de la señal digital de extremo a extremo.

En primer lugar, se considera comunicación al intercambio de información entre dos o más partes. Para ello, la información se transfiere de un tercero a otro, que la recibe, la procesa y la almacena/descarta en función de su relevancia. Cuando se añade el componente industrial, se puede hablar de «comunicación industrial».

La definición se hace considerablemente más difícil cuando el objetivo, es decir, la transmisión de datos entre los dispositivos de un sistema, se formula claramente desde el principio. Para conocer qué es una red y un protocolo industrial va a ser necesario enumerar las funciones de esta comunicación a lo largo de este artículo, debido a sus numerosas configuraciones y variantes.”[17]

#### ▪ Pirámide de las comunicaciones

#### Figura 23

*Pirámide de las comunicaciones [18]*



Todos los fabricantes de dispositivos de redes de comunicación industrial conocen perfectamente las diferentes exigencias para cada tipo de red, por lo que ofrecen diferentes alternativas para cumplir con los requisitos funcionales de cada caso.

En la figura 23 se realiza un estudio de las principales características de cada uno de los niveles. Además, se completa con otra característica, que es: cuanto más nos acercamos al proceso, mayor número de dispositivos intervienen en la red de comunicación para ese nivel, es decir, que a nivel de campo, que es el nivel más próximo al proceso, la red de datos que interviene engloba a los sensores y actuadores, mientras que al nivel más alejado del proceso, como es el nivel de oficina y que básicamente está compuesto por ordenadores, el número de equipos que interviene en la red se reduce considerablemente. [18]

#### ▪ **Normas sobre las comunicaciones**

##### **Normas internacionales:**

Son normas que afectan a nivel mundial:

- ISO (International Standards Organization), que genera normas para todas las áreas y coordina las creadas por organizaciones regionales.
- IEC (International Electrotechnical Commission). Elabora normas para el área eléctrica.
- ITU o UIT (International Telecommunication Unían). Es un organismo constituido por administraciones de más de 150 países, adopta normas que regulan el uso del espectro radioeléctrico en los ámbitos espacial y terrestre. Está estructurada en tres sectores, que son:
  - ITU-T para las telecomunicaciones.
  - ITU-R para la radiocomunicación.
  - ITU-D para el desarrollo de las telecomunicaciones.

## Normas que afectan a las comunicaciones:

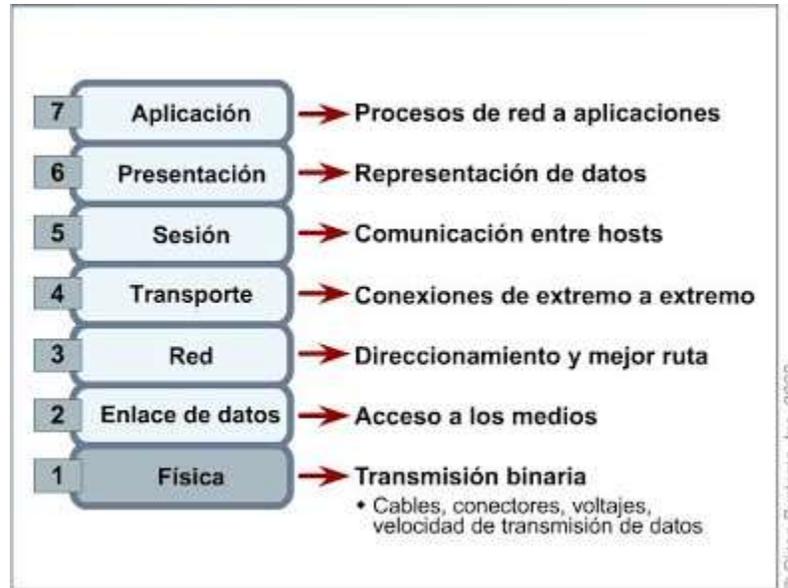
**Tabla 24**

*Normas para las comunicaciones [18].*

| Organismo | Norma/Recomendación | Contenido   |
|-----------|---------------------|---|
| EIA       | RS-232C             | Norma física RS-232 de comunicación serie.            |
| EIA/TIA   | RS-422              | Norma física RS-422 de comunicación serie.            |
| EIA       | RS-485              | Norma física RS-485 de comunicación serie.            |
| EIA/TIA   | 568                 | Cableado estructurado de redes de datos.              |
| IEEE      | 802                 | Redes de área local (LAN).                            |
| IEEE      | 802.3               | Métodos de acceso al medio en redes Ethernet.         |
| IEEE      | 1284                | Norma sobre las comunicaciones en paralelo.           |
| UIT       | V.92                | Normas sobre los módems de 56 kbps.                   |
| AENOR     | UNE-EN 50173        | Cableado de sistemas de información.                  |
| AENOR     | UNE-EN 50174        | Redes de cableado estructurado.                       |
| CENELEC   | EN 50170            | Buses de campo industriales de propósito general.     |
| CENELEC   | EN 61131-5          | Comunicaciones en los autómatas programables.         |
| CENELEC   | EN 61158-2          | Vía de datos en los sistemas de control industriales. |
| IEC       | IEC 61158           | Buses de campo industriales.                          |

### ▪ Modelo OSI

El modelo OSI (véase la figura 25), que quiere decir Open System Interconnection o Interconexión de Sistemas Abiertos, fue definido por la ISO en el año 1983. El modelo OSI está formado por siete capas o niveles. Cada capa o nivel tiene unas funciones claramente definidas y que son las siguientes:

**Figura 25***Modelo OSI [19].*

- "Nivel 1. FÍSICA: Especifica cuál será el medio físico de transporte a utilizar. Señales eléctricas.
- Nivel 2. ENLACE: Estructuración de los datos dentro de la trama y control de errores.
- Nivel 3. RED: Interviene en el caso en el que intervenga más de una red.
- Nivel 4. TRANSPORTE: División de los datos en paquetes de envío.
- Nivel 5. SESIÓN: Para el control del inicio y finalización de las conexiones.
- Nivel 6. PRESENTACIÓN: Representación y encriptación de los datos.
- Nivel 7. APLICACIÓN: Utilización de los datos." [19]

#### ▪ Normas Físicas

“Dentro de lo que es el nivel físico del modelo OSI, y al igual que otros aspectos de la comunicación, el enlace de datos también se encuentra normalizado. Las principales normas utilizadas en las comunicaciones industriales son:

- RS-232.
- RS-422.
- RS-485.” [25]

#### Topología de redes

“La topología de las redes es el aspecto físico que forman los equipos y el cableado de los mismos. Se pueden encontrar sistemas industriales con las siguientes topologías:

- Punto a punto.
- Árbol.
- Anillo.
- Estrella. “[19]

**Punto a punto:** “Es la más sencilla, ya que se basa en la conexión directa de dos equipos. Sus principales características son:

- No es necesario que dentro de la trama del mensaje se incluyan las direcciones, tanto de origen como la de destino.
- Se pueden llegar a comunicar mediante sistemas Half-Duplex (RS-485) o Full-Duplex (RS-422). En este último caso también es innecesario el tema del acceso al medio, ya que se pueden comunicar bidireccionalmente y de forma simultánea.
- El sistema de cableado utilizado es sencillo y a veces sin necesidad de adaptadores de red (interfaces).

*Ventajas:*

- Topología simple en su instalación.
- Fácil control de acceso a la red.
- Si un nodo falla, el resto puede funcionar.
- Su evolución fue hacia el tipo estrella.

*Inconvenientes:*

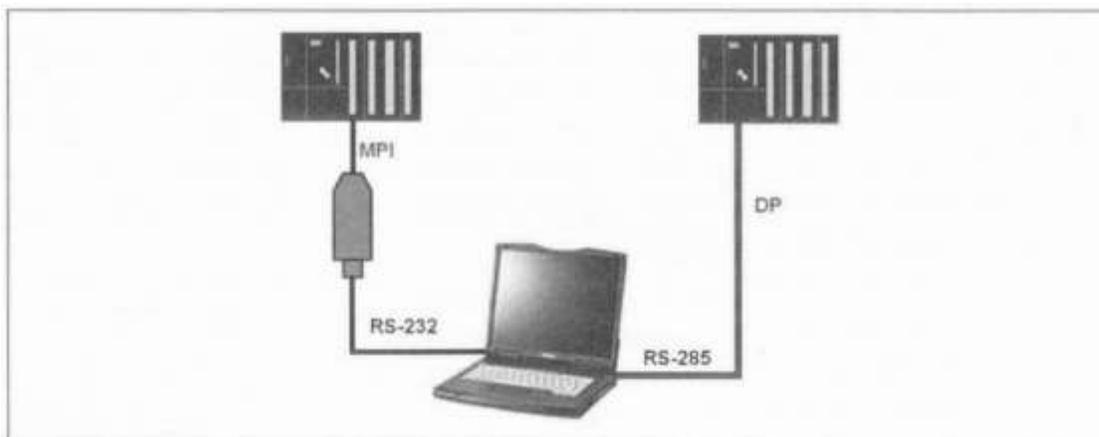
- Válido para pocos nodos, por su complejidad en el cableado.
- Múltiples tarjetas de comunicaciones.

*Aplicaciones:*

- Pocas estaciones y distancias cortas. “[ 19]

### **Figura 26**

*Estructura de red en forma de punto a punto. [19]*



**Bus:** “Una única línea, compartida por todos los nodos de la red. Al ser un bus compartido, antes de enviar un mensaje cada nodo ha de averiguar si el bus está libre. Tan sólo un mensaje puede circular por el canal en cada momento. Si una estación emite su mensaje mientras otro mensaje está en la red, se produce una colisión.

Ventajas:

- Coste de la instalación bajo.
- El fallo de un nodo no afecta al funcionamiento del resto de la red.
- Control del flujo sencillo.
- Todos los nodos pueden comunicarse entre sí directamente.
- La ampliación de nuevas estaciones o nodos es sencilla.

Inconvenientes:

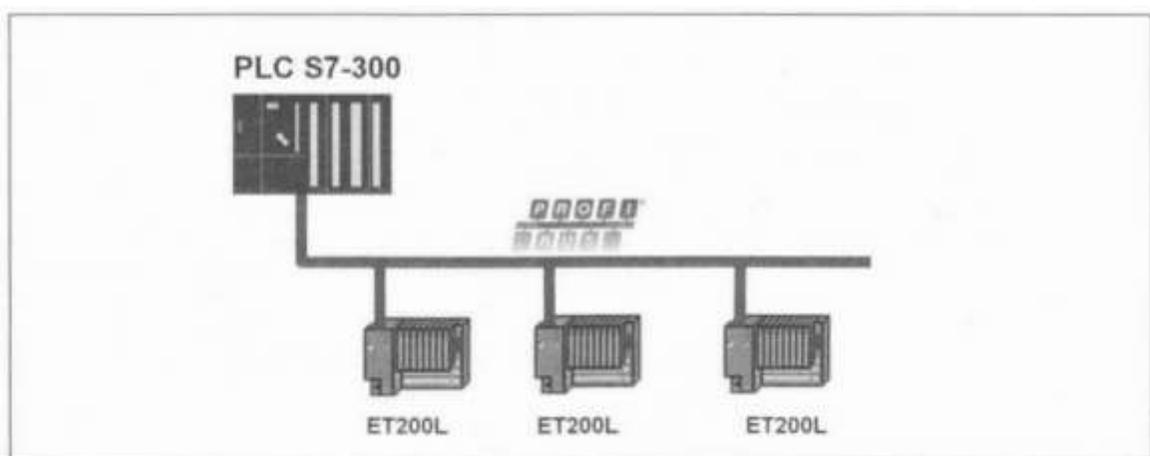
- Limitado en la distancia (10 km), necesidad de repetidores por problemas de atenuación.
- Posibilidad elevada de colisiones en la red.
- Acaparamiento del medio cuando un nodo establece una comunicación muy larga.
- Dependencia total del canal. Si éste falla, la red se paraliza.

Aplicaciones:

- Redes industriales.
- Redes LAN Ethernet (obsoleto). “ [19]

### Figura 27

*Estructura de red en forma de bus. [19]*

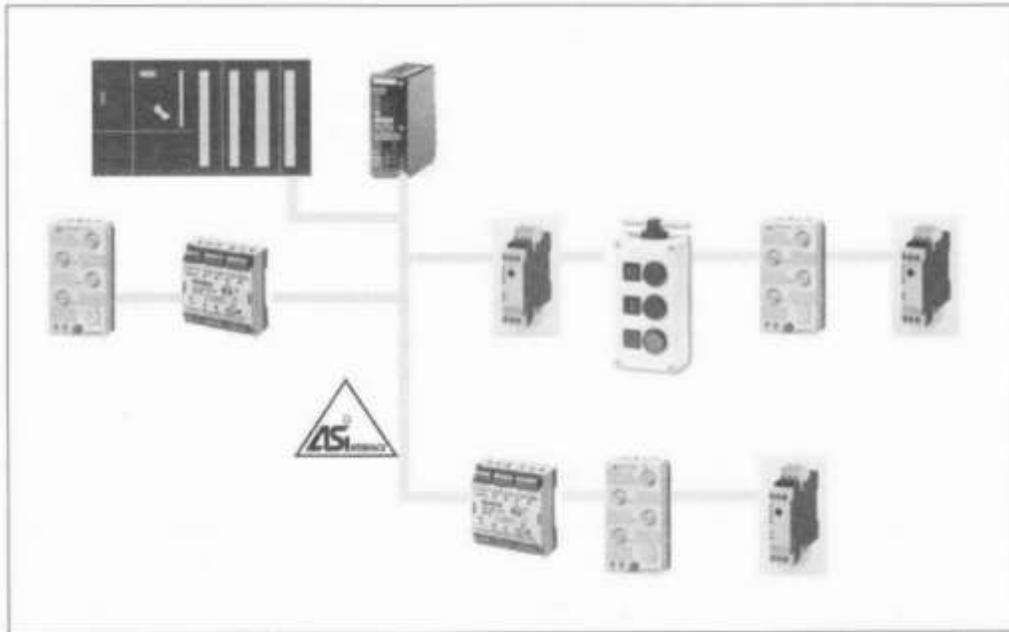


**Árbol:** Está formado por un grupo de buses conectados entre sí, dando lugar a una estructura arbórea. Con este sistema se consigue mayor alcance que el proporcionado por un bus

simple, aunque se incrementa el problema de la atenuación. Este tipo de red puede aplicarse para dotar de una red por departamentos o zonas independientes dentro de una empresa. [19]

### Figura 28

*Estructura de red en forma de árbol. [19]*

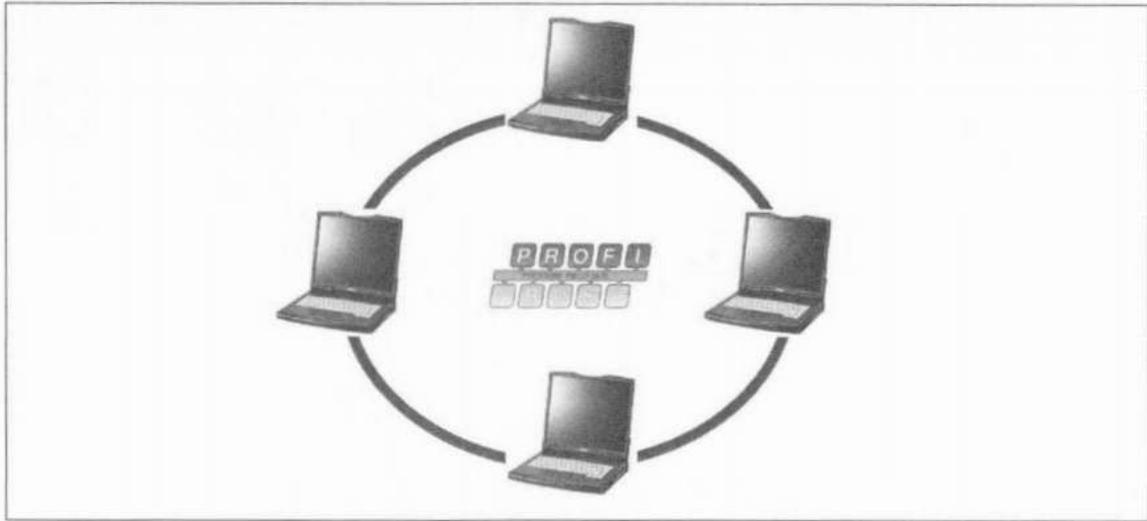


**Anillo:** “Es un caso especial de la conexión en bus, en el que los dos extremos se unen para formar un bus cerrado en forma de anillo. Sus características principales son:

- La información fluye en un único sentido.
- El mecanismo de transmisión es dejar el mensaje y éste circula por el anillo hasta llegar al receptor.
- Puede circular más de un mensaje por el anillo.
- La inserción de un nuevo equipo al anillo es fácil, tan sólo es necesario conectarlo físicamente al medio de transmisión.
- El rendimiento de la red puede ser muy elevado, la velocidad la marca el equipo más lento.
- El control es bastante simple desde el punto de vista hardware y software.” [19]

**Figura 29**

*Estructura de red en forma de anillo. [19]*



“Ventajas:

- No existen problemas de encaminamiento, todos los mensajes circulan por el mismo camino.
- La inserción de un nuevo nodo es fácil.
- No se producen colisiones.
- El rendimiento es alto, aunque la velocidad la marca el nodo más lento.
- No hay problemas de atenuación, cada nodo actúa como repetidor de la señal.

Inconvenientes:

- El fallo de un equipo deja el anillo fuera de servicio y por tanto la red deja de funcionar.
- IBM lanzó al mercado la red tipo "TOKEN RING" que hace que cuando un equipo falle, éste se cortocircuite provocando que la red siga funcionando.
- Es válido para distancias cortas.

**Estrella:** Todos los puestos de trabajo están conectados a un mismo nodo de la red, llamado concentrador o HUB (repetidor de la información).

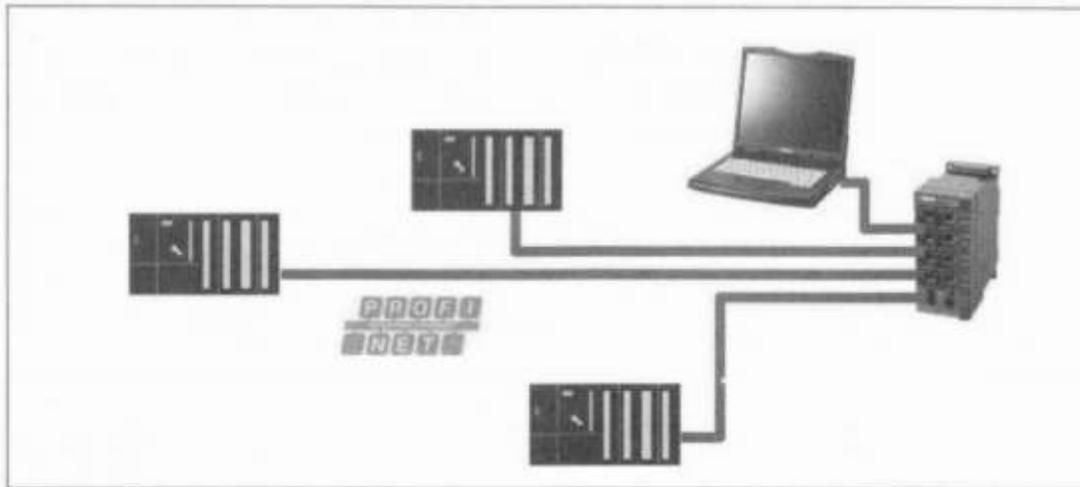
Este nodo central es el que controla toda la transferencia de información, con lo cual se crea una dependencia total de este elemento, puesto que si falla dicho elemento, cae con él toda la red.

Ventajas:

- Mayor rendimiento, ya que la información va directamente del emisor al receptor sin pasar por nodos intermedios (excepto el HUB).
- Podemos añadir o suprimir nodos con suma facilidad.
- Fácil conexiónado y mantenimiento.
- Admite diferentes velocidades.” [19]

### Figura 30

*Estructura de red en forma de estrella. [19]*



“Inconvenientes:

- Dependencia total del HUB; si éste falla, la red no funciona.
- Si el HUB no es suficientemente potente, se pueden producir retardos importantes que pueden llevar a paralizar la red (efecto "cuello de botella").

Aplicaciones:

- Redes LAN, Ethernet y Fast Etherne.” [19]

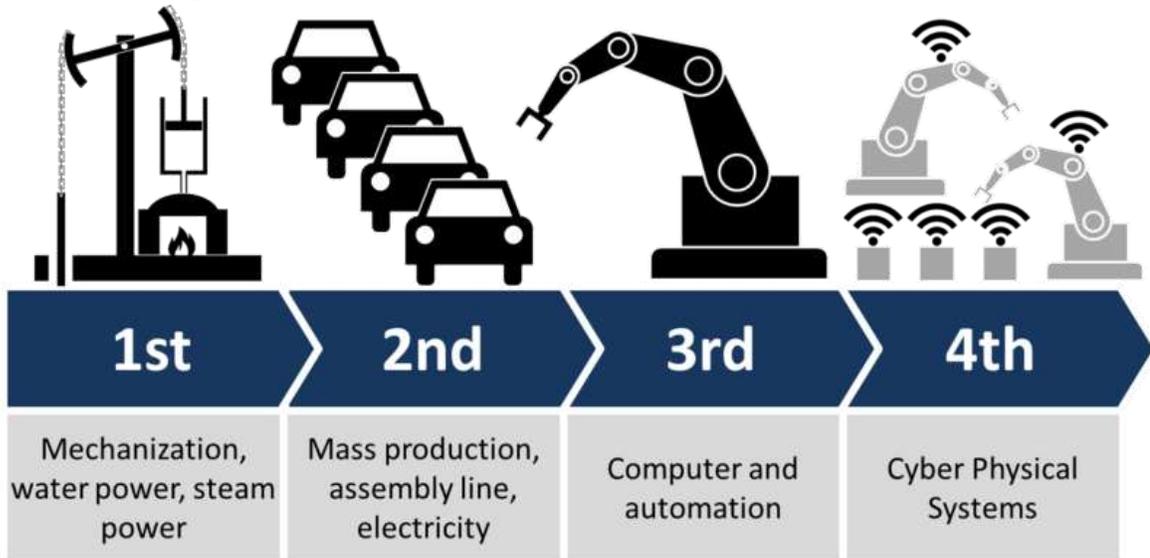
### 2.5.6 Industria 4.0

**Industria 4.0** (véase la figura 31 y 32) y su cuasi-sinónimo **Cuarta Revolución Industrial**, son expresiones que denominan una hipotética cuarta mega etapa de la evolución técnico-económica de la humanidad, contando a partir de la Primera Revolución Industrial. Esta cuarta etapa habría comenzado recientemente y su desarrollo estaría proyectado hacia la tercera década del siglo XXI. La inteligencia artificial es señalada como elemento central de esta transformación, íntimamente relacionada a la acumulación creciente de grandes

cantidades de datos (“big data”), el uso de algoritmos para procesarlos, y la interconexión masiva de sistemas y dispositivos digitales. [20]

**Figura 31**

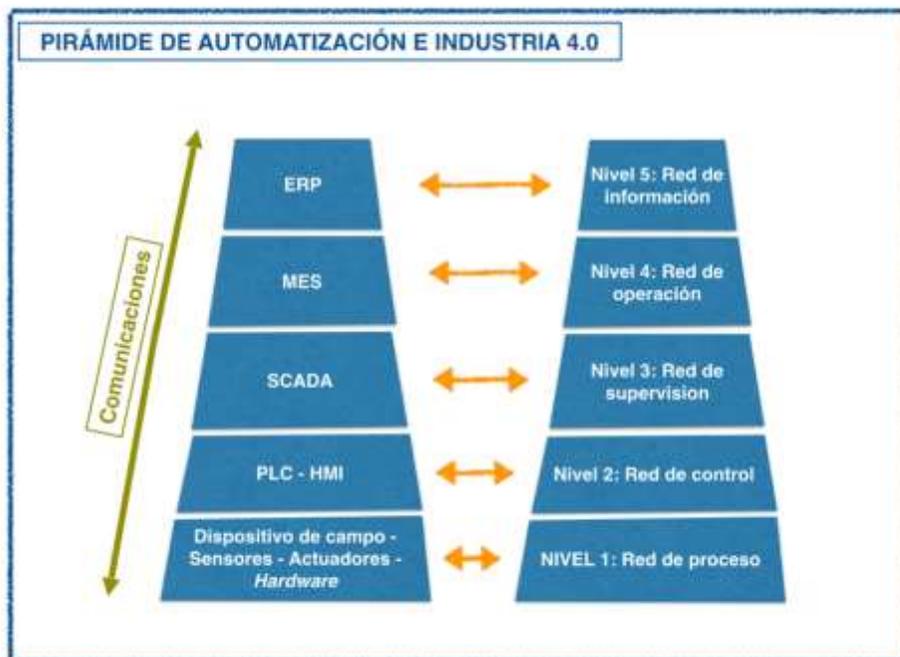
*Ilustración temporal del desarrollo de la automatización. [21]*



▪ **Pirámide de la automatización y la industria 4.0**

**Figura 32**

*Pirámide de Automatización e Industria 4.0. [22]*



La clasificación descrita puede ser cuestionada en cuanto al número de niveles. Si se observan imágenes de pirámides de automatización en una búsqueda en internet, existen de cuatro, cinco y 6 niveles al menos. Según cada organización, los niveles mostrados en la figura se pueden reducir al no disponer de alguno de ellos, o debido a integrar dos en uno. A continuación se describen algunas características de cada nivel:

- **“Nivel 1: Red de proceso (dispositivos de campo – sensores – actuadores – hardware)**

Estos dispositivos son partes de un equipo productivo o industrial. Informan al control (PLC) del nivel 2, de la situación de un dispositivo en cuanto a su situación (temperatura, posición/distancia, abierto/cerrado, etc.). También actúan al recibir una orden del PLC. Las velocidades de transmisión de los datos son en milisegundos. La frecuencia de transmisión de datos puede ser en milisegundos si el control del proceso (PLC-Nivel-2) así lo requiere. Algunos dispositivos podrían almacenar información, aunque no sea su función principal.

- **Nivel 2: Red de control (PLC-HMI)**

Estos dispositivos controlan un equipo productivo o industrial. La función principal es la de control y gobierno del mismo. Reciben información del nivel 1, controlan el estado del equipo productivo o industrial y envían órdenes para que los elementos del equipo productivo o industrial ejecuten sus funciones. Las velocidades de transmisión de la información pueden ser de milisegundos. El nivel 2 transmite información tanto hacia el nivel 1 como al nivel 3. La frecuencia de transmisión hacia el nivel 1 puede ser de unos pocos milisegundos hasta segundos o minutos, dependiendo de la necesidad de ejecución del proceso.

- **Nivel 3: Red de supervisión – SCADA**

Un SCADA puede monitorizar en tiempo real el nivel 2 de uno o más PLC a la vez. Desde un SCADA se pueden enviar órdenes a uno o varios PLC y coordinarlos entre sí. Los PLC, nivel 2, a su vez gobernarán los sistemas bajo su control.

El entorno de los SCADA permite capacidades de almacenamiento importantes a través de bases de datos SQL o NoSQL, además de software vario para aplicaciones utilizadas en el mundo de la industria y hasta un MES, aunque en la pirámide se haya representado en el nivel 4.

- **Nivel 4: Red de operación – MES (Manufacturing Execution System)**

Como indican las siglas, el término MES tiene que ver con las operaciones realizadas en plantas industriales. Engloba información de operaciones productivas, logísticas,

mantenimiento, calidad y seguridad. También podría mostrar información de los productos y de los procesos.

- **Nivel 5: Red de información – ERP**

La información en los ERP suele ser más estática que la de los niveles inferiores. En general, la actualización de la información se da en una frecuencia inferior, comparándola con los niveles 1, 2, 3 y 4. En este nivel se incluye información sobre clientes, proveedores, ofertas, contratos, activos, consolidación informativa de varias plantas productivas, contabilidades, costes, gestión proyectos, etc.

El nivel 5, ERP, y el nivel 4, MES, en algunas organizaciones están englobados como un mismo sistema. Esto se debe a que la frecuencia de actualización de la información utilizada es similar, o a no disponer de un sistema diferenciado MES. En este caso, algunos módulos del ERP funcionarán como MES.” [20]



## **3. Metodología**

## **3.1 Detallar el P&ID de las principales etapas del proceso actual.**

### **3.1.1 Distribución de planta**

La identificación del flujo de proceso e instrumentos y equipos de proceso se puede representar bajo las recomendaciones y sugerencias de la norma ISA 5.1, pues esta proporciona información acerca del tratamiento de los datos de las tuberías, instrumentos y equipos de proceso, de esta manera se puede planear una mejor administración de las operaciones, agregando un valor sustancial, mejorando su competitividad y su rentabilidad a mediano y largo plazo.

De las muchas funciones en los negocios, tres se consideran primarias: producción, mercadotecnia y finanzas. La administración de la producción y de las operaciones es la administración del sistema de producción de una organización, que convierte insumos en productos y servicios.

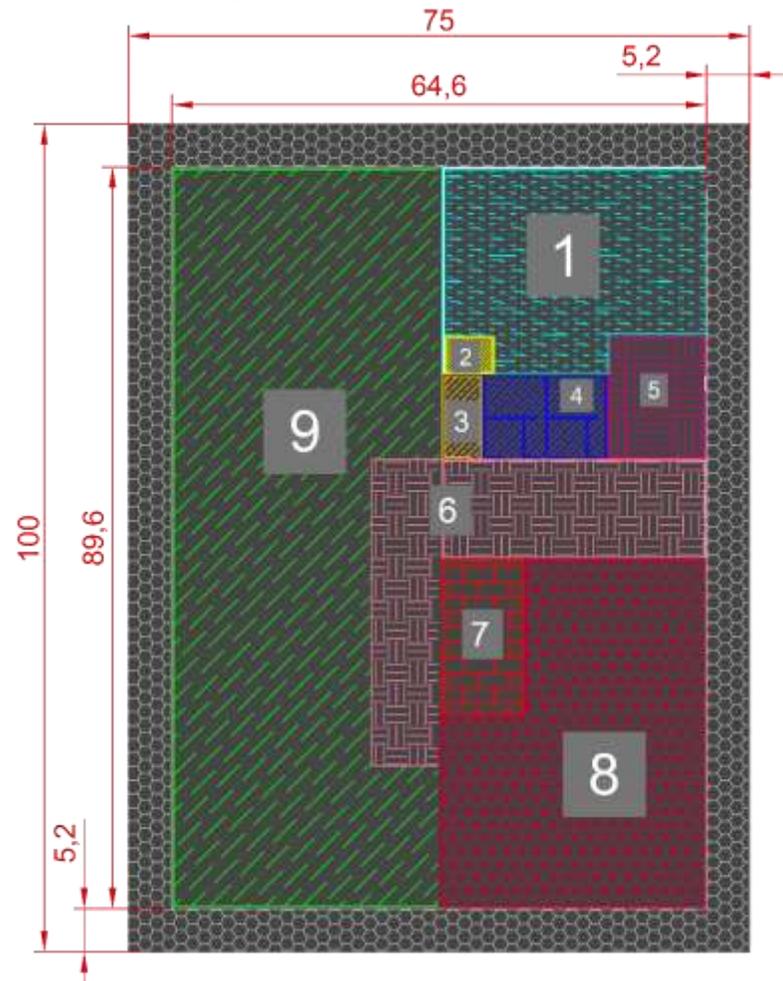
Un sistema de producción toma insumos; materias primas, personal, máquinas, edificios, tecnología, efectivo, información y otros recursos, y los convierte en productos, sean bienes o servicios.

Por tal razón es importante primeramente reconocer las operaciones desarrolladas en la planta teniendo en cuenta las funciones del sistema para determinar el flujo de trabajo de principio a fin, detectando posibles fallas o riesgos que desemboquen en el mal funcionamiento del sistema.

La planta de Aguardiente se encuentra distribuida por áreas internas (véase la figura 33) en las que interactúan los sistemas; como el SCADA, los operarios, las máquinas, actuadores y sensores. En la figura 33, se ilustra la distribución analizada en campo.

**Figura 33**

*Distribución de zonas en el bloque de preparación, (medidas en metros) [Autor]*



El bloque de Preparación posee un flujo de personal y de producción constante, por lo que cada zona debe cumplir un factor fundamental dentro de la misma.

1. Preparación: Área donde se lleva a cabo la elaboración del producto, en esta zona se encuentran ubicados los instrumentos primarios de medición, elementos de control y elementos finales de control. esta zona es fundamental para la elaboración del producto, pues es en ésta donde se procesa la materia prima hasta obtener el aguardiente deseado.

2. Monitoreo y control: Básicamente el SCADA de la planta se encuentra en este pequeño lugar, pues en esta área se comunica el PLC a los dispositivos de campo integrando la simulación, control y parte operativa.
3. Taller de Mantenimiento Eléctrico: Zona donde los operarios realizan trabajos de mantenimiento a equipos eléctricos o electrónicos.
4. Zona de Baños Operarios: Zona de Higiene personal para mantener la salud y la limpieza bajo las exigencias de ley.
5. Practicantes y Reuniones: Área dedicada a brindar un espacio agradable para las labores asignadas a los practicantes y para realizar reuniones de extracurriculares en la FLA.
6. Cargue y descargue: Zona de transporte del producto final, mediante carretillas contrabalanceadas.
7. Taller de Mantenimiento Mecánico: Zona donde los operarios realizan trabajos de mantenimiento a mecanismos de los actuadores como las bandas de transporte y demás máquinas implementadas en la etapa de producción.
8. Bodega Temporal: Es una bodega que se usa para mantener un flujo controlado de la zona de cargue y descargue del producto final, que sale del bloque de envasado.
9. Envasado: Lugar en el que se envasa y etiqueta el producto derivado de la zona de preparación; es decir, que en esta zona se le proporciona la presentación al producto y se empaqueta por lotes para su posterior comercialización.

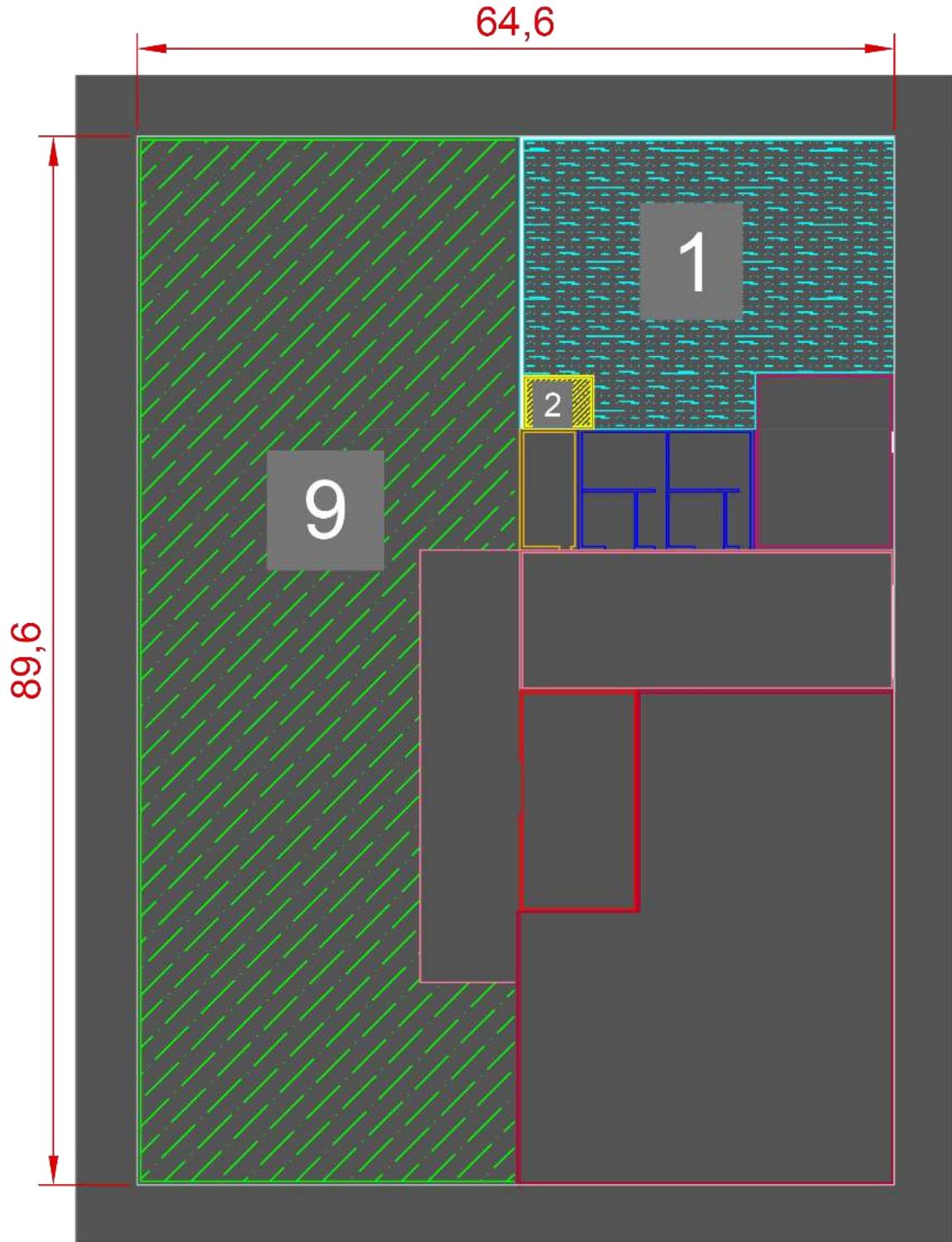
### 3.1.2 Localización de tanques

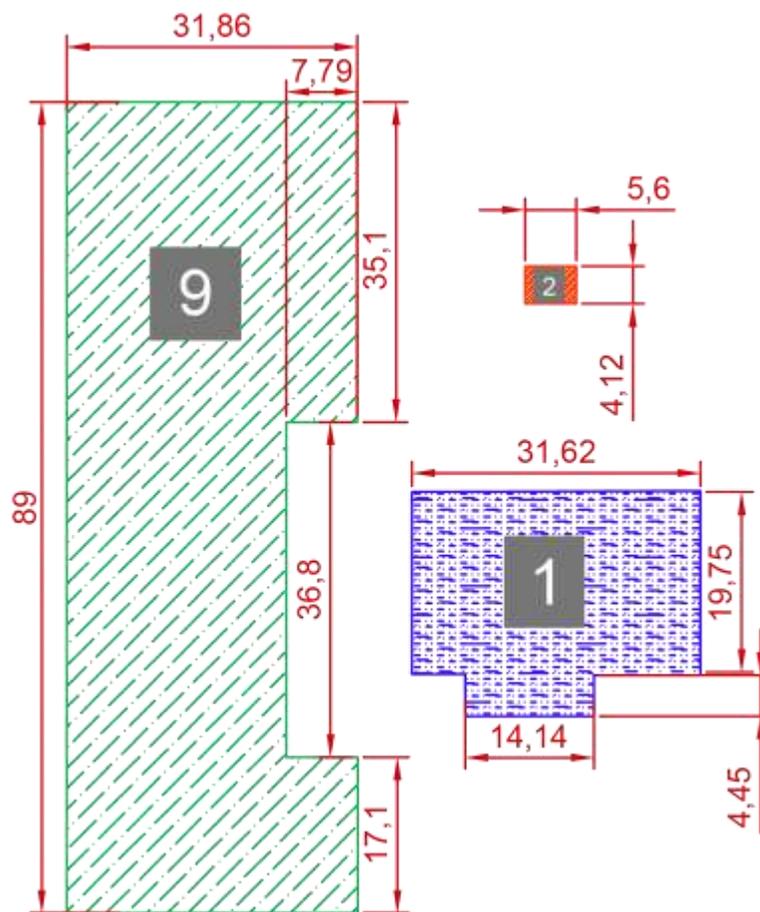
Como se mencionó anteriormente, las zonas de interés para desarrollar la propuesta de automatización serán la zona de preparación, monitoreo y control, y envasado; en otras palabras, 1, 2 y 9 respectivamente.

Las zonas que poseen tanques son la 1 y la 9, pues en este modo de distribución permite agilizar primeramente la parte de preparación donde se crean las recetas a partir de los insumos que son almacenados en tanques auxiliares, los cuales estaremos detallando en las siguientes secciones, como segundo lugar para los tanques tenemos la zona de envasado, pues en esta se necesita el producto final para llevar a cabo el envasado y empaquetado. Estas zonas se ilustran en la figura 2.

**Figura 34**

*Zonas de interés para el desarrollo de la propuesta de automatización. [Autor]*



**Figura. 35***Dimensiones de las zonas de interés. [Autor]*

Las zonas de interés 1 y 9 (véase la figura 35), representan el lugar de ubicación de tanques de mezclado, auxiliares y envasado, por lo cual es importante reconocer el espacio en el que operarán los sistemas actuales.

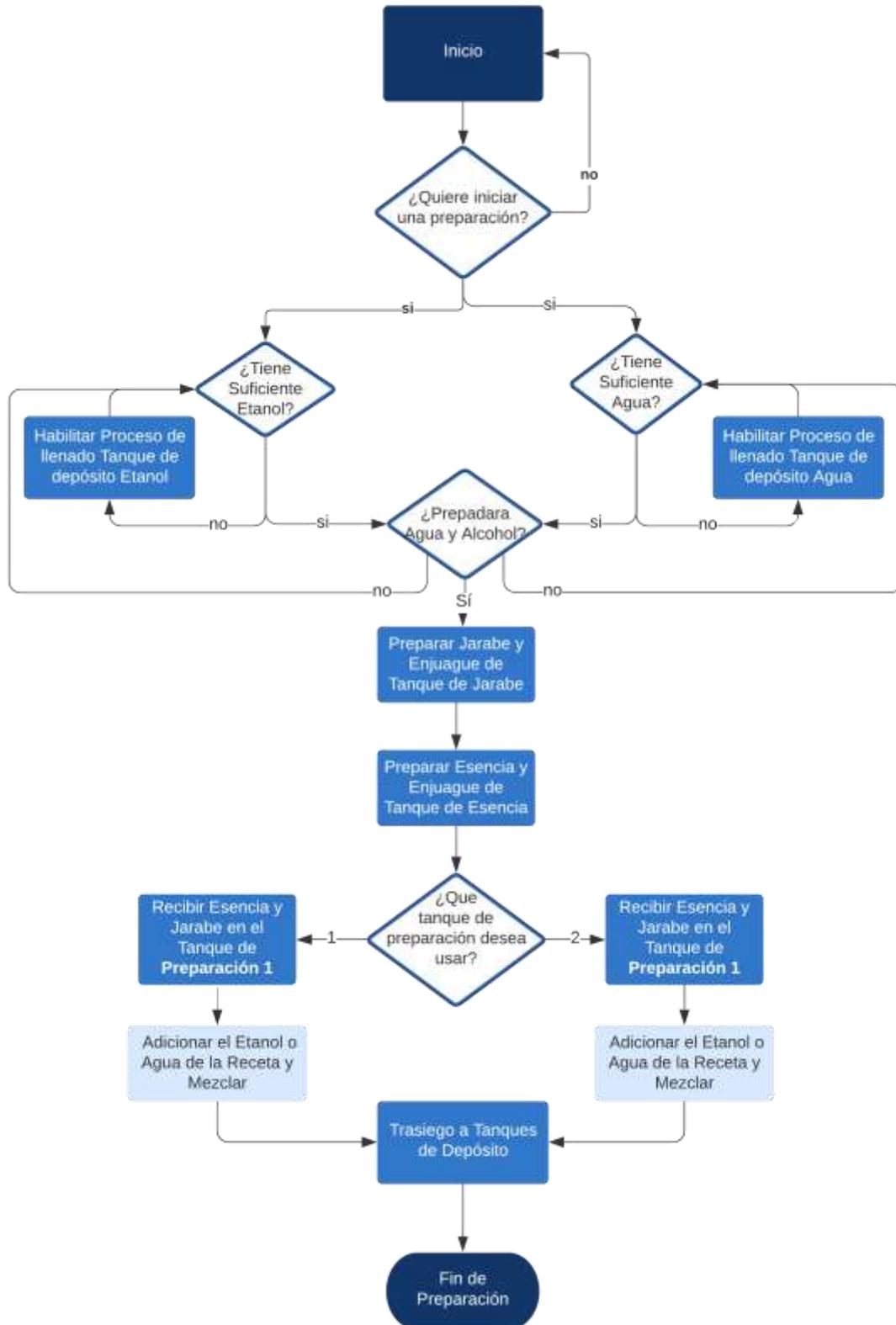
### 3.1.3 Diagrama de flujo de proceso.

El proceso de elaboración de aguardiente da vía a la operación de tanques para preparación, trasiegos y operaciones de transporte mediante conexiones de tubería. Estas operaciones son llevadas a cabo mediante la medición de los niveles de líquido, medida de peso y actuadores que generalmente son válvulas de control. A su vez, estos instrumentos se dividen en etapas de control que se pueden representar mediante lazos de control, que se le atribuyen a cada tanque como se representa en los siguientes P&ID del proceso.

En la figura 36, se representa el flujo de proceso de la planta; donde se identifica el flujo del proceso en el que intervienen variables físicas intrínsecas, que se monitorean, manipulan y almacenan por medio de los instrumentos y equipos de proceso.

**Figura 36**

*Diagrama de Flujo de proceso. [Autor]*



El diagrama de flujo representado en la figura 36, se desarrolla con la ayuda del P&ID1, P&ID2, P&ID3 y P&ID4, logrando así preparar cada producto de la planta de Aguardiente de la FLA. A pesar de que el diagrama de flujo abarca gran parte del análisis del sistema, este no es lo suficientemente explícito para explicar y detallar la información de los instrumentos y equipos de proceso que intervienen en el flujo del proceso. Para cumplir con este objetivo, se presentan las abreviaciones para los instrumentos y equipos de proceso de la planta a nivel general, establecidas bajo la norma ISA 5.1 en la tabla 13.

### 3.1.4 Implementación de la norma ISA 5.1 para el diseño del P&ID

**Tabla. 13**

*Abreviaciones para Instrumentos y Equipos de Proceso de la planta. [Autor]*

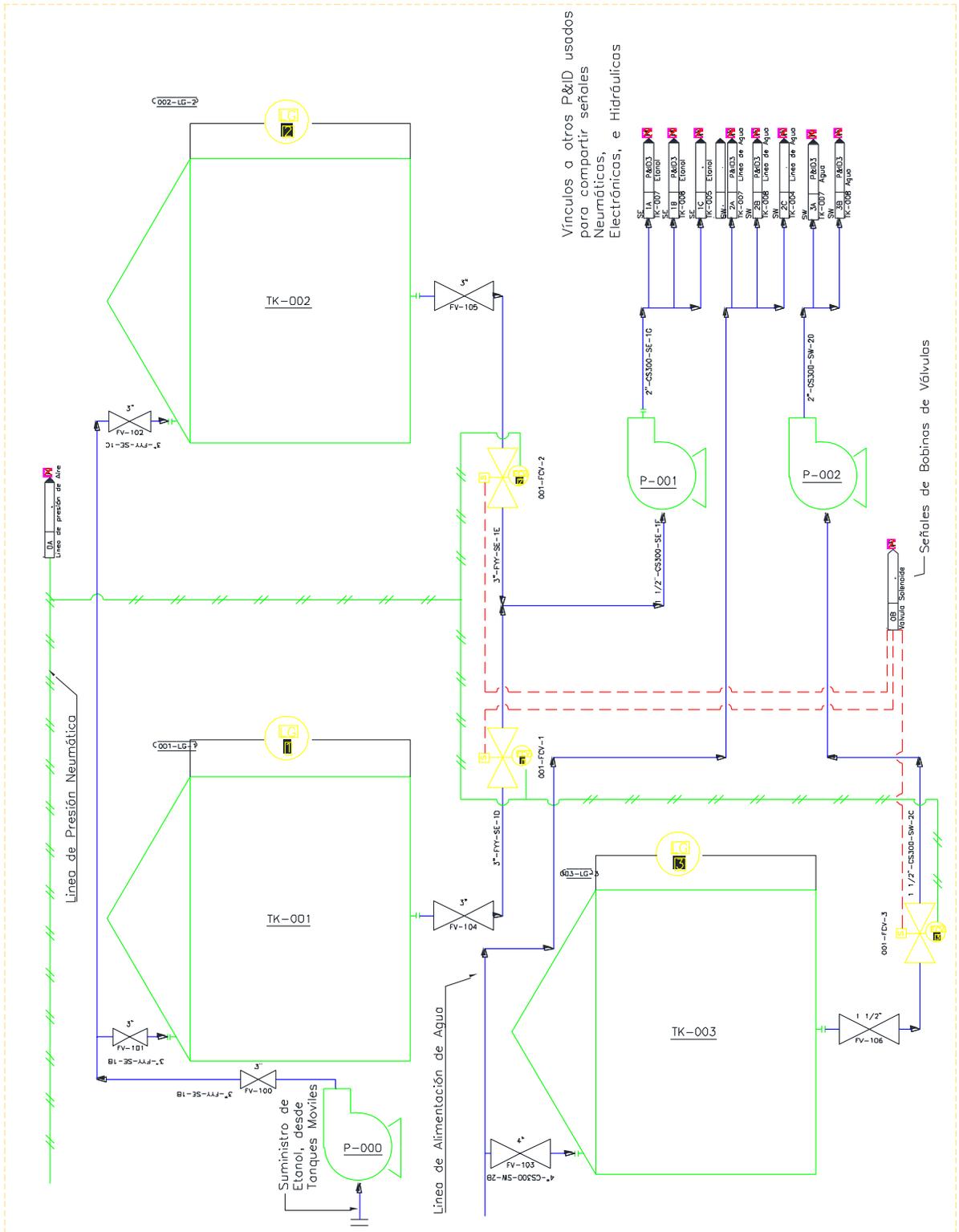
| <b>Etiqueta</b> | <b>Instrumento o Equipo de Proceso</b> |
|-----------------|--|
| <b>TK</b>       | Tanque de depósito                     |
| <b>LG</b>       | Tubo de vidrio indicador de nivel      |
| <b>FV</b>       | Válvula de Flujo                       |
| <b>FCV</b>      | Válvula de control de Flujo            |
| <b>P</b>        | Bomba                                  |
| <b>A</b>        | Agitador o Mezclador para tanque       |
| <b>WE</b>       | Elemento primario de medición de Peso  |
| <b>WIT</b>      | Transmisor Indicador de Peso           |
| <b>LT</b>       | Transmisor de Nivel                    |

Estas abreviaciones mejoran la interpretación de las etiquetas y funciones de los instrumentos y equipos de proceso, mejorando así la manera en la que se ordena la información para que posteriormente logre ser leída y comprendida por cualquier profesional bajo el estándar propuesto por la norma ISA 5.1.

Cabe destacar que los instrumentos indicados en la tabla 13, tienen su representación eléctrica, la cual se puede observar en cada P&ID, pues de esta manera se logra una mayor comprensión del sistema o etapas del proceso, pues se puede predecir la totalidad de variables físicas que están monitoreadas y manipuladas por el sistema de control. Estas pueden ser de tipo Analógico o Digital.

De la misma manera, se desarrolla el P&ID1 para representar la etapa inicial del proceso de fabricación de Aguardiente en la figura 37.

**Figura 37**  
*P&ID 1, Suministro de Alcohol y Agua. [Autor]*



La figura 37, representa la instrumentación de proceso identificada en la primera etapa (etapa de suministro), donde se lleva a cabo el depósito de la materia prima (Agua y Alcohol) para su posterior tratamiento. Esta etapa es posible debido a los instrumentos de proceso, quienes requieren de alimentación Mecánica, Neumática y Eléctrica para ejecutar las acciones tomadas por el PLC u Operario en modo manual. De esta manera se da a entender que el control de esta etapa es un control semiautomático el cual requiere de la presencia y atención del operario.

En esta línea de proceso tenemos una línea principal de Etanol al 96% proporcionada por un Tanque móvil (Carro Tanque) ubicado en un costado superior derecho del plano de la figura 2; desde el cuál se realiza un acople bridado a la línea para proporcionar la presión necesaria para el transporte mediante la bomba *P-000*, para que posteriormente este producto sea almacenado en los tanques de depósito, *TK-003* y *TK-002*. Claramente el flujo de este producto está determinado por la apertura o cierre de las válvulas manuales *FV-100*, *FV-101* y *FV-102*. Estos tanques poseen un indicador de nivel en formato de columna de vidrio localizado a un costado externo, desde el cuál es visible al operario.

Además tenemos la línea de agua que proviene desde la panta de agua de la fábrica, pues es desde esta, donde se alimenta el tanque de depósito de agua *TK-003*, el cual tiene la válvula de llenado *FV-103* y las válvulas de desagüe *FVI05* y *FVC-3* para su posterior transporte a Tanques de Mezcla o Jarabe. Como se explica, estos instrumentos son de actuador mecánico, ya que es el operario quien ejerce torque para abrir o cerrar las válvulas y la decisión de abrir o cerrar las válvulas manuales, las determina en base al indicador de nivel de vidrio que posee el tanque de manera externa, visible al mismo.

Este suministro de Etanol y Agua solo posee algunos instrumentos controlados por el PLC o sistema de control, estos son: las válvulas de control de flujo *FCV-1*, *FCV-2* Y *FCV-3*. Todo lo demás tiene accionamiento manual o mediante interruptores en tableros dedicados a la marcha y paro de las bombas.

**Tabla. 14**

*Lazos de control, Instrumentos y Equipos de Proceso del P&ID1.*

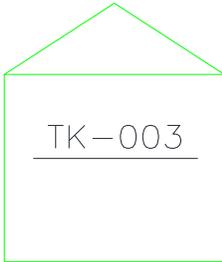
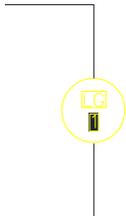
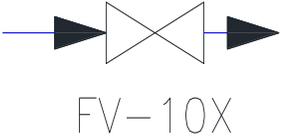
| Tanque | Lazo de Control | Instrumentos de Medición | Variable Controlada    | Equipos de Proceso | Variable Manipulada    | Función                    |
|--------|-----------------|--------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|
| TK-001 | 001             | LG 1                     | Nivel de Etanol al 96% | FV-100             | Flujo de Etanol al 96% | Depósito de Etanol al 96%. |
|        |                 |                          |                        | FV-101             |                        |                            |
|        |                 |                          |                        | FV-104             |                        |                            |
|        |                 |                          |                        | FCV-1              |                        |                            |
|        |                 |                          |                        | P-000              |                        |                            |
| P-001  |                 |                          |                        |                    |                        |                            |
| TK-002 | 002             | LG 2                     | Nivel de Etanol al 96% | FV-10              | Flujo de Etanol al 96% | Depósito de Etanol al 96%. |
|        |                 |                          |                        | FV-102             |                        |                            |
|        |                 |                          |                        | FV-105             |                        |                            |
|        |                 |                          |                        | FCV-2              |                        |                            |
|        |                 |                          |                        | P-000              |                        |                            |
| P-001  |                 |                          |                        |                    |                        |                            |
| TK-003 | 003             | LG 3                     | Nivel de Agua          | FV-103             | Flujo de Agua          | Depósito de Agua.          |
|        |                 |                          |                        | FV-106             |                        |                            |
|        |                 |                          |                        | FCV-3              |                        |                            |
|        |                 |                          |                        | P-002              |                        |                            |

Como se evidencia en la tabla 14, los lazos de control se clasifican debido a la etiqueta de cada tanque, pues cada tanque posee instrumentos y equipos de proceso para llevar a cabo una tarea requerida por el sistema de control. Cabe destacar que algunos instrumentos y equipos de proceso son compartidos entre lazos de control, de ahí que no, en todas las ocasiones, estos instrumentos y equipos de proceso operarán de manera local, sino que, se permitan globalizar en los lazos de control, es decir, que pueden ser usados; por y para un evento u otro.

A continuación se explican las etiquetas del P&ID1, definidas bajo la norma ISA 5.1 para la identificación y etiquetado de los instrumentos y equipos de Proceso representadas en la tabla 15.

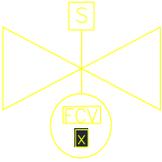
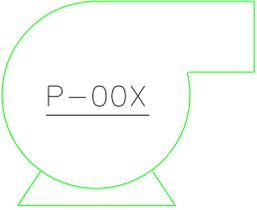
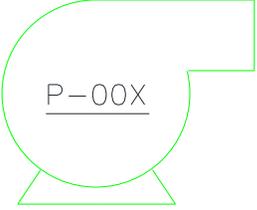
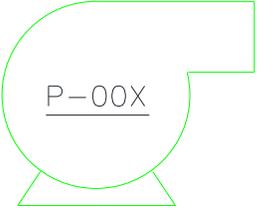
**Tabla. 15**

*Descripción de los Instrumentos y Equipos de Proceso del P&ID1. [Autor]*

| ETIQUETA                        | SÍMBOLO   | FUNCIÓN  | FICHA TÉCNICA  | IMAGEN  |
|---------------------------------|---|--|--|---|
| TK-001<br>TK-002                |    | Tanque destinado para el depósito de Etanol suministrado por el Carro Tanque desde la bomba P-000. | Altura: 4.5m<br>Radio: 1.4m<br>Volumen: 25000L<br>Material: Acero inoxidable para el sector alimenticio  |    |
| TK-003                          |   | Tanque destinado para el depósito de Agua suministrado por la Línea de Agua que provee la planta.  | Altura: 4.56m<br>Radio: 1.5m<br>Volumen: 30000L<br>Material: Acero inoxidable para el sector alimenticio |   |
| LG 1<br>LG 2<br>LG 3            |  | Instrumento indicador de nivel de vidrio localizado en costado exterior.                           | Vidrio transparente y regla métrica vertical detallando volumen.   |  |
| FV-100<br>.<br>.<br>.<br>FV-106 |  | Válvula manual para permitir flujo de fluidos.   | Válvula de actuador por palanca, por unión tipo brida.   |  |

**Tabla. 15 (Continuación)**

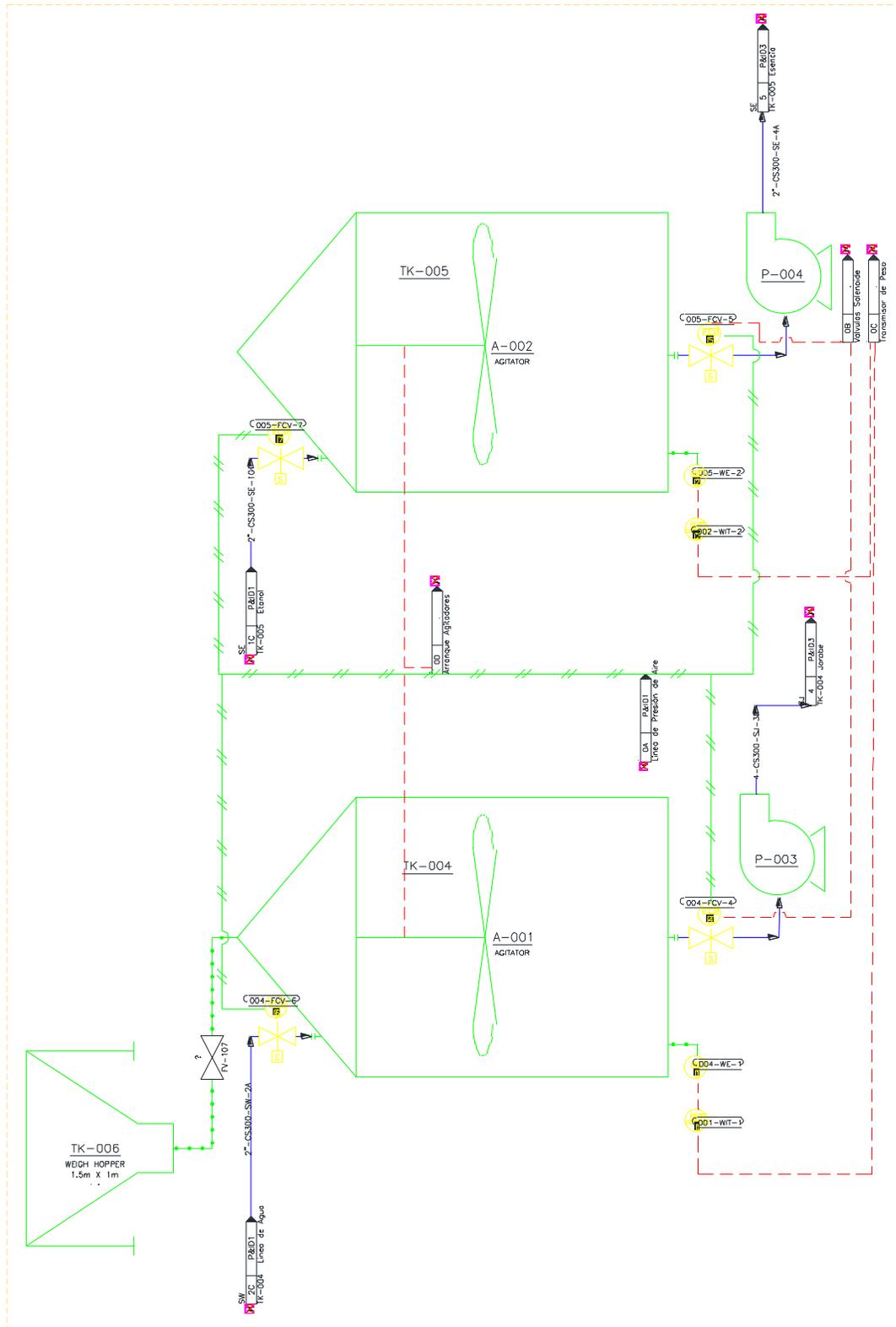
**Descripción de los Instrumentos y Equipos de Proceso del P&ID1 [Autor].**

| ETIQUETA                      | SÍMBOLO   | FUNCIÓN  | FICHA TÉCNICA   | IMAGEN  |
|-------------------------------|---|--|---|---|
| FCV-1<br>.<br>.<br>.<br>FCV-3 |    | Válvula de control neumática.  | Válvula con solenoide con retorno, tipo Festo 5-2.  |    |
| P-000                         |    | Se encarga de proporcionar presión al Etanol destinado a los tanques TK-001 y TK-002 | HP: 20<br>Ph: 3<br>Hz: 60<br>RPM: 1775<br>$\eta$ : 92.4 %<br>Volts: 460/380<br>Amps: 22.9/27.5<br>Fabricante: Line Motors |    |
| P-001                         |  | Desagüe de los tanques TK-001 y TK-002 para enviarlos a Tanques de Mezcla o Esencia  | HP: 5<br>Ph: 3<br>Hz: 60<br>RPM: 3480<br>$\eta$ : 82.5 %<br>Volts: 230/460<br>Amps: 13.4/6.7<br>Fabricante: Us Motors     |  |
| P-002                         |  | Desagüe del Tanque TK-003, para enviarse a Tanques de Mezcla o Tanque de Jarabe      | HP: 10<br>Ph: 3<br>Hz: 60<br>RPM: 3525<br>$\eta$ : 88.1 %<br>Volts: 220/440<br>Amps: 26.6/13.3<br>Fabricante: Us Motors   |  |

Cuando se concluye la etapa dos, se está listo para iniciar con la siguiente, pues en esta siguiente etapa se fabrica el Jarabe y la Esencia característica de cada producto de aguardiente que produce la FLA. Esta etapa está conformada por dos tanques con una capacidad de 1300 L, esta etapa se representa en el P&ID2 de la figura 38.

**Figura 38**

*P&ID 2, Fabricación de Jarabe y Esencia. [Autor]*



La figura 38, representa la instrumentación de proceso identificada en la etapa dos, *preparación de Jarabe y Esencia*, donde se suministra Agua y Azúcar al TK-004 para la preparación de Jarabe y Etanol y Esencia para la preparación líquida de la Esencia, que de ahora en adelante le llamaremos Esencia. Esta etapa es posible debido a los instrumentos de proceso, quienes requieren de alimentación Mecánica, Neumática y Eléctrica para ejecutar las acciones tomadas por el PLC u Operario en modo manual. Además las líneas de alimentación Neumática, de Etanol y de Agua provienen de Equipos de proceso representados en el P&ID1.

Para la preparación de Jarabe, tenemos dos medios de depósito que interactúan entre sí para llevar a cabo la receta estimada por el operario, pues el TK-004 se encarga de fabricar el Jarabe Mezclando con el agitador A-001 uniformemente el Agua y el Azúcar enviado de la Tolla TK-006 a través de la válvula FV-107. Este Tanque posee 2 electroválvulas, FCV-6 destinada a proveer el Agua, y FCV-4 destinada a desaguar el Jarabe fabricado y el enjuague del mismo tanque una vez finalizado el envío de jarabe a su destino. El PLC hace uso de las celdas de carga WE-1 y el transmisor WIT-1 para medir, decidir y ejecutar la acción correspondiente de los actuadores que intervienen en este lazo de control 003.

La preparación de Esencia en el TK-005, suele ser parecida al comportamiento de la de Jarabe, sin embargo esta no posee una tolva, sino que el operario abre la tapa superior del tanque y con su pericia agrega la medida correcta para la preparación de la Esencia. Además de la Esencia proporcionada por el operario, se agrega Etanol desde FCV-7 que viene de los tanques TK-001 y TK-002. Una vez agregada el agua necesaria medida en peso por las celdas de carga WE-2 y el transmisor indicador de peso WIT-2, inicia el mezclado con el Agitador A-002, hasta tener una mezcla homogénea determinada en tiempo por el PLC. Terminada la preparación de Esencia, esta es enviada al tanque de Mezcla por el cual sea requerida, sea este el Tanque de Mezcla 1 o el Tanque de mezcla 2. Del mismo modo que en la preparación de Jarabe, se realiza un enjuague a diferencia que este enjuague se realiza con Etanol y no con Agua como se debe realizar en el TK-004.

Este suministro de Etanol y Agua proviene de los lazos de control expuestos en el P&ID1, y una vez finalizado el proceso de Jarabe o Esencia, este es llevado a los tanques de Mezcla para continuar con el proceso de Mezclado donde finalmente se obtiene el producto final, quien además del Jarabe y Esencia se le aporta Etanol y Agua por aparte, este proceso se representa en el P&ID3.

La tabla 16, muestra los lazos de control que intervienen en el P&ID2 con sus respectivos instrumentos y equipos de proceso.

**Tabla. 16***Lazos de control, Instrumentos y Equipos de Proceso del P&ID2. [Autor]*

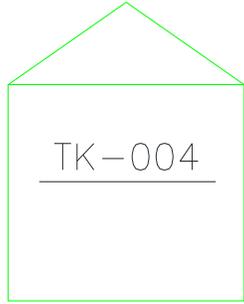
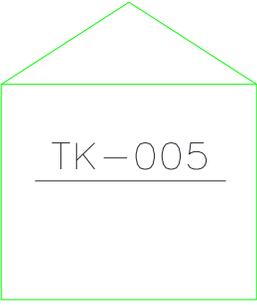
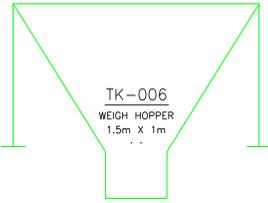
| <b>Tanque</b> | <b>Lazo de Control</b> | <b>Instrumentos de Medición</b> | <b>Variable Controlada</b> | <b>Equipos de Proceso</b> | <b>Variable Manipulada</b>    | <b>Función</b>               |
|---------------|------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| <b>TK-004</b> | 004                    | WE 1<br>WIT 1                   | Densidad de Jarabe         | FV 107                    | Flujo y Nivel de Jarabe       | Fabricar Jarabe              |
|               |                        |                                 |                            | FV 108                    |                               |                              |
|               |                        |                                 |                            | FCV 4                     |                               |                              |
|               |                        |                                 |                            | P-003                     |                               |                              |
| <b>TK-005</b> | 005                    | WE 2<br>WIT 2                   | Densidad de Esencia        | A-001                     | Flujo de Etanol al 96%        | Fabricar Esencia             |
|               |                        |                                 |                            | FV 109                    |                               |                              |
|               |                        |                                 |                            | FCV 5                     |                               |                              |
|               |                        |                                 |                            | P-004                     |                               |                              |
| <b>TK-006</b> | 006                    | -----                           | Peso de Azúcar             | A-002                     | Apertura de la válvula FV-108 | Suministrar Azúcar al TK-004 |
|               |                        |                                 |                            | FV-108                    |                               |                              |

Como se evidencia en la tabla 16, los lazos de control se clasifican debido a la etiqueta de cada tanque, pues cada tanque posee instrumentos y equipos de proceso para llevar a cabo una tarea requerida por el sistema general de control. Cabe destacar que algunos instrumentos y equipos de proceso son compartidos entre lazos de control, de ahí que no, en todas las ocasiones, estos instrumentos y equipos de proceso operarán de manera local, sino que, se permitan globalizar en los lazos de control, es decir, que pueden ser usados; por y para un evento u otro.

Para describir las funciones y fichas técnica de los instrumentos y equipos de proceso mostrados en el P&ID2, se desarrolló la tabla 17.

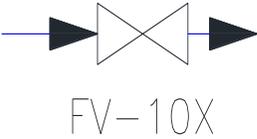
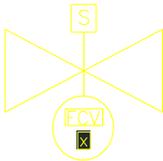
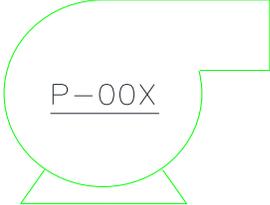
**Tabla. 17**

*Descripción de los Instrumentos y Equipos de Proceso del P&ID2. [Autor]*

| ETIQUETA     | SÍMBOLO   | FUNCIÓN   | FICHA TÉCNICA   | IMAGEN  |
|--------------|---|---|---|---|
| TK-004       |    | Tanque destinado a Preparar el Jarabe, el cual requiere azúcar de la tolva TK-006 y agua desde. | Altura:<br>1.14m<br>Radio:<br>0.615m<br>Volumen:<br>1300L<br>Material:<br>Acero inoxidable para el sector alimenticio |    |
| TK-005       |   | Tanque destinado a preparar la esencia del tipo de producto.                                    | Altura:<br>1.14m<br>Radio:<br>0.615m<br>Volumen:<br>1300L<br>Material:<br>Acero inoxidable para el sector alimenticio |   |
| TK-006       |  | Tolva de suministro de azúcar al tanque TK-004.   | Altura:<br>Volumen:<br>Material:<br>Acero inoxidable para el sector alimenticio                                       |  |
| WE 1<br>WE 2 |  | Elemento primario de medición( Celda de Carga)  | RICE LAKE WEIGHING SYSTEMS<br>Modelo:<br>RL75016-1K   |  |

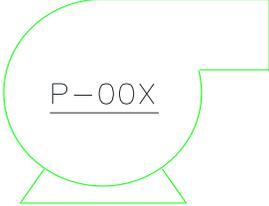
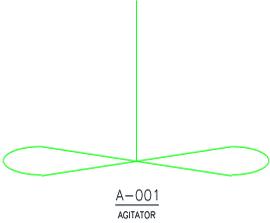
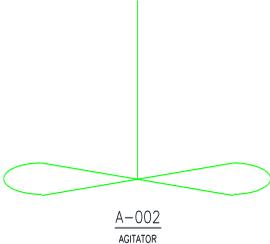
**Tabla. 17 (Continuación)**

*Descripción de los Instrumentos y Equipos de Proceso del P&ID2. [Autor]*

| ETIQUETA       | SÍMBOLO   | FUNCIÓN  | FICHA TÉCNICA   | IMAGEN  |
|----------------|---|--|---|---|
| WIT 1<br>WIT 2 |    | Transmisor de Peso (Tarjeta sumadora).   | IQ-PLUS 800<br>Soporta de 6 – 8 celdas de carga   |    |
| FV-107         |    | Válvula para permitir u oponer el flujo de azúcar desde la tolva TK-006 hasta TK-004     | Válvula de pistón Neumático.  |    |
| FCV-4<br>FCV-5 |  | Válvula de control neumática.  | Válvula con solenoide con retorno, tipo Festo 5-2.  |   |
| P-003          |  | Se encarga de proporcionar el Jarabe preparado en el TK-004 hasta los tanques de Mezcla. | HP: 1<br>Ph: 3<br>Hz: 60<br>RPM: 1745<br>$\eta$ : 80%<br>Volts: 230/460<br>Amps: 3.3/1.6<br>5<br>Fabricante: US Electrical Motors |  |

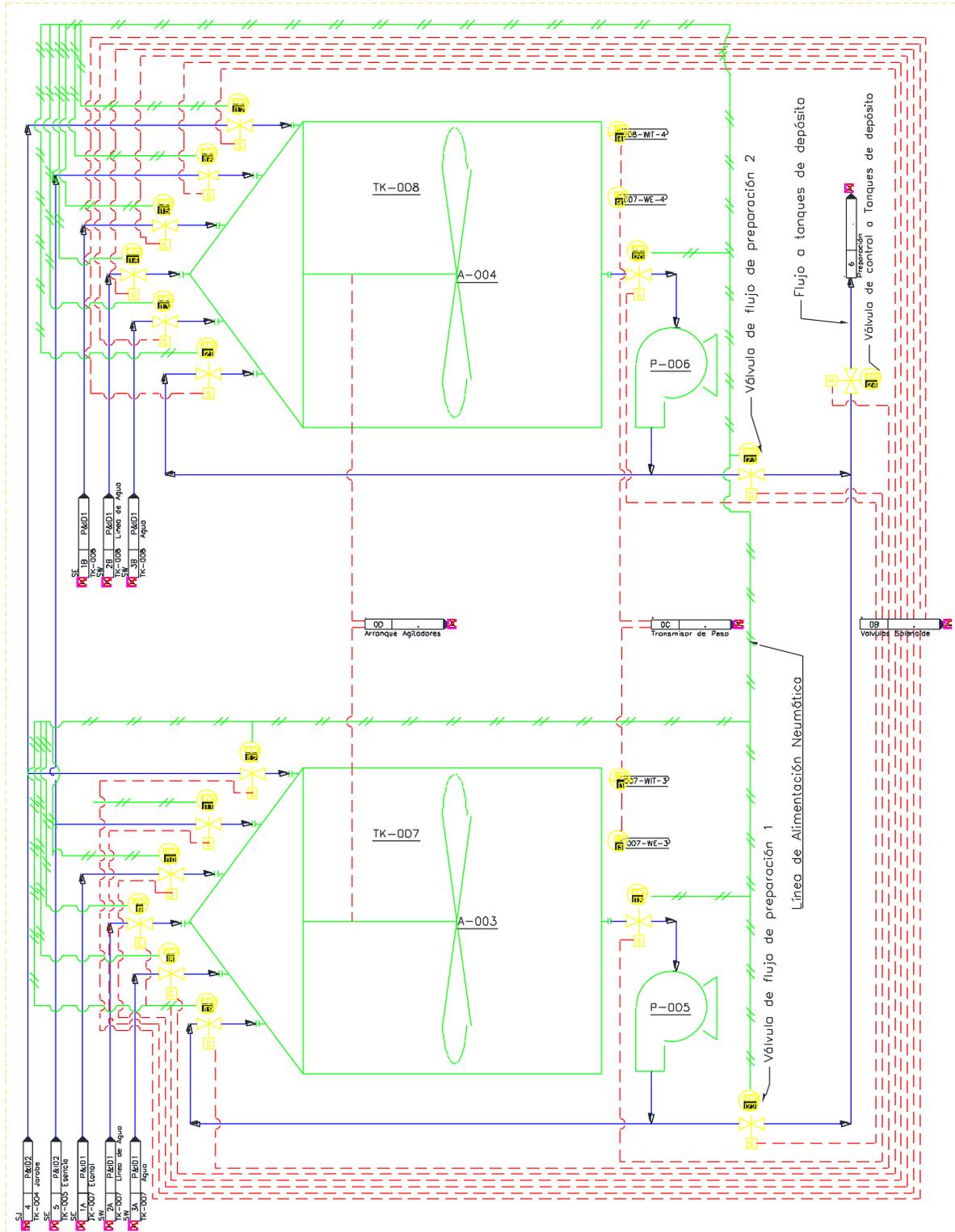
**Tabla. 17 (Continuación)**

*Descripción de los Instrumentos y Equipos de Proceso del P&ID2. [Autor]*

| ETIQUETA | SÍMBOLO   | FUNCIÓN  | FICHA TÉCNICA  | IMAGEN  |
|----------|---|--|--|---|
| P-004    |    | Se encarga de proporcionar la Esencia preparado en el TK-005 hasta los tanques de Mezcla.            | HP: 1.5<br>Ph: 3<br>Hz: 60<br>RPM: 3450<br>$\eta$ : 80 %<br>Volts: 230/460<br>Amps: 4.6/2.3<br>Fabricante: Baldor Industrial Motor |    |
| A-001    |   | Agitador para mezclar el Azúcar y el Agua para proporcionar un mezclado homogéneo en el Jarabe.      | HP: 2<br>Ph: 3<br>Hz: 60<br>RPM: 1670<br>$\eta$ : 81.5%<br>Volts: 220/380<br>Amps:<br>Fabricante: Giravan Motor                    |   |
| A-002    |  | Agitador para mezclar el Esencia y Alcohol para proporcionar un mezclado homogéneo en el la Esencia. | HP: 2<br>Ph: 3<br>Hz: 60<br>RPM: 1670<br>$\eta$ : 81.5%<br>Volts: 220/380<br>Amps:<br>Fabricante: Giravan Motor                    |  |

Al culminar la etapa dos, se tiene preparada la *Esencia* y *el Jarabe* que se destinan a uno de los tanques de Mezcla principales, esto se evidencia en el P&ID3 de la figura 39.

**Figura 39**  
*P&ID 3, Preparación de Producto.*



La figura 39, representa el P&ID3, donde se demuestra el flujo del proceso en el cuál se mezclan los insumos del P&ID1 y PD&D2. Todos los productos deben pasar por alguno de los dos tanques pues es aquí donde se lleva a cabo la mezcla de las recetas para fabricar el tipo de producto característico por su aroma y sabor.

Los tanques de Mezcla *TK-007* y *TK-008* se alimentan de la línea de agua, tanque de agua, tanques de Etanol, tanques de Esencia y Jarabe. De esta manera se pesa y se mezcla según instrucciones de receta programadas manualmente por el operario. Como es bien sabido, este proceso semiautomático de preparación posee varias rutas que permiten el flujo de los productos mediante electroválvulas para el control de las mismas, cabe aclarar que una vez concretada la receta, esta debe pasar por un riguroso proceso de laboratorio para validar la preparación, y si esta, no concreta exitosamente el examen de calidad, debe ajustarse o acondicionarse según los resultados de laboratorio, este proceso de ajuste es netamente manual y es llevado a cabo por el operario hasta que la mezcla este a la altura de los requisitos de calidad exigidos.

Cuando la preparación de *TK-007* o *TK-008*, estén validadas, pasamos a la siguiente etapa del proceso, la cual es crear la ruta de tubería, especificándole al programa las electroválvulas que debe abrir para depositar correctamente la preparación en el tanque de depósito adecuado. Este proceso de envío de producto a depósito se realiza mediante la válvula de control *FCV-24* del P&ID3.

Los lazos de control 007 y 008 se representan en la tabla 18, relacionando los instrumentos y equipos de proceso que intervienen en los mismos.

**Tabla. 18***Lazos de control, Instrumentos y Equipos de Proceso del P&ID3.*

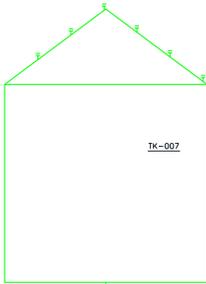
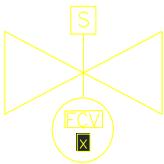
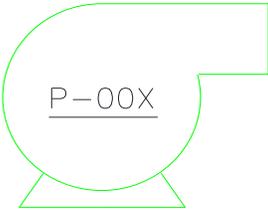
| <b>Tanque</b> | <b>Lazo de Control</b> | <b>Instrumentos de Medición</b> | <b>Variable Controlada</b>               | <b>Equipos de Proceso</b> | <b>Variable Manipulada</b> | <b>Función</b>          |
|---------------|------------------------|---------------------------------|--|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| <b>TK-007</b> | 007                    | WE 3<br>WIT 3                   | % Etanol<br>Densidad<br>Sabor y<br>Aroma | FCV-8                     | Peso en<br>Tanque          | Preparar<br>Aguardiente |
|               |                        |                                 |  | FCV-9                     |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | FCV-10                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | FCV-11                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | FCV-12                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | FCV-18                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | FCV-19                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | FCV-22                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | FCV-24                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | P-005                     |                            |                         |
| <b>TK-008</b> | 008                    | WE 4<br>WIT 4                   | % Etanol<br>Densidad<br>Sabor y<br>Aroma | FCV-13                    | Peso en<br>Tanque          | Preparar<br>Aguardiente |
|               |                        |                                 |  | FCV-14                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | FCV-15                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | FCV-16                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | FCV-17                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | FCV-20                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | FCV-21                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | FCV-23                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | FCV-24                    |                            |                         |
|               |                        |                                 |  | P-006                     |                            |                         |

Estos lazos de control, dependen de procesos previos identificados y expuestos en el P&ID1 y el P&ID2. Debido a la correcta operación de las etapas anteriores, se logra mantener régimen continuo en la fabricación del aguardiente, pues de esta manera se es más eficiente, logrando así reducir tiempos de producción, hasta alcanzar a producir dos tipos de productos simultáneamente con la ayuda de la etapa de Alimentación, Jarabe y Esencia.

Cada uno de los instrumentos y equipos de proceso mencionados en el P&ID3, son detallados mediante su la función que cumplen en la tabla 19:

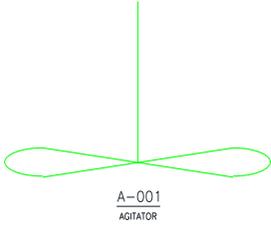
**Tabla 19**

*Descripción de los Instrumentos y Equipos de Proceso del P&ID3. [Autor]*

| ETIQUETA  | SÍMBOLO   | FUNCIÓN  | FICHA TÉCNICA   | IMAGEN  |
|---|---|--|---|---|
| TK-007<br>TK-008                                  |    | Tanques de preparación, destinados a mezclar la receta                 | Altura:<br>4.56m<br>Radio: 1.5m<br>Volumen:<br>30000L<br>Material:<br>Acero inoxidable para el sector alimenticio |    |
| WE 3<br>WE 4                                      |    | Elemento primario de medición( Celda de Carga)                         |   |    |
| WIT 3<br>WIT 4                                    |   | Transmisor de Peso (Tarjeta sumadora).                                 | OP-900 <sup>a</sup><br>Soporta de 4 – 6 celdas de carga   |   |
| FCV-8<br>FCV-9<br>.<br>.<br>.<br>FCV-23<br>FCV-24 |  | Válvula de control neumática.  | Válvula con solenoide con retorno, tipo Festo 5-2.  |  |
| P-005<br>P-006                                    |  | Se encarga de enviar la preparación de TK-007 y TK-008, hacía depósito | HP: 15<br>Ph: 3<br>Hz: 60<br>RPM: 1745<br>$\eta$ : 88.5%<br>Volts: 230/460<br>Amps: 34.8/17.4                     |  |

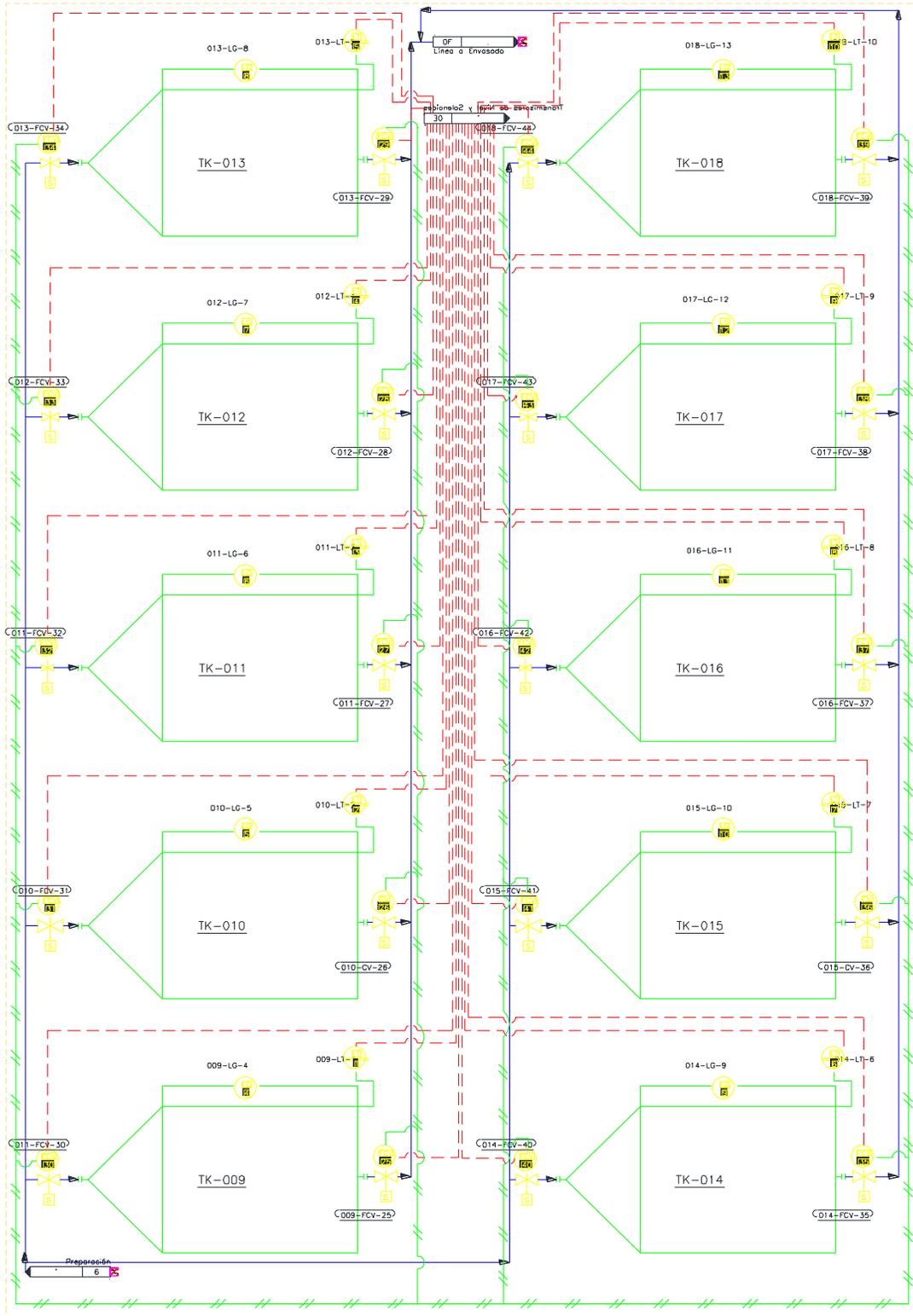
**Tabla 19 (Continuación)**

***Descripción de los Instrumentos y Equipos de Proceso del P&ID3. [Autor]***

| ETIQUETA       | SÍMBOLO   | FUNCIÓN   | FICHA TÉCNICA  | IMAGEN  |
|----------------|---|---|--|---|
| A-003<br>A-004 |  | Se encargan de Mezclar la receta de las preparaciones en el TK-007 y TK-008 | HP: 5<br>Ph: 3<br>Hz: 60<br>RPM: 42<br>$\eta$ : 85%<br>Volts: 220/380<br>Amps: 20/9.7<br>Fabricante: Giravan Motor |  |

Cuando la muestra de aguardiente fabricado en el TK-007 o TK-008 ha sido avalada para continuar a trasegar a tanques de depósito, inicia la etapa de depósito o trasiego a uno de los 10 tanques disponibles. Esta etapa se ve ilustrada en el P&ID4 de la figura 40.

**Figura 40**  
*P&ID 4, trasiegos y depósito. [Autor]*



El P&ID4 de la figura 40, representa la etapa de trasiegos desde los tanques de preparación *TK-007* y *TK-008* del P&ID3 hasta los tanques de depósito *TK-009*, *TK-010*,..., *TK-017* y *TK-018*.

En esta etapa se clasifican las variedades de producto siempre teniendo presente etiquetar cada tanque para no echar a perder las preparaciones, el flujo de proceso de esta etapa es sencillo, pues desde las bombas *P-005* y *P-006* llega a la línea superior que conecta a las electroválvulas de los niveles superiores de los tanques de depósito; esta operación es llamada *trasiego*.

Cuando se trasiega hacia un tanque de depósito, este envía a través del transmisor de nivel, la presión hidrostática ejercida por el fluido, pues de esta manera se estima el nivel de líquido presente en el tanque, el cuál es enviado a la interfaz HMI, donde el operario debe finalizar el proceso de trasiego si el tanque llega a su límite máximo y deberá buscar otro tanque habilitando una nueva ruta para continuar con el procedimiento.

Se evidencia entonces, que cada tanque tiene alimentación y desagüe, por consiguiente se usan electroválvulas para el control de salida y entrada de producto. Esta etapa finaliza al enviar el producto listo para envasar, pues este es enviado por la línea de envasado hacia las máquinas automáticas para el envasado, etiquetado y empaclado.

La tabla 20 muestra los diversos lazos de control, instrumentos y equipos de proceso representados en el P&ID4.

**Tabla. 20**

*Instrumentos y Equipos de Proceso del P&ID4. [Autor]*

| Tanque | Lazo de Control | Instrumentos de Medición | Variable Controlada | Equipos de Proceso | Variable Manipulada       | Función              |
|--------|-----------------|--------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|
| TK-009 | 009             | LG 4<br>LT 1             | Nivel de Tanque     | FCV 25<br>FCV 30   | Flujo de entrada y salida | Depósito de Producto |
| TK-010 | 010             | LG 5<br>LT 2             | Nivel de Tanque     | FCV 26<br>FCV 31   | Flujo de entrada y salida | Depósito de Producto |
| TK-011 | 011             | LG 6<br>LT 3             | Nivel de Tanque     | FCV 27<br>FCV 32   | Flujo de entrada y salida | Depósito de Producto |
| TK-012 | 012             | LG 7<br>LT 4             | Nivel de Tanque     | FCV 28<br>FCV 33   | Flujo de entrada y salida | Depósito de Producto |

**Tabla. 20 (Continuación)***Instrumentos y Equipos de Proceso del P&ID4. [Autor]*

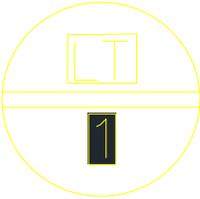
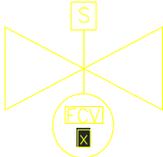
| <b>Tanque</b> | <b>Lazo de Control</b> | <b>Instrumentos de Medición</b> | <b>Variable Controlada</b> | <b>Equipos de Proceso</b> | <b>Variable Manipulada</b> | <b>Función</b>       |
|---------------|------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|
| TK-014        | 014                    | LG 9<br>LT 6                    | Nivel de Tanque            | FCV 35<br>FCV 40          | Flujo de entrada y salida  | Depósito de Producto |
| TK-015        | 015                    | LG 10<br>LT 7                   | Nivel de Tanque            | FCV 36<br>FCV 41          | Flujo de entrada y salida  | Depósito de Producto |
| TK-016        | 016                    | LG 11<br>LT 8                   | Nivel de Tanque            | FCV 37<br>FCV 42          | Flujo de entrada y salida  | Depósito de Producto |
| TK-017        | 017                    | LG 12<br>LT 9                   | Nivel de Tanque            | FCV 38<br>FCV 43          | Flujo de entrada y salida  | Depósito de Producto |
| TK-018        | 018                    | LG 13<br>LT 10                  | Nivel de Tanque            | FCV 39<br>FCV 44          | Flujo de entrada y salida  | Depósito de Producto |

Como se reporta en la tabla 20, la etapa cuatro, es la que tiene diversos lazos de control, para un total de 10. Aunque parecen ser muchos, en realidad cada uno de estos tiene los mismos instrumentos, lo que permite compartir el mismo flujo de proceso, pues se diferencian solamente en que los tanques pueden ocupar las 5 variedades de producto que produce la FLA.

Cada instrumento y equipo de proceso desarrolla un papel importante para trasegar los productos, estos se describen en la tabla 21

**Tabla. 21**

*Descripción de los Instrumentos y Equipos de Proceso del P&ID4. [Autor]*

| ETIQUETA  | SÍMBOLO   | FUNCIÓN                       | FICHA TÉCNICA   | IMAGEN  |
|---|---|-------------------------------|---|---|
| TK-009<br>TK-010<br>.<br>.<br>.<br>TK-017<br>TK-018 |    | Tanque de depósito            | Altura: 4.5m<br>Radio: 1.4m<br>Volumen: 25000L<br>Material: Acero inoxidable para el sector alimenticio |    |
| LG 4<br>.<br>.<br>.<br>LG 10                        |    | Elemento de vidrio para nivel | Con una regleta auxiliar, se estima el nivel en el tanque   |    |
| LT 1<br>.<br>.<br>.<br>LT 10                        |  | Transmisor Nivel              |   |   |
| FCV-25<br>FCV-26<br>.<br>.<br>.<br>FCV-43<br>FCV-44 |  | Válvula de control neumática. | Válvula con solenoide con retorno, tipo Festo 5-2.  |  |

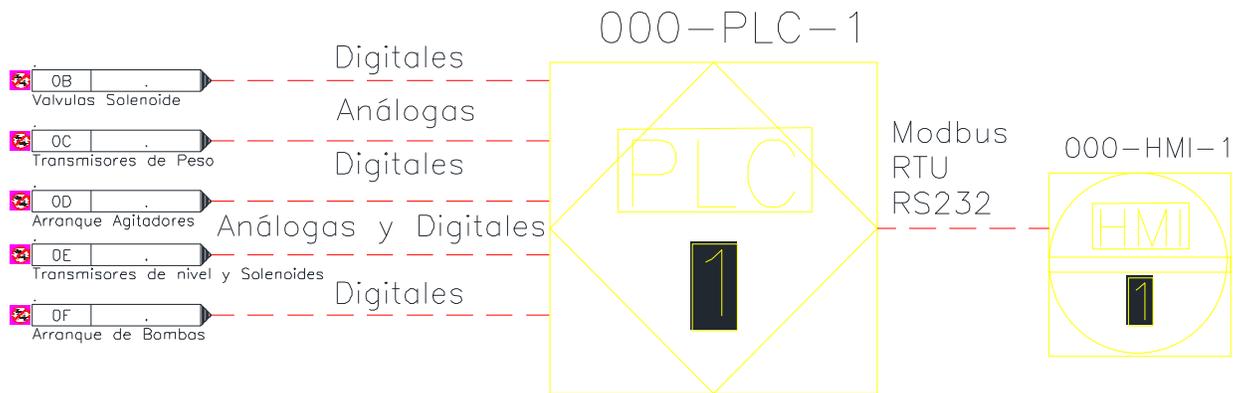
Finalizando la etapa de *depósito y trasiegos*, se acaba la etapa de fabricación de Aguardiente (5 *productos*). De esta manera se logró identificar los instrumentos y equipos de proceso utilizados por la planta de Aguardiente de la FLA, a partir de esta identificación, se llevara a cabo el análisis de las conexiones eléctricas que intervienen en el sistema de control. Para estimar las conexiones de la instrumentación y equipos de proceso, se presenta la figura 41.

### 3.1.5 Tablero de control

El tablero de control es el puente de comunicación que tiene el sistema de control junto a las variables monitoreadas y controladas, mediante el PLC. Por este motivo, es importante reconocer la estructura del mismo. La figura 41, ilustra las conexiones del tablero de control.

**Figura 41**

*Sistema de Control. [Autor]*

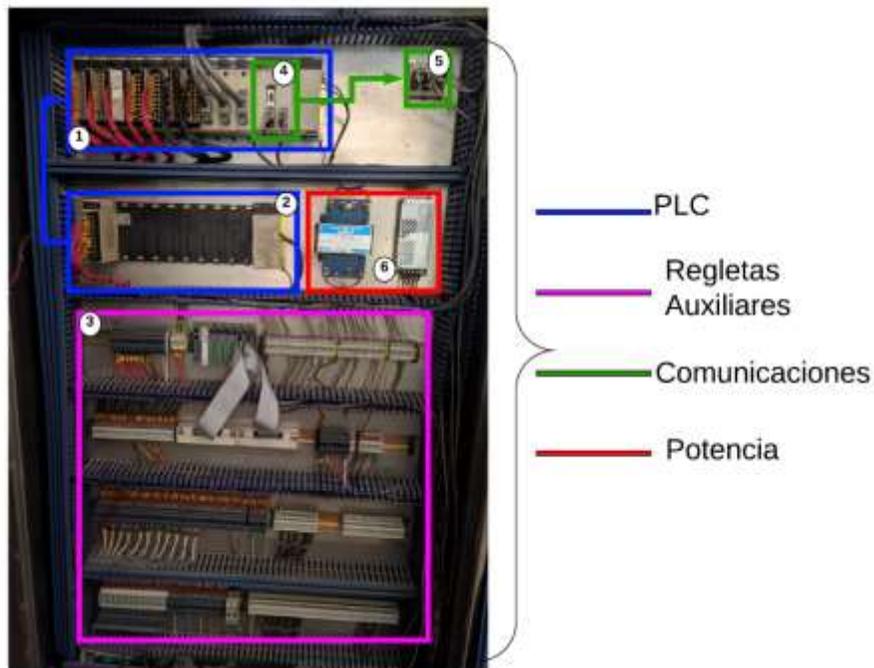


En el sistema de control de la figura 41, se observa que la red presente en el sistema es un red tipo serial Modbus RTU bajo la interfaz RS232, este sistema de control se retroalimenta mediante señales digitales y analógicas que dependen de los instrumentos de medida en el proceso, y las salidas del mismo se ven reflejadas en los actuadores o elementos finales de control analizados en el P&ID1, P&ID12, P&ID3, y P&ID4.

En la figura 42, se observa el tablero de control principal, ilustrado en la figura 41.

**Figura 42**

*Tablero de control Principal. [Autor]*



Para detallar las partes del tablero de control expuestas en la figura 42, se desarrolló la tabla 22.

**Tabla 22**

*Partes del tablero principal. [Autor]*

| Etiqueta                                  | Descripción  |
|---|--|
| <b>1. 1ra base de PLC</b>                 | Contiene el PLC, módulos I/O Digitales e I Análogas  |
| <b>2. 2da base de PLC</b>                 | Base auxiliar para agregar Salidas Digitales   |
| <b>3. Regletas de conexión Auxiliares</b> | Regletas de protección y de mantenimiento, pues estas contienen fusibles y facilitan la intervención del sistema                 |
| <b>4. Conexión RS232 del PLC</b>          | Puerto para comunicar dispositivos mediante protocolos seriales  |
| <b>5. Switch tipo Serial Auxiliar</b>     | Es importante seccionar las comunicaciones y estos conectores brindan facilidad al momento de conectar y realizar mantenimiento. |
| <b>6. Potencia</b>                        | Alimentación de 110VAC y 24VDC para el PLC, instrumentos y equipos de proceso.   |

### 3.1.6 Lazos de control

Teniendo en cuenta toda lo expresado en la tabla *x*, las etiquetas o códigos para la instrumentación y equipos de la planta de preparación, según la norma ISA S5.1, quedan expresadas en la tabla 23:

**Tabla 23**

*Función de los instrumentos y lazos de control. [Autor]*

| PROCESO                | LAZO DE CONTROL | INSTRUMENTO / EQUIPO  | ETIQUETA |
|------------------------|-----------------|---|----------|
| ALIMENTACIÓN DE ETANOL | 001             | Tanque de depósito de Etanol al 96%.  | TK-001   |
|                        |                 | Tubo de vidrio indicador de nivel de TK-001.  | LG-1     |
|                        |                 | Válvula de flujo manual. Abre paso al Etanol para el llenado del TK-001.                            | FV-101   |
|                        |                 | Válvula de flujo manual. Abre paso al Etanol para el desagüe del TK-001.                            | FV-104   |
|                        |                 | Válvula de control de flujo. Válvula de desagüe del TK-001 automática para enviar a la bomba P-001. | FCV-1    |
|                        | 002             | Tanque de depósito de Etanol al 96%.  | TK-002   |
|                        |                 | Tubo de vidrio indicador de nivel de TK-002.  | LG-2     |

|                                 |                    |   |        |
|---------------------------------|--------------------|---|--------|
|                                 |                    | Válvula de flujo manual. Abre paso al Etanol para el llenado del TK-002.                            | FV-102 |
|                                 |                    | Válvula de flujo manual. Abre paso al Etanol para el desagüe del TK-002.                            | FV-105 |
|                                 |                    | Válvula de control de flujo. Válvula de desagüe del TK-002 automática para enviar a la bomba P-001. | FCV-2  |
|                                 | MIXTO<br>(001-002) | Válvula de flujo manual. Abre paso al Etanol bombeado de P-000.                                     | FV-100 |
|                                 |                    | Bomba para suministrar Etanol desde Carro Tanque hacía TK-001 y TK-002.                             | P-000  |
|                                 |                    | Bomba para suministrar Etanol desde TK-001 y TK-002, hasta los tanques de Mezcla y Esencia.         | P-001  |
| <b>ALIMENTACIÓN<br/>DE AGUA</b> | 003                | Tanque de depósito de Agua.   | TK-003 |
|                                 |                    | Tubo de vidrio indicador de nivel de TK-003.  | LG-3   |
|                                 |                    | Válvula de flujo manual. Abre paso a la línea de agua impulsada por la planta de agua.              | FV-103 |
|                                 |                    | Válvula de flujo manual. Desagüe del TK-003.  | FV-106 |
|                                 |                    | Válvula de control de flujo. Válvula de desagüe del TK-003  | FCV-3  |

|                              |     |  |        |
|------------------------------|-----|--|--------|
|                              |     | automática para enviar a la bomba P-002.   |        |
|                              |     | Bomba para suministrar Agua desde TK-003, hasta los tanques de Mezcla y Jarabe.                                | P-002  |
|                              |     |  |        |
| <b>PREPARACIÓN DE JARABE</b> | 004 | Tanque para fabricar Jarabe con Agitador Interno A-001.  | TK-004 |
|                              |     | Tolva para almacenar Azúcar con destino a TK-004.  | TK-006 |
|                              |     | Válvula de sólidos manual. Descargue del azúcar de TK-003.   | FV-107 |
|                              |     | Válvula de control de flujo. Válvula de desagüe del TK-004 automática para enviar a la bomba P-003.            | FCV-4  |
|                              |     | Válvula de control de flujo. Válvula de llenado automático de Agua para TK-004.                                | FCV-6  |
|                              |     | Celdas de carga. Transforman el Peso del contenido de TK-004 en señal de mV.                                   | WE-1   |
|                              |     | Transmisor indicador de Peso. Transmite el Peso real del TK-004, con un acondicionamiento de la señal de WE-1. | WIT-1  |
|                              |     | Agitador o Mezclador de TK-004   | A-001  |
|                              |     | Bomba para suministrar Jarabe desde TK-004, hasta los tanques de Mezcla.                                       | P-003  |

| <b>PREPARACIÓN DE ESENCIA</b> | 005 | Tanque para fabricar Jarabe con Agitador Interno A-001.   | TK-005 |
|-------------------------------|-----|---|--------|
|                               |     | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de desagüe del TK-005 automática para enviar a la bomba P-004.            | FCV-5  |
|                               |     | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de llenado automático de Alcohol para TK-004.                             | FCV-7  |
|                               |     | Celdas de carga. Transforman el Peso del contenido de TK-005 en señal de mV.                                      | WE-2   |
|                               |     | Transmisor indicador de Peso.<br>Transmite el Peso real del TK-005, con un acondicionamiento de la señal de WE-2. | WIT-2  |
|                               |     | Agitador o Mezclador de TK-005  | A-002  |
|                               |     | Bomba para suministrar Esencia desde TK-005, hasta los tanques de Mezcla.   | P-004  |
|                               |     |   |        |
| <b>PREPARACIÓN DE RECETA</b>  | 007 | Tanque para fabricar Aguardiente, contiene agitador A-003   | TK-007 |
|                               |     | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de suministro de agua a TK-007, mediante el TK-003.                       | FCV-8  |
|                               |     | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de suministro de agua a   | FCV-9  |

|  |   |        |
|--|---|--------|
|  | TK-007, mediante la línea de agua de la planta.   |        |
|  | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de suministro de Etanol a TK-007, desde TK-001 o TK-002.                  | FCV-10 |
|  | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de suministro de Esencia a TK-007, desde TK-005.                          | FCV-11 |
|  | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de suministro de Jarabe a TK-007, desde TK-004.                           | FCV-12 |
|  | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de desagüe de la preparación de TK-007.                                   | FCV-18 |
|  | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de recirculación de la preparación de TK-007.                             | FCV-19 |
|  | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de envío de preparación de TK-007 a trasiego.                             | FCV-22 |
|  | Celdas de carga. Transforman el Peso del contenido de TK-007 en señal de mV.                                      | WE-3   |
|  | Transmisor indicador de Peso.<br>Transmite el Peso real del TK-007, con un acondicionamiento de la señal de WE-3. | WIT-3  |
|  | Agitador o Mezclador de TK-007, se encarga de mezclar la preparación final.                                       | A-003  |

|     |  |  |        |
|-----|--|--|--------|
|     |  | Bomba para trasiego de Aguardiente desde TK-007 a tanques de depósito.                                       | P-005  |
| 008 |  | Tanque para fabricar Aguardiente, contiene agitador A-003  | TK-008 |
|     |  | Válvula de control de flujo. Válvula de suministro de agua a TK-008, mediante el TK-003.                     | FCV-13 |
|     |  | Válvula de control de flujo. Válvula de suministro de agua a TK-008, mediante la línea de agua de la planta. | FCV-14 |
|     |  | Válvula de control de flujo. Válvula de suministro de Etanol a TK-008, desde TK-001 o TK-002.                | FCV-15 |
|     |  | Válvula de control de flujo. Válvula de suministro de Esencia a TK-008, desde TK-005.                        | FCV-16 |
|     |  | Válvula de control de flujo. Válvula de suministro de Jarabe a TK-008, desde TK-004.                         | FCV-17 |
|     |  | Válvula de control de flujo. Válvula de desagüe de la preparación de TK-008.                                 | FCV-20 |
|     |  | Válvula de control de flujo. Válvula de recirculación de la preparación de TK-008.                           | FCV-21 |
|     |  | Válvula de control de flujo. Válvula de envío de preparación de TK-008 a trasiego.                           | FCV-23 |

|          |                    |  |        |
|----------|--------------------|--|--------|
|          |                    | Celdas de carga. Transforman el Peso del contenido de TK-008 en señal de mV.                                       | WE-4   |
|          |                    | Transmisor indicador de Peso. Transmite el Peso real del TK-0078 con un acondicionamiento de la señal de WE-4.     | WIT-4  |
|          |                    | Agitador o Mezclador de TK-008, se encarga de mezclar la preparación final.  | A-004  |
|          |                    | Bomba para trasiego de Aguardiente desde TK-008 a tanques de depósito.   | P-006  |
|          | MIXTO<br>(007-008) | Válvula de control de flujo. Válvula de envío de preparación de TK-007 y TK-008 a trasiego en tanques de depósito. | FCV-24 |
|          |                    |  |        |
| DEPÓSITO | 009                | Válvula de control de flujo. Válvula de desagüe de TK-009.   | FCV-25 |
|          |                    | Válvula de control de flujo. Válvula de llenado de TK-009.   | FCV-30 |
|          |                    | Tubo de vidrio indicador de nivel de TK-009.   | LG-4   |
|          |                    | Transmisor indicador de nivel de TK-009.   | LT-1   |
|          | 010                | Válvula de control de flujo. Válvula de desagüe de TK-010.   | FCV-26 |
|          |                    | Válvula de control de flujo. Válvula de llenado de TK-010.   | FCV-31 |

|  |     |   |   |
|--|-----|---|---|
|  |     | Tubo de vidrio indicador de nivel de TK-010.                  | LG-5  |
|  |     | Transmisor indicador de nivel de TK-010.                      | LT-2  |
|  | 011 | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de desagüe de TK-011. | FCV-27  |
|  |     |   | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de llenado de TK-011. |
|  |     | Tubo de vidrio indicador de nivel de TK-011.                  | LG-6  |
|  |     | Transmisor indicador de nivel de TK-011.                      | LT-3  |
|  | 012 | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de desagüe de TK-012. | FCV-28  |
|  |     |   | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de llenado de TK-012. |
|  |     | Tubo de vidrio indicador de nivel de TK-012.                  | LG-7  |
|  |     | Transmisor indicador de nivel de TK-012.                      | LT-4  |
|  | 013 | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de desagüe de TK-013. | FCV-29  |
|  |     |   | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de llenado de TK-013. |
| Tubo de vidrio indicador de nivel de TK-013. |     | LG-8  |   |
| Transmisor indicador de nivel de TK-013.     |     | LT-5  |   |

|     |   |   |        |
|-----|---|---|--------|
|     | 014   | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de desagüe de TK-014. | FCV-35 |
|     |   | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de llenado de TK-014. | FCV-40 |
|     |   | Tubo de vidrio indicador de nivel<br>de TK-014.               | LG-9   |
|     |   | Transmisor indicador de nivel de<br>TK-014.                   | LT-6   |
|     | 015   | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de desagüe de TK-015. | FCV-36 |
|     |   | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de llenado de TK-015. | FCV-41 |
|     |   | Tubo de vidrio indicador de nivel<br>de TK-015.               | LG-10  |
|     |   | Transmisor indicador de nivel de<br>TK-015.                   | LT-7   |
|     | 016   | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de desagüe de TK-016. | FCV-37 |
|     |   | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de llenado de TK-016. | FCV-42 |
|     |   | Tubo de vidrio indicador de nivel<br>de TK-016.               | LG-11  |
|     |   | Transmisor indicador de nivel de<br>TK-016.                   | LT-8   |
| 017 | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de desagüe de TK-017. | FCV-38  |        |
|     | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de llenado de TK-017. | FCV-43  |        |

|  |     |   |        |
|--|-----|---|--------|
|  |     | Tubo de vidrio indicador de nivel de TK-017.                  | LG-12  |
|  |     | Transmisor indicador de nivel de TK-017.                      | LT-9   |
|  | 018 | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de desagüe de TK-018. | FCV-39 |
|  |     | Válvula de control de flujo.<br>Válvula de llenado de TK-018. | FCV-44 |
|  |     | Tubo de vidrio indicador de nivel de TK-018.                  | LG-13  |
|  |     | Transmisor indicador de nivel de TK-018.                      | LT-10  |

Como se evidencia en la tabla 23, algunos instrumentos y equipos de proceso no brindan las funcionalidades suficientes para que el proceso en concreto sea totalmente automatizable, pues es allí tenemos varias válvulas manuales que son prioridad al momento de desarrollar un procedimiento. Habiendo dicho esto, a continuación se presentan los requisitos del cliente, buscando aumentar las tasas de producción considerablemente y buscando mejorar las capacidades de la planta, para esto se tendrá en cuenta el diseño actual de las tuberías e instrumentación. Los requisitos de la FLA, para aumentar su producción y fiabilidad, se presentan en la tabla 24:

### 3.1.7 Requisitos de la FLA

**Tabla. 24**

*Requisitos de Operación y Mejoramiento de la Planta de Aguardiente en la FLA. [Autor]*

| <b>REQUISITO</b>  | <b>OBJETIVO</b>  |
|---|--|
| <b>Agregar 10 tanques de depósito</b>                                 | Aumentar capacidad de depósito disponible para Líneas de Envasado.                               |
| <b>Proceso de bebidas no tradicionales</b>                            | Destinar tanques, instrumentación y equipos de proceso exclusivos a esta nueva área.             |
| <b>Monitoreo Continuo de Inventario y Registro Histórico en Excel</b> | Registrar adecuadamente la cantidad de Volumen que se produce y envía a envasado.                |
| <b>Monitoreo y Control desde cualquier dispositivo</b>                | Se requiere que los datos del SCADA, sean vistos desde un Smartphone o PC.                       |
| <b>Preparación Automática de Recetas</b>                              | Evitar errores Humanos al momento de realizar las recetas, mejorando la calidad del producto.    |
| <b>Tanque de Recuperación de Producto</b>                             | Recuperar producto enviado a líneas de envasado, que no logró ser envasado.                      |
| <b>Enviar Producto a Línea correspondiente</b>                        | Cada línea de envasado debe ser correspondida con el producto enviado.                           |
| <b>Usar Tecnología LS Electric para compatibilidad</b>                | La FLA indica que para mayor compatibilidad en sus dispositivos, requieren usar esta tecnología. |
| <b>Control de Planta de Agua</b>                                      | Control exclusivamente para arrojar agua al tanque de depósito de Agua.                          |

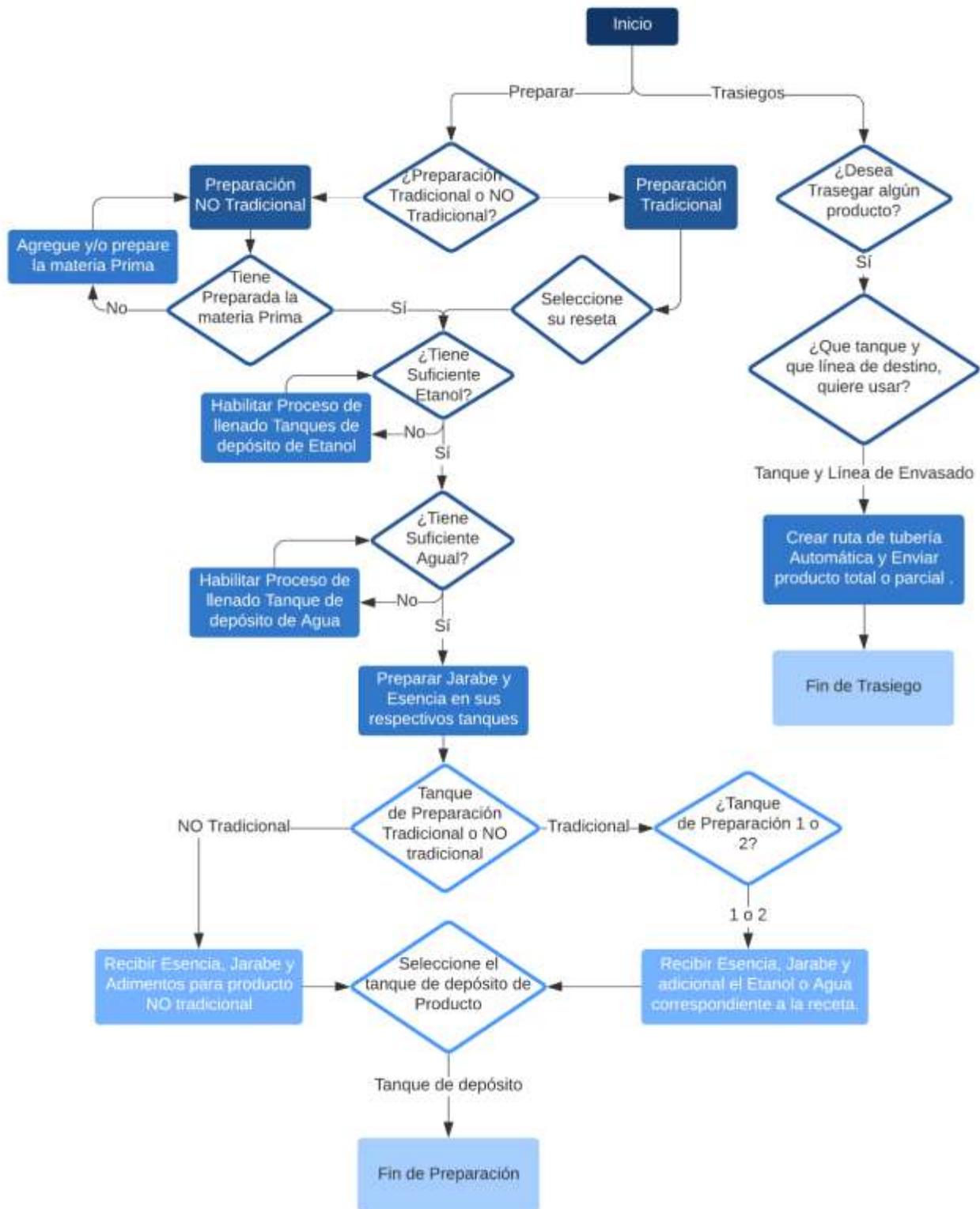
Bajo los requisitos presentados en la tabla 24, se rediseñara cada evento vialmente automatizable para cumplir con lo anterior, de tal manera que se desarrolla el siguiente diagrama de flujo, representando la propuesta planteada para contribuir al mejoramiento de la misma.

El diagrama de flujo propuesto para cumplir con los requisitos de operación se ven reflejados en la figura 43.

**Figura 43**

Diagrama de flujo automático para la planta en función de los requisitos de la FLA.

[Autor]



Para clasificar los eventos vialmente automatizables, bajo el diagrama de flujo propuesto en la figura 43, se representa la tabla 25.

**Tabla. 25**

*Eventos vialmente automatizables del diagrama de flujo de proceso. [Autor]*

| <b>EVENTO</b>  | <b>CONTEXTO</b>  |
|--|--|
| <b>Llenado de Tanque de Agua</b>   | Automatizar el llenado de tanque con electroválvulas y sensor de nivel y de Limite   |
| <b>Llenado de Tanques de Etanol</b>  | Automatizar el llenado de tanques de Etanol con electroválvulas y sensor de nivel y de Límite.   |
| <b>Modo Manual y Automático</b>  | Se requiere usar el modo manual para realizar cualquier operación que no esté dentro del margen común de operación.  |
| <b>Preparación en función de receta Tradicional</b>                                | El operario decide que receta de las 5 usar para que la fabricación del producto sea de forma automática.  |
| <b>Preparación de Jarabe</b>   | Se debe preparar el jarabe en automático, este viene previamente establecido por la receta mencionada anteriormente.   |
| <b>Preparación de Esencia</b>  | Se debe preparar la Esencia en automático, este viene previamente establecido por la receta mencionada anteriormente.  |
| <b>Preparación No Tradicional</b>  | Se debe preparar en el modo manual, con tanques exclusivos para este fin, es importante otorgar control manual al operario para que este realice el proceso adecuadamente. |
| <b>Trasiego a Tanques de Depósito</b>  | Cuando se ha validado un producto fabricado, este se debe enviar a tanque de depósito automáticamente al ingresar el origen y destino.                                     |
| <b>Trasiego a línea de envasado respectiva</b>                                     | Enviar producto a línea de envasado, creando ruta automática para este fin.  |
| <b>Recuperación de Producto no envasado</b>  | Recuperar Producto no envasado y destinarlo a tanque de Preparación.   |
| <b>Monitoreo y Registro de Producto enviado y recuperado de líneas de envasado</b> | Se requiere registrar y monitorear el volumen de producto enviado y recuperado para tener el registro histórico del mismo.   |

Para cumplir con los propósitos descritos en la tabla 25, se debe seleccionar la instrumentación adecuada de cada evento. A continuación se evalúan los instrumentos propuestos para cada evento.

### 3.1.8 Eventos o subprocesos vialmente automatizables

#### Llenado de Tanque de Agua:

El tanque de Agua, es un recurso valioso para la continuidad de la operación de la planta, pues este se encarga de suministrar agua a los tanques de preparación de tradicionales 1 y 2, tanque de jarabe, tanque de esencia y en función de aumentar la capacidad de la planta, suministrará a los tanques de preparación de productos no tradicionales. Este tanque se alimenta mediante la línea de suministro de la planta de Agua.

La operación actual del llenado de este tanque depende intrínsecamente de la atención y acción del operario, pues los instrumentos y equipos de proceso no permiten la interacción con el sistema de control. Para monitorear y controlar adecuadamente este proceso, se sugiere agregar los siguientes instrumentos junto a los anteriores.

**Tabla 26**

*Instrumentos, actuadores o equipos de proceso propuestos para automatizar llenado de tanque de agua. [Autor]*

| <b>Instrumento/<br/>Actuador</b> | <b>Función</b>                                      |
|----------------------------------|---|
| <b>FV-103</b>                    | Válvula manual para llenado de Tanque.              |
| <b>FCV-103A</b>                  | Electroválvula con Feedback para llenado de Tanque. |
| <b>FV-106</b>                    | Válvula manual para desagüe de Tanque.              |
| <b>FCV-3</b>                     | Electroválvula con Feedback para desagüe de Tanque. |
| <b>LG 3</b>                      | Indicador de nivel de vidrio visible al operario    |
| <b>LIT-1</b>                     | Transmisor Indicador de Nivel                       |
| <b>LEH-3</b>                     | Sensor de Nivel Alto                                |

Los instrumentos de la tabla 26, permiten al sistema de control, automatizar el control de llenado y desagüe del mismo sin la intervención del operario.

#### Llenado de Tanques de Etanol:

Los tanques de depósito de Etanol, suministran a los tanques de preparación tradicional y no tradicional, así como a los tanques de jarabe y esencia. Debido a que este proceso depende intrínsecamente de las válvulas manuales, experiencia y pericia del operario para cargarlos de Etanol, se obtiene un rendimiento bajo y es un tiempo valioso que puede perderse

realizando esta tarea manualmente, por este motivo y para beneficio del sistema de control se plantea la instrumentación en la tabla 27, para automatizar este procedimiento.

**Tabla 27**

*Instrumentos, actuadores o equipos de proceso propuestos para automatizar llenado de tanques de Etanol. [Autor]*

| <b>Instrumento/<br/>Actuador</b> | <b>Función</b>  |
|----------------------------------|---|
| <b>FV-100</b>                    | Válvula manual para Habilitar flujo de bomba P-000          |
| <b>FV-101</b>                    | Válvula manual para llenado de <i>TK-001</i> .              |
| <b>FV-102</b>                    | Válvula manual para llenado de <i>TK-002</i> .              |
| <b>FCV-101A</b>                  | Electroválvula con Feedback para llenado de <i>TK-001</i> . |
| <b>FCV-102A</b>                  | Electroválvula con Feedback para llenado de <i>TK-002</i> . |
| <b>FV-106</b>                    | Válvula manual para desagüe de Tanque.                      |
| <b>FCV-3</b>                     | Electroválvula con Feedback para desagüe de Tanque.         |
| <b>LG 1</b>                      | Indicador de nivel de vidrio en <i>TK-001</i> .             |
| <b>LG 2</b>                      | Indicador de nivel de vidrio en <i>TK-002</i> .             |
| <b>LIT-1</b>                     | Transmisor Indicador de Nivel <i>TK-001</i> .               |
| <b>LIT-2</b>                     | Transmisor Indicador de Nivel <i>TK-002</i> .               |
| <b>LEH-1</b>                     | Sensor de Nivel Alto en <i>TK-001</i> .                     |
| <b>LEH-2</b>                     | Sensor de Nivel Alto en <i>TK-002</i> .                     |
| <b>P-000</b>                     | Bomba de suministro de Etanol a Tanques                     |

#### **Modo Manual y Automático:**

Al momento de operar la producción se consideran dos elementos fundamentales. El primero es el modo manual donde se le otorga al operario manipular a su consideración todos los actuadores o equipos de proceso como válvulas, bombas y demás actuadores que hagan parte del proceso. De esta manera el operario puede crear rutas y llevar a cabo operaciones alternas para el interés de futuras funciones que no están contempladas dentro del diseño de control. El modo automático debate y establece las condiciones de operación, este define rutas para fabricar las recetas de manera automática, teniendo en cuenta las variables que se consideran dentro del proceso, entre las principales, son Volumen, Peso, Sensores de Nivel Alto y las confirmaciones de electroválvula para reconocer el estado de las mismas.

En última instancia, la diferencia de estos dos radica en el nivel de intervención del operario, pues los instrumentos de medida, siempre estarán presente indicando al sistema de control y al operario el estado de la planta.

#### **Preparación en función de receta Tradicional:**

Es precisamente en estas funciones donde el sistema en automático da un valor agregado al sistema de control propuesto, pues con la instrumentación adecuada se puede llevar a cabo

la implementación de las diferentes recetas con una simple acción en pantalla. Si se llega a seleccionar la receta de *Aguardiente Comercial*, el sistema debe ajustarse de tal manera que prepare el Jarabe, la Esencia y todos los elementos que interactúan para fabricar este producto. De esta manera mitigamos los errores humanos y aumentamos la calidad final del producto, pues el producto final variara muy poco con respecto a preparaciones hechas previa o futuramente.

Cuando se requiere Trasegar producto, de la misma forma en la que el sistema de control preparo en automático el producto, este crea la ruta automática, ya que el operario debe informarle mediante la HMI, el tanque de origen y el tanque de destino o línea de destino para que este, se encargue de crear la ruta de tubería automática, habilitando e inhabilitando las válvulas para cumplir exitosamente su objetivo.

Otra de las funciones interesantes, es la de generar el inventario y registro de manera automática, guardando estos datos en Excel para su posterior análisis a los organismos encargados de los reportes. Esto beneficia a la producción y el sistema de cuentas y administrativo de la planta.

El monitoreo y control del sistema, se puede usar mediante una HMI que permite virtualizarse desde cualquier Smartphone o Computadora con acceso a la red local, esto pasando las seguridades de red.

El sistema en automático, brinda la facilidad de recibir producto no envasado en un tanque de recuperación que posteriormente será tratado para convertirse en un producto de los que oferta la FLA; de esta manera se recupera y no se pierde producto, disminuyendo tiempos de producción.

### **Preparación de Jarabe:**

Para automatizar el proceso de elaboración de Jarabe, se sugiere agregar una Electroválvula de Pistón para el flujo del azúcar desde la tolva *TK-006* hasta *TK-004*. Los otros instrumentos para la operación en automático se representan en la tabla 28.

**Tabla 28**

*Instrumentos, actuadores o equipos de proceso propuestos para automatizar la fabricación de Jarabe. [Autor]*

| <b>Instrumento/<br/>Actuador</b> | <b>Función</b>   |
|----------------------------------|--|
| <b>FV-107</b>                    | Válvula manual para Habilitar flujo azúcar.                      |
| <b>FCV – 6</b>                   | Electroválvula con Feedback para llenado de <i>TK-004</i> .      |
| <b>FCV – 4</b>                   | Electroválvula con Feedback para desagüe de <i>TK-004</i> .      |
| <b>FCV-107A</b>                  | Electroválvula con pistón neumático para Habilitar flujo azúcar. |
| <b>WE 1</b>                      | Sensor de Peso de <i>TK-004</i> .                                |
| <b>WIT 1</b>                     | Transmisor indicador de Peso de <i>TK-004</i>                    |
| <b>LG 4</b>                      | Indicador de nivel de vidrio en <i>TK-005</i> .                  |
| <b>A-001</b>                     | Variador Agitador de Jarabe en <i>TK-004</i> .                   |
| <b>P-003</b>                     | Suministro de Jarabe a tanques de preparación.                   |

#### **Preparación de Esencia:**

Para automatizar el proceso de elaboración de esencia, se sugieren los siguientes instrumentos y/o equipos de proceso vistos en la tabla 29.

**Tabla 29**

*Instrumentos, actuadores o equipos de proceso propuestos para automatizar la fabricación de Esencia. [Autor]*

| <b>Instrumento/<br/>Actuador</b> | <b>Función</b>  |
|----------------------------------|---|
| <b>FCV – 7</b>                   | Electroválvula con Feedback para llenado de <i>TK-005</i> . |
| <b>FCV – 5</b>                   | Electroválvula con Feedback para desagüe de <i>TK-005</i> . |
| <b>FCV-107A</b>                  | Electroválvula manual para Habilitar flujo azúcar.          |
| <b>WE 2</b>                      | Sensor de Peso de <i>TK-005</i> .                           |
| <b>WIT 2</b>                     | Transmisor indicador de Peso de <i>TK-005</i> .             |
| <b>LG 5</b>                      | Indicador de nivel de vidrio en <i>TK-005</i> .             |
| <b>A-002</b>                     | Variador y Agitador de Esencia en <i>TK-005</i> .           |
| <b>P-00</b>                      | Suministro de Esencia a tanques de preparación.             |

#### **Preparación no tradicional:**

Las bebidas alcohólicas no tradicionales, se realizan en fechas especiales. Debido a que las recetas de estos productos no suelen ser establecidas y que estos productos son de gran variedad, no se puede establecer rutinas de programación para fabricar el producto final. En este caso, entra en juego el modo de control manual, donde el operario controla y monitorea las acciones de este procedimiento, para cumplir con el objetivo, se sugieren los siguientes instrumentos, actuadores y/o equipos de proceso vistos en la tabla 30.

**Tabla 30**

*Instrumentos, actuadores o equipos de proceso propuestos para automatizar la fabricación de productos no tradicionales. [Autor]*

| <b>Instrumento/<br/>Actuador/<br/>Equipo de Proceso</b> | <b>Función</b>  |
|---|---|
| <b>TK - 022</b>   | Tanque principal para preparación de bebida no tradicional.       |
| <b>TK - 023</b>   | Tanque auxiliar para preparación de bebida no tradicional.        |
| <b>TK - 024</b>   | Tanque para preparar jarabe en bebida no tradicional.             |
| <b>TK - 025</b>   | Tanque para preparar esencia en bebida no tradicional.            |
| <b>FCV - X</b>  | Electroválvula con Feedback para llenado de <i>TK-022</i> .       |
| <b>FCV - X</b>  | Electroválvula con Feedback para llenado de <i>TK-023</i> .       |
| <b>FCV - X</b>  | Electroválvula con Feedback para recirculación de <i>TK-022</i> . |
| <b>FCV - X</b>  | Electroválvula con Feedback para recirculación de <i>TK-023</i> . |
| <b>FCV - X</b>  | Electroválvula con Feedback para llenado de <i>TK-024</i> .       |
| <b>FCV - X</b>  | Electroválvula con Feedback para llenado de <i>TK-025</i> .       |
| <b>FCV - X</b>  | Electroválvula con Feedback para desagüe de <i>TK-022</i> .       |
| <b>FCV - X</b>  | Electroválvula con Feedback para desagüe de <i>TK-023</i> .       |
| <b>FCV - X</b>  | Electroválvula con Feedback para desagüe de <i>TK-024</i> .       |
| <b>FCV - X</b>  | Electroválvula con Feedback para desagüe de <i>TK-025</i> .       |
| <b>FCV - X</b>  | Electroválvula con Feedback para depósito de producto.            |
| <b>WE X</b>   | Sensor de Peso de <i>TK-024</i> .                                 |
| <b>WIT X</b>  | Transmisor indicador de Peso de <i>TK-024</i> .                   |
| <b>WE X</b>   | Sensor de Peso de <i>TK-025</i> .                                 |
| <b>WIT X</b>  | Transmisor indicador de Peso de <i>TK-025</i> .                   |
| <b>LIT-X</b>  | Transmisor Indicador de Nivel <i>TK-022</i> .                     |
| <b>LIT-X</b>  | Transmisor Indicador de Nivel <i>TK-023</i> .                     |
| <b>LEH-X</b>  | Sensor de Nivel Alto en <i>TK-022</i> .                           |
| <b>LEH-X</b>  | Sensor de Nivel Alto en <i>TK-023</i> .                           |
| <b>LG X</b>   | Indicador de nivel de vidrio en <i>TK-022</i> .                   |
| <b>LG X</b>   | Indicador de nivel de vidrio en <i>TK-023</i> .                   |
| <b>A-00X</b>  | Variador y Agitador de <i>TK-022</i> .                            |
| <b>A-00X</b>  | Variador y Agitador de <i>TK-023</i> .                            |
| <b>A-00X</b>  | Variador y Agitador de Jarabe en <i>TK-024</i> .                  |
| <b>A-00X</b>  | Variador y Agitador de Esencia en <i>TK-025</i> .                 |
| <b>P-00X</b>  | Suministro de Jarabe y Esencia tanques de preparación.            |
| <b>P-00X</b>  | Suministro de producto no tradicional a tanques de depósito.      |

### **Trasiego a tanques de depósito:**

Los trasiegos son operaciones de transporte de líquido de un tanque a otro, en nuestra propuesta damos a conocer al sistema de control el dominio absoluto sobre todas las rutas posibles que este puede crear para llevar producto desde un tanque de origen *X* hasta un tanque de origen *Y*, es de este modo que no hay errores de mezclar distintos productos y

hace que el sistema sea fiable. Inclusive, si fuese necesario, se puede realizar recirculación sobre un mismo tanque.

**Trasiego a línea de envasado respectiva:**

Como se mencionó anteriormente, los trasiegos son parte fundamental de la operación de la planta y cuando se requiere enviar a envasar un producto final que tien su origen en tanques de depósito y termina en una de las 5 líneas de envasado de su correspondiente producto, este ingresa y se domina mediante el trasiego automático de ruta y apertura de válvulas para que el producto sea correspondido.

**Recuperación de producto no envasado:**

El producto que se ha enviado a envasado y no ha logrado su objetivo, es recuperado a través de la línea de recuperación y almacenado para su posterior tratamiento, por lo que se recicla este producto para que vuelva a convertirse en candidato a ser envasado.

**Monitoreo y registro de Producto enviado y recuperado de líneas de envasado:**

Para monitorear el volumen o cantidad de producto enviado a envasado, se sugiere un medidor de caudal o flujómetro por cada línea de envase. De esta manera el sistema de control reconoce la cantidad enviada y/o recibida para tener mayor precisión en el histórico e inventario de la producción. Debido a esta característica auxiliar, se logra desarrollar el sistema de registros e inventarios mediante Excel para generar la base de datos adecuadamente, comunicándose simultáneamente con el PLC.

### **3.1.9 Selección de instrumentación para el sistema de control propuesto**

Como se evidencia en los eventos anteriores, una de las variables más importante para el control de los trasiegos es precisamente el control de nivel de los tanques. Con el objetivo de seleccionar el tipo de medidor de nivel de líquido, se evaluarán las variedades de estos, así como sus ventajas y desventajas, para tener una inclinación objetiva sobre la selección del mismo.

**▪ Instrumentos para medir Nivel**

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, bien aprovechando características eléctricas del líquido o bien utilizando otros fenómenos.

Dentro de los requisitos que se buscan solventar para la medida de nivel, se presentan los diferentes métodos de medición de nivel bajo los diferentes principios de funcionamiento de los instrumentos. A continuación veremos los instrumentos de medida de nivel más relevantes que pueden ser una solución a nuestro sistema de control de nivel en los tanques previamente mostrados.

“Los primeros instrumentos de medida directa se dividen en: sonda, cinta y plomada, nivel de cristal, nivel de flotador, magnético, palpador servooperado y magnetoestrictivo.

Los aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática son:

- Medidor manométrico
- Medidor de tipo burbujeo
- Medidor de presión diferencial de diafragma

El empuje producido por el propio líquido lo aprovecha el medidor de desplazamiento. Los instrumentos que utilizan las características eléctricas del líquido son:

- Medidor resistivo/conductivo
- Medidor capacitivo
- Medidor ultrasónico
- Medidor de radar o microondas
- Medidor de radiación
- Medidor de láser

Y los que se basan en otros fenómenos:

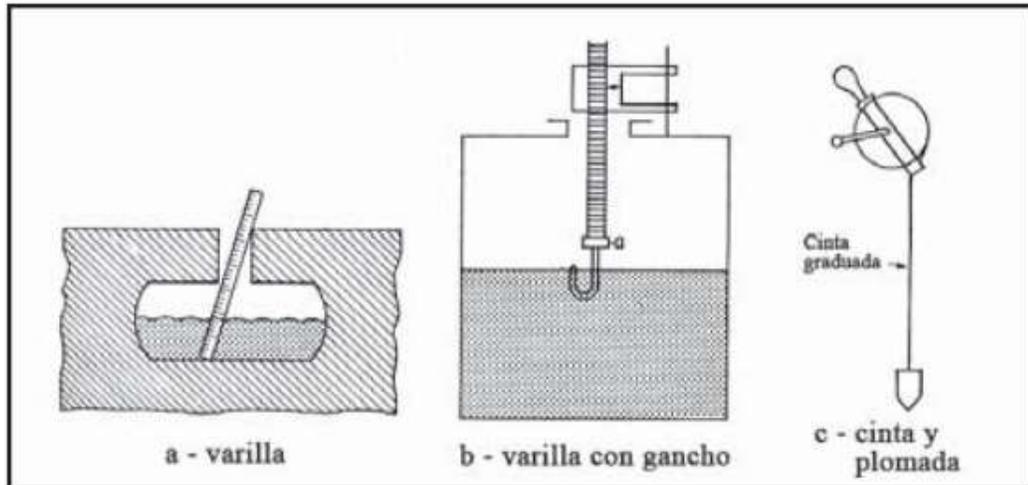
- Medidor óptico
- Vibratorio
- Detector de nivel térmico o de dispersión térmica” [4]

### **Instrumentos de medida directa:**

El *medidor de sonda* (véase la figura 44) consiste en una varilla o regla graduada de la longitud conveniente para introducirla dentro del depósito. La determinación del nivel se efectúa por lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el tanque debe estar abierto a presión atmosférica. Se utiliza, generalmente, en tanques de fuel-oil o gasolina. [4]

**Figura 44**

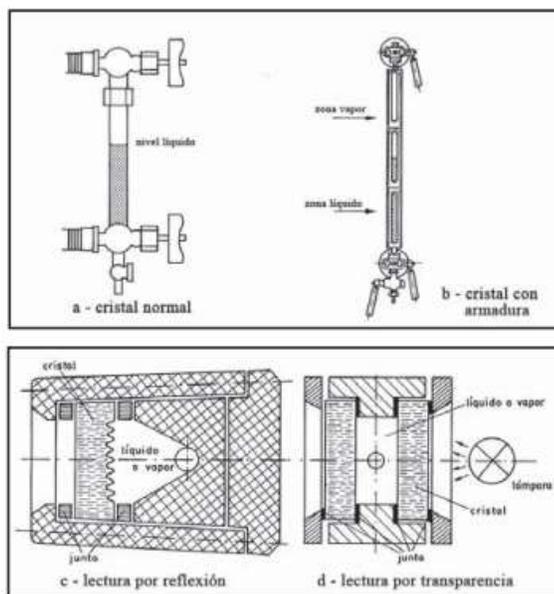
*Medidor de Sonda. [4]*



El *nivel de cristal* consiste en un tubo de vidrio con sus extremos conectados a bloques metálicos y cerrados por prensaestopas que están unidos al tanque, generalmente, mediante tres válvulas, dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo para impedir el escape del líquido, en caso de rotura del cristal, y una de purga (figura 45). [4]

**Figura 45**

*Nivel de cristal. [4]*



“Los niveles de vidrio son susceptibles de ensuciarse por las características del líquido que miden, impidiendo que el nivel pueda apreciarse claramente.

Entre los líquidos que presentan este inconveniente figuran el caramelo y los líquidos pegajosos. El nivel de vidrio sólo permite una indicación local, si bien pueden emplearse espejos para lectura a distancias limitadas o bien utilizar cámaras de televisión para mayores distancias de transmisión.

Su ventaja principal es la gran seguridad que ofrece en la lectura del nivel del líquido pudiendo controlar con ellos la lectura de los otros tipos de aparatos de nivel.

Los *instrumentos de flotador* (ver figura 46) consisten en un flotador situado en el seno del líquido y conectado al exterior del tanque indicando directamente el nivel. La conexión puede ser directa, magnética o hidráulica.

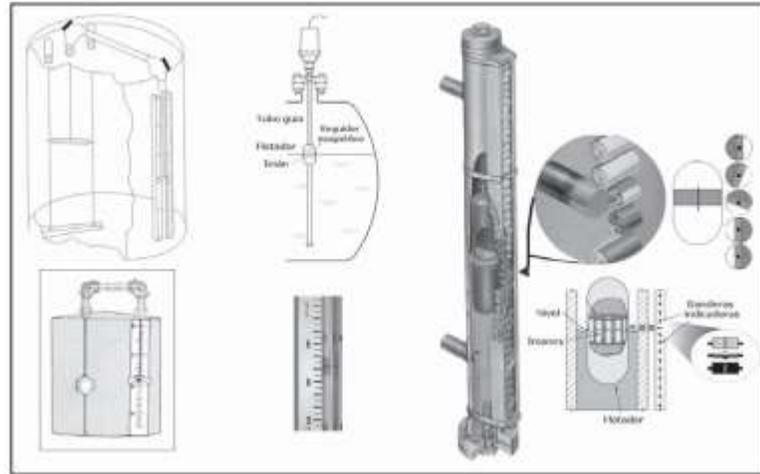
El flotador conectado directamente está unido por un cable que desliza en un juego de poleas a un índice exterior que señala sobre una escala graduada. Es el modelo más antiguo y el más utilizado en tanques de gran capacidad, tales como los de fuel-oil y gas-oil.

Tiene el inconveniente de que las partes móviles están expuestas al fluido y pueden romperse, y de que el tanque no puede estar sometido a presión. Además, el flotador debe mantenerse limpio. La escala está graduada de forma inversa, es decir, cuando el tanque está lleno, el índice exterior está en la parte inferior de la escala y señala el 100% del nivel, y cuando está vacío señala el 0% con el índice situado en la parte superior.

El indicador de nivel magnético se basa en el seguimiento magnético de un flotador que desliza por un tubo guía y que contiene un potente electroimán.” [4]

**Figura 46**

*Instrumentos de nivel de flotador (directo y magnético). [4]*



Los *medidores por palpador servooperado* (ver figura 47) disponen de un elemento de medida que consiste en un disco de desplazamiento suspendido por una cinta perforada (o un cable) de acero inoxidable que está acoplada a un tambor ranurado, el cual almacena o dispensa la cinta. El tambor está conducido por un servomotor controlado y montado en unos cojinetes de precisión. Cuando el nivel del producto sube o baja, el desplazador es subido o bajado automáticamente manteniendo el contacto con la superficie del producto. El tambor de medida está montado en el techo del tanque y dispone de un codificador óptico y del transmisor de los datos de nivel. Generalmente, la transmisión de la información es digital serie y codificada, sujeta a estándar. [4]

**Figura 47**

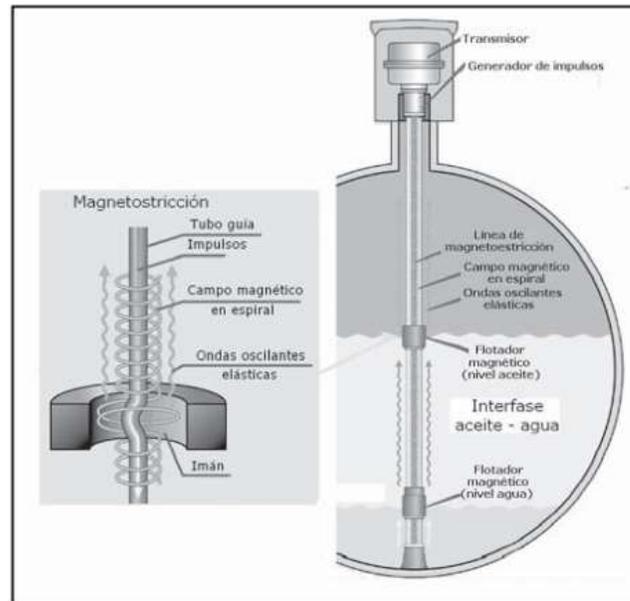
*Instrumentos de nivel por palpador servooperado. [4]*



El *medidor de nivel magnostrictivo* utiliza un flotador cuya posición, que indica el nivel, se determina por el fenómeno de la magnetostricción. Para detectar la posición del flotador, el transmisor envía un impulso alto de corriente de corta duración (impulso de interrogación) hacia abajo al tubo de guía de ondas, con lo que crea un campo magnético tubular que interacciona inmediatamente con el campo magnético generado por los imanes del flotador. Esta interacción da lugar a una fuerza de torsión en el tubo, como si fuera una onda o vibración ultrasónica, que se traslada, a una velocidad típica, por el tubo guía hacia el circuito sensor que capta el impulso ultrasónico torsional y lo convierte en un impulso eléctrico. El circuito mide el intervalo de tiempo entre el impulso inicial de corriente y el impulso de retorno y lo convierte a una señal dentro del intervalo de 4-20 mA, y esta señal indica la posición del flotador, es decir, el nivel. [4]

### Figura 48

*Medidor de nivel magnostrictivo. Fuente: Tatsuno Corporation. [23]*



### Instrumentos basados en la presión hidrostática:

El *medidor manométrico* consiste en un sensor de presión piezoresistivo suspendido de la parte superior del tanque e inmerso en el líquido. El sensor contiene un puente de Wheastone y, bajo la presión del líquido, el sensor se flexa y la tensión que crea es captada por las galgas extensiométricas, dando lugar a un desequilibrio del puente y a una señal de salida proporcional a la presión aplicada, es decir, al nivel. El sensor está contenido en una caja protectora con un diafragma flexible y relleno de aceite de silicona lo que le da una gran robustez. Puede estar acoplado a un transmisor electrónico o digital de 4-20 mA c.c. y comunicaciones HART, Fielbus, etc. Su exactitud es de,  $\pm 0,25\%$ . [4]

El sensor mide la presión debida a la altura de líquido  $h$  que existe entre el nivel del tanque y el eje del instrumento. Así, pues, el campo de medida del instrumento corresponderá:

**Figura 49**

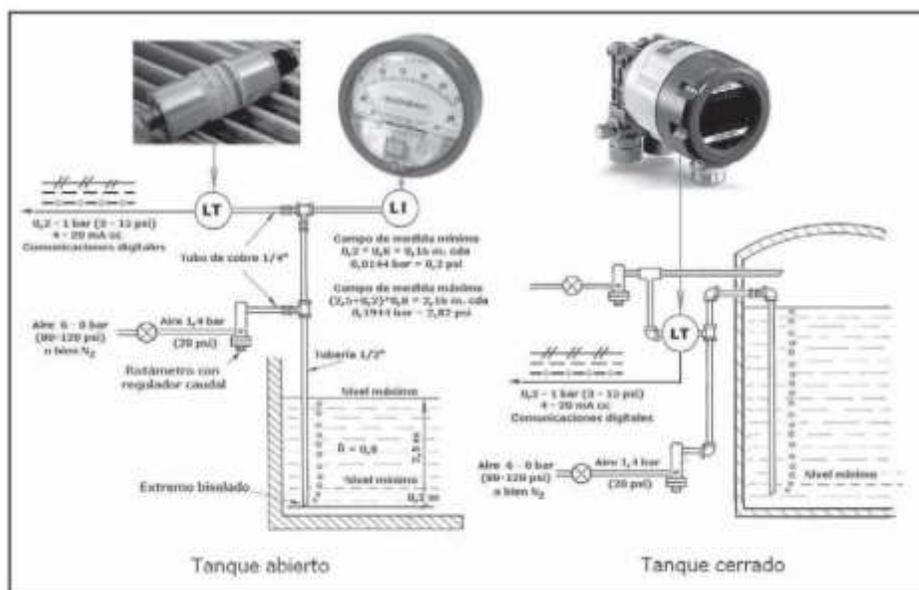
*Medidor manométrico. Fuente: ABB. [24]*



El *medidor de tipo burbujeo* emplea un tubo sumergido en el líquido a cuyo través se hace burbujear aire mediante un rotámetro con un regulador de caudal incorporado (figura 5.7). La presión del aire en la tubería equivale a la presión hidrostática ejercida por la columna de líquido, es decir, al nivel. El regulador de caudal permite mantener un caudal de aire constante (unos 150 l/h) a través del líquido, independientemente del nivel. [4]

**Figura 50**

*Medidor de tipo burbujeo. [4]*



El medidor de *presión diferencial* consiste en un diafragma en contacto con el líquido que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque. En un tanque abierto, esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico (véase la figura 51). [4]

### Ecuación 9

*Presión hidrostática de un fluido.* [4]

$$P = H * \gamma * g$$

En la que:

P = presión

H = altura de líquido sobre el instrumento

$\gamma$  = densidad del líquido

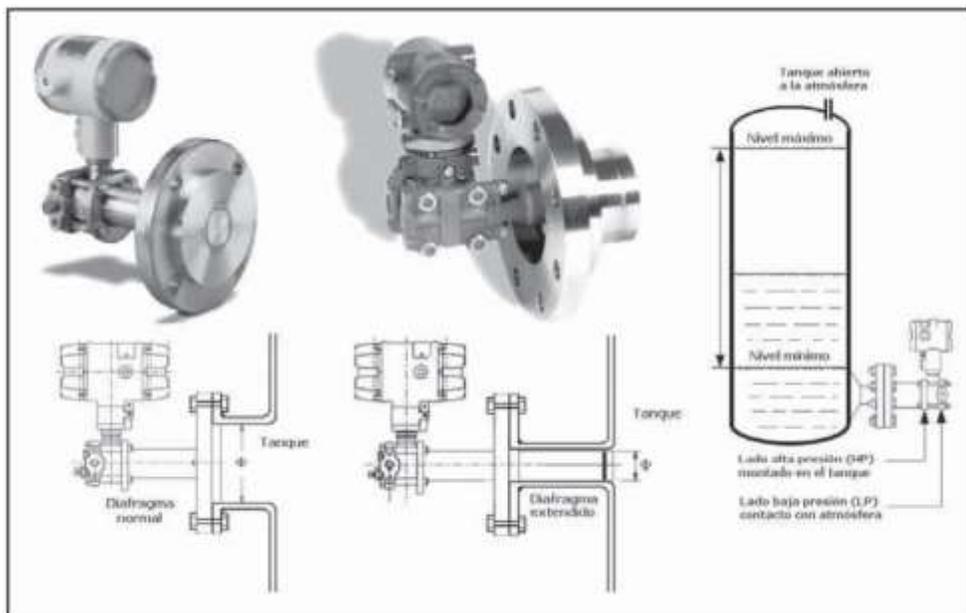
g = 9,8 m/s<sup>2</sup>

El diafragma forma parte de un transmisor neumático, electrónico o digital de presión diferencial.

En el tipo más utilizado, el diafragma está fijado en una brida que se monta rasante al tanque para permitir, sin dificultades, la medida de nivel de fluidos, tales como pasta de papel y líquidos con sólidos en suspensión, pudiendo incluso ser de montaje saliente para que el diafragma engrase completamente con las paredes interiores del tanque, tal como ocurre en el caso de líquidos extremadamente viscosos en los que no puede admitirse ningún recodo. [4]

### Figura 51

*Tipos de diafragmas.* [4]



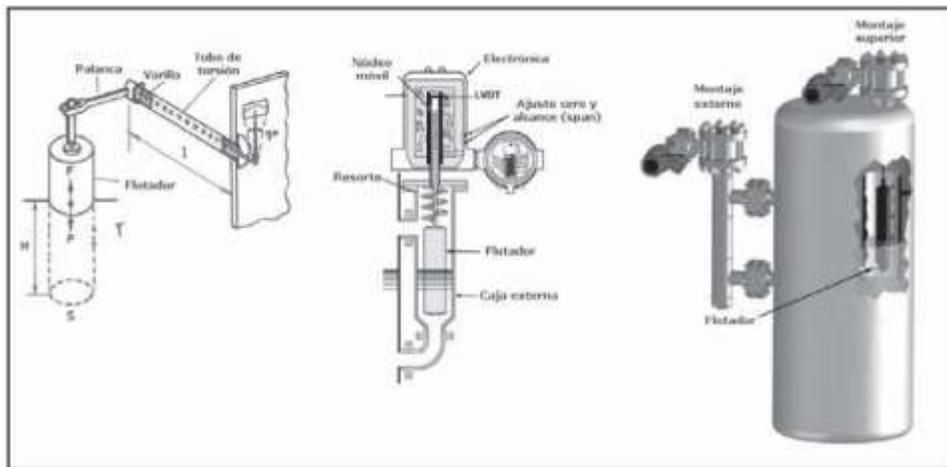
### Instrumento basado en el desplazamiento:

“El *medidor de nivel de tipo desplazamiento* (véase la figura 52) consiste en un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión unido rígidamente al tanque o bien a un resorte de equilibrio del que pende el flotador.

En el modelo de tubo de torsión el flotador está suspendido de un pivote a lado, para reducir el rozamiento, situado en el extremo de un brazo y el otro extremo está soldado al tubo de torsión. Dentro del tubo, y unido a su extremo libre, se encuentra una varilla que transmite el movimiento de giro axial a un transmisor exterior al tanque. Al variar el nivel del líquido o la interfase en el caso de dos líquidos inmiscibles, cambia el peso del flotador con lo que la varilla libre del tubo de torsión gira en un movimiento proporcional al movimiento del flotador y, por lo tanto, al nivel.” [4]

### Figura 52

*Medidor de nivel de desplazamiento. [4]*

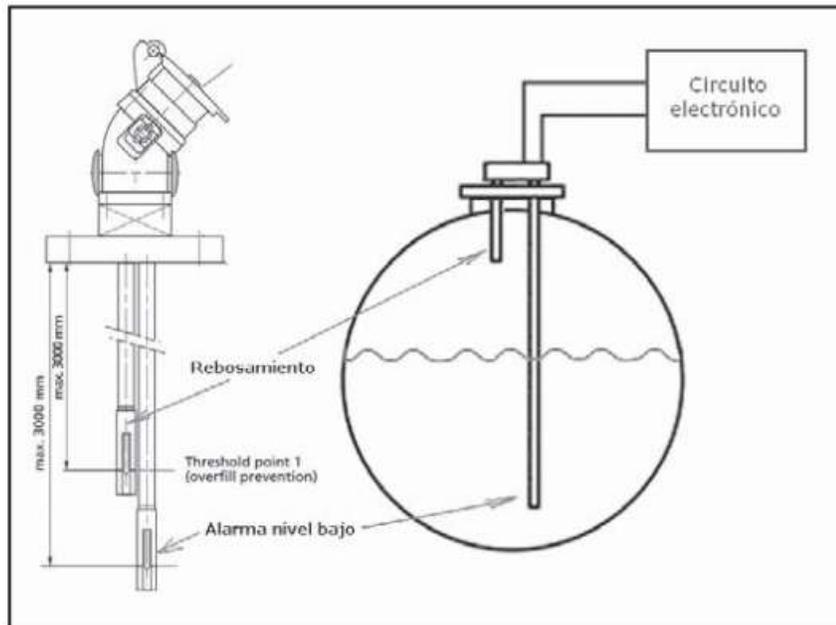


### Instrumentos basados en características eléctricas del líquido:

El *medidor de nivel conductivo o resistivo* (figura 53) consiste en uno o varios electrodos y un circuito electrónico que excita un relé eléctrico o electrónico al ser los electrodos mojados por el líquido. Este debe ser lo suficientemente conductor como para excitar el circuito electrónico, y de este modo el aparato puede discriminar la separación entre el líquido y su vapor, tal como ocurre, por ejemplo, en el nivel de agua de una caldera de vapor. La impedancia mínima es del orden de los 25 MW/cm, y la tensión de alimentación entre los electrodos y el tanque es alterna para evitar fenómenos de oxidación en las sondas, por causa del fenómeno de la electrólisis. [4]

**Figura 53**

*Medidor de nivel resistivo/conductivo. [4]*

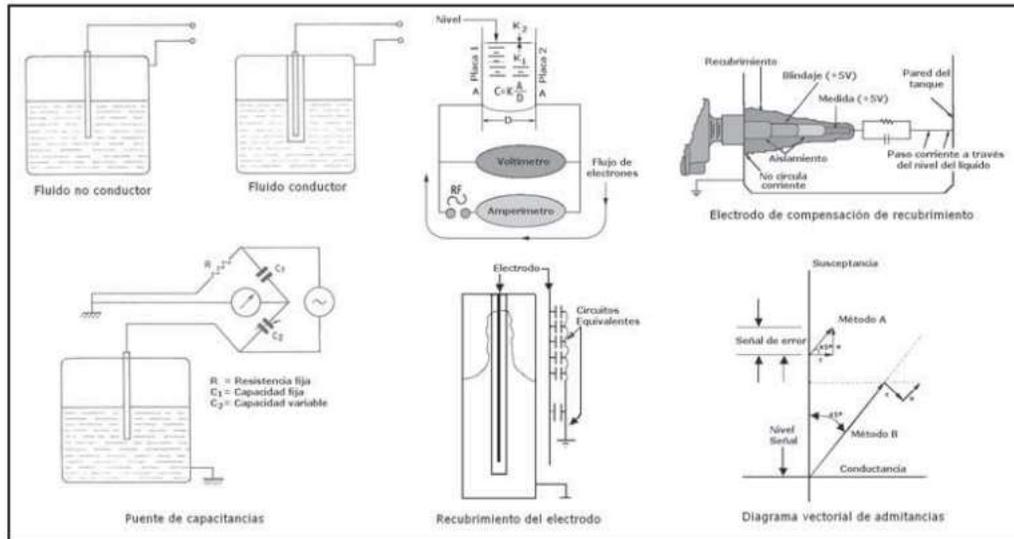


El relé electrónico dispone de un temporizador de retardo que impide su enclavamiento ante una ola del nivel del líquido o ante cualquier perturbación momentánea, o bien en su lugar se disponen dos electrodos poco separados enclavados eléctricamente en el circuito. El instrumento se emplea como alarma o control de nivel alto y bajo, y con la sensibilidad ajustable permite detectar la presencia de espuma en el líquido. [4]

El *medidor de capacidad* (figura 54), conocido también por sensor de nivel de radiofrecuencia (RF) o de admitancia, mide la capacidad del condensador formado por un electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque. Trabaja en la gama baja de radiofrecuencia de pocos MHz, midiendo la admitancia de un circuito de corriente alterna, la que varía según el nivel de líquido en el tanque. Para clarificar la descripción del instrumento de capacitancia, los términos admitancia e impedancia de un circuito de c.a. son comparables a los de conductancia y resistencia de un circuito de c.c., es decir, la admitancia es la medida de la conductividad de un circuito de c.a. y es la inversa de la impedancia. [4]

**Figura 54**

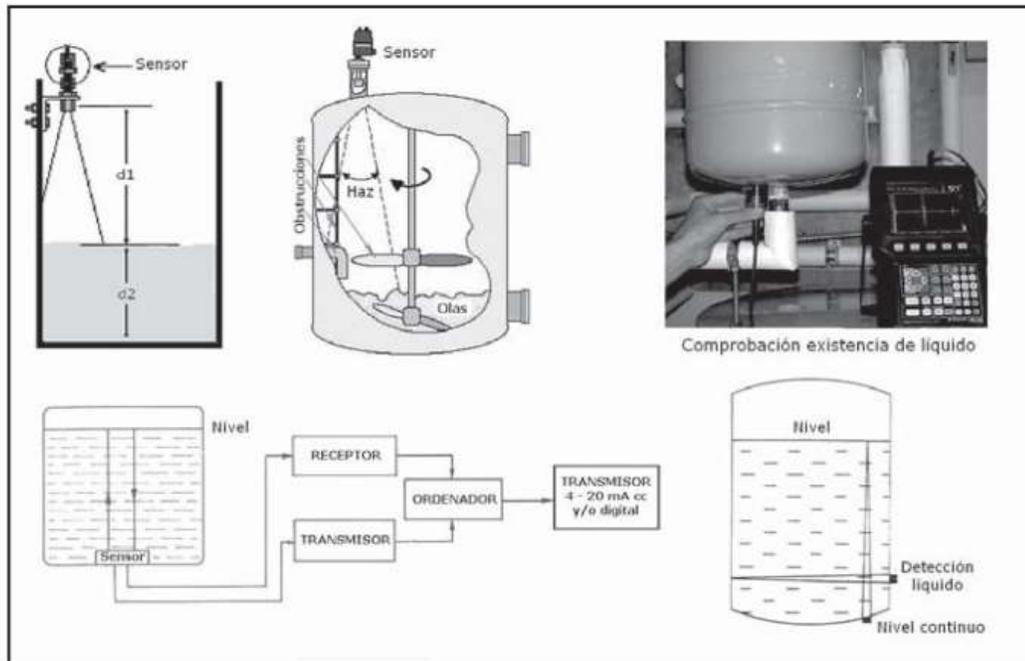
*Medidor de capacidad. Fuente: OMEGA [4]*



El sistema ultrasónico de medición de nivel (véase la figura 55) se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque. [4]

**Figura 55**

*Transductor ultrasónico de nivel. [4]*



**Medidor de nivel de radar o microondas:**

“El *sistema de radar de microondas* se basa en la emisión continua de una onda electromagnética, típicamente dentro del intervalo de los rayos X (10 GHz). El sensor está situado en la parte superior del tanque y envía las microondas hacia la superficie del líquido. Una parte de la energía enviada es reflejada en la superficie del líquido y la capta el sensor. El tiempo empleado por las microondas es función del nivel en el tanque.

Una técnica empleada es utilizar una onda continua modulada en alta frecuencia (por encima de los 10 GHz), de modo que se detecta la diferencia de frecuencia entre la señal emitida y el eco recibido. La técnica recibe el nombre de FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave - Onda continua modulada en frecuencia). La diferencia de frecuencias es proporcional al tiempo empleado por estas señales de transmisión y retorno, es decir, al nivel.” [4]

**Ecuación 10**

*Distancia del emisor al líquido.* [4]

$$d = \frac{v * dt}{2}$$

Con:

**Ecuación 11**

*Señal de velocidad.* [4]

$$v = \frac{c}{\sqrt{e}}$$

Siendo:

$d$  = distancia del emisor al líquido

$v$  = señal de velocidad

$dt$  = tiempo de recorrido

$c$  = velocidad de la luz

$e$  = constante dieléctrica

**Medidor de nivel de radiación:**

“El *sistema de radiación* (medición por rayos gamma) consiste en un emisor de rayos gamma montado verticalmente en un lado del tanque y con un contador Geiger que transforma la radiación gamma recibida en una señal eléctrica de corriente continua.

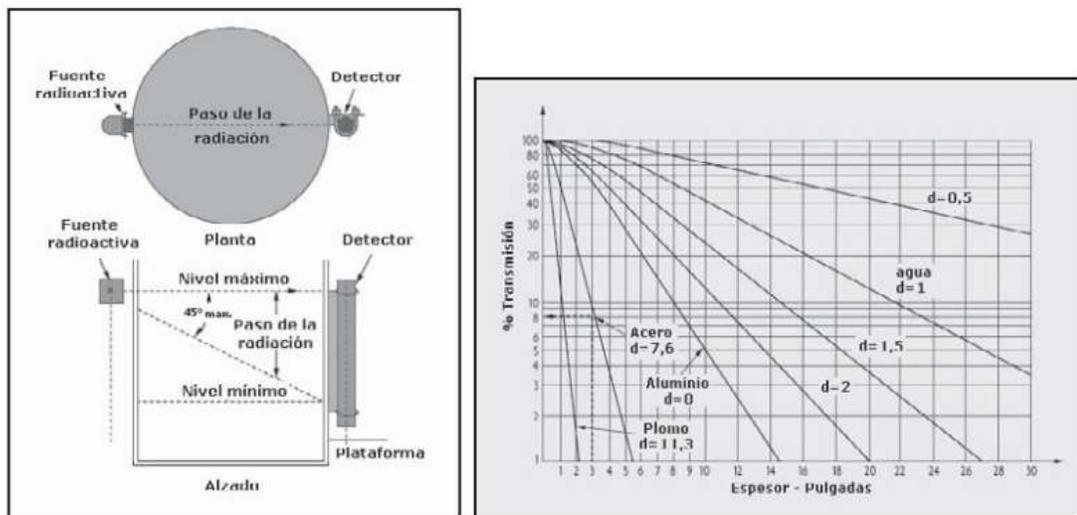
Otro tipo de detector consiste en un haz de fibras ópticas que transmiten los fotones luminosos, creados en la estructura cristalina (dotada de materiales dopantes) cuando reciben la radiación gamma, a un tubo fotomultiplicador.” [4]

Como la transmisión de los rayos es inversamente proporcional a la masa del líquido en el tanque, la radiación captada por el receptor es inversamente proporcional al nivel del líquido, ya que el material absorbe parte de la energía emitida.

Los rayos emitidos por la fuente son similares a los rayos X, pero de longitud de onda más corta. La fuente radiactiva pierde igualmente su radiactividad en función exponencial del tiempo. La vida media (es decir, el tiempo necesario para que el emisor pierda la mitad de su actividad) varía según la fuente empleada, el sistema se ilustra en la figura 56.

**Figura 56**

*Transductor ultrasónico de nivel adentro de un tanque. [4]*



Las paredes del tanque absorben parte de la radiación y al detector sólo llega un pequeño porcentaje. Los detectores son, en general, tubos Geiger o detectores de cámara iónica y utilizan amplificadores de c.c. o de c.a. El instrumento dispone de compensación de temperatura, de linealización de la señal de salida y de reajuste de la pérdida de actividad de la fuente de radiación, extremo este último a tener en cuenta para conservar la misma exactitud de la puesta en marcha. Como desventajas en su aplicación figuran el blindaje de la fuente y el cumplimiento de las leyes sobre protección de radiación, que en nuestro país están reglamentadas por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). [4]

**Medidor de nivel láser:**

“En aplicaciones donde las condiciones son muy duras, y donde los instrumentos de nivel convencionales fallan, encuentra su aplicación el medidor láser (y también el de radiación). Tal es el caso de la medición de metal fundido, donde la medida del nivel debe realizarse sin contacto con el líquido y a la mayor distancia posible por existir unas condiciones de calor extremas.

El sistema mide el nivel de forma parecida al medidor de nivel de ultrasonidos con la diferencia de que emplea la luz en lugar del sonido. Consiste en un rayo láser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) enviado a través de un tubo de acero y dirigido por reflexión en un espejo sobre la superficie del metal fundido. La señal puede ser por impulsos o por onda continua modulada en alta frecuencia. En el primer caso, cada impulso de láser llega hasta el nivel de líquido y regresa al receptor. En forma parecida a la del nivel por radar, la distancia desde el sensor hasta el nivel se calcula por la fórmula:” [4]

**Ecuación 12**

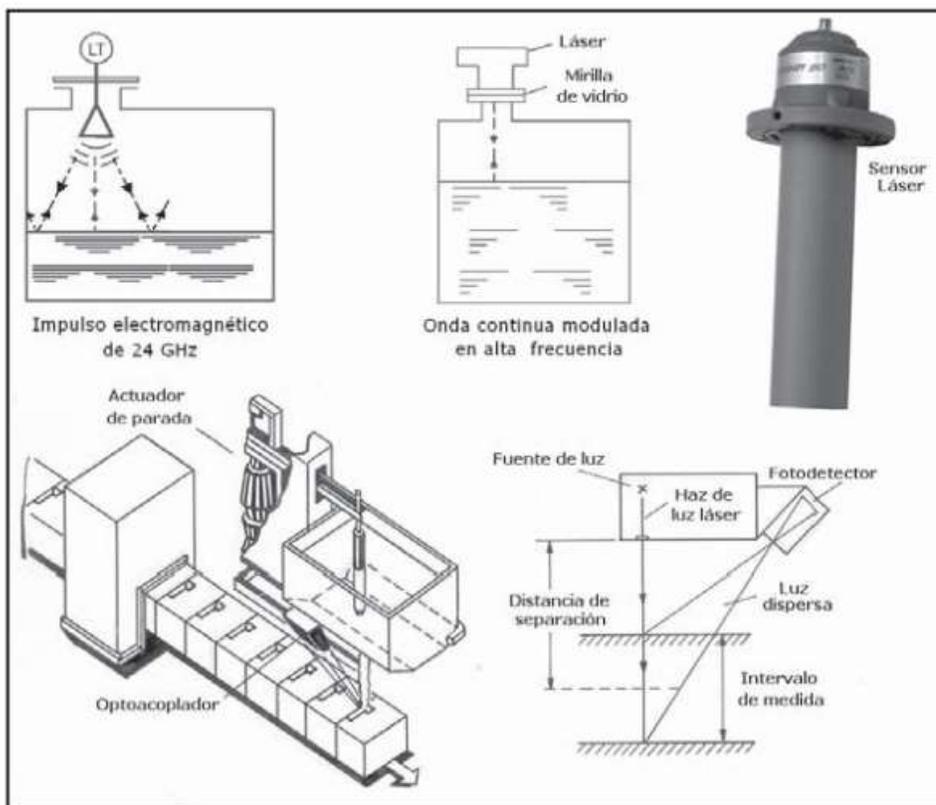
*Distancia del dispositivo a la superficie del líquido. [4]*

$$Distancia = \frac{(Velocidad\ de\ la\ Luz) * (Tiempo\ Transcurrido)}{2}$$

En la figura 57, se muestra el proceso de operación del medidor de nivel láser.

**Figura 57**

*Medidor de nivel láser. [4]*



**Criterio para la selección del medidor de nivel**

“Para la selección del instrumento adecuado para nuestro depósito de tanques, tenemos los siguientes datos del tipo de producto.

La densidad de los Aguardientes, Alcohol y demás productos varían alrededor de los 0.8589-0.97645 [g/Cm<sup>2</sup>]. Los tanques tienen una capacidad de seguridad máxima de 28000 Lt.

Conociendo los datos anteriormente mencionados, se puede establecer la relación de la presión hidrostática ejercida por el fluido.” [4]

**Ecuación 12**

*Presión hidrostática en aplicada en columna de líquido [4]*

$$P = \gamma * g * h$$

Donde

P = Presión hidrostática ejercida por el fluido

$\gamma$  = Densidad del fluido

$g$  = Aceleración Gravitacional

$h$  = Altura del fluido en el tanque

$$P = 976.4 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] * 4.5[m] = 43059.24[PA] \cong 44[kPa]$$

La tabla 31, resume los medidores de nivel de líquidos vistos.

**Tabla 31**  
*Medidores de nivel de líquidos. [4]*

| Instrumento         | Campo de medida | Exactitud % de la escala | Pres. máx. bar | Temp. Max. Fluido, °C | Desventajas  | Ventajas  |
|---------------------|-----------------|--------------------------|----------------|-----------------------|--|---|
| Sonda               | Limitado        | 0,5 mm                   | Atm.           | 60                    | Manual, sin olas<br>Tanques abiertos   | Barato, exacto  |
| Cristal             | Limitado        | "                        | 150            | 300                   | Sin transmisión, en algunos procesos no se puede utilizar  | Seguro, exacto, barato, indicación visual   |
| Flotador            | 0-10 m          | ±1-2%                    | 400            | 250                   | Posible agarrotamiento, solo utilizarlo en líquidos limpios  | Simple, independiente de la naturaleza líquido, interfases con flotadores de densidad determinada |
| Manométrico         | Altura tanque   | ± 1%                     | Atm.           | 60                    | Tanques abiertos, fluidos limpios  | Barato  |
| Membrana            | 0-25 m          | ± 1%                     | Atm.           | 60                    | Tanques abiertos   | Barato  |
| Burbujeo            | Altura tanque   | ± 1%                     | 400            | 200                   | Le afecta la densidad del líquido, mantenimiento importante, contaminación líquido por sustancias externas               | Barato, versátil  |
| Presión diferencial | 0-10 m          | ± 0,1% a ± 0,5%          | 150            | 600                   | Le afecta la densidad del líquido, posible agarrotamiento membrana y purga con líquido, caro                             | Compensa cambios presión en la parte superior del tanque, interfase líquido                       |
| Desplazamiento      | 0 - 25 m        | ± 0,5%                   | 100            | 400                   | Le afecta la densidad del líquido, expuesto a corrosión, no adecuado para aguas negras, caro                             | Fácil limpieza, robusto, medida interfases, muy exacto  |
| Conductivo          | Limitado        | ± 3 mm                   | 80             | 800                   | Solo líquidos conductores, medida en un punto, interfase solo entre líquidos conductores y no conductores                | Barato, versátil, sin partes móviles, no es influido por cambios temperatura o densidad           |
| Capacitivo          | 0-6 m           | ± 1%                     | 80 a 250       | 200 a 800             | Le afecta la densidad del líquido, recubrimiento del electrodo, es difícil la medida interfases y la detección de espuma | Resistencia a la corrosión  |
| Ultrasónico         | 0-3 m           | ± 1%                     | 400            | 200                   | Caro, sensible a densidad, espuma, humedad del vapor   | Todo tipo tanques y líquidos, sin contacto con el líquido   |
| Radar               | 0-30 m          | ± 2,5mm                  |                | 230                   | Sensible a la constante dieléctrica del líquido, turbulencia excesiva, palas del agitador y al recubrimiento del líquido | Todo tipo tanques y líquidos y espuma   |
| Radiación           | 0-2,5 m a ± 2%  | ± 0,5% o ± 6 mm          | —              | 150                   | Fuente radiactiva, caro, aprobación de la Junta Energía Nuclear  | Todo tipo tanques (sin contacto líquido)  |
| Láser               | 10 mm a ± 2%    | ± 0,5%                   | —              | 1500                  | Líquidos turbios con vapor transparente  | Todo tipo tanques (sin contacto líquido)  |
| Óptico              | Limitado        | ± 6 mm                   | —              | 120                   | El modelo de refracción solo para líquidos limpios, el de reflexión necesita vapores limpios en la superficie            | Barato  |
| Vibratorio          | Limitado        | ± 5 mm                   | —              | 150                   | —  | Barato  |
| Dispersión térmica  | Limitado        | ± 10 mm                  | —              | 450                   | La detección de espuma y de interfases limitada la conductividad térmica   | Barato  |
| HTG                 | 0-25 m          | ± 0,1%                   | Atm.           | 200                   | —  | Masa, nivel, densidad   |
| Híbrido             | 0-25 m          | ± 0,1%                   | Atm.           | 200                   | —  | Masa, densidad, inventario mezclas  |

“Bajo las condiciones del fluido, se observa que se necesita gran precisión, por lo que es la característica esencial al momento de elegir, inmediatamente observamos que el sensor diferencial de presión es quien brinda mayor exactitud, obviando el HTG y el Híbrido, ya que estos solo logran leer bajo condiciones de presión atmosférica, a diferencia del

diferencial de presión, pues este nos da un campo de medida bastante aceptable de 0-10m de altura del fluido y nuestros tanques tienen una altura máxima de 4.5m.

Una de las desventajas que observamos en este medidor, es que este es sensible a la densidad del fluido y en cuanto en el área de preparación se tenga otro producto, la ecuación de presión hidrostática no arrojará el valor real, sin embargo estas desventajas pueden ser solucionadas por el sistema de control definiendo densidades para cada producto que se produce en la FLA.

Dicho esto, todos los sistemas de tanques de depósito, usarán diferencial de presión para medida continua de nivel y sensor de nivel alto de emergencia de Horquilla para evitar derrames por rebose de líquido.” [4]

#### ▪ **Instrumentos para medir Flujo**

Es necesario señalar que la medida de caudal volumétrico en la industria se lleva a cabo principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido. Entre estos elementos se encuentran la placa orificio o diafragma, la tobera, el tubo Venturi, el tubo Pitot y el tubo Annubar. A continuación se muestran los instrumentos y equipos de proceso que se pueden encontrar a nivel industrial para el monitoreo de esta variable. [4]

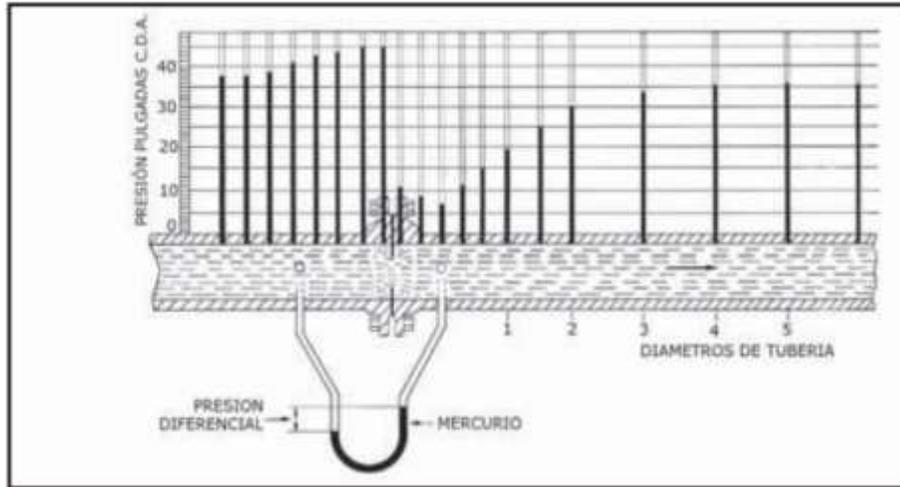
#### **Instrumentos de presión diferencial**

“Los elementos de presión diferencial se basan en la diferencia de presiones provocada por un estrechamiento en la tubería por donde circula el fluido (líquido, gas o vapor). La presión diferencial provocada por el estrechamiento es captada por dos tomas de presión situadas inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del mismo, o bien a una corta distancia.

La placa-orificio o diafragma consiste en una placa perforada instalada en la tubería. Dos tomas, conectadas en la parte anterior y posterior de la placa, captan esta presión diferencial proporcional al cuadrado del caudal. La disposición de las tomas puede verse en la figura 58.” [4]

**Figura 58**

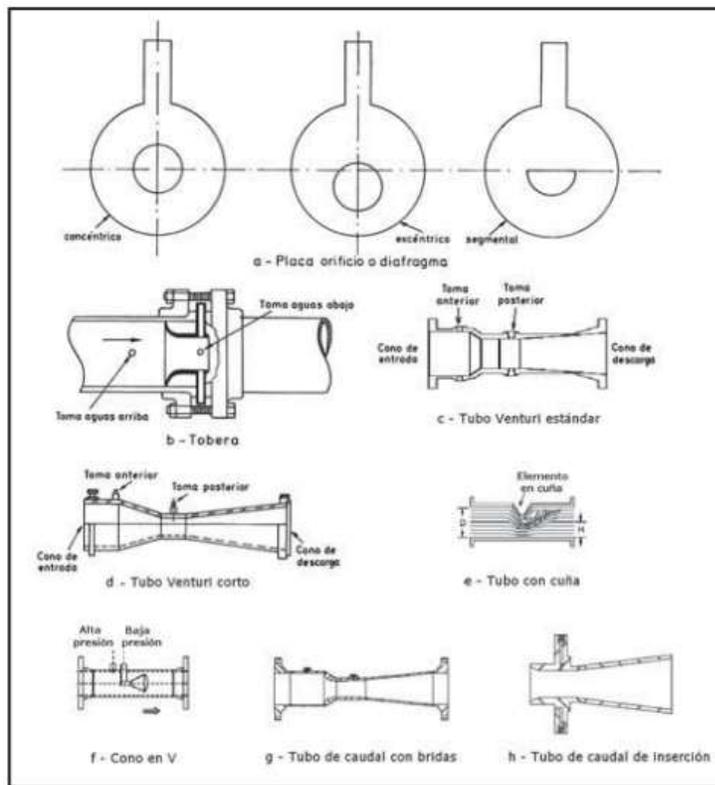
*Presión diferencial creada por la placa orificio. [4]*



Algunos de los instrumentos que también usan el principio de presión diferencial se ven en la figura 59.

**Figura 59**

*Tipos de elementos. [4]*

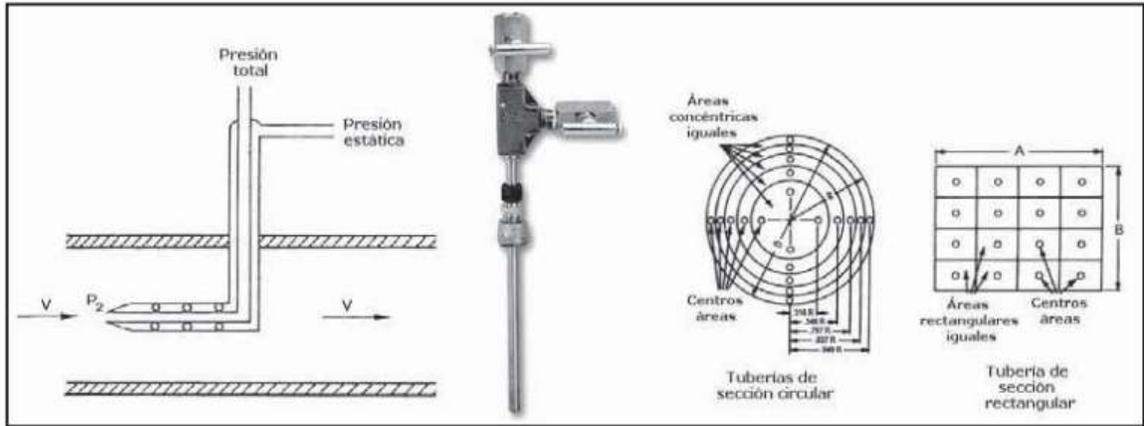


**Tubo Pitot:**

El *tubo Pitot* fue ideado por Henri de Pitot (1695-1771) y mide la diferencia entre la presión total y la presión estática, o sea, la presión dinámica, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad (véase la figura 60). [4]

**Figura 60**

*Tubo de Pitot.* [4]



El tubo Pitot es sensible a las variaciones en la distribución de velocidades en la sección de la tubería, de aquí que en su empleo es esencial que el flujo sea laminar, disponiéndolo en un tramo recto de tubería. Si el eje del tubo está en el centro de la tubería, se considera  $C = 0,9$  y se obtiene una exactitud del orden del  $\pm 2\%$  al  $\pm 5\%$ . [4]

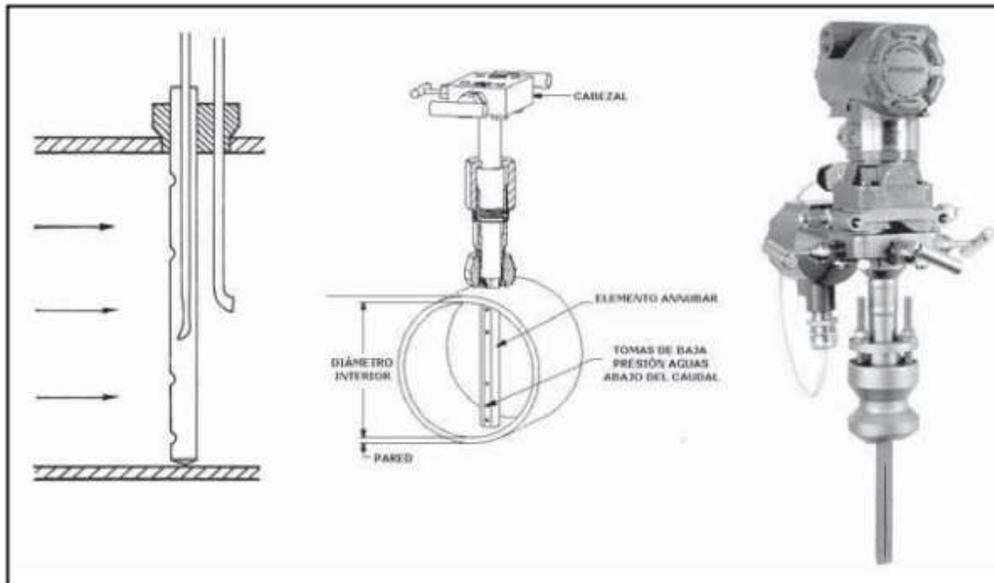
Se emplea normalmente para la medición de grandes caudales de fluidos limpios con una baja pérdida de carga.

**Tubo Annubar:**

El *tubo Annubar* (véase la figura 61) es una innovación del tubo Pitot y consta de dos tubos, el de presión total y el de presión estática. El tubo que mide la presión total está situado a lo largo de un diámetro transversal de la tubería y consta de varios orificios de posición crítica, determinada por computador, que cubren cada uno la presión total en un anillo de área transversal de la tubería. Estos anillos tienen áreas iguales. [4]

**Figura 61**

*Tubo Annubar. [4]*



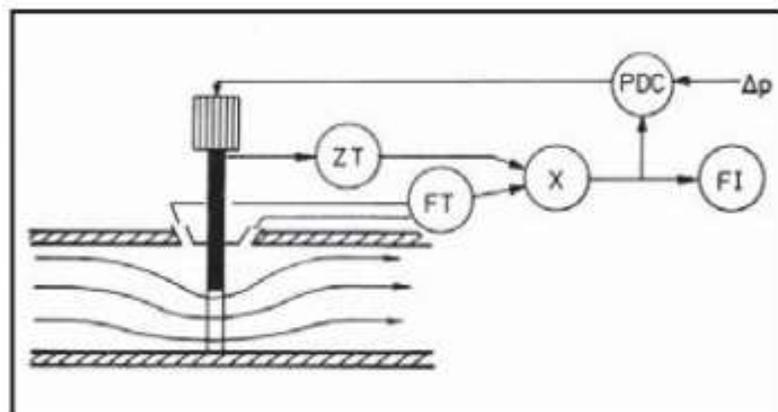
El tubo que mide la presión estática se encuentra detrás del de presión total, con su orificio en el centro de la tubería y aguas abajo de la misma. El tubo Annubar es de mayor precisión que el tubo Pitot, del orden del  $\pm 1\%$ , tiene una baja pérdida de carga y se emplea para la medida de pequeños o grandes caudales de líquidos y gases. [4]

**Placa-orificio variable:**

La *placa-orificio variable* es una innovación de la placa-orificio. Permite obtener una gama de variaciones de caudal mucho más amplia que puede llegar hasta la relación 50 a 1, mientras que en la placa-orificio viene limitada por la relación 3 a 1. [4]

**Figura 62**

*Placa-orificio variable. [4]*

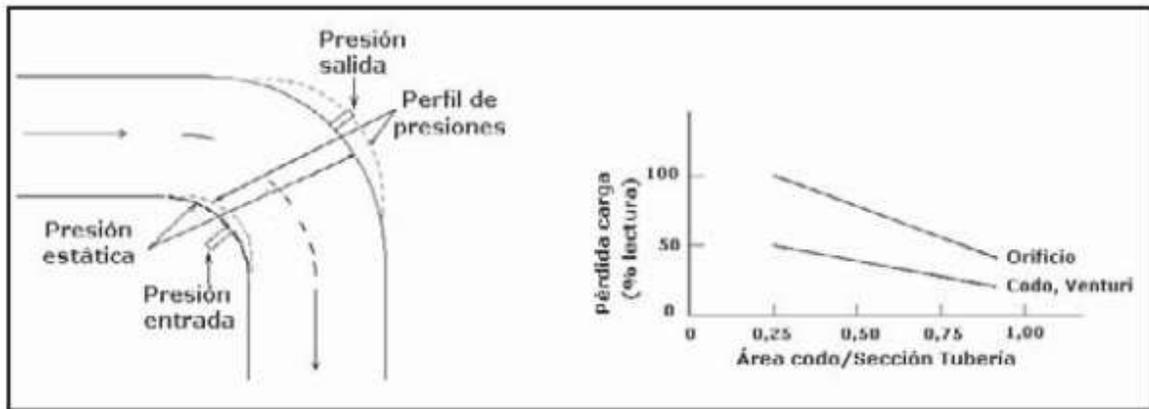


### Medidor de codo:

Se basa en la fuerza centrífuga ejercida por el fluido a su paso por un codo de la tubería. Esta fuerza es proporcional al producto Densidad del líquido  $\times$  velocidad<sup>2</sup> e inversamente proporcional al radio del codo. Situando dos tomas en el codo a 45°, la diferencia de presiones permitirá deducir el caudal del fluido. La pérdida de carga es sólo la del propio codo. [4]

### Figura 63

Medidor de codo. [4]



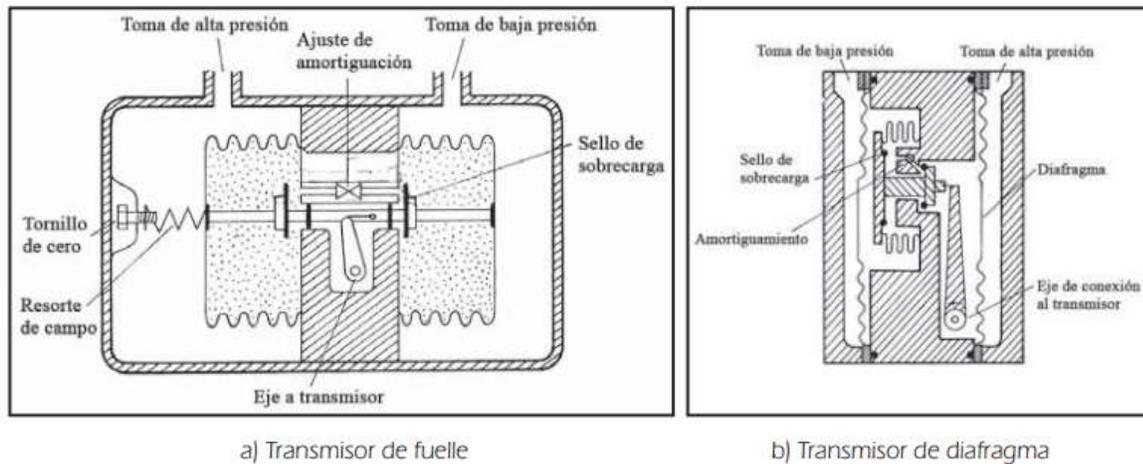
El coste del elemento es bajo. Sin embargo, como la diferencia de presiones es pequeña, su exactitud es baja y sólo se aplica cuando la precisión es suficiente y el coste de otros sistemas de medición sería muy elevado. Se han utilizado en la industria nuclear para captar las altas velocidades del fluido que se producen cuando hay una rotura en la tubería. [4]

### Transmisores de fuelle y de diafragma:

La presión diferencial creada por la placa, la tobera o el tubo Venturi, puede medirse con un tubo en U de mercurio, o bien transmi rse con los instrumentos llamados conver dores diferenciales.

**Figura 64**

*Medidor de Transmisores de fuelle y de diafragma. [4]*



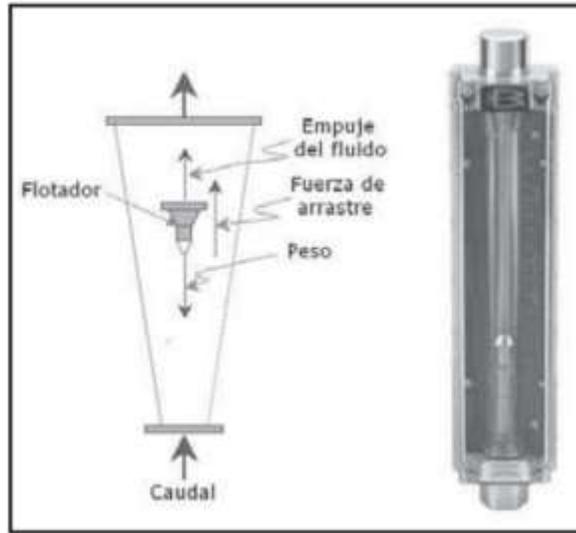
“El transmisor de presión diferencial de fuelle (véase la figura 64a) con ene dos cámaras para la alta y baja presión. La alta presión comprime el fuelle correspondiente arrastrando la palanca de unión, el cable y un eje exterior cuyo movimiento actúa sobre el transductor neumático o electrónico. Un resorte de margen permite disponer de varias gamas de presión diferencial. La protección contra sobrecargas está asegurada por dos anillos de sello que cierran herméticamente el paso del líquido de llenado de un fuelle al otro, e impiden su destrucción ante una maniobra incorrecta. Otro accesorio es una válvula contra pulsaciones de caudal que restringe el paso del líquido de llenado entre los fuelles.

El transmisor de presión diferencial de diafragma (véase la figura 64b) se diferencia del de fuelle en que la separación entre las dos cámaras se efectúa mediante diafragmas en lugar de fuelles, con lo cual el desplazamiento volumétrico es casi nulo.” [4]

### **Área variable (rotámetros):**

*Los elementos de área variable se caracterizan por el cambio de área que se produce entre el elemento primario en movimiento y el cuerpo del medidor. Pueden asimilarse a una placa-orificio cuyo diámetro interior fuera variable dependiendo del caudal y de la fuerza de arrastre producida por el fluido (véase la figura 65). [4]*

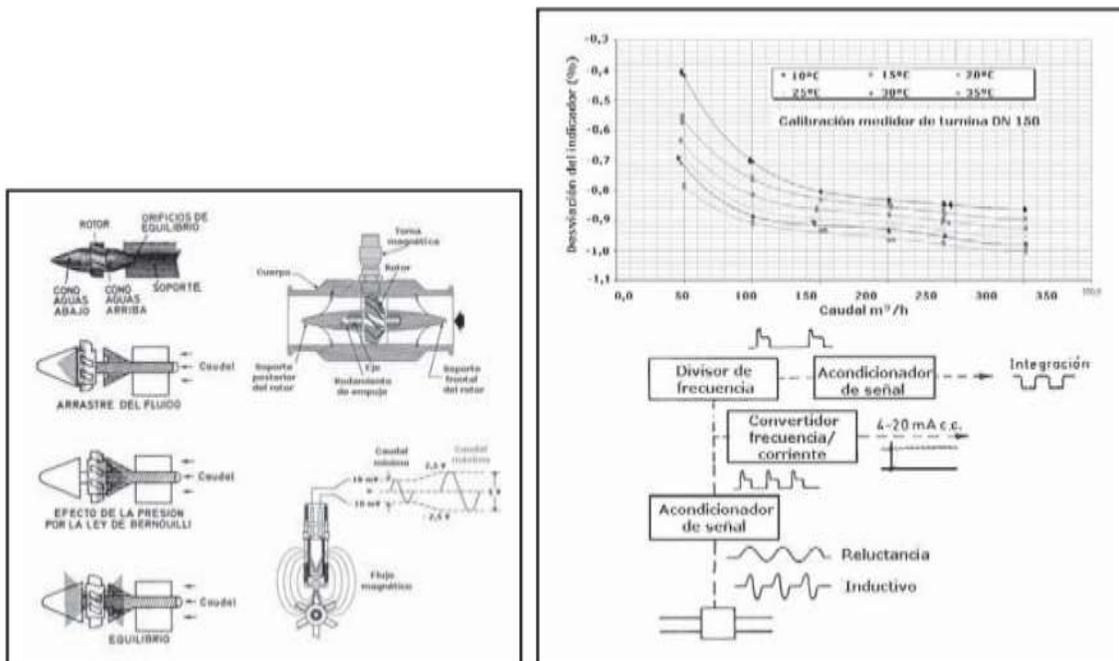
**Figura 65**  
Rotámetro. [4]



**Turbinas:**

Los *medidores de turbina* (véase la figura 66) consisten en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal. El fluido choca contra el borde frontal de las palas del rotor produciendo un área de baja presión y, como resultado de esta presión diferencial, las palas giran. [4]

**Figura 66**  
Medidor de Turbina. [4]

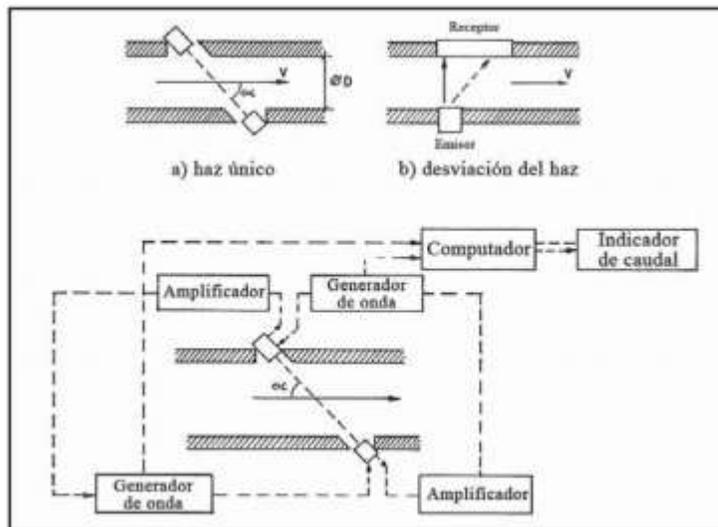


### Transductores ultrasónicos:

Los *transductores de ultrasonidos* (véase la figura 67) se basan en el fenómeno "ultrasónico" caracterizado porque las pequeñas perturbaciones de presión en el seno de un fluido se propagan a la velocidad del sonido correspondiente al fluido. Si, además, el fluido posee también velocidad, entonces la velocidad absoluta de la propagación de la perturbación de presión es la suma algebraica de ambas. [4]

#### Figura 67

*Medición de caudal por ultrasonidos. [4]*



“Los transductores ultrasónicos con un solo haz tienen una exactitud del  $\pm 2\%$  al  $\pm 3\%$  y un intervalo de medida de caudales de 20 a 1 con una escala lineal. Con dos haces, la exactitud alcanza  $\pm 0,5\%$ . Con tres haces el instrumento es capaz de diferenciar el flujo laminar del turbulento con lo que, añadiendo un software inteligente, la exactitud llega al  $\pm 0,3\%$ .

Un transductor de 5 haces (10 sensores) cumple con las condiciones rigurosas del trasvase y medida de caudal de productos petrolíferos de alto valor.

Estos elementos no tienen partes móviles, con lo cual tienen muy poco mantenimiento, no perturban el fluido, su pérdida de carga es muy pequeña, la operación es bidireccional y su rangeabilidad (relación entre el caudal máximo y el mínimo sin perder exactitud en la medida) es grande.

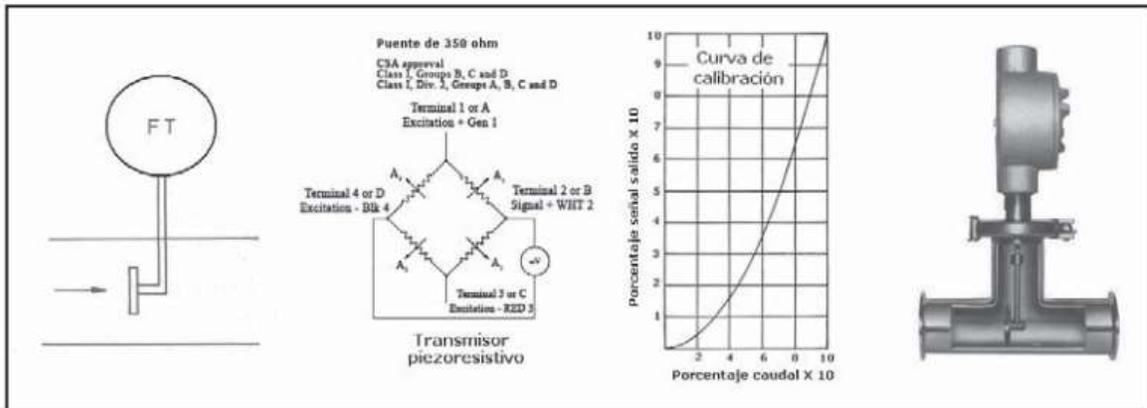
Son adecuados en la medida de la mayor parte de líquidos. Son sensibles a los cambios en la densidad del líquido, y por lo tanto a la temperatura, ya que estas variables incluyen en la velocidad del sonido. Por ejemplo, la velocidad del sonido en el seno del agua varía un  $0,2\%$  por grado centígrado de cambio en la temperatura.” [4]

**Fuerza (medidor de placa):**

El *medidor de placa* (véase la figura 68) consiste en una placa instalada directamente en el centro de la tubería y sometida al empuje o fuerza de impacto del fluido. [4]

**Figura 68**

*Medidor de placa. [4]*



La fuerza originada es proporcional a la energía cinética del fluido y depende del área anular entre las paredes de la tubería y la placa. Corresponde a la siguiente ecuación:

**Ecuación 13**

*Fuerza en la placa [4]*

$$F = \frac{v^2}{2g} * \rho * C_d * A$$

En la que:

$F$  = Fuerza total en la placa

$v$  = velocidad del fluido

$\rho$  = Densidad del fluido

$C_d$  = Constante Experimental (Coeficiente de rozamiento de disco)

$A$  = área de placa.

De aquí:

**Ecuación 14**

*Velocidad del fluido a través de la placa. [4]*

$$v = \sqrt{\frac{2gF}{\rho * C_d * A}}$$

El caudal volumétrico:

### **Ecuación 15**

*Caudal a través de la placa. [4]*

$$Q = S * v = S * \sqrt{\frac{2gF}{\rho * C_d * A}}$$

Siendo S el área de la sección interior de la tubería.

El valor típico de la constante  $C_d$  es 1,28 para placas planas y de 0,07 a 0,5 para esferas.

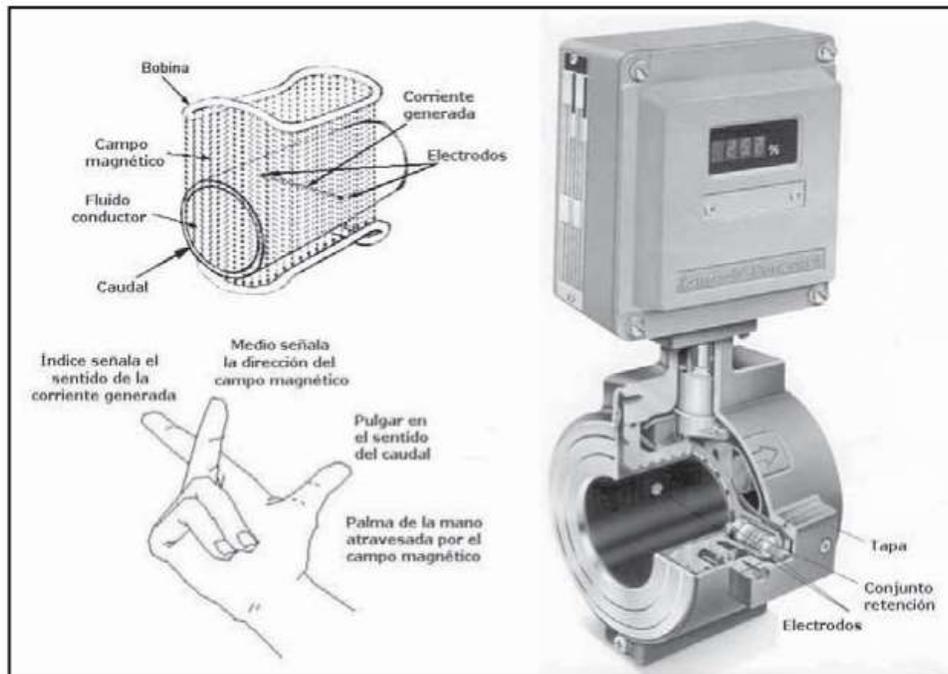
La placa está conectada a un transmisor de equilibrio de fuerzas o piezoresistivo. La fuerza dinámica del fluido sobre la placa es transmitida a través de una palanca a un puente de Wheastone de cuatro galgas extensiométricas activas que proporciona una señal de salida de 4-20 mA c.c. compatible con el protocolo HART. Esta señal es proporcional a la fuerza de impacto del fluido sobre la placa y, a su vez, el caudal es proporcional a la raíz cuadrada de esta fuerza. Luego, la señal transmitida es proporcional a la raíz cuadrada del caudal, siendo independiente de la temperatura del fluido o de su presión estática. [4]

### **Tensión inducida (medidor magnético):**

#### **Medidor magnético de caudal:**

La ley de Faraday establece que la tensión inducida a través de cualquier conductor, al moverse éste perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor (Ver figura 69). La regla de la mano derecha nos indica que colocando la mano derecha abierta, con la palma perpendicular a las líneas de fuerza del campo magnético, y los dedos en el sentido de la corriente del fluido, el pulgar señala el sentido de la corriente inducida.

Faraday intentó aplicar esta teoría en la medición de la velocidad del río Támesis en 1832. Suponía que el agua del río circulaba perpendicularmente al campo magnético de la Tierra y que el agua era un conductor relativamente bueno. Sumergió una probeta en el agua y esperaba obtener una señal que variara directamente con la velocidad.

**Figura 69***Medidor magnético de caudal. [4]*

“No tuvo éxito debido a que no disponía de indicadores sensibles y a que el campo magnético de la Tierra es bajo. No obstante, su teoría fue aceptada. Los holandeses fueron los primeros en el mundo que adaptaron este principio. En 1950 practicaron el bombeo de grandes cantidades de agua de una zona a otra en las tierras bajas de Holanda.

Era importante tener una indicación del caudal para supervisar los caudales manejados. En 1950, cuando se desarrollaron ampliamente las técnicas más avanzadas de corriente alterna, se diseñaron amplificadores más fiables y económicos y, sólo entonces, pasó a utilizarse el medidor magnético de caudal en una gran variedad de aplicaciones industriales.” [4]

**Medidor de disco basculante:**

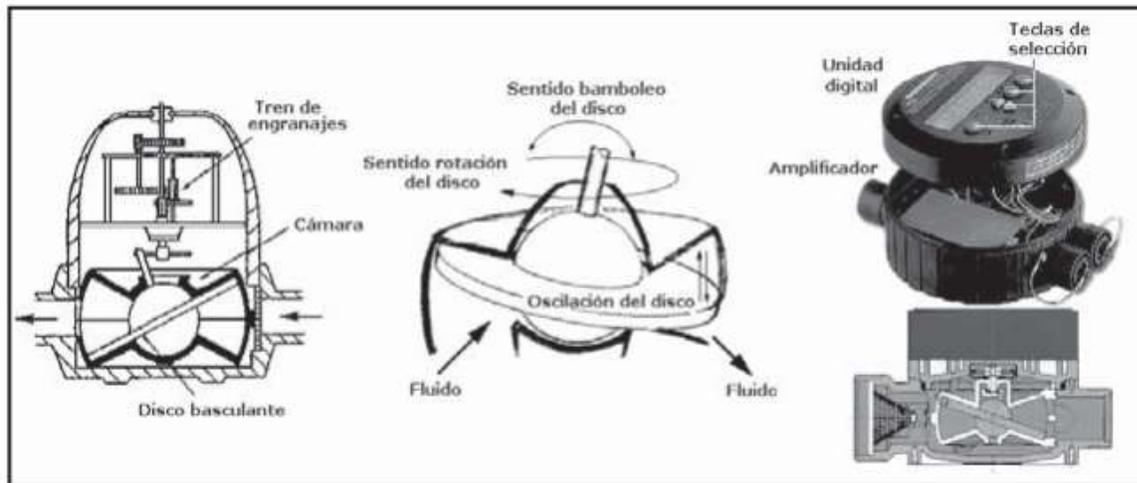
“El instrumento dispone de una cámara circular con un disco plano móvil dotado de una ranura en la que está intercalada una placa fija. Esta placa separa la entrada de la salida e impide el giro del disco durante el paso del fluido. La cara baja del disco está siempre en contacto con la parte inferior de la cámara en el lado opuesto, de modo que la cámara queda dividida en compartimientos móviles separados de volumen conocido.

Cuando pasa el fluido, el disco toma un movimiento parecido al de un trompo caído, de modo que cada punto de su circunferencia exterior sube y baja alternativamente, estableciendo contacto con las paredes de la cámara desde su parte inferior a la superior. Este movimiento de bamboleo se transmite mediante una bola y el eje del disco a un tren de engranajes (figura 70). El par disponible es pequeño, lo que pone un límite en la utilización

de accesorios mecánicos. Empleado originalmente en aplicaciones domésticas para agua, se utiliza industrialmente en la medición de caudales de agua fría, agua caliente, aceite y líquidos alimenticios. La exactitud es del  $\pm 1\%$  al  $\pm 5\%$ . La presión máxima es de 100 bar y el caudal máximo es de 600 l/min y se fabrica para pequeños tamaños de tubería.” [4]

### Figura 70

Medidor de disco basculante. [4]



### Criterio de selección de medidor de caudal

“Los medidores de caudal son esenciales para el monitoreo y registro de las actividades dentro de la etapa de envasado, por este motivo se requiere alta precisión para que la gestión de estos datos.

Debido a las características del líquido, pues en gran parte el Ethanol es un líquido de baja conductividad, no es posible aplicar una medida correcta con el medidor electromagnético mediante la ley de inducción de Faraday, debido a esto se buscó otro tipo de medidor que no tenga presente la conductividad, sino el volumen en sí.

Varios de los instrumentos por principios de Fuerza, Presión, velocidad o área variable son ideales para estos líquidos, sin embargo se eligió un *Tubo de Annubar*, el cual es un elemento de presión diferencial y de mayor precisión que el tubo Pitot, del orden del  $\pm 1\%$ , tiene una baja pérdida de carga y se emplea para la medida de pequeños o grandes caudales de líquidos y gases. Que junto a un transmisor electrónico, puede ofrecer grandes bondades para el sistema de control.” [4]

### ▪ Instrumentos para medir Peso

El peso de un cuerpo es la fuerza con que es atraído por la Tierra. La relación entre la masa del cuerpo, es decir, la cantidad de materia que contiene, y su peso viene dado por la expresión:

#### **Ecuación 16**

*Presión ejercida por un fluido [4]*

$$P = m * g$$

Donde:

$P$  = Peso

$m$  = Masa

$g$  = Aceleración Gravitacional

En la industria interesa determinar el peso de las sustancias en las operaciones de inventario de materias primas, de productos finales, en la mezcla de ingredientes, etc.

Existen varios métodos para medir el peso:

1. Comparación con otros pesos patrones (balanzas y básculas).
2. Células de carga a base de galgas extensométricas.
3. Células de carga hidráulicas.
4. Células de carga neumáticas.

La comparación con otros pesos patrones la realizan las balanzas y las básculas.

Para la aplicación de nuestro depósito de Tanques, tenemos los siguientes datos de los productos.

La densidad de los Aguardientes, Alcohol y demás productos varían alrededor de los 0.8589-0.97645 [g/Cm<sup>2</sup>]. Los tanques tienen una capacidad de seguridad máxima de 28000 Lt.

Conociendo los datos anteriormente mencionados, se puede establecer la relación:

#### **Ecuación 17**

*Masa del líquido en tanque de depósito. [Autor]*

$$m = \gamma * v = 976.45 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 28m^3 = 27340.6 kg$$

De esta manera, conocemos el valor en peso máximo que puede llegar a tener los tanques de depósito, por lo que debemos acondicionar el instrumento de medida a este valor, que en peso sería.

### Ecuación 17

*Peso del líquido en tanque de depósito. [Autor]*

$$P = m * g = 27340.6kg * 9.8 \frac{m}{s^2} = 267937.88N \cong 268KN$$

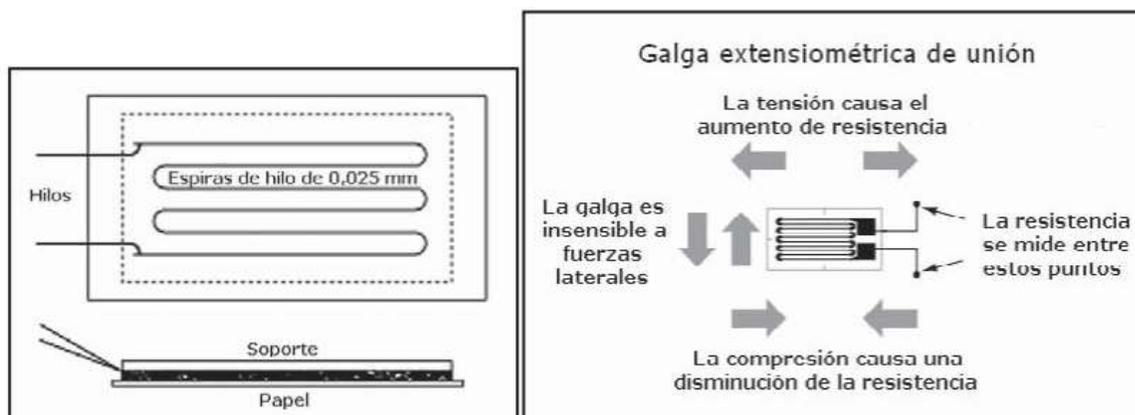
Asumiendo la capacidad máxima, se debe tener en cuenta que el instrumento de medida debe soportar esta capacidad del líquido teniendo en cuenta la el peso del tanque y su estructura en sí.

Por dichos requisitos, se elige usar células de carga a base de galgas extensiométricas, pues representan facilidad en el montaje, pueden soportar gran cantidad de peso.

La célula de carga a base de galgas extensiométricas (véase la figura 71) consiste, esencialmente, en una célula que con ene una pieza de elasticidad conocida (tal como el acero de módulo de elasticidad  $2,1 \times 10^6$  bar) capaz de soportar la carga sin exceder de su límite de elasticidad. A esta pieza se encuentra cementada una galga extensiométrica, que puede estar formada por varias espiras de hilo (0,025 mm) pegado a un soporte de papel o de resina sintética, o bien puede estar formada por bandas delgadas unidas con pegamento a la estructura sometida a carga (figura 71). Esta operación de pegado parece sencilla pero es un trabajo de artesano, absolutamente esencial, para obtener lecturas exactas y estables de las tensiones presentes en la estructura, por ejemplo, el peso.

### Figura 71

*Galga extensiométrica. [4]*



La tensión o la compresión a que el peso somete a la célula de carga hacen variar la longitud del hilo metálico y modifican, por lo tanto, su resistencia eléctrica.

### Criterio para selección del medidor de Peso

Las galgas extensiométricas, nuevamente prometen ser una opción viable al soportar hasta soportar 150 Tm (Tonelada métrica), pues en nuestra aplicación requerimos una medida mínima de 28Tm. La exactitud ofrece fiabilidad en el sistema y su instalación es sencilla. Pueden llegar a ser costosas pero su mantenimiento es mínimo lo que representa a largo plazo, ahorro en este aspecto. [4]

En la figura 72, se ve las características de los medidores de peso.

### Figura 72

*Sistemas de medidas de peso. [4]*

| Sistema               | Capacidad          | Exactitud                       | Ventajas  | Desventajas   |
|-----------------------|--------------------|---------------------------------|---|---|
| Balanza               | Gramos a 300 Kg    | $\pm 0,002\%$ a<br>$\pm 0,05\%$ | Simple, exacta, barata  | Respuesta lenta,<br>corrosión local   |
| Báscula               | Gramos a toneladas | $\pm 0,1\%$                     | Simple, exacta, barata  | Respuesta lenta,<br>corrosión local   |
| Galga extensiométrica | 20 Kg a 150 Tm     | $\pm 0,03\%$ a<br>$\pm 0,25\%$  | Instalación simple,<br>indicación a distancia,<br>protegida contra la corrosión   | Caras, compensación de temperatura  |
| Célula hidráulica     | 1200 Kg a 4500 Tm  | $\pm 0,25\%$                    | Instalación simple,<br>resistente a vibraciones,<br>admite 40% de sobrecarga,<br>A prueba de explosión,<br>indicación a distancia.<br>Respuesta rápida. | Caras, transmisor electrónico para sumar señales de varias células. Afectada por la temperatura. Calibración frecuente. |
| Célula neumática      | 10 Kg a 10 Tm      | $\pm 0,2\%$                     | Se adapta bien a control neumático, indicación a distancia  | Aire instrumentos. Afectada por la temperatura. Calibración frecuente. Respuesta lenta.                                 |

### ▪ Elementos finales de Control

Los elementos finales de control en el proceso de la elaboración de aguardiente, son las válvulas de control, quienes controlan el nivel de los tanques manipulando el flujo de los productos. Otro de los elementos finales de control o equipo de proceso, son las bombas y agitadores. [4]

Para seleccionar los elementos finales de control, se tienen en cuenta los siguientes requisitos.

### Válvula de control

Las válvulas de control que actualmente posee el sistema de control de la FLA, son electroválvulas sin retroalimentación o Feedback, este elemento en las electroválvulas es esencial y al no existir, representa un riesgo local en el lugar donde está situado la válvula, pues si el operario envía la señal de activación de la válvula y esta no responde adecuadamente, sea por cualquier razón, el proceso puede desfavorecer a la vida útil de las

bombas y a la tubería en sí. Sabiendo esto, es necesario que el sistema de control conozca el estado de cada una de las válvulas para que de esta manera tome una decisión que beneficie a la vida útil de los instrumentos y elementos finales de control.

Estas válvulas, poseen además de su cuerpo, un cabezal con finales de carrera de pequeño tamaño que retroalimentan al sistema de control el estado del vástago o membrana de las válvulas, este tipo de válvulas se puede apreciar en la **figura 73**.

### **Figura 73**

*Válvula de control con Feedback. [4]*



Este tipo de válvulas suelen ser muy robustas y debido que el control de la apertura o cierre de éstas se le otorga a una válvula 5/2 (5 puntos de conexión, 2 estados), la cual se control mediante una bobina o relay electromecánico, este se puede controlar fácilmente desde un PLC. Estas serán las electroválvulas que se proponen en el proyecto, quienes operarán simultáneamente con las bombas y agitadores para llevar a cabo las operaciones en la planta.

### **Motores eléctricos (Bombas y Agitadores)**

Los motores eléctricos desempeñan un papel importante dentro de las actividades de la planta, pues estos elementos se comportan como bombas y agitadores que se encargan de enviar líquidos de un tanque a otro (trasiego) y de mezclar los productos para crear un producto en particular como lo es la Esencia y el Jarabe intrínsecamente necesarios para la fabricación de aguardiente.

### **Convertidor de Frecuencia Alterna o Variador de Frecuencia**

Para poder generar par y controlar la velocidad todos estos motores necesitan electricidad para generar el par y la velocidad adecuada, en caso de que está velocidad y par sean demasiados altos o bajos se utilizan controles mecánicos para ralentizar o controlar la salida. Esto no es eficiente ya que se desperdician materiales y energía, la velocidad de un motor debería coincidir exactamente con la que necesita el proceso en cuestión, si no se utiliza un

método de control más eficiente se malgasta una gran cantidad de energía y a nivel industrial a nadie le interesa gastar energía. Existe una manera de controlar motores que no sólo ahorra energía sino que además reduce los costes de mantenimiento esta tecnología se denomina convertidor de frecuencia alterna

Los convertidores de frecuencia se encuentran entre la alimentación y el motor, la energía de la red atraviesa el convertidor que regula la energía que se transmite al motor. Dentro del convertidor la energía pasa a través de un rectificador que transforma la corriente alterna de entrada en corriente continua esta carga los condensadores del convertidor lo que suaviza la forma de onda de la corriente eléctrica proporcionando una fuente de alimentación limpia. A continuación la energía pasa de los condensadores a un inversor que transforma la corriente continua en corriente alterna de salida que es la que se transmite al motor, este paso permite que el convertidor ajuste la frecuencia y la atención en función de los requisitos del proceso esto significa que los motores de corriente alterna funcionarán a la velocidad o par indicados de acuerdo con la demanda del proceso. Así los convertidores suponen un gran ahorro económico.

Además de ahorrar energía, los convertidores también ayudan a reducir los costos de mantenimiento y las emisiones del ruido, también pueden ayudar a lograr objetivos medioambientales y para todas las aplicaciones se encuentran diferentes series de potencia que ofrecen varios fabricantes (véase la figura 74).

#### **Figura 74**

*Variadores de frecuencia. [27]*

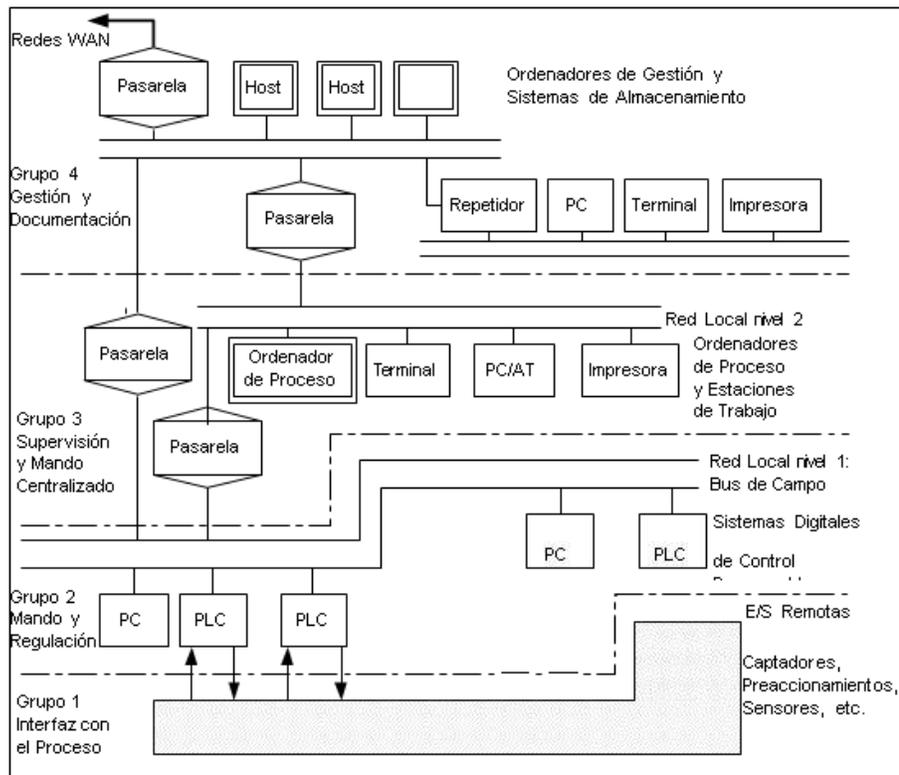


### **3.1.10 Sistemas de Automatización**

En un sistema industrial de control distribuido, las tareas se suelen dividir en cuatro niveles o grupos distintos. En consecuencia, la estructura de comunicaciones se suele distribuir también por funciones en cuatro grupos, tal y como se indica a continuación (véase la figura 75)

**Figura 75**

*Grupos de tareas en el sistema de control con estructura distribuida. [28]*



*“Grupo 1: Interfaz con el proceso.*

Este nivel está constituido básicamente por unidades de captación de señales y entrada/salida de datos del proceso o de un operador local. Su conexión a red permite la comunicación con sensores, captadores y accionamientos y el control manual a pie de proceso. El enlace entre unidades de este nivel suele efectuarse mediante redes simples o buses de campo, cuya estructura suele ser del tipo maestro esclavo o en algunos casos de maestro flotante.

*Grupo 2: Mando y regulación.*

Constituido por unidades de control, con CPU y programas propios, que se encargan del control automático de partes del proceso. La integración en red de estas unidades permite intercambien datos e información que son de utilidad para el control global del proceso. Estas unidades suelen ejercer el papel de maestro en la comunicación con el nivel inferior (bus de campo), pero a su vez permiten el enlace con los niveles superiores, enlace que suele requerir redes con protocolos más elaborados que el bus de campo.

*Grupo 3: Supervisión y mando centralizados.*

Este nivel incluye una serie de unidades destinadas al control global del proceso, terminales de diálogo, sinópticos, terminales de enlace con oficina técnica, entre otros. Desde estas unidades se tiene acceso a la mayor parte de variables del proceso, generalmente con

propósito de supervisar, cambiar consignas, alterar programas y obtener datos con vista a su posterior procesamiento.

*Grupo 4: Gestión y documentación.*

Este nivel incluye la comunicación con ordenadores de gestión y se encarga del procesamiento de los datos obtenidos por el nivel 3 para efectos estadísticos, control de la producción, control de calidad, gestión de existencias y dirección general. En algunos casos, las unidades de este nivel pueden disponer de conexión a redes más amplias de tipo WAN.” [28]

Los SCADA requieren de una configuración, donde se establecen aspectos tan importantes como:

- Tipos de E/S
  - Direccionamiento de las E/S.
  - Dip-switch
- Algoritmos de Control.
  - Inicialización del sistema digital. (Generalmente programadas en lenguajes de alto nivel)
  - Secuencias de control
- Definición de alarmas
- Creación de reportes y pantallas gráficas.
- Creación de bases de datos.
- Configuración de la comunicación.

### **Sistemas de Control Supervisorio y Adquisición de Datos**

Los sistemas de Control Supervisorio y Adquisición de Datos, son conocidos por el término SCADA, que proviene de las siglas en inglés "Supervisory Control And Data Acquisition".

Un SCADA consiste en un software de aplicación diseñado especialmente para ejecutarse sobre ordenadores destinados al control de la producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores digitales autónomos, autómatas programables, instrumentación inteligente, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. [28]

El mismo permite realizar a distancia operaciones de control, supervisión y registro de datos del proceso industrial, de esta manera un sistema de este tipo, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto desde el propio nivel de campo como de otros niveles supervisores superiores que pueden llegar hasta nivel de

empresa, abarcando aspectos tan importantes como el control de la calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

### **Esquema típico y componentes SCADA**

Los componentes de un sistema SCADA son los siguientes:

1. Instrumentación de campo.
2. Estaciones terminales remotas.
3. Red de comunicación.
4. Estación central de monitoreo.

La columna vertebral de un SCADA es su habilidad para comunicarse. Desde el nivel de mayor jerarquía hasta el más pequeño dispositivo de campo, la comunicación dentro de este tipo de sistema adquiere un carácter crítico.

#### **3.1.11 Selección de herramientas para la automatización**

Para determinar el PLC a usar, o más bien dicho, el fabricante de esta tecnología, nos basaremos en los apartados anteriores donde se contextualiza los requisitos mínimos para componer el SCADA, llevando de la mano las comunicaciones y los instrumentos seleccionados para nuestra aplicación.

### **ALLEN-BRADLEY**

**Allen-Bradley** es la marca de una línea de equipos de automatización de fábrica, que hoy es propiedad de Rockwell Automation. La empresa fabrica controladores lógicos programables (PLC), interfaces hombre-máquina, sensores, componentes y sistemas de seguridad, software, variadores y sistemas de variadores, contactores, centros de control de motores y sistemas de este tipo. Productos Rockwell Automation también brinda servicios de administración de activos, que incluyen reparación y consultoría. La sede de Rockwell Automation se encuentra en Milwaukee, Wisconsin. [29]

Las soluciones de control establecen el estándar: desde el controlador lógico programable (PLC) original inventado en la década del 70 hasta la tecnología incorporada en el controlador programable de automatización (PAC) escalable, multidisciplinario y habilitado para información. Nuestros controladores con certificación de seguridad satisfacen las necesidades de aplicaciones SIL 2 y SIL 3. Ofrecemos varios tipos y tamaños de controladores para satisfacer sus necesidades específicas.

### *Sistemas de control de altas prestaciones*

Los sistemas de automatización ofrecen arquitecturas modulares y un rango de opciones de E/S y red. Estas poderosas soluciones de control ofrecen capacidades de primer nivel tales como procesos, seguridad y movimiento. Nuestros controladores programables de automatización (PAC) de gran tamaño, diseñados para aplicaciones de control distribuidas o de supervisión, proporcionan confiabilidad y rendimiento excepcionales. [30]

En este apartado ofrecen los sistemas de control ControlLogix (véase la figura 76), usan un motor de control común con un entorno de implementación común para proporcionar alto rendimiento en un entorno fácil de usar. La estrecha integración entre el software de programación, el controlador y los módulos de E/S reduce el tiempo de desarrollo y el costo en la puesta en marcha y durante la operación normal. Puede realizar control estándar y de seguridad en el mismo chasis en un sistema verdaderamente integrado. Aprovechan la gran disponibilidad y las capacidades de ambientes difíciles para cumplir con las necesidades de su aplicación. [30]

### **Figura 76**

*Controladores ControlLogix 5580. [30]*



### *Sistemas de control pequeños*

Como solución perfecta para aplicaciones de rango medio, nuestros controladores pequeños ofrecen las características y la flexibilidad que necesita sin el tiempo de procesamiento interno de sistemas de mayor tamaño. Elija entre controladores estándar y con certificación de seguridad en diseños basados en chasis, compactos y modulares. Las aplicaciones típicas incluyen la automatización compleja del control de máquinas, del procesamiento de lotes y de la construcción.

ControlLogix® y GuardLogix® 5580 (véase la figura 77) ofrecen mayor rendimiento, capacidad, productividad y seguridad para ayudar a satisfacer la creciente demanda de máquinas y equipos inteligentes para la fabricación. Estos controladores usan el entorno de diseño Studio 5000® como el marco estándar para optimizar la productividad y reducir el tiempo de puesta en marcha. Este marco administra el movimiento integrado en EtherNet/IP para aplicaciones de movimiento a alta velocidad y soluciones de seguridad SIL2/PLd y SIL3/PLe. Estos controladores son ideales para aplicaciones que requieren comunicaciones de alto rendimiento, E/S y control de movimiento para 256 ejes como máximo. [30]

### Figura 77

*Sistemas de control CompactLogix™ 5380. [30]*



### *Sistemas de control Micro y Nano*

PLC micros y nanos proporcionan soluciones económicas a las necesidades básicas de control de sus máquinas simples que van del reemplazo de relés a la temporización y la lógica de control simples. Empaquetado compacto, E/S y comunicación integradas y facilidad de uso hacen de estos controladores una opción ideal para aplicaciones tales como automatización de transportadores, sistemas de seguridad e iluminación de edificios y estacionamientos. [30]

Los sistemas de control Micro800™ (ver figura 78) son fáciles de instalar y mantener. Un paquete de software se aplica a toda la familia. Estos sistemas ofrecen el control suficiente para sus máquinas autónomas de menor costo. Puede comprar solo la funcionalidad que necesita y usar módulos enchufables para personalizar su sistema de acuerdo con necesidades específicas de la aplicación.

**Figura 78**

*Sistemas de control Micro800. [30]*



Las soluciones de visualización y HMI (véase la figura 79) lo ayudan a atender las necesidades de productividad, innovación y globalización. Nuestra cartera ofrece una apariencia uniforme para terminales de interface de operador electrónica, HMI de cliente/servidor distribuida y software de información. Las herramientas de programación y las aplicaciones de software avanzadas incluyen acceso remoto y análisis de datos para acelerar el desarrollo y mejorar la eficiencia. [31]

**Figura 79**

*Terminales Gráficos. [30]*



## SIEMENS AG

**Siemens AG** es un conglomerado de empresas alemana con sedes en Berlín y Múnich considerada como la mayor empresa de fabricación industrial de Europa con 190 sucursales a lo largo del mundo. Siemens opera en 4 sectores principales: el sector industrial, energético, de salud (*Siemens Healthineers*) y de infraestructuras y ciudades. La empresa se caracteriza por el desarrollo de equipamiento de diagnóstico médico generando un 12% de beneficios después de su división de automatización industrial. [32]

La tecnología de control es una palanca clave para ganar un margen competitivo en la industria de procesos, y más si pueden resolver los retos, tanto de hoy como del mañana. Se ha repensado desde el principio, igual que el SIMATIC PCS neo, el rompedor sistema de control de procesos de Siemens. PIENSA neo. [33]

La Industria 4.0 conduce a la Industria hacia su Cuarta Revolución Industrial, cuyo fin es la puesta en marcha de la Fábrica Inteligente, capaz de adecuar sus sistemas de producción a las necesidades del mercado, siendo requerido para ello la interconexión in situ de sus máquinas y sistemas y el intercambio fluido de la información con el exterior. La industria 4.0 enfatiza y acentúa la idea de una creciente y adecuada digitalización y coordinación cooperativa en todas las unidades productivas de la económica. [34]

### Figura 80

*Objetivo Industria 4.0. [34]*



“*Digital Enterprise Software Suite* constituye un portfolio de productos de Software diseñados para la respuesta a los requerimientos de la Industria 4.0, permitiendo interconectar el producto con los ciclos de vida de la producción.

TIA (Totally Integrated Automation) minimiza los tiempos de ingeniería y reduce los costes, a través de una interoperatividad eficiente de todos los componentes de automatización. TIA Portal, por ejemplo, le permite un ahorro significativo de tiempo y costes en la Ingeniería.” [34]

## Software SIMATIC para visualización

SIMATIC WinCC permite la visualización desde el nivel de máquina, hasta los niveles más complejos. La integración de WinCC dentro de TIA Portal cubre todo el espectro HMI de visualización. [35]

## SIMATICS S7-1500

A través de sus muchas innovaciones, el nuevo controlador SIMATIC S7-1500 fija nuevos estándares de maximización de la productividad. Esto beneficia a las máquinas de series cortas, así como a las instalaciones complejas con alta exigencia de velocidad y determinismo. SIMATIC S7-1500 está perfectamente integrada en “Totally Integrated Automation Portal” (TIA Portal), para una máxima eficiencia en la configuración. [35]

“SIMATIC S7-1500 está estructurado de forma modular, con funcionalidad escalable o de forma compacta. Cada controlador consta de

- Una unidad central de procesamiento (CPU) para ejecutar el programa del usuario
- Una o más fuentes de alimentación
- Módulos de señal E/S
- Módulos tecnológicos y de comunicación según necesidad
- Y protección integrada en los “F-modules”. La unidad central de procesamiento (CPU) es el corazón de SIMATIC S7-1500.

Ejecuta el programa del usuario y conecta el controlador con otros componentes de automatización. Gracias a sus múltiples innovaciones, el nuevo controlador proporciona el “plus” definitivo en productividad y eficiencia.

### *Kit SCE – SIMATICS S7 1516- 3PN/DP*

Paquete de Formación SIMATIC S7-1516, compuesto de:

- 1 x CPU 1516- 3PN/DP del siguiente detalle - 1 x Memoria de trabajo 1 Mbytes - 1 x Interfaz PROFINET IRT con switch de 2 puertos - 1 x Interfaz Ethernet - 1 x Interfaz PROFIBUS - Tiempo de ejecución en bits 10 ns
- 1 x Módulo de 32 Entradas digitales 24VDC,
- 1 x Módulo de 32 salidas digitales 24VDC/0.5A ST
- 1 x Módulo de 8 entradas analógicas U/I/RTD/TC - 16 bits resolución. • 1 x Módulo de 4 salidas analógicas (U/I ST) - 16 bits resolución.
- 4 x Conectores frontales de 40 polos
- 1 x Fuente de alimentación PM1507, 24V/8A
- 1 x Perfil soporte 480 mm
- 1 x SIMATIC Memory Card, 24 MB

- Cable Industrial Ethernet RJ45-RJ45 de 6 metros Pack de Software STEP 7 Professional COMBO (Licencia flotante), compuesto de:
- STEP 7 Profesional COMBO: V15.1 y V2017
- Safety COMBO (V5.4 y V15.1)
- S7-PLCSIM Advanced.
- OPC UA y Cloud Conector
- SINAMICS Stardrive V15.1 (TIA Portal) para SINAMICS (CU240E-2, CU250-S).
- 1 licencia en memory stick común a ambos Software. “ [35]

### Figura 81

*Familia S7-1500. [35]*



### SIMATIC S7-1200

El controlador SIMATIC S7-1200 (Ver figura 82) supone una revolución en el mundo de la automatización. Con interfaz Ethernet / PROFINET integrada, mayor flexibilidad de configuración y más velocidad, se convierte en la solución ideal para un amplio abanico de aplicaciones. Combinando las altas prestaciones del SIMATIC S7-1200 con la gama SIMATIC HMI Basic Panels desde un único software de ingeniería, el nuevo SIMATIC STEP 7 Basic y ahora también con STEP 7 Professional V15 trabajará con la máxima eficiencia, y es que, también en automatización, el juego en equipo marca la diferencia. [35]

“Basados en las CPU’s SIMATIC S7-1215 del siguiente detalle técnica:

- Memoria de datos: 125 Kbytes.
- 14 entradas digitales a 24 V DC.
- 10 salidas digitales.
- 2 Entradas analógicas de tensión: 0 a 10 V.
- 2 Salidas analógicas de corriente: 0 a 20 mA
- 2 Interfaces PROFINET integradas en la CPU Ambas configuraciones difieren entre sí en la alimentación de la CPU y en las salidas del PLC (Transistor o relé).” [35]

**Figura 82***Familia S7-1200. [36]***LS Industrial Systems**

**LSIS** provee la más alta calidad en herramientas de automatización, desde controladores, variadores de frecuencia y procesos de automatización, basado en tecnología de punta y una amplia experiencia en la automatización de sistemas. Cuenta actualmente con cuatro grandes plantas de producción en Corea del Sur. Además, operamos dos plantas más en China y una en Vietnam. **LSIS** es una compañía ecológica, que provee soluciones ecológicas sobresalientes para lograr más de un 50% de mejora en la eficiencia energética y apuntar a emisión 0 de gases efecto invernadero. [37]

LSIS posee una gran variedad de PLCs para favorecer las distintas tareas a las que se enfrenta la industria continuamente, desde gama baja, hasta gama media y alta (véase la figura 38). También asocia Variadores de frecuencia en sus diferentes gamas de potencia con redes de comunicación serial integradas, que fortalecen los sistemas de control. Así mismo presenta sus Interfaces Hombre máquina que puede usarse en la interacción para visualizar el proceso en tiempo real.

**Figura 83***XGK, XGI CPU. [38]*

XGI-CPUUN

- Program capacity: 2MBytes
- I/O points: 6,144
- I/O device point: 131,072 (Remote I/O)
- Processing speed: 8.5ns/step

Uno de los requisitos de la FLA, es continuar con esta tecnología, pues gran parte de sus dispositivos se conectan mediante la red Cliente/Servidor ofrecida por la tecnología LSIS.

Algunos de los variadores que ofrece el fabricante son los siguientes.

### **Figura 84**

*Variadores de Varias Potencias de LSIS. [39]*



LSIS es la primera empresa en Corea en introducir variadores de frecuencia, ampliamente utilizados en una variedad de aplicaciones como grúas, ascensores, fabricación de acero, automóviles, aire acondicionado y plantas de tratamiento de agua. Los VFD de LS ELECTRIC cumplen con las estrictas y estrictas normas de calidad, marinas, medioambientales y muchas otras normativas internacionales, y prosperan para ampliar su cuota de mercado más allá de Corea mediante la adopción continua de nuevas tecnologías y necesidades ocultas de nuestras aplicaciones potenciales.

**WEINTEK**

“Weintek es un fabricante líder mundial de HMI y se dedica al desarrollo, diseño y fabricación de HMI.

Al acceder a redes internas desde ubicaciones externas inseguras, la seguridad se convierte en una consideración importante. Weintek EasyAccess 2.0 utiliza encriptación SSL para proporcionar una sesión de inicio de sesión y confidencialidad de datos al transmitir datos. Por lo tanto, EasyAccess 2.0 puede garantizar seguridad y confiabilidad al transmitir datos e información.” [40]

*eMT Series*

Con una pantalla de más de 16,2 millones de colores, la HMI muestra gráficos realistas y objetos operativos que permiten que el operador de la planta pueda controlar rápidamente el estado en el sitio.

(CPU eMT3070B de 1 GHz)

**Figura 85**

*Ofertas de la serie eMT. [39]*

|                             | eMT3070B     | eMT3105P     | eMT3120A     | eMT3150A     |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Display                     | 7" TFT       | 10.4" TFT    | 12.1" TFT    | 15" TFT      |
| Resolution                  | 800 x 480    | 800 x 500    | 1024 x 768   | 1024 x 768   |
| Brightness (cd/m²)          | 500          | 400          | 500          | 400          |
| Contrast Ratio              | 500:1        | 400:1        | 700:1        | 700:1        |
| Backlight Type              | LED          | LED          | LED          | LED          |
| Backlight Life Time         | >30,000 hrs. | >30,000 hrs. | >50,000 hrs. | >50,000 hrs. |
| Colour                      | 16.7M        | 262K         | 16.2M        | 16.2M        |
| LED Viewing Angle (T/B/L/R) | 60/50/65/65  | 60/70/70/70  | 80/80/80/80  | 70/70/80/80  |

La pantalla a usar, en nuestro proyecto, será la eMT8121XE

**Figura 86**  
eMT8121XE. [40]



“Esta pantalla contiene las siguientes características:

- LCD TFT de 12,1 "1024 x 768, retroiluminación LED
- Diseño delgado
- Sistema de refrigeración sin ventilador
- Memoria flash incorporada de 256 MB
- Ranura para tarjeta SD para ampliar el almacenamiento
- Un puerto de host USB y un puerto de cliente USB
- Aislamiento incorporado COM1 y COM3 RS-485
- COM1 y COM3 RS-485 2W admiten MPI 187.5K, por favor use uno a la vez
- Aislador de energía incorporado
- Panel frontal compatible con NEMA4 / IP66” [40]

**Tabla 32**  
Detalles de la eMT8121XE. [40]

|                    |                                 |                                       |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Display</b>     | Display                         | 12.1" TFT                             |
|                    | Resolution                      | 1024 x 768                            |
|                    | Brightness (cd/m <sup>2</sup> ) | 500                                   |
|                    | Contrast Ratio                  | 700:1                                 |
|                    | Backlight Type                  | LED                                   |
|                    | Backlight Life Time             | >50,000 hrs.                          |
|                    | Colors                          | 16.2M                                 |
| <b>Touch Panel</b> | Type                            | 4-wire Resistive Type                 |
|                    | Accuracy                        | Active Area Length(X)±2%, Width(Y)±2% |
|                    | Flash                           | 256 MB                                |

|                      |                       |   |
|----------------------|-----------------------|---|
| <b>Memory</b>        | RAM                   | 256 MB  |
| <b>Processor</b>     |                       | 32 bit RISC Cortex-A8 1GHz  |
| <b>I/O Port</b>      | SD Card Slot          | SD/SDHC   |
|                      | USB Host              | USB 2.0 x 1   |
|                      | USB Client            | USB 2.0 x 1   |
|                      | Ethernet              | 10/100 Base-T x 1   |
|                      | COM Port              | COM1: RS-232/RS-485 2W/4W, COM3: RS-485 2W                        |
|                      | RS-485 Dual Isolation | Yes   |
|                      | CAN Bus               | N/A   |
|                      | HDMI                  | N/A   |
|                      | Audio Output          | N/A   |
| Video Input          | N/A                   |   |
| <b>RTC</b>           |                       | Built-in  |
| <b>Power</b>         | Input Power           | 24±20%VDC   |
|                      | Power Isolation       | Built-in  |
|                      | Power Consumption     | 800mA@24VDC   |
|                      | Voltage Resistance    | 500VAC (1 min.)   |
|                      | Isolation Resistance  | Exceed 50MΩ at 500VDC   |
|                      | Vibration Endurance   | 10 to 25Hz (X, Y, Z direction 2G 30 minutes)                      |
| <b>Specification</b> | PCB Coating           | Yes   |
|                      | Enclosure             | Aluminum  |
|                      | Dimensions WxHxD      | 317 x 244 x 46 mm   |
|                      | Panel Cutout          | 305 x 231 mm  |
|                      | Weight                | Approx. 2.1 kg  |
|                      | Mount                 | Panel mount, VESA mount 75 x 75 mm                                |
| <b>Environment</b>   | Protection Structure  | UL Type 4X (indoor use only) / NEMA4 / IP66 Compliant Front Panel |
|                      | Storage Temperature   | -20° ~ 60°C (-4° ~ 140°F)   |
|                      | Operating Temperature | 0° ~ 50°C (32° ~ 122°F)   |
|                      | Relative Humidity     | 10% ~ 90% (non-condensing)  |
| <b>Certificate</b>   | CE                    | CE marked   |
|                      | UL                    | cULus Listed  |
| <b>Software</b>      |                       | EasyBuilder Pro V4.00.01 or later versions                        |

Buscando la virtualización de la HMI, se opta por la solución que plantea WEINTEK, en lo que son la seria cMT. El cMT-SVR proporciona las capacidades más esenciales: soporte de controlador de comunicación y proceso de datos, permite al cMT-SVR conectarse fácilmente a las máquinas y acceder a los datos. La interfaz visual de cMT-SVR - cMT Viewer puede ejecutarse en diferentes dispositivos de plataforma, incluyendo tabletas, tabletas Android (ARM o x86), Panel PC (sistema operativo Windows) y cMT-iV6. [41]

**Figura 87**

Múltiple conexión de dispositivos con cMT-SVR. [41]



Esta solución será usada para integrar la información de forma nativa en red WAN, donde cualquier dispositivo puede unirse y monitorear y controlar la interfaz diseñada.

## **4. Resultados**

### 4.1 Topología de control

La topología de Control, integra todas las herramientas abarcando los 4 niveles de la pirámide de la automatización. Para demostrar la integración de las tecnologías mencionadas anteriormente, se representa el esquema de la figura 89.

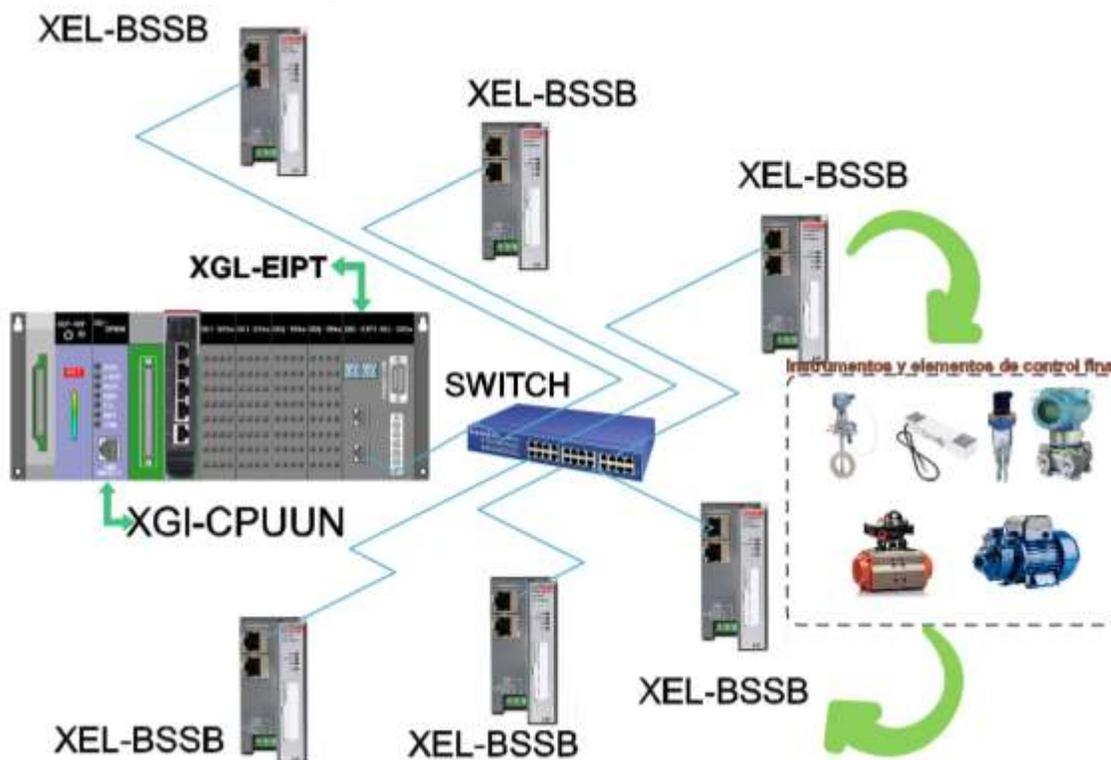
En el esquema de control, se optó por usar un sistema de control híbrido entre centralizado y descentralizado, de tal manera que el área de envasado tenga un control a términos independiente para que este, se percate de posibles errores y problemas en el rebose, y/o alarmas que eventualmente se presente, pues esta área es crítica porque si la red de comunicaciones se cae y desde el área de preparación se está enviando producto, habría una pérdida del producto inevitablemente.

#### Topología descentralizada para monitoreo y control de forma remota

El sistema de control descentralizado, entre el PLC principal XGI-CPUUN y las estaciones remotas, se realizará mediante protocolo Ethernet IP, ya que puede tener un ancho de banda de hasta 100Mb/s, esto indica que los módulos de entrada y salidas tanto análogos como digitales, tendrán un tiempo de respuesta alto, por lo que la sintonización de las variables del proceso es fiable.

**Figura 88**

Comunicación Ethernet con periferia descentralizada. [Autor]

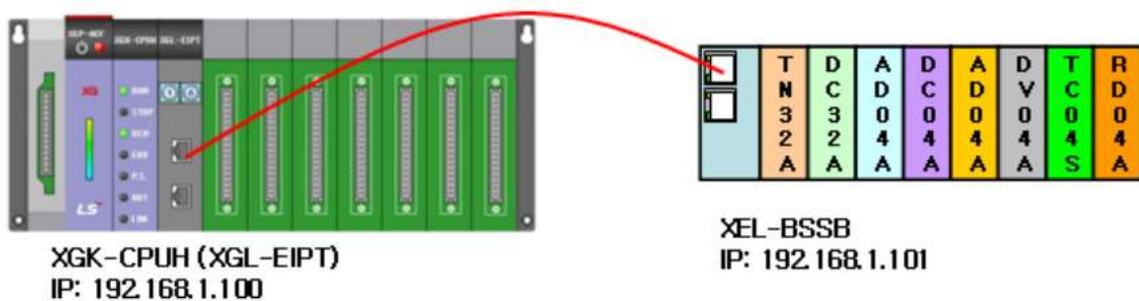


En este tipo de control (véase la figura 88), uno o varios microprocesadores (XEL-BSSB) se encuentran repartidos en varios puntos de la planta, donde están conectados a varias señales de proceso correspondientes, en general, a una parte homogénea de la planta. Estos microprocesadores se distribuyen de topología estrella y están conectados entre sí a través de una vía de comunicaciones (Ethernet IP), la cual comunica, a su vez, con el centro supervisor del control central (XGI-CPUUN), desde donde se tiene acceso de modo automático o manual a todas las variables de proceso de la planta.

Para el sistema de control descentralizado se usaron los dispositivos XEL-BSSB del fabricante LSIS, de tal manera que el esquema o apartado, sería de la siguiente manera como ilustra la figura 89.

**Figura 89**

XGT series Comunicación. [41]



Esta comunicación se realiza con el módulo XGL-EIPT instalado en la base del PLC modular XGI-CPUUN, de tal manera que actúe como cliente al configurar los datos de los módulos XEL-BSSB y gobierne y monitoree los módulos de expansión analógicos y digitales remotos del Smart I/O XEL-BSSB.

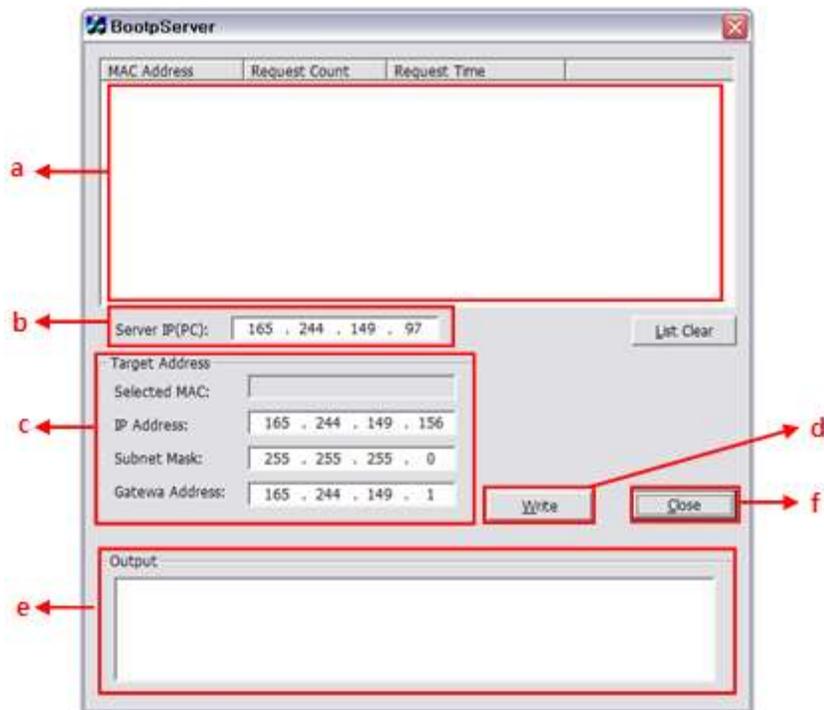
Esta configuración en la periferia remota, admite hasta 8 módulos por cada Smart I/O modula (XEL-BSSB). Cada módulo de expansión agregado debe ser configurado adecuadamente, en el caso de las entradas analógicas, se le debe indicar al módulo el tipo de señal analógica que este vaya a medir. Sea esta 4-20mA ó 0-20mA ó 0-10V y todos los campos de medida que tienen estos.

Cabe mencionar que cada dispositivo XEL-BSSB, debe configurarse la IP, bajo la dirección MAC de cada uno, esto se realiza con el programa que provee el fabricante, BootpServer.

El módulo Smart I / O Enet, como módulo esclavo, necesita configurar la dirección IP, la máscara de subred y la dirección de la puerta de enlace para comunicarse con el módulo maestro. Para configurar los parámetros del módulo Smart I / O Enet, se utilizará el programa BootpServer (véase la figura 90). [41]

**Figura 90**

Descripción de interfaz BootpServer. [42]



**a:** Ventana de lista de módulos Bootp: se muestra una lista de los dispositivos de soporte del servicio Bootp conectados a la PC.

**b:** Ventana de dirección IP de PC: se muestra la dirección IP de la PC del usuario.

**c:** Ventana de configuración de parámetros: se configuran los parámetros de comunicación de un dispositivo de destino.

**d:** Botón de escritura: se ejecuta la escritura de parámetros.

**e:** Ventana de salida: se muestran los resultados de la configuración de los parámetros.

**f:** Botón Cerrar - El programa finaliza.

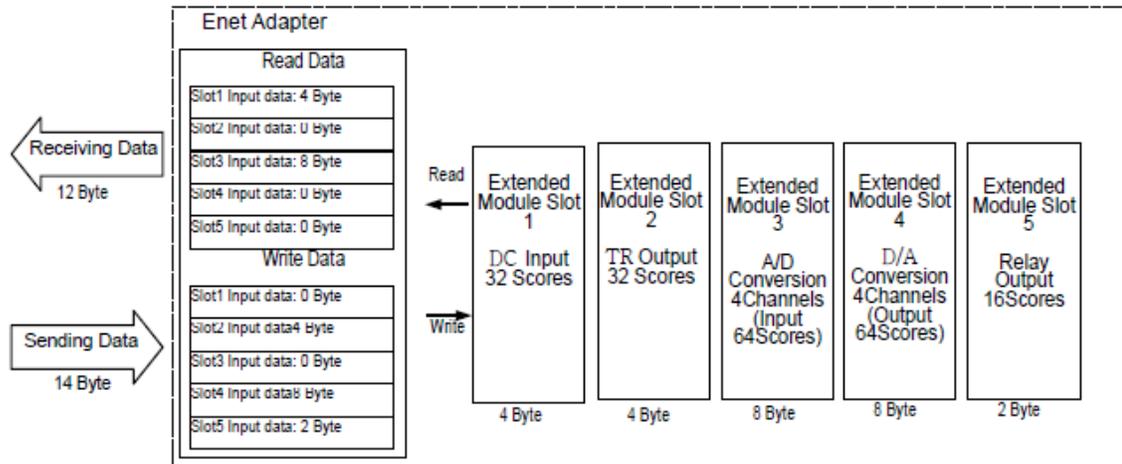
Para ejemplificar la manera en la que se asigna el tratamiento de los datos en el sistema XEL-BSSB, se acude al grupo de 8 bits, denominado bytes, mencionando que un Word, puede ser representado con 16 bits, o lo que es lo mismo, 2 bytes.

Este básicamente es la manera en que se trata la información (véase la figura 91), en esta información circulan entradas y salidas digitales que bajo la analogía computacional se representan en bits, sin embargo también se pueden representar en Word, de tal manera que

por un Word se envíen los datos de 16 bits. Para el tratamiento de señales análogas, es necesario disponer de un Word (16 bits), de tal manera que ocupa más espacio computacional que las entradas o salidas digitales.

**Figura 91**

Asignación de datos en protocolo Ethernet IP. [41]



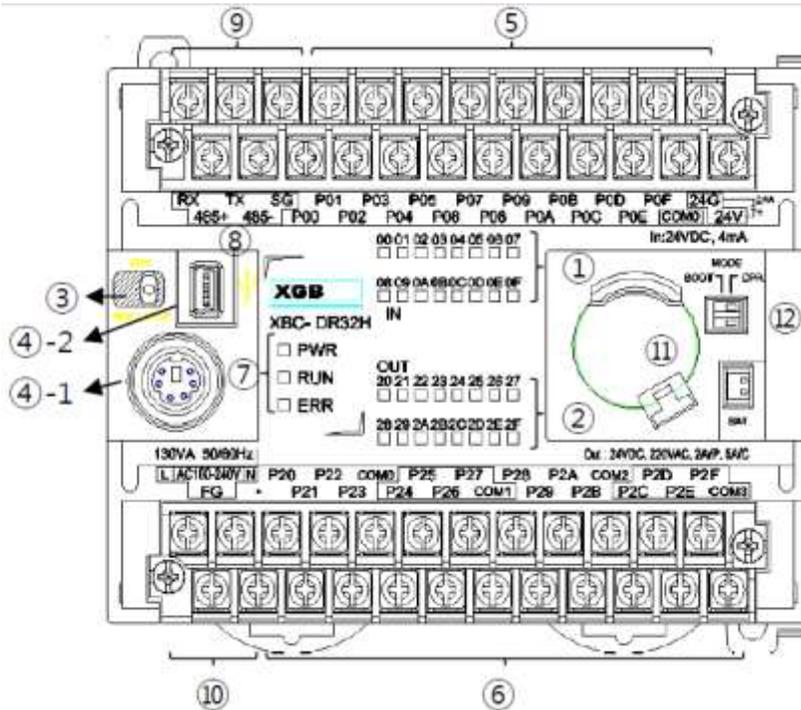
Cada Potencia de Agitador y Bomba fue revisada con la información del estudio de cada P&ID, de tal manera que se asignó un variador de frecuencia para operar bajo las condiciones del proceso que realiza cada motor.

**Topología Centralizada para monitoreo y control en área de envasado**

El área de Envasado como se mencionó anteriormente, se desarrolló teniendo en cuenta que sea un área crítica y planteando así un control centralizado en esta, sin obviar el monitoreo del sistema al PLC principal. De esta manera se usó una red de tipo serial, precisamente Modbus RTU sobre la interfaz RS485 desde el PLC XGI-CPUUN como maestro, hasta los PLCs gama media con referencia XGB-DR32H (véase la figura 91) como esclavos locales del sistema de envasado.

**Figura 92**

*Nombre de la pieza de la unidad principal tipo XBC-H. [42]*



La particularidad esencial de este PLC, es que dispone de red interna RS485, por lo cual no necesita módulos adicionales para efectuar una comunicación serial, las características de este módulo, son vistas en la tabla 33.

**Tabla 33**

*Partes de la pieza de la unidad principal tipo XBC-H. [42]*

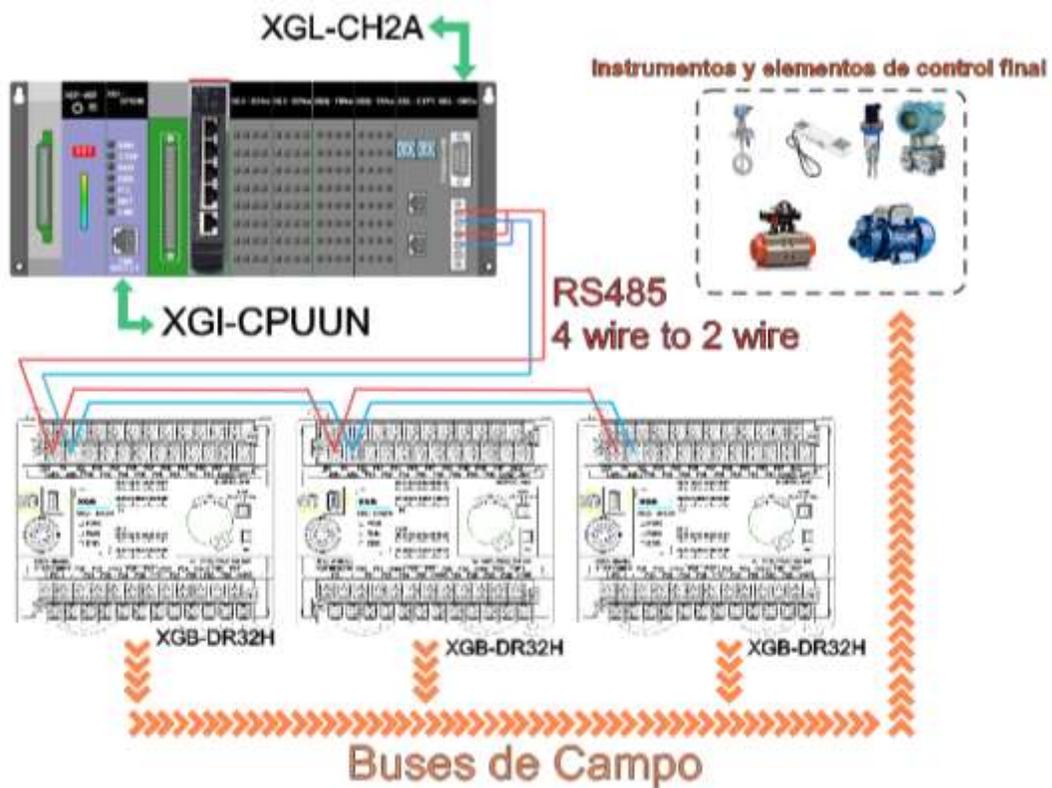
| No. | Name                     | Description   |
|-----|--------------------------|---|
| ①   | Input indicator LED      | Input indicator LED   |
| ②   | Output indicator LED     | Output indicator LED  |
| ③   | Mode switch              | RUN / STOP mode switch<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• RUN: Local Run mode</li> <li>• STOP: Local Stop mode/Remote mode</li> </ul>  |
| ④-1 | Loader Port              | Programming tool connector(RS-232C)   |
| ④-2 | Loader Port              | Programming tool connector(USB)   |
| ⑤   | Input Connector          | Input wiring connector  |
| ⑥   | Output Connector         | Output wiring connector   |
| ⑦   | CPU Status indicator LED | <ul style="list-style-type: none"> <li>• PWR(Red): Power status</li> <li>• RUN(Green): RUN status</li> <li>- ON: RUN mode</li> <li>- Off: STOP mode</li> <li>• Error(Red): In case of error, it is flickering.</li> </ul> |
| ⑧   | RS-485 Port*             | RS-485 communication port   |
| ⑨   | RS-232C Port*            | RS-232C communication port  |
| ⑩   | Power Connector          | Main power input connector(AC 100/220 V)  |
| ⑪   | Battery                  | Program, Data backup battery  |
| ⑫   | O/S Download Switch      | O/S download mode select switch   |

La norma física RS485 del modelo OSI, permite unificar un protocolo de comunicación Modbus RTU, permite el control de una red de dispositivos, por ejemplo un equipo de medición temperatura y humedad puede comunicar los resultados a una PC o PLC. Modbus también se usa para la conexión de un PC de supervisión con una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión de adquisición de datos (SCADA). Existen versiones del protocolo Modbus para puerto serial y Ethernet (Modbus/TCP).

En el caso del Puerto serial visto en la figura 93, observamos que el objetivo de esta comunicación es que el PLC XGI-CPUUN en nuestro caso, el maestro, debe intercambiar información de los instrumentos de proceso de las etapas de envasado mediante el PLC XGB-DR32H, esto lo realiza mediante la interfaz de dos hilos RS485, siguiendo las normas del protocolo Modbus RTU, en donde se exigen los parámetros de la figura 94.

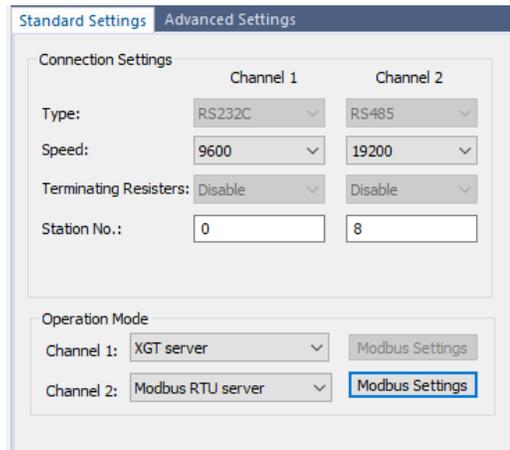
**Figura 93**

*Topología bus para Comunicación Serial. [Autor]*



**Figura 94**

*Requisitos de esclavos para Comunicación Serial. [Autor]*

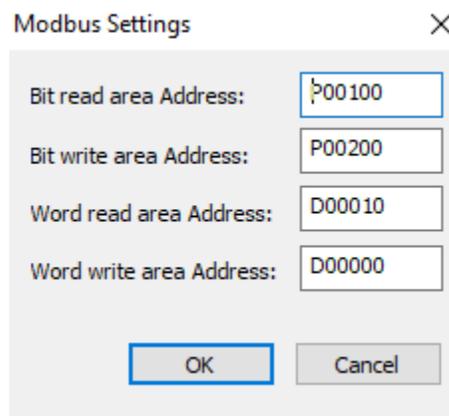


The screenshot shows a software interface with two tabs: 'Standard Settings' and 'Advanced Settings'. The 'Advanced Settings' tab is active. It is divided into two main sections: 'Connection Settings' and 'Operation Mode'.  
Under 'Connection Settings', there are two columns: 'Channel 1' and 'Channel 2'.  
For Channel 1:  
- Type: RS232C (dropdown)  
- Speed: 9600 (dropdown)  
- Terminating Resistors: Disable (dropdown)  
- Station No.: 0 (text input)  
For Channel 2:  
- Type: RS485 (dropdown)  
- Speed: 19200 (dropdown)  
- Terminating Resistors: Disable (dropdown)  
- Station No.: 8 (text input)  
Under 'Operation Mode':  
- Channel 1: XGT server (dropdown) with a 'Modbus Settings' button next to it.  
- Channel 2: Modbus RTU server (dropdown) with a 'Modbus Settings' button next to it.

Los parámetros (véase la figura 94) comunes de un esclavo son, asignar el número de esclavo (station No.), la velocidad de la comunicación en función del maestro y por último, elegir si la comunicación obedece al protocolo RTU o ASCII .

**Figura 95**

*Datos a transmitir en Modbus. [Autor]*



The screenshot shows a dialog box titled 'Modbus Settings' with a close button (X) in the top right corner. It contains four rows of address settings, each with a label and a text input field:  
- Bit read area Address: P00100  
- Bit write area Address: P00200  
- Word read area Address: D00010  
- Word write area Address: D00000  
At the bottom of the dialog, there are two buttons: 'OK' and 'Cancel'.

Las cuatro operaciones básicas en modbus(véase la figura 95) son leer y escribir Bits y Word, de tal manera que en el caso de un PLC, se le debe asignar las áreas de memoria que se destinan a la comunicación. Caso omiso sucede en un sensor industrial que posee este protocolo, también ocurre en un variador de velocidad, ya que estos dispositivos poseen una tabla estática de registros a los cuales se puede acceder a las características de los mismos para monitorearlos o controlarlos como sucede en un variador de frecuencia para motores eléctricos, un ejemplo de esto se ve en la Tabla 34.

**Tabla 34**

*Registros de datos Modbus en un Variador H100. [43]*

| Dirección de Comunicación | Parámetro            | Escala | Unidad | L/E | Asignación de Contenidos por Bit |   |
|---------------------------|----------------------|--------|--------|-----|----------------------------------|---|
|                           |                      |        |        |     | B8                               | 0: Teclado  |
|                           |                      |        |        |     | B7                               | 1: FX/RX-1  |
|                           |                      |        |        |     | B6                               | 2: FX/RX-2  |
|                           |                      |        |        |     |                                  | 3: RS-485 incorporado                                     |
|                           |                      |        |        |     |                                  | 4: Opción comunicación                                    |
|                           |                      |        |        | L/E | B5                               | Reservado   |
|                           |                      |        |        |     | B4                               | Parada de emergencia                                      |
|                           |                      |        |        |     | B3                               | E: Liberación de disparo (0→1)<br>L: Estado de disparo    |
|                           |                      |        |        |     | B2                               | Operación en retroceso (R)                                |
|                           |                      |        |        |     | B1                               | Operación en avance (A)                                   |
|                           |                      |        |        |     | B0                               | Parada (P)  |
| 0h0007                    | Tiempo aceleración   | 0,1    | seg    | L/E | -                                |   |
| 0h0008                    | Tiempo deceleración  | 0,1    | seg    | L/E | -                                |   |
| 0h0009                    | Corriente de salida  | 0,1    | A      | L   | -                                |   |
| 0h000A                    | Frecuencia de salida | 0,01   | Hz     | L   | -                                |   |
| 0h000B                    | Tensión de salida    | 1      | V      | L   | -                                |   |
| 0h000C                    | Tensión conexión CC  | 1      | V      | L   | -                                |   |
| 0h000D                    | Potencia de salida   | 0,1    | kW     | L   | -                                |   |
| 0h000E                    | Estado de operación  | -      | -      | L   | -                                |   |
| 0h000E                    | Estado de operación  | -      | -      | L   | B15                              | 0: HAND, 1: AUTO  |
|                           |                      |        |        |     | B14                              | 1: Comando frecuencia por com. (tipo incorporado, opción) |
|                           |                      |        |        |     | B13                              | 1: Comando marcha por com. (tipo incorporado, opción)     |
|                           |                      |        |        |     | B12                              | Comando de marcha en dirección de retroceso               |
|                           |                      |        |        |     | B11                              | Comando de marcha en dirección de avance                  |

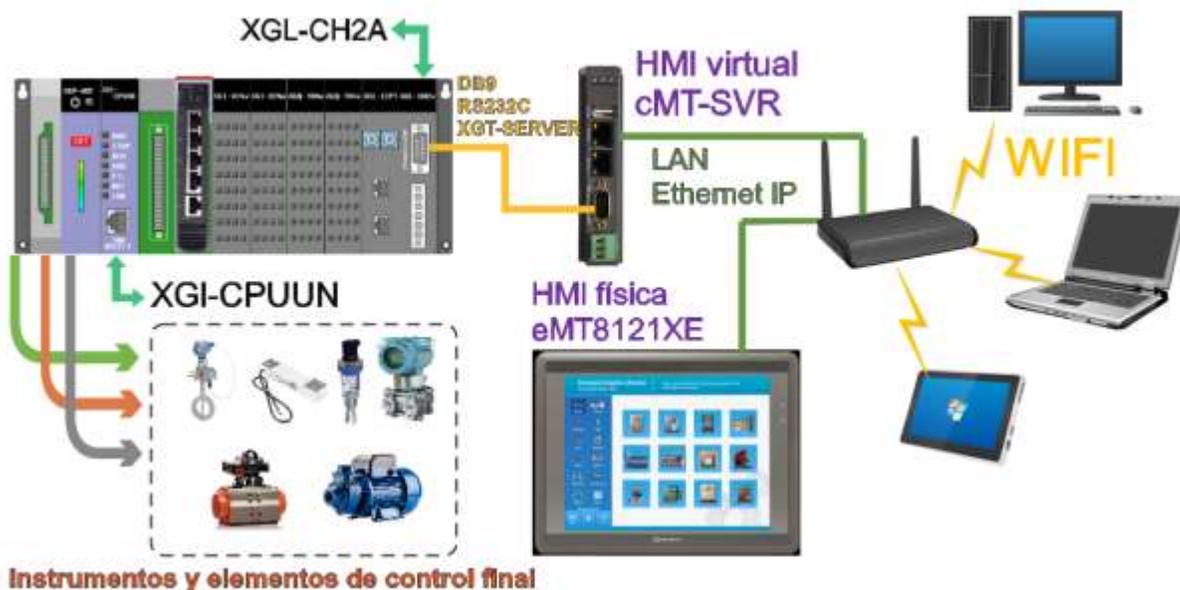
La tabla 34, muestra a nivel general la tabla de registro más usada, donde se puede controlar y monitorear el motor eléctrico. Hay muchos más soportes de diversas configuraciones y variables que ofrece el fabricante claves para el área de mantenimiento del mismo, pues se pueden comunicar las fallas, corriente consumida, frecuencia y otras características que hacen de esta integración un sistema de control fiable.

**Topología de comunicación para la HMI y el PLC**

Cabe mencionar que el sistema de virtualización del cMT-SVR se conecta al PLC principal, mediante RS232C, focalizando la estructura en XGT-Server, de esta manera los puertos RJ45, quedan libres, beneficiando así otra comunicación mediante Ethernet y la

comunicación nativa de WEINTEK, hasta la Pantalla eMT8121XE, la cuál va a un router que ofrece la información del cMT-SVR y la HMI física, a la red local WAN.

**Figura 96**  
Topología de control entre HMIs y PLC. [Autor]



**Registros e Inventarios**

Debido a esta comunicación creada en la figura 96, cualquier dispositivo con acceso a la red Wifi puede conectarse y monitorear y controlar el sistema, pues la virtualización se realiza desde el mismo, con la seguridad del control de acceso al usuario.

**Figura 97**  
Página de matriz de datos enviadas por Modbus TCP desde el PLC al PC. [Autor]

| Parámetros de comunicación |              | Tipo Data              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------|--------------|------------------------|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| IP Address                 | 192.168.1.2  | IP Address             | 192.168.1.2  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Area                       | Value        | Area                   | Value        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Estado Operativo           | 0            | Estado Operativo       | 0            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Estado Tanques Linea 1     | 0            | Estado Tanques Linea 1 | 0            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Estado Tanques Linea 2     | 0            | Estado Tanques Linea 2 | 0            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Estado Tanques Linea 3     | 0            | Estado Tanques Linea 3 | 0            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Estado Tanques Linea 4     | 0            | Estado Tanques Linea 4 | 0            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Estado Tanques Linea 5     | 0            | Estado Tanques Linea 5 | 0            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Valor de Lactosa           | 0            | Valor de Lactosa       | 0            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tipo de Producto           | 0            | Tipo de Producto       | 0            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanque Origen              | 0            | Tanque Origen          | 0            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Volúmenes en Litros        | 0            | Volúmenes en Litros    | 0            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Hoja de Historial          | # de Filtros | Hoja de Historial      | # de Filtros |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Línea 1          | 500          | Tanques a Línea 1      | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Línea 2          | 500          | Tanques a Línea 2      | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Línea 3          | 500          | Tanques a Línea 3      | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Línea 4          | 500          | Tanques a Línea 4      | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Línea 5          | 500          | Tanques a Línea 5      | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 100        | 500          | Tanques a Tetra 100    | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 200        | 500          | Tanques a Tetra 200    | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 300        | 500          | Tanques a Tetra 300    | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 400        | 500          | Tanques a Tetra 400    | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 500        | 500          | Tanques a Tetra 500    | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 600        | 500          | Tanques a Tetra 600    | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 700        | 500          | Tanques a Tetra 700    | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 800        | 500          | Tanques a Tetra 800    | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 900        | 500          | Tanques a Tetra 900    | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 1000       | 500          | Tanques a Tetra 1000   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 1100       | 500          | Tanques a Tetra 1100   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 1200       | 500          | Tanques a Tetra 1200   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 1300       | 500          | Tanques a Tetra 1300   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 1400       | 500          | Tanques a Tetra 1400   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 1500       | 500          | Tanques a Tetra 1500   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 1600       | 500          | Tanques a Tetra 1600   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 1700       | 500          | Tanques a Tetra 1700   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 1800       | 500          | Tanques a Tetra 1800   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 1900       | 500          | Tanques a Tetra 1900   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 2000       | 500          | Tanques a Tetra 2000   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 2100       | 500          | Tanques a Tetra 2100   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 2200       | 500          | Tanques a Tetra 2200   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 2300       | 500          | Tanques a Tetra 2300   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 2400       | 500          | Tanques a Tetra 2400   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 2500       | 500          | Tanques a Tetra 2500   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 2600       | 500          | Tanques a Tetra 2600   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 2700       | 500          | Tanques a Tetra 2700   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 2800       | 500          | Tanques a Tetra 2800   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 2900       | 500          | Tanques a Tetra 2900   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 3000       | 500          | Tanques a Tetra 3000   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 3100       | 500          | Tanques a Tetra 3100   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 3200       | 500          | Tanques a Tetra 3200   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 3300       | 500          | Tanques a Tetra 3300   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 3400       | 500          | Tanques a Tetra 3400   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 3500       | 500          | Tanques a Tetra 3500   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 3600       | 500          | Tanques a Tetra 3600   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 3700       | 500          | Tanques a Tetra 3700   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 3800       | 500          | Tanques a Tetra 3800   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 3900       | 500          | Tanques a Tetra 3900   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 4000       | 500          | Tanques a Tetra 4000   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 4100       | 500          | Tanques a Tetra 4100   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 4200       | 500          | Tanques a Tetra 4200   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 4300       | 500          | Tanques a Tetra 4300   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 4400       | 500          | Tanques a Tetra 4400   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 4500       | 500          | Tanques a Tetra 4500   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 4600       | 500          | Tanques a Tetra 4600   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 4700       | 500          | Tanques a Tetra 4700   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 4800       | 500          | Tanques a Tetra 4800   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 4900       | 500          | Tanques a Tetra 4900   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tanques a Tetra 5000       | 500          | Tanques a Tetra 5000   | 500          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Los registros e inventarios del producto que se envasa, son importantes para el área administrativa de la planta, por lo que al ser uno de los requisitos, se optó por enviar estos datos a Excel y crear hojas para cada línea de envasado, de tal manera que se desarrolla comunicación Modbus TCP/IP entre el PLC principal y el ordenador conectado a la red local, también se desarrolla la programación en Visual Basic, trabajando con Macros para representar la información dicha. Véase la figura 97.

Como se muestra en la figura 96, se creó una matriz de actualización de datos requeridos para el cálculo de mermas, estos datos presentan tipo de producto, tanque de origen y volumen en litros de cada tanque, de tal manera que se monitorea en tiempo real la producción de manera estadística. Para ver el orden dado a cada línea de envasado, se muestra la figura 99.

**Figura 98**

*Hojas de cálculo para cada línea de envasado, inventarios en tanque y recuperación.*

[Autor]



Cada una de estas hojas se actualiza en función del envasado de producto, pues cuando una operación de envasado se acaba, estos datos se actualizan con hora y fecha en la respectiva hoja de cálculo, sea esta Trasiegos, recuperación o Inventarios.

**Figura 99**

*Historial generado automáticamente por cada operación de envasado. [Autor]*

| HISTORIAL DE TRASIEGOS A LINEA 4 |                |                         |         |               |                  |
|----------------------------------|----------------|-------------------------|---------|---------------|------------------|
|                                  | Hora           | Fecha                   | Volumen | Tanque Origen | Tipo de Producto |
| 1                                | 9:16:19 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.310   | 17            | Sin Azucar       |
| 2                                | 9:00:48 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.360   | 17            | Sin Azucar       |
| 3                                | 8:54:37 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 430     | 17            | Sin Azucar       |
| 4                                | 8:40:44 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.680   | 19            | Sin Azucar       |
| 5                                | 8:23:45 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.810   | 19            | Sin Azucar       |
| 6                                | 8:06:00 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.790   | 19            | Sin Azucar       |
| 7                                | 7:48:15 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.410   | 19            | Sin Azucar       |
| 8                                | 7:28:11 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.460   | 19            | Sin Azucar       |
| 9                                | 7:11:13 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.580   | 19            | Sin Azucar       |
| 10                               | 6:55:00 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.590   | 19            | Sin Azucar       |
| 11                               | 6:36:29 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.380   | 19            | Sin Azucar       |
| 12                               | 6:20:17 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.060   | 19            | Sin Azucar       |
| 13                               | 4:39:11 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.490   | 16            | Sin Azucar       |
| 14                               | 4:12:11 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.160   | 16            | Sin Azucar       |
| 15                               | 3:49:02 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.520   | 16            | Sin Azucar       |
| 16                               | 3:27:26 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.630   | 16            | Sin Azucar       |
| 17                               | 3:03:30 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.280   | 16            | Sin Azucar       |
| 18                               | 2:41:07 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.600   | 16            | Sin Azucar       |
| 19                               | 2:24:08 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.490   | 16            | Sin Azucar       |
| 20                               | 1:12:22 a. m.  | 3 de septiembre de 2020 | 1.730   | 12            | Sin Azucar       |
| 21                               | 11:29:44 p. m. | 2 de septiembre de 2020 | 1.220   | 12            | Sin Azucar       |
| 22                               | 10:38:07 p. m. | 2 de septiembre de 2020 | 430     | 12            | Sin Azucar       |
| 23                               | 9:55:00 p. m.  | 1 de septiembre de 2020 | 1.450   | 3             | Comercial        |



**Figura 100**

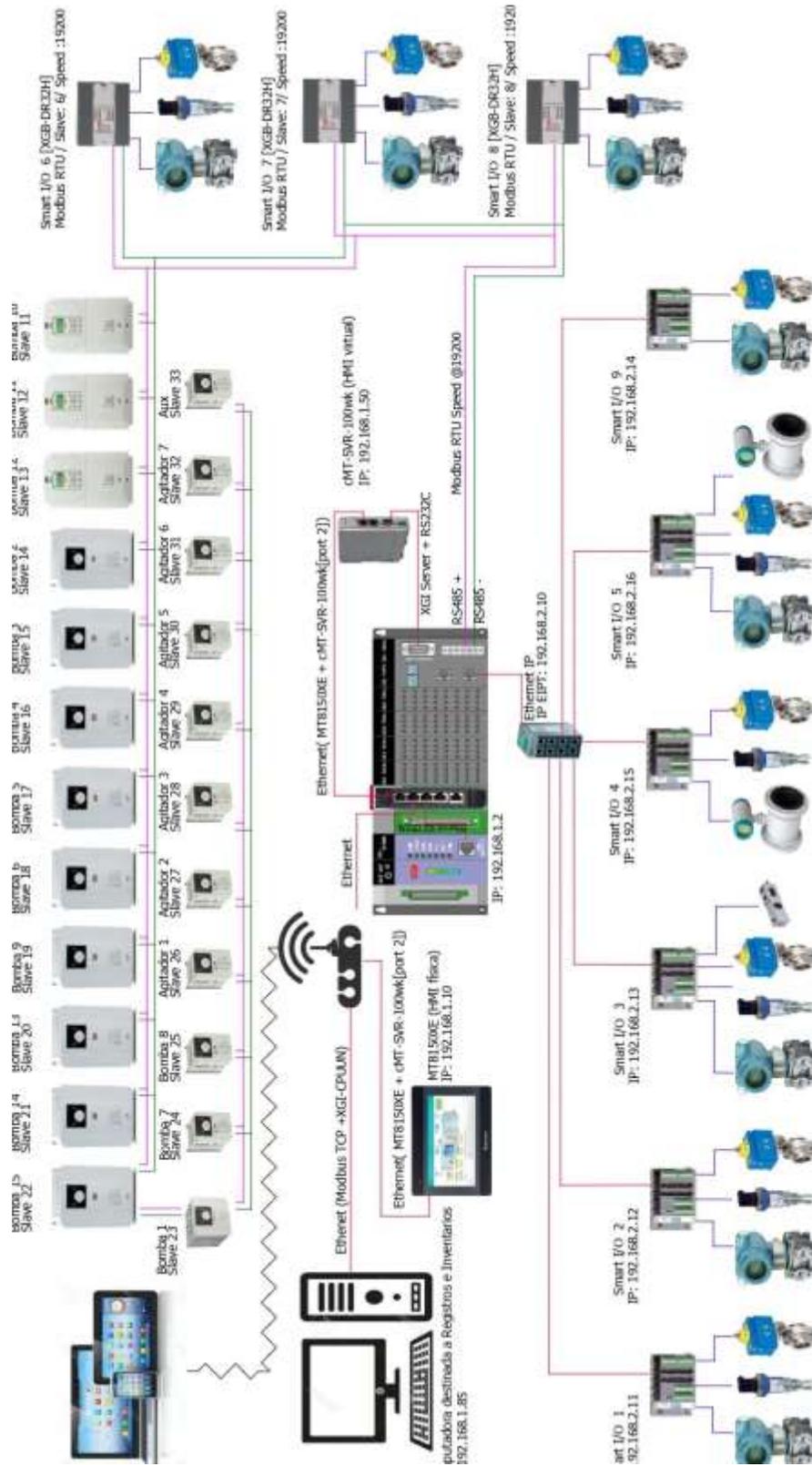
*Historial generado automáticamente para los inventarios en tanques. [Autor]*

| HISTORIAL DE INVENTARIOS |               |                                    |            |         |          |         |           |         |                |         |
|--------------------------|---------------|------------------------------------|------------|---------|----------|---------|-----------|---------|----------------|---------|
| Id                       | Hora          | Fecha                              | Tanque 1   |         | Tanque 2 |         | Tanque 3  |         | Tanque 4       |         |
|                          |               |                                    | Producto   | Volumen | Producto | Volumen | Producto  | Volumen | Producto       | Volumen |
| 2                        | 3:22:59 a. m. | viernes, 3 de septiembre de 2020   | Sin Azúcar | 28.759  | Real     | 28.635  | Comercial | 28.947  | Sin azúcar 24° | 28.122  |
| 3                        | 4:40:05 a. m. | viernes, 3 de septiembre de 2020   | Sin Azúcar | 28771   | Real     | 28637   | Comercial | 19947   | Sin azúcar 24° | 28197   |
| 4                        | 3:15:29 p. m. | miércoles, 2 de septiembre de 2020 | Sin Azúcar | 28767   | Real     | 28645   | Comercial | 19947   | Sin azúcar 24° | 28197   |
| 5                        | 2:49:41 p. m. | miércoles, 2 de septiembre de 2020 | Sin Azúcar | 28789   | Real     | 28647   | Comercial | 19947   | Sin azúcar 24° | 28197   |
| 6                        | 6:13:38 a. m. | miércoles, 2 de septiembre de 2020 | Sin Azúcar | 28759   | Real     | 28639   | Comercial | 19947   | Sin azúcar 24° | 28197   |
| 7                        | 4:40:00 a. m. | miércoles, 2 de septiembre de 2020 | Sin Azúcar | 28759   | Real     | 28627   | Comercial | 19947   | Sin azúcar 24° | 28122   |
| 8                        | 6:55:42 p. m. | martes, 1 de septiembre de 2020    | Sin Azúcar | 28775   | Real     | 28642   | Comercial | 24357   | Sin azúcar 24° | 28197   |
| 9                        | 2:48:37 p. m. | martes, 1 de septiembre de 2020    | Sin Azúcar | 28775   | Real     | 28648   | Comercial | 24357   | Sin azúcar 24° | 28197   |
| 10                       | 2:46:18 p. m. | martes, 1 de septiembre de 2020    | Sin Azúcar | 28775   | Real     | 28649   | Comercial | 24357   | Sin azúcar 24° | 28197   |
| 11                       | 3:36:04 p. m. | viernes, 28 de agosto de 2020      | Sin Azúcar | 28775   | Real     | 28648   | Comercial | 24357   | Sin azúcar 24° | 28271   |
| 12                       | 7:45:10 p. m. | viernes, 27 de agosto de 2020      | Sin Azúcar | 28775   | Real     | 28657   | Comercial | 24357   | Sin azúcar 24° | 28197   |
| 13                       | 6:08:40 p. m. | viernes, 27 de agosto de 2020      | Sin Azúcar | 28775   | Real     | 28743   | Comercial | 24357   | Sin azúcar 24° | 28271   |

La figura 100 presenta el inventario en tanques generado por una bandera de botón insertada en el área de inventarios en HMI, de tal manera que estos datos pueden ser llevados a su respectivo tratamiento.

Para integrar toda la información previamente dicha, se muestra la topología de control a nivel general (véase la figura 99), donde se tiene la HMIs, los PLCs esclavos, los variadores esclavos, el cMT y sus HMIs desde cualquier dispositivo, sin dejar de un lado el proceso de historiales, registros e inventarios antes dicha.

Figura 101  
Topología de control. [Autor]



## 4.2 Diseño de HMI

Para el diseño de la HMI, se tienen en cuenta los siguientes aspectos.

- Planta de Agua
- Apartado de Trasiegos
- Apartado de Inventarios
- Apartado de Parámetros de Operación y densidades
- Apartado de Recuperación

Estos apartados, se ven en la pantalla principal (véase la figura 102), donde se puede llegar a ellos y monitorear el estado del proceso.

### Figura 102

*Pantalla Principal de la HMI. [Autor]*



La pantalla anterior, representa la pantalla principal desarrollada en el programa de diseño EasyBuilder Pro. La pantalla principal posee el sistema de gestión los siguientes recursos.

En la siguiente pantalla se muestra que el operario o usuario final, debe ingresar con los datos adecuados, ya que sino los realiza, no puede acceder al área de preparación. (Véase la figura 103)

### Figura 103

*Nivel de acceso de la HMI. [Autor]*



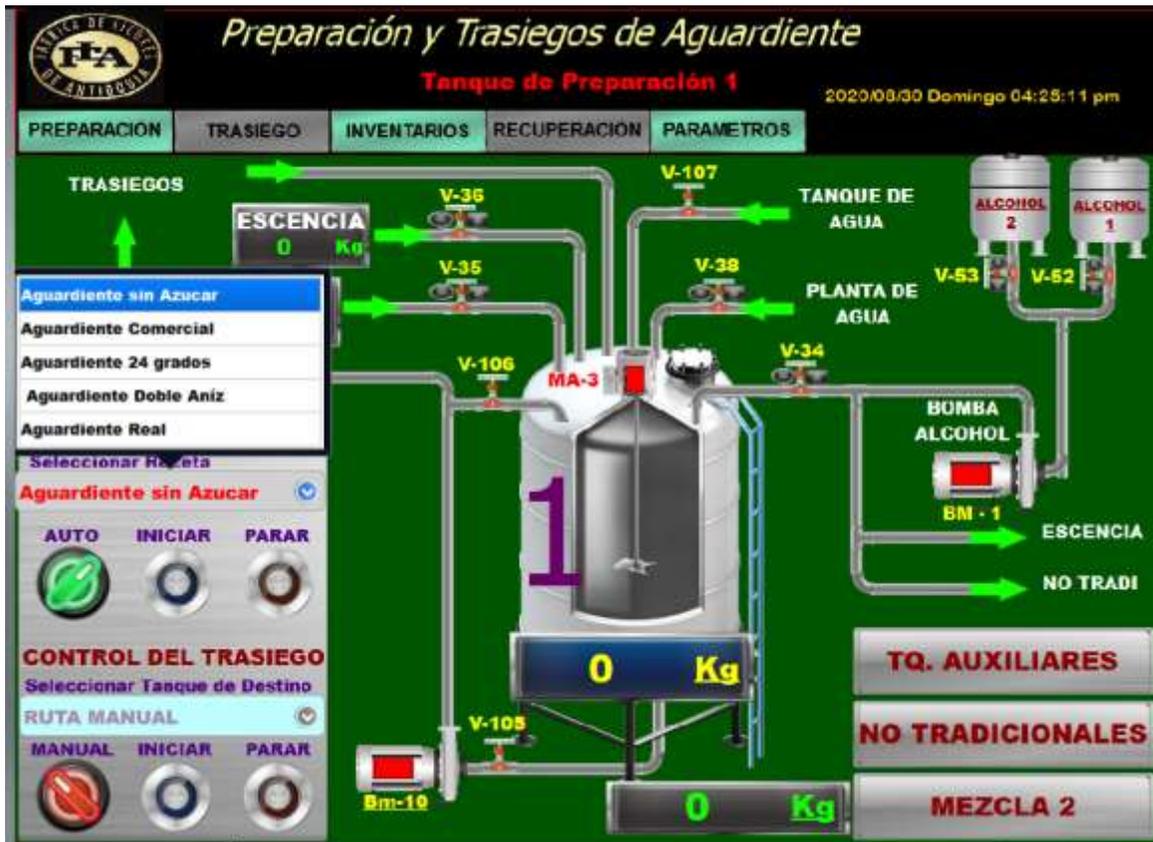
Una vez el usuario, ingrese, este puede dirigirse al área de preparación donde encontrara diversas pestañas que lo guiarán hacia los menús de monitoreo y control.

### *Preparación*

Área destinada a preparar en modo manual y automático las recetas (véase la figura 104) programadas para crear el producto final. Esta preparación está íntimamente relacionada con el proceso de elaboración de Jarabe y Esencia, junto al de alimentación de Agua y Alcohol.

**Figura 104**

*Preparación en Automático. [Autor]*

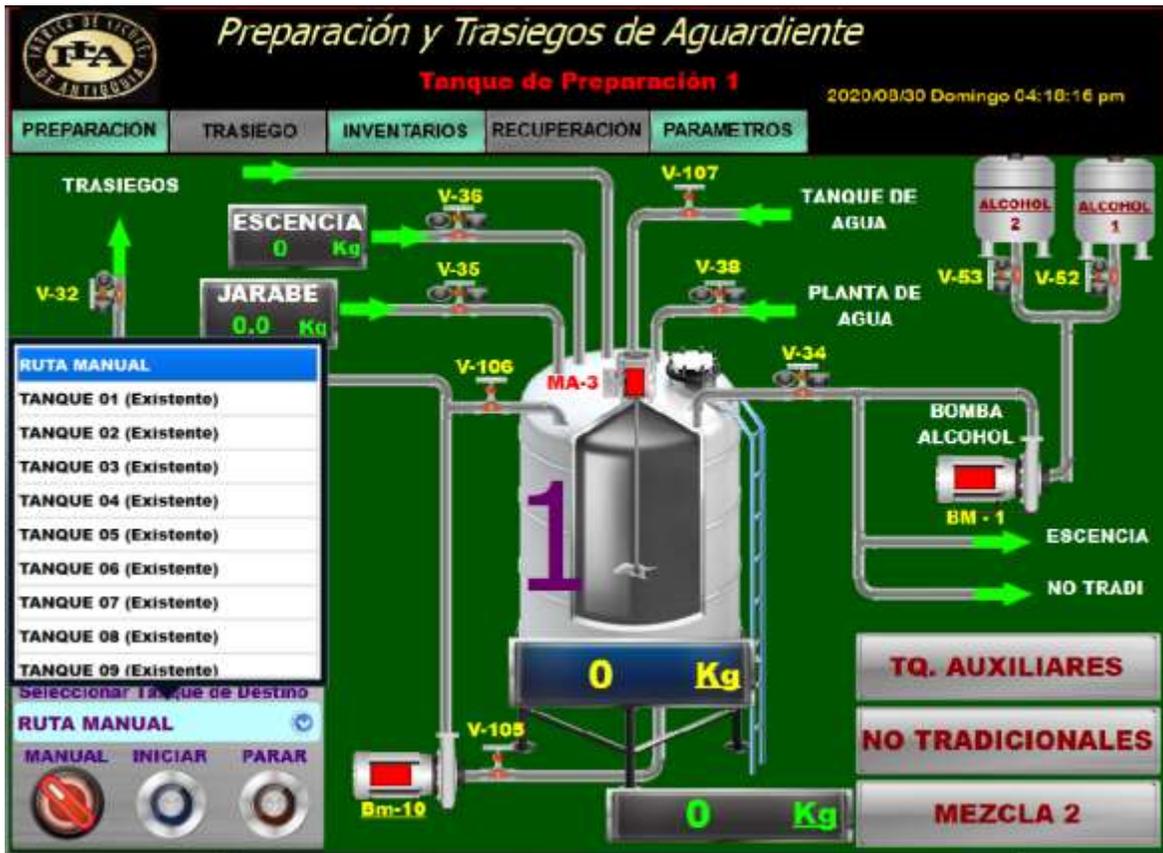


Los botones virtuales, son las banderas que habilitan el proceso, una vez el operario despliegue la lista y seleccione la receta que desea elaborar.

También presenta un control de trasiego automático (ver figura 105), para destinar el producto de la preparación del actual tanque de mezcla hacía los tanques de depósito, adicional a esto, se puede dentro de la misma pantalla de preparación, cambiar a ver el estado del tanque de preparación 2, recordemos que la planta, posee dos tanques de preparación, por lo que ahora se puede fabricar Aguardiente desde cualquiera de los dos simultáneamente.

**Figura 105**

*Trasiego automático a los diferentes tanques de depósito. [Autor]*

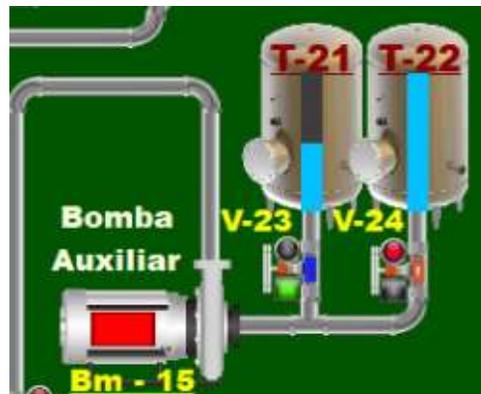


Una vez el operario seleccione el lugar de depósito de la preparación, debe pulsar el estado del botón rojo, para cambiar a automático y enviar el producto hasta desaguar completamente el tanque de preparación actual.

Para activar cualquier bomba y apertura de válvula, el sistema debe estar en manual, de tal manera que el sistema de control le arroja el mando de operación de los elementos finales de control como válvulas y bombas al operario. Si el paso anterior se cumplió correctamente, el operario debe posicionar su índice y hacer click en cualquier dispositivo que desea cambiar de estado, de tal manera que esté presente un cambio y realice la tarea que le encomendó el operario.

**Figura 106**

*Interpretación de estado de las válvulas. [Autor]*



En el caso de las válvulas, cuando el operario hace click sobre la válvula que desea abrir, esta cambia de color indicando que se le envió señal de apertura y la retroalimentación o Feedback, nos indica en el piloto verde que esta válvula ha confirmado su apertura. La válvula 23 está abierta, mientras que la válvula 24 está cerrada.

**Figura 107**

*Interpretación de estado de las bombas. [Autor]*



En la figura 107, la bomba 10 está cerrada, mientras que la bomba 1, se mantiene operando.

Dentro del área de preparación podemos ir hacia los tanques auxiliares, que son los mismos de Jarabe, Esencia y tanque de depósito de agua.

Figura 108

Tanques auxiliares en HMI. [Autor]



En esta pantalla se monitorea el peso en los tanques de jarabe y mezcla, así como el volumen del tanque de agua, también se optó por indicar en pantalla la presión hidrostática que indica el diferencial de presión para efectos de mantenimiento. También se tiene indicador de cada sensor de horquilla de seguridad, de tal manera que cuando se este se active, arroje una alarma lumínica en el piloto superior que tiene cada tanque que tiene asignado sensor de seguridad para rebose. El piloto de los diferenciales de presión también se muestra, ya que de esta manera se conoce rápidamente el estado de funcionamiento del mismo.

La preparación de las recetas no tradicionales, también se consideraron en el diseño, esta se representa en la figura 109.

**Figura 109***Preparación no tradicional. [Autor]*

En la figura anterior, se representa la preparación de recetas no tradicionales con cada uno de sus instrumentos y equipos de proceso que intervienen en la elaboración de estos productos.

Cabe mencionar que los instrumentos y equipos de proceso que hacen parte de esta etapa de preparación ni tradicional, están sujetos únicos y exclusivamente al control manual definido por el operario, de tal manera que no tiene preparación automática y las recetas que se deseen realizar, estarán desarrolladas bajo la experiencia y pericia del operario.

*Trasiegos*

Esta etapa representa las conexiones para mover líquido de un tanque de depósito a otro o tanques de preparación a depósito y viceversa, de tal manera que se muestran las rutas con las válvulas de control y bombas respectivas para llevar a cabo las tareas planteadas.

**Figura 110**

*Trasiegos en HMI. [Autor]*



En el área de trasiegos tenemos 6 elementos importantes, los cuales permiten enviar producto desde cualquier tanque de depósito, sea existente o nuevo al área correspondiente de envasado, donde tenemos 5 opciones. Cabe destacar que las opciones de trasiegos permiten que el operario decida desde el tanque de origen (desde el cuál se va a enviar el producto) hacía el destino, donde el sistema de control genera la ruta automáticamente abriendo las válvulas necesarias para cumplir con el objetivo.

Figura 111  
Trasiegos a línea 1. [Autor]



Figura 112  
Trasiegos a línea 4. [Autor]



Figura 113  
Trasiegos a línea 3. [Autor]



Figura 114  
Trasiegos a línea Tetrapack Comercial. [Autor]



Figura 115

Trasiegos a línea Tetrapack sin Azucarl. [Autor]



Figura 116

Tanques de depósito Existentes. [Autor]



*Inventarios*

El apartado de inventarios, permite conocer el estado y el nivel de cada tanque conociendo el tipo de producto que este maneja, además el control de iluminación de la planta que de por sí, llega a ser más eficiente. Otra de las cualidades de este apartado es precisamente que cada diferencial de presión conozca la densidad del líquido que está midiendo, para que de esta manera, mediante la presión hidrostática, se halle el volumen correcto de cada tanque, esto se puede ver en la figura 117.

**Figura 117**

*Sistema de Inventarios. [Autor]*



El botón de guardar historial, realiza la función de guardar el registro de cada uno de los tanques, como lo es el tanque, tipo de producto que posee y por último el volumen de ese producto, indicando la fecha y hora de la consulta para mantener un historial para fines administrativos o de mantenimiento.

## Recuperación

Figura 118

Sistema de Recuperación. [Autor]



El sistema de recuperación, usa el producto que no se envasa y se reenvía al tanque 23, quien es el predeterminado para almacenar estos productos sobrantes que posteriormente se tratarán para convertirse nuevamente en un producto listo para envasar. De esta manera no se pierde ningún producto, ya que todo es reutilizable. El modo automático, siempre mantiene el tanque de recuperación en cierto nivel, estos parámetros se verán en la siguiente sección.

Sistema de Parámetros

Figura 119

Parámetros de operación. [Autor]



Este apartado es realmente necesario, pues se pueden guardar recetas indicando los parámetros en el tipo de unidad indicado en pantalla, por lo que puede modificar cada receta si gusta, también se puede colocar los niveles de seguridad para los diferentes tanques, asumiendo también la frecuencia de operación de las bombas principales, para que de esta manera el variador opere a la frecuencia adecuada de operación. Se destaca que la configuración de los variadores es posible, mediante Modbus RTU sobre la interfaz de red RS48. Para que los Transmisores indicadores de nivel conozcan el líquido que ejerce presión sobre ellos, es necesario indicar la densidad de cada líquido o producto a usar, determinando este valor para estandarizar el nivel de líquido correcto en cada tanque.

De esta manera terminamos la combinación de la HMI física y por medio de la red, virtualizamos la misma pantalla vista anteriormente, ya que se diseñó idénticamente para el cMT-SVR, el cual virtualiza la HMI y la envía a la red, de tal manera que se puede usar un dispositivo como un PC o Smartphone conectado a la red. Esto se demuestra en la figura 107.

### *Virtualización de la HMI*

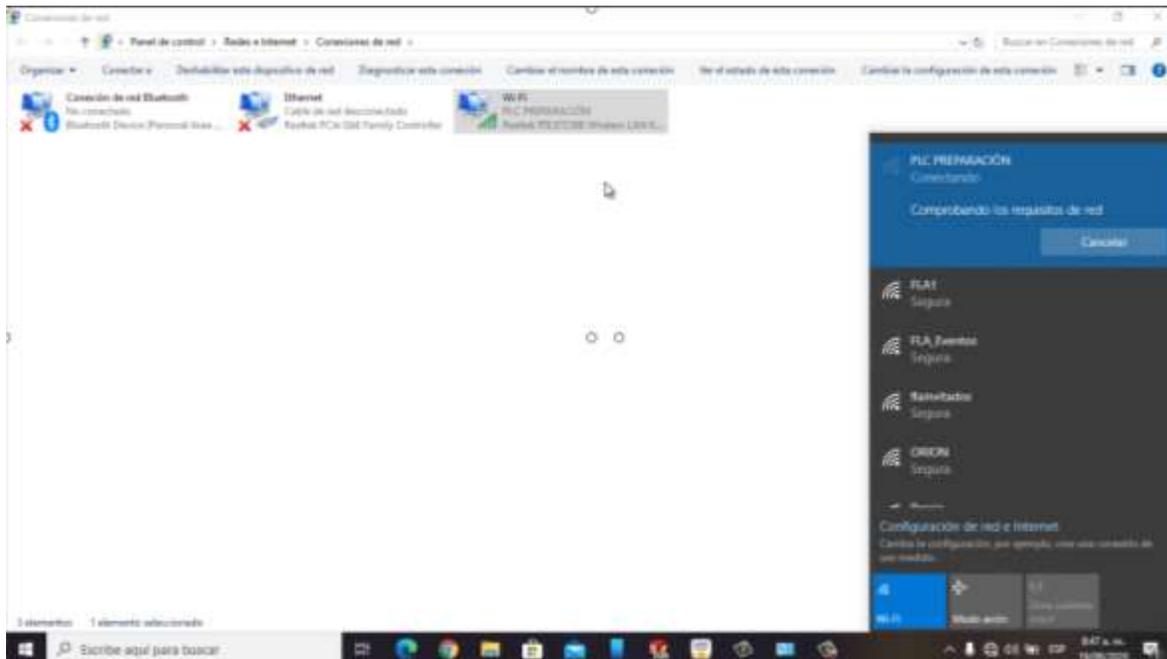
La virtualización de la HMI, ofrece grandes bondades, ya que cualquier usuario con control de acceso al sistema de control puede monitorear y controlar el sistema desde cualquier dispositivo que acepte las aplicaciones de cMT-SVR, los pasos para usar el sistema desde un dispositivo, son los siguientes.

#### *1. Conectar el dispositivo a la red WAN del cMT*

El dispositivo se puede conectar de forma alámbrica (Cable Ethernet) o de forma inalámbrica (Wifi). En la figura 118, nos conectaremos por wifi a la red PLC PREPARACIÓN.

### **Figura 120**

*Conexión de red del cMT. [Autor]*

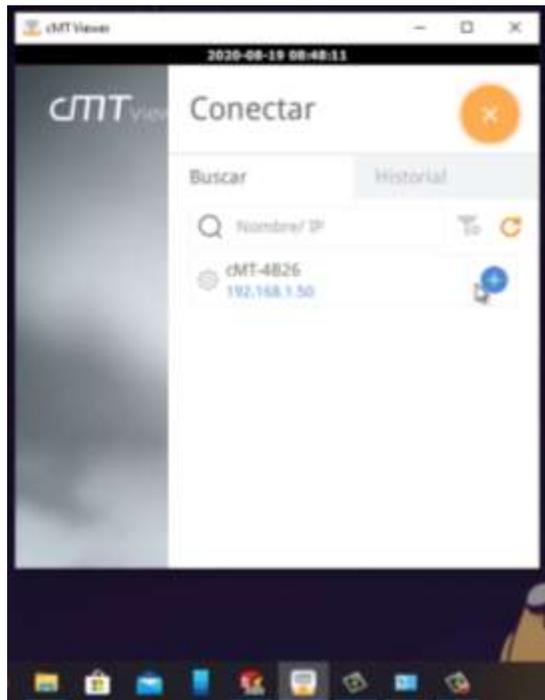


#### *2. Abrir el programa que ofrece el fabricante cMT Viewer*

EL usuario debe tener instalada en su dispositivo la app, para que posteriormente el programa logre buscar todas las HMI virtualizadas.

**Figura 121**

*Interfaz del cMT-SVR. [Autor]*



Cuando se abre el programa y se está conectado a la red en la que se está situado el cMT-SVR, el programa identifica los dispositivos que están virtualizando la HMI, de esta manera el programa indica la IP y la serie del dispositivo de virtualización, en este momento agrega en el símbolo indicado. De tal manera que se exige una contraseña de control de acceso previamente programada desde la interfaz de diseño de EasyBuilder Pro. La figura 109, representa el control de acceso al momento de iniciar este procedimiento.

**Figura 122**

*Control de acceso en cMT-SVR. [Autor]*



De esta manera se controla el acceso y permite que personas autorizadas monitoreen y manipulen el proceso desde esta interfaz de virtualización (véase la figura 123.). Ofreciendo las mismas características y alcances que se tiene en la pantalla física previamente mencionada.

**Figura 123**

*Interfaz HMI virtualizada desde un computador mediante cMT-Viewer. [Autor]*



**Figura 124**

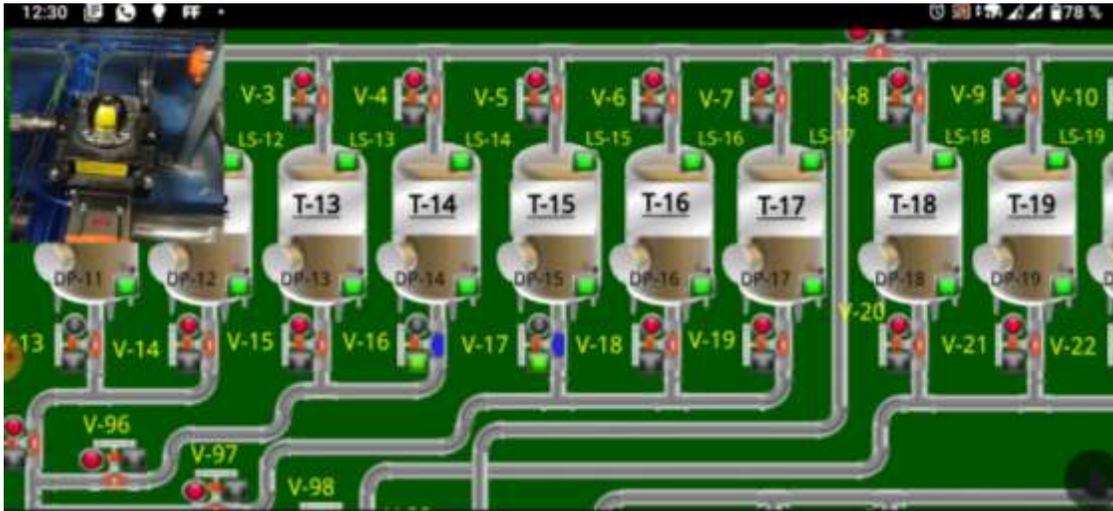
*Interfaz HMI virtualizada desde un Smartphone android mediante cMT-Viewer. [Autor]*



La representación del sistema de control en su funcionalidad operativa, se puede apreciar en las figura 125,126 y 127.

**Figura 125**

*Apertura de válvula desde HMI virtual. [Autor]*



En la figura anterior, se muestra la apertura de la válvula 17 que fue accionada desde la HMI virtual y la acción de apertura de la misma, concuerda con el sistema de control. La retroalimentación de la válvula, mediante el sistema de finales de carrera, puede mostrar en la HMI mediante los pilotos rojo y verde, el estado de las mismas.

**Figura 126**

*Monitoreo de Transmisor indicador de nivel en tanque 15 desde HMI virtual. [Autor]*



El nivel del tanque posee una columna de líquido de aguardiente 24°, de tal manera que la presión ejercida por este líquido, al Transmisor Indicador de Nivel en el tanque 15 es de 228 y el volumen ara la densidad de este producto es 15850 Lt.

**Figura 127**

*Monitoreo y control de variador para bomba de tanques de depósito de alcohol, desde HMI virtual. [Autor]*



Las flechas de la figura 127, muestran la posibilidad de cambiar estos parámetros internos desde la HMI, de tal manera que se tiene total control sobre el comportamiento de los dispositivos debido a la comunicación Modbus RTU implementada, de esta manera se determina que el sistema de control ha sido un éxito en todas sus etapas de monitoreo y control, no solamente desde la HMI física, sino también desde la virtualizada creada en el cMT-SVR.

**Figura 128**

*Alarmas visuales en instrumentos y elementos finales de control, desde HMI virtual. [Autor]*



La alarma vista en la figura 128, muestra que al enviar señal de apertura de la válvula desde la HMI, el sistema arroja la alarma visual de forma parpadeante, de tal manera que el operario conozca el status del instrumento o elemento final de control, ya que este mismo procedimiento es aplicado a las bombas y demás instrumentación. Cabe mencionar que la falla mostrada es una falla realizada a propósito para el fin demostrativo, para conseguir esto se debió desconectar la alimentación de la bobina de la electroválvula.

### Figura 129

*Registro histórico de alarmas, vistos desde HMI virtual. [Autor]*



El sistema visto en la figura 129, es esencial para prolongar la vida útil del sistema de control, ya que en el aspecto de mantenimiento es importante conocer la hora y fecha en que se presenta un evento, de tal manera que se puede localizar la falla o alarma presente evitando tiempos perdidos en búsqueda de falla y demás perjuicios que puede causar el no tener un sistema de alarmas.

## **5. Conclusiones y recomendaciones**

## 5.1 Conclusiones

Las recetas en automático, presentan facilidad al operario, ya que solo debe seleccionar la receta e iniciarla automáticamente, por lo cual las horas hombre, se convierten en un trabajo más amigable con el mismo. Este sistema también reduce el tiempo de preparación y trasiegos a líneas de envasado, lo cual reduce tiempos y al lograr realizar dos preparaciones de manera simultánea, aumenta la capacidad de producción de la planta, brindando beneficios a nivel económico y de producción.

Los instrumentos cuidadosamente seleccionados cumplen con los requisitos de seguridad para evitar errores de operación o consecuencias fatales en el aspecto de producción. El sistema de seguridad planteado, presenta la versatilidad de doble seguridad para evitar el rebose y/o derrame de producto en los tanques, ya que cada tanque posee un sensor de horquilla vibrante de seguridad si se presenta el caso de que el transmisor diferencial de presión entra en falla.

El sistema de control creado a partir de las comunicaciones Ethernet IP y Modbus RTU, permitió primeramente comunicar los instrumentos, equipos de proceso y los elementos de control. Bajo este medio, se logró monitorear y controlar a disposición automática y manual dichos elementos, esto trae ciertos beneficios desde el contexto energético, ya que el arranque y marcha de la mayor parte de los motores eléctricos, se cambió de estrella delta (estado anterior) a arranque electrónico en variador de frecuencia, esto permite un gran ahorro energético que beneficia las actividades de la FLA, ya que impacta directamente en el coste del producto final. De la misma forma, el impacto en la calidad es de gran beneficio, ya que tanto los agitadores como las bombas, se logran manipular en la frecuencia adecuada para cada operación.

Considerar el sistema de control híbrido entre centralizado y descentralizado, primeramente provee menor costo en cable, ya que en el caso de los módulos XEL-BSSB, solo se envía un cable Ethernet para comunicar con los buses de campo, esto disminuye tiempos de instalación e implementación en un proyecto de magnitud considerable, mientras que en el caso del sistema de control centralizado focalizado en el área de envasado, permite tomar decisiones de manera local si la red serial obtiene fallas, lo cual otorga una respuesta rápida evitando fallas en esta área.

La ergonomía visual de la HMI, representa un sistema de tuberías extenso, sin embargo la sintetización de estos diagramas, otorga al operario una experiencia de aprendizaje corta, ya que los vínculos de conexiones son agradables de comprender y de ver en la HMI. Otro de los aspectos esenciales es la capacidad de virtualizar desde cualquier dispositivo la HMI, de tal manera que el operario, no necesariamente debe estar presente en la pantalla local (física), para preparar o realizar operaciones adecuadamente y con la misma fiabilidad que proporciona una HMI física.

La fiabilidad del sistema de válvulas, no queda libre únicamente al sonido característico de la apertura o cierre de una válvula, sino que debido a la retroalimentación del estado del vástago, el sistema de control genera las alarmas para que el operario de inmediato conozca el estado de cada una y en base a estos datos, tome una decisión acertada para el beneficio de la planta.

La gestión de los, historiales, inventarios y registros del proceso, eventualmente impactan positivamente en el área administrativa, ya que de esta manera se evita el proceso de registro en planillas a los operarios, pues esto daba vía a pérdida de la información o información no acertada de acuerdo al contenido real del proceso. EL sistema de alarmas, es amigable con el operario, ya que gestiona la información obtenida de los instrumentos y equipos de proceso para realizar un registro de las fallas o alarmas presentadas en el sistema, esto agrega valor al aspecto de continuidad en el proceso, detección localizada en planta e instauración del sistema, ya que se puede detectar y solucionar rápidamente, sin tener que revisar instrumento por instrumento.

## **5.2 Recomendaciones**

Al momento de seleccionar la instrumentación para cualquier proyecto, es esencial realizar un estudio de las características de las variables que se requieren manipular, monitorear y controlar, esto para seleccionar adecuadamente los instrumentos a usar.

Los fabricantes de tecnologías de automatización ofrecen paquetes muy versátiles y completos para las funcionalidades que distinguen en cada planta, por lo que en ocasiones optar por un software SCADA, puede resultar más útil, que diseñar uno desde cero. Claro que este criterio estará focalizado en cuestión de tiempo y dinero en el desarrollo del mismo.

Algunas empresas, siempre buscan obtener compatibilidad en la implementación de nuevas tecnologías, por lo que en la mayoría de los casos, se debe buscar lo que requiere el cliente final y los requisitos que este quiera implementar.

La red de comunicación serial, presenta velocidades bajas cuando hay un grupo considerable de esclavos en una misma red, por lo que en su mayoría se busca que los componentes y/o instrumentos que se desean de conectar mediante modbus, estén menor a 100mts del maestro, para que la red de datos fluya de la mejor manera posible.

## **Anexos**

1. Diagrama de tuberías e instrumentación identificados en el área de preparación (PDF).
2. Topología de control integrando las comunicaciones y el nivel de campo. (PDF)
3. Implementación de la HMI virtual desde un smarthphone, demostrando el éxito del diseño. (Video)

## **6. Referencias**

- [1] FLA - Fabrica de Licores de Antioquia Historia. (n.d.). Retrieved March 8, 2020, from <https://fla.com.co/historia/>
- [2] FLA - Fabrica de Licores de Antioquia Aguardiente Antioqueño. (n.d.). Retrieved July 18, 2020, from <https://fla.com.co/marcas-fla/aguardiente-antioqueno/>
- [3] Autor
- [4] Sole, A. C. (2011). Instrumentación Industrial. In S. A. de C. Alfaomega Grupo Editor (Ed.), *Instrumentation Industry* (Octava Edi, p. 792). Pitágoras 1139, Col. Del Valle, 03100, México D.F.
- [5] *Conjunto de herramientas AutoCAD Plant 3D | Software de diseño y presentación de plantas en 3D | Autodesk*. (n.d.). Retrieved July 19, 2020, from <https://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/included-toolsets/autocad-plant-3d?plc=ACDIST&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>
- [6] *Control de procesos: ACCIÓN DE LOS CONTROLADORES*. (n.d.). Retrieved July 19, 2020, from <http://controlprocesos.blogspot.com/2010/05/accion-de-los-controladores.html>
- [7] Carlos A. Smith, A. B. C. (2004). CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS, TEORÍA Y PRÁCTICA. In *Control Automatic of Process* (pp. 17–20). 2004, EDITORIAL LIMUSA, S.A. de C.V. GRUPO NORIEGA EDITORES.
- [8] Castellanos, E. I. (2012). *Sistemas de Automatización* (S. Feijóo (Ed.); 1ra ed.).
- [9] *Pirámide de automatización*. (n.d.). Retrieved July 19, 2020, from <https://www.smctraining.com/es/webpage/indexpage/311>
- [10] Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Pearson Educación. <https://www.google.com/search?client=ubuntu&channel=fs&q=ogata&ie=utf-8&oe=utf-8>
- [11] Sole, A. C. (2011). *Instrumentación Industrial*. In S. A. de C. . Alfaomega Grupo Editor (Ed.), *Instrumentation Industry* (Octava Edi, pp. 746–747). Pitágoras 1139, Col. Del Valle, 03100, México D.F.
- [12] *Sistemas de control centralizado BMS - SIIME*. (n.d.). Retrieved July 19, 2020, from <https://siime.cl/sistemas-de-control-centralizado-bms/>
- [13] *Sistemas de control distribuidos vs centralizados | Secoin*. (n.d.). Retrieved July 19, 2020, from <https://www.secoin.com.uy/blog/sistemas-de-control-distribuidos-vs-centralizados>.

- [14] *Qué es un Sistema de Control Distribuido (DCS) | Aula21.* (n.d.). Retrieved July 19, 2020, from <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-de-control-distribuido/>
- [15] Castellanos, E. I. (2012). *Sistemas de Automatización* (S. Feijóo (Ed.); 1ra ed., pp. 30–34).
- [16] *¿Qué es HMI? | Wonderware Iberia.* (n.d.). Retrieved July 19, 2020, from <https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/>
- [17] *Qué son las redes de comunicación industrial | Aula21.* (n.d.). Retrieved July 19, 2020, from <https://www.cursosaula21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/>
- [18] Vicente Guerrero, Ramón L. Yuste, L. M. (2010). *Comunicaciones Industriales* (S. A. MARCOMBO (Ed.)).
- [19] *¿Qué es el modelo OSI? - Redesbasico150.* (n.d.). Retrieved July 19, 2020, from <https://sites.google.com/site/redesbasico150/protocolos-de-red/-que-es-el-modelo-osi>
- [20] Silva, F. B., Alonso, W. S., Pérez, J. M. C., Silva, F. B., & Taboada, R. A. G. (2019). *Las claves de la Cuarta Revolución Industrial: Cómo afectará a los negocios y a las personas.*
- [21] Schwab, K., & Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial.* Penguin Random House Grupo Editorial España.
- [22] Pirámide de la automatización e industria 4.0 | witorg. (n.d.). Retrieved July 19, 2020, from <https://www.witorg.org/piramide-de-la-automatizacion-e-industria-4-0/>
- [23] *Tatsuno Corporation.* (n.d.). Medidor Magnetoelctrico. Retrieved August 23, 2020, from <https://tatsuno-corporation.com/en/>
- [24] *ABB Measurement & Analytics - instrumentation and analyzer technology.* (n.d.). ABB Measurement & Analytics - We Make Things Easy. Retrieved August 23, 2020, from <https://new.abb.com/products/measurement-products>
- [25] *Why Yokogawa? Migrating from a Honeywell Platform to Yokogawa's CENTUM VP | Yokogawa Electric Corporation.* (n.d.). Retrieved August 23, 2020, from <https://www.yokogawa.com/library/resources/media-publications/why-yokogawa-migrating-from-tdc2000-to-centum/>
- [26] *Actuadores Neumáticos Giratorios | Naxa.* (n.d.). Retrieved August 29, 2020, from <http://naxa.solutions/producto/actuadores-neumaticos-giratorios/>

- [27] *iG5A | VMC*. (n.d.). Retrieved August 29, 2020, from <https://www.vmc.es/es/ig5a>
- [28] Castellanos, E. I. (2012). *Sistemas de Automatización* (Liset Ravelo Romero (ed.))
- [29] *Allen-Bradley - Wikipedia*. (n.d.). Retrieved August 30, 2020, from <https://en.wikipedia.org/wiki/Allen-Bradley>
- [30] *Controladores programables | Allen-Bradley*. (n.d.). Retrieved August 30, 2020, from <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers.html>
- [31] *HMI, interface operador-máquina | Allen-Bradley*. (n.d.). Retrieved August 30, 2020, from <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/hardware/allen-bradley/human-machine-interface.html>
- [32] *Siemens history*. (n.d.). Retrieved August 30, 2020, from <http://w4.siemens.de/archiv/en/laender/asien/indien.html>
- [33] *Siemens history*. (n.d.). Retrieved August 30, 2020, from <http://w4.siemens.de/archiv/en/laender/asien/indien.html>
- [34] *Soluciones para formación Productos de Automatización y Digitalización 4.0*. (n.d.). Retrieved August 30, 2020, from [www.siemens.es/sce](http://www.siemens.es/sce)
- [35] *SIMATIC S7-1500 | SIMATIC Controllers | Global*. (n.d.). Retrieved August 30, 2020, from <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html>
- [36] *Siemens Simatic S7-1200 PLC, S7-1200 PLC, Rs 15000 /piece Electronic Appliances / ID: 8637967855*. (n.d.). Retrieved August 30, 2020, from <https://www.indiamart.com/proddetail/siemens-simatic-s7-1200-plc-8637967855.html>
- [37] LSIS. (n.d.). *History LSIS, AUTOMATION*. Retrieved August 30, 2020, from <https://www.lselectric.co.kr/about-us/history>
- [38] *Product -XGK, XGI CPU*. (n.d.). Retrieved August 30, 2020, from [https://www.lselectric.co.kr/products/view/Smart\\_Automation\\_Solution/PLC/XGT\\_Series\\_-\\*XGK,\\_XGI,\\_XGR\\*-/XGK\\_XGI\\_CPU](https://www.lselectric.co.kr/products/view/Smart_Automation_Solution/PLC/XGT_Series_-*XGK,_XGI,_XGR*-/XGK_XGI_CPU)
- [39] *LS Electric, nuevo nombre de LS Industrial Systems - Automatización en la industria 4.0*. (n.d.). Retrieved August 30, 2020, from

- <https://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/300574-LS-Electric-nuevo-nombre-de-LS-Industrial-Systems.html>
- [40] *Human Machine Interface (HMI) & Touchscreens | Weintek HMI XE Series - MT8121XE*. (n.d.). Retrieved August 30, 2020, from <https://www.powertechcontrols.com/Weintek-HMI-XE-Series-MT8121XE>
- [41] LSIS. (n.d.). *Smart I/O Module, Profibus-DP Devicenet Rnet Modbus Ethernet RAPIEnet*. 617. [http://www.ar.ehaegypt.com/uploads/XGT+Cnet\\_English+Manual\\_V2.4\\_8bnluqwf.pdf](http://www.ar.ehaegypt.com/uploads/XGT+Cnet_English+Manual_V2.4_8bnluqwf.pdf)
- [42] LSIS. (n.d.). *XBM\_XBC\_Basic\_Tutorial*.