



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño, construcción e implementación de una red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0 mediante el uso de tecnologías IO-Link e IIOT en la Expotainer de Ecuainsetec CIA LTDA como una alternativa de exposición eficiente de los servicios de la empresa a los clientes.

Cortez Naranjo, Edison Ricardo

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecatrónico

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

30 de enero de 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

29/1/23, 17:55

EDISON RICARDO CORTEZ NARANJO - SU TESIS

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

Tesis

NOMBRE DEL ALUMNO

EDISON RICARDO CORTEZ NARANJO

NOMBRE DEL ARCHIVO

EDISON RICARDO CORTEZ NARANJO - SU TESIS

SE HA CREADO EL INFORME

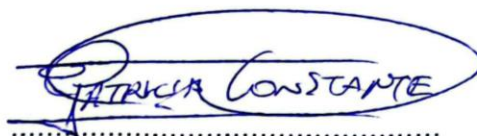
29 ene 2023

Resumen

Fragmentos marcados	4	0,3 %
Fragmentos citados o entrecorillados	14	0,8 %

Coincidencias de la Web

emb.cl	7	0,4 %
fussion-tech.com	4	0,2 %
iberalter.es	2	0,1 %
clavijero.edu.mx	1	0,1 %
sicma21.com	1	0,1 %
tododeinoxidable.com.mx	1	0,1 %
e pn.edu.ec	1	0,1 %
transitflow.com.ar	1	0,1 %



.....

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

C.C.: 0503354029



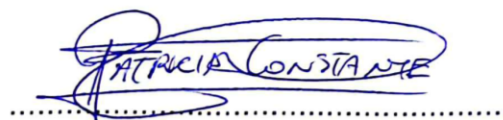
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de Titulación, **"Diseño, construcción e implementación de una red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0 mediante el uso de tecnologías IO-Link e IIOT en la Expotainer de Ecuainsetec CIA LTDA como una alternativa de exposición eficiente de los servicios de la empresa a los clientes"**, fue realizado por el señor **Cortez Naranjo, Edison Ricardo**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad, por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 30 de enero del 2023



Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

C.C.: 0503354029



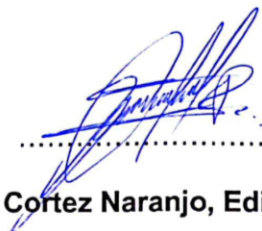
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Cortez Naranjo, Edison Ricardo**, con cédula de ciudadanía N° 1725437675; declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño, construcción e implementación de una red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0 mediante el uso de tecnologías IO-Link e IIOT en la Expotainer de Ecuainsetec CIA LTDA como una alternativa de exposición eficiente de los servicios de la empresa a los clientes”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 30 de enero del 2023



.....

Cortez Naranjo, Edison Ricardo

C.C.: 1725437675



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Autorización de Publicación

Yo, **Cortez Naranjo, Edison Ricardo**, con cédula de ciudadanía N° 1725437675, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Diseño, construcción e implementación de una red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0 mediante el uso de tecnologías IO-Link e IIOT en la Expotainer de Ecuainsetec CIA LTDA como una alternativa de exposición eficiente de los servicios de la empresa a los clientes"**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 30 de enero del 2023



Cortez Naranjo, Edison Ricardo

C.C.: 1725437675

Dedicatoria

Este trabajo de titulación está dedicado a mi abuelita, Magola Hidalgo quien desde el cielo me cuida, a mis padres, Aníbal Cortez y Mercedes Naranjo, a mi hermana, Viviana Cortez, personas quienes siempre estuvieron a mi lado con apoyándome incondicionalmente en todas las etapas claves de mi formación como profesional, llegando al tan anhelado fin del camino y marcando el inicio de una nueva etapa en mi vida, a mi enamorada Liss Espinosa quien se convirtió en la persona más importante de mi vida.

Edison Cortez

Agradecimiento

A mis padres, que con su gran esfuerzo y dedicación hicieron de mí una persona de buenos valores éticos y morales, ahora un ser de bien y productivo que aporta al desarrollo de la sociedad. A Ecuainsetec, quienes confiaron en mí y me brindaron la oportunidad de desarrollar la Expotainer, al equipo de trabajo de esta empresa, personas con quienes he podido compartir experiencias, y al aporte que dieron para que mis primeros pasos en la vida profesional sean firmes y seguros, gracias al conocimiento que adquirí tras el desarrollo de este proyecto. A mis amigos, quienes a lo largo de toda la carrera aportaron para que este sueño se cumpla al afrontar arduas jornadas de trabajo. A mi enamorada que es mi motor para continuar luchando por mis sueños, y a todas las personas que directa o indirectamente participaron en este gran logro de corazón les digo, ¡Gracias totales!

Edison Cortez

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de Contenido.....	8
Indice de Tablas	14
Índice de Figuras	15
Resumen.....	19
Abstract	20
Capítulo I: Generalidades	21
Planteamiento del problema	21
Objetivos	23
<i>Objetivo general</i>	23
<i>Objetivos específicos</i>	23
Justificación e importancia	24
Hipótesis	25
Variables de la investigación	25

<i>Variable independiente</i>	25
<i>Variable dependiente</i>	25
Capítulo II: Marco teórico	26
Automatización Industrial	26
<i>Automatización fija</i>	27
<i>Automatización programable</i>	27
<i>Automatización flexible</i>	27
Redes Industriales	28
<i>Sistema emisor</i>	28
<i>Sistema físico de transmisión</i>	28
<i>Sistema receptor</i>	28
Sistemas industriales de control	28
<i>Control centralizado</i>	28
<i>Control descentralizado</i>	29
<i>Control abierto</i>	29
Modelos OSI	29
<i>Capa física</i>	29
<i>Capa de enlace de datos</i>	29
<i>Capa de red</i>	29
<i>Capa de transporte</i>	29
<i>Capa de sesión</i>	30

<i>Capa de presentación</i>	30
<i>Capa de aplicación</i>	30
Protocolos de comunicación Industrial	30
<i>Modbus TCP/IP</i>	30
<i>Profinet</i>	30
<i>EtherNet/IP</i>	31
<i>IO-Link</i>	31
Pirámide de la automatización	31
Nivel 0 o nivel de instrumentación o de campo	32
<i>Actuadores</i>	32
<i>Sensores</i>	33
<i>Sensores de Proceso IO-Link</i>	34
<i>Válvulas</i>	34
<i>Terminales de válvulas</i>	35
<i>Ejes electromecánicos</i>	36
Nivel 1 o nivel de campo y proceso	36
<i>PLC</i>	36
<i>PLC nano</i>	37
<i>PLC compacto</i>	37
<i>PLC modular</i>	37
<i>PLC para industria 4.0</i>	37

<i>Computador industrial</i>	37
Nivel 2 o nivel de supervisión y control	38
<i>HMI</i>	38
Nivel 3 o nivel de gestión	38
Topología de red industrial	39
Tipos de topologías en redes industriales	39
<i>Bus lineal</i>	40
<i>Anillo</i>	40
<i>Estrella</i>	41
<i>Árbol</i>	41
Capítulo III: Diseño de la Red Industrial	43
Requerimientos de diseño	43
Diseño de concepto	45
<i>Control y movimiento</i>	46
<i>Procesos y sensórica</i>	48
<i>Medición de energía inteligente</i>	51
<i>Industria 4.0</i>	53
<i>Tablero didáctica</i>	56
Diseño para el ambiente (DPA)	58
Selección de componentes	59
<i>Módulo de procesos e industria 4.0</i>	59

<i>Módulo de medición de energía inteligente</i>	60
<i>Módulo de medición de energía inteligente</i>	61
<i>Módulo de procesos y sensórica</i>	63
<i>Módulo de didáctica</i>	73
Diseño para la industria (DPI)	75
Topología de la red industrial	84
Diseño para la manufactura (DPM).....	86
<i>Estimación de costos de manufactura</i>	86
<i>Reducción de costos de los componentes</i>	86
<i>Impacto de decisiones del DPM en otros factores</i>	86
Capítulo IV Implementación del Sistema Mecatrónico	93
Construcción e implementación del módulo de procesos y sensórica.....	93
Implementación del tablero de procesos y periferia descentralizada.....	96
<i>Conexión de sensórica con terminales M12</i>	96
Implementación tablero de industria 4.0 y medición de energía.....	99
Implementación módulo de control y movimiento	102
Implementación del tablero de didáctica	103
Implementación del servidor IIOT de la industria 4.0	104
<i>Interfaz de bienvenida</i>	104
<i>Interfaz de control y movimiento</i>	106
<i>Interfaz de procesos y sensórica</i>	108

<i>Interfaz de medición de energía inteligente</i>	111
Programación PLC.....	114
Análisis de costos	114
Capítulo V: Pruebas de funcionamiento y validación de hipótesis	116
Pruebas de funcionamiento de dispositivos conectados	116
Pruebas de funcionamiento de control y movimiento	117
Pruebas de funcionamiento de procesos y sensórica	119
Planteamiento de hipótesis.....	129
Hipótesis	129
Variables de la investigación	129
<i>Variable independiente</i>	129
<i>Variable dependiente</i>	129
Comprobación de la hipótesis	129
<i>Hipótesis nula (H0)</i>	129
<i>Hipótesis alternativa (H1)</i>	130
Resultados de las encuestas	137
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones.....	143
Conclusiones	143
Recomendaciones	145
Bibliografía	146
Anexos.....	149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Tipos de Válvulas de procesos</i>	34
Tabla 2	<i>Propuesta de solución de conceptos del módulo de control y movimiento</i>	47
Tabla 3	<i>Propuesta de solución de conceptos del módulo de procesos y sensórica</i>	49
Tabla 4	<i>Propuesta de solución de conceptos del módulo de procesos y sensórica</i>	50
Tabla 5	<i>Propuesta de solución de conceptos del módulo de medición de energía inteligente</i>	52
Tabla 6	<i>Propuesta de solución de conceptos del módulo de procesos e industria 4.0</i>	55
Tabla 7	<i>Propuesta de solución de conceptos del módulo de didáctica</i>	57
Tabla 8	<i>Propuesta de solución de conceptos del módulo de didáctica</i>	57
Tabla 9	<i>Componentes y características del módulo de procesos e industria 4.0</i>	59
Tabla 10	<i>Componentes y características del módulo de medición de energía inteligente</i>	61
Tabla 11	<i>Componentes y características del módulo de control y movimiento</i>	62
Tabla 12	<i>Componentes y características del módulo de procesos y sensórica</i>	64
Tabla 13	<i>Características de los sensores</i>	66
Tabla 14	<i>Características de los actuadores de proceso</i>	71
Tabla 15	<i>Característica tablero de didáctica</i>	74
Tabla 16	<i>Recursos materiales</i>	114
Tabla 17.	<i>Condiciones para la hipótesis</i>	130
Tabla 18	<i>Presentaciones charlas con Expotainer</i>	131
Tabla 19.	<i>Frecuencias Observadas</i>	134
Tabla 20	<i>Presentaciones y charlas técnicas sin Expotainer</i>	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Gráfica volúmenes de producción vs variedad de producto.....</i>	<i>27</i>
Figura 2	<i>Pirámide de la automatización.....</i>	<i>32</i>
Figura 3	<i>Actuadores cilindro neumático, actuador giratorio y válvula pinch.....</i>	<i>33</i>
Figura 4	<i>Funcionamiento de un sensor.....</i>	<i>33</i>
Figura 5	<i>Red punto a punto.....</i>	<i>40</i>
Figura 6	<i>Bus lineal.....</i>	<i>40</i>
Figura 7	<i>Topología tipo anillo.....</i>	<i>40</i>
Figura 8	<i>Topología tipo estrella.....</i>	<i>41</i>
Figura 9	<i>Topología tipo árbol.....</i>	<i>41</i>
Figura 10	<i>Necesidades reflejadas en métricas.....</i>	<i>44</i>
Figura 11	<i>Esquema de distribución de los módulos en el interior de la Expotainer.....</i>	<i>45</i>
Figura 12	<i>Subprocesos funcionales de la Expotainer.....</i>	<i>45</i>
Figura 13	<i>Diagrama funcional general del módulo de control y movimiento.....</i>	<i>46</i>
Figura 14	<i>Diagrama de subfunciones del módulo de control y movimiento.....</i>	<i>46</i>
Figura 15	<i>Concepto de solución para el módulo de control y movimiento.....</i>	<i>48</i>
Figura 16	<i>Diagrama funcional general del módulo de procesos y sensórica.....</i>	<i>48</i>
Figura 17	<i>Diagrama de subfunciones del módulo de procesos y sensórica.....</i>	<i>49</i>
Figura 18	<i>Concepto de solución para el módulo de procesos y sensórica.....</i>	<i>51</i>
Figura 19	<i>Diagrama funcional general del módulo de medición de energía inteligente.....</i>	<i>51</i>
Figura 20	<i>Diagrama de subfunciones del módulo de medición de energía inteligente.....</i>	<i>52</i>
Figura 21	<i>Concepto de solución para el módulo de medición de energía inteligente.....</i>	<i>53</i>
Figura 22	<i>Diagrama funcional general del módulo de procesos e industria 4.0.....</i>	<i>54</i>
Figura 23	<i>Diagrama de subfunciones del módulo de procesos e industria 4.0.....</i>	<i>54</i>
Figura 24	<i>Concepto de solución para el módulo de procesos e industria 4.0.....</i>	<i>55</i>
Figura 25	<i>Diagrama funcional general del módulo de didáctica.....</i>	<i>56</i>

Figura 26	<i>Diagrama de subfunciones del módulo de didáctica</i>	56
Figura 27	<i>Concepto de solución para el módulo de didáctica</i>	58
Figura 28	<i>Esquema P&ID del proceso de tanques</i>	77
Figura 29	<i>Vista isométrica del diseño conceptual del módulo de procesos y sensórica</i>	78
Figura 30	<i>Vista superior del diseño conceptual del módulo de procesos y sensórica</i>	79
Figura 31	<i>Tablero Industria 4.0</i>	80
Figura 32	<i>Tablero medición de energía</i>	81
Figura 33	<i>Tablero procesos y sensórica</i>	82
Figura 34	<i>Tablero didáctico</i>	84
Figura 35	<i>Topología de la red</i>	84
Figura 36	<i>Propuesta de diseño para las mesas del módulo de procesos y sensórica</i>	87
Figura 37	<i>Diagrama de cuerpo libre</i>	88
Figura 38	<i>Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos de la mesa</i>	89
Figura 39	<i>Esfuerzo de una viga con respecto al eje neutral</i>	90
Figura 40	<i>Tensión principal obtenida por software CAE</i>	91
Figura 41	<i>Desplazamiento máximo obtenido por software CAE</i>	92
Figura 42	<i>Coeficiente de seguridad del diseño de las mesas obtenido por software CAE</i>	92
Figura 43	<i>Construcción de mesas con planchas de aluminio 6061 reutilizadas y tratadas</i>	93
Figura 44	<i>Fijación de los tanques a la superficie de la mesa</i>	94
Figura 45	<i>Verificación de fugas y ensamble</i>	95
Figura 46	<i>Implementación de los módulos de procesos y sensórica</i>	95
Figura 47	<i>Cableado de sensórica al posterior del tablero</i>	96
Figura 48	<i>Esquema de conexión de conectores M12</i>	97
Figura 49	<i>Conexión de sensores con conectores M12 al maestro IO-Link</i>	97
Figura 50	<i>Red Comunicación EtherNet/IP</i>	98
Figura 51	<i>Red protocolo Profinet</i>	99

Figura 52	<i>Montaje tablero medición de energía</i>	100
Figura 53	<i>Instalación Ubuntu computador industrial</i>	100
Figura 54	<i>Montaje final tablero Industria 4.0</i>	101
Figura 55	<i>Montaje componentes control y movimiento</i>	102
Figura 56	<i>Montaje final módulo control y movimiento</i>	103
Figura 57	<i>Montaje componentes tablero didáctica</i>	104
Figura 58	<i>Interfaz de bienvenida</i>	105
Figura 59	<i>Pantalla menú de procesos</i>	105
Figura 60	<i>Pantalla inicio interfaz control y movimiento</i>	106
Figura 61	<i>Interfaz eje electromecánico EPCO</i>	107
Figura 62	<i>Interfaz eje electromecánico ERMO</i>	107
Figura 63	<i>Pantalla informativa terminales de comunicación</i>	108
Figura 64	<i>Interfaz terminal CPX</i>	109
Figura 65	<i>Interfaz terminal VTUG</i>	109
Figura 66	<i>Interfaz maestro IO-Link EtherNet/IP</i>	110
Figura 67	<i>Interfaz maestro IO-Link Profinet</i>	110
Figura 68	<i>Interfaz control y monitoreo de procesos y sensórica</i>	111
Figura 69	<i>Interfaz informativa medición de energía</i>	112
Figura 70	<i>Interfaz web personalizada de medición y energía</i>	112
Figura 71	<i>Gráficas de la interfaz web del medidor de energía KW2M</i>	113
Figura 72	<i>Tablas de la interfaz web del medidor de energía KW2M</i>	113
Figura 73	<i>Escaneo de direcciones IP en la red industrial</i>	116
Figura 74	<i>Ingreso dirección en navegador web</i>	117
Figura 75	<i>Posición home ejes electromecánicos</i>	117
Figura 76	<i>Activación eje electromecánico lineal</i>	118
Figura 77	<i>Interfaz web eje electromecánico ERMO</i>	118

Figura 78	<i>Verificación física del movimiento del eje rotativo</i>	119
Figura 79	<i>Bloque de configuración Modbus TCP</i>	119
Figura 80	<i>Datos de sensores leídos por el PLC</i>	120
Figura 81	<i>Verificación funcionamiento módulo CPX</i>	120
Figura 82	<i>Forzado de salidas del CPX</i>	121
Figura 83	<i>Activación electroválvulas desde el servidor web</i>	121
Figura 84	<i>Activación física de la electroválvula desde la interfaz web</i>	122
Figura 85	<i>Interfaz web funcionamiento etapa de preparación</i>	122
Figura 86	<i>Activación física de la etapa de preparación</i>	123
Figura 87	<i>Interfaz web funcionamiento etapa de almacenamiento</i>	124
Figura 88	<i>Activación física de la etapa de almacenamiento</i>	124
Figura 89	<i>Inicio del vaciado del tanque 2</i>	125
Figura 90	<i>Finalización del vaciado tanque 2</i>	125
Figura 91	<i>Visualización de variables con pantalla IO-Link</i>	126
Figura 92	<i>Visualización de las gráficas del consumo energético</i>	126
Figura 93	<i>Visualización en el servidor web nativo del consumo energético</i>	127
Figura 94	<i>Etapa 1 módulo didáctica</i>	127
Figura 95	<i>Etapa 2 módulo didáctica</i>	128
Figura 96	<i>Etapa 3 del módulo de didáctica</i>	128
Figura 97	<i>Pregunta 1: Expectativa de los módulos demostrativos expuestos</i>	137
Figura 98	<i>Pregunta 2: Utilidad de los módulos demostrativos</i>	138
Figura 99	<i>Pregunta 3: Materiales de apoyo</i>	138
Figura 100	<i>Pregunta 8: Se incentivo la participación</i>	139
Figura 101	<i>Pregunta 10: Se expuso aplicaciones de los módulos demostrativos en su área</i>	139
Figura 102	<i>Pregunta 13: Interés en cursos charlas o capacitaciones</i>	140
Figura 103	<i>Pregunta 14: Interés en otros módulos de Ecuainsetec</i>	140

Resumen

Este proyecto tiene como propósito actualizar el contenido de un centro de exposición móvil implementado en el interior de una furgoneta de Ecuainsetec, denominado Expotainer, se parte de los requerimientos de la empresa para el diseño, construcción e implementación de cinco módulos didácticos que conforman la red industrial con procesos que pueden ser monitoreados y controlados a través de un navegador web ya que el PLC FP7 permite el desarrollo de aplicaciones de Industria 4.0 e IIOT. El módulo de procesos y sensórica utiliza un PLC S7-1200, pantalla HMI para la visualización, sensores con tecnología IO-Link, periferia descentralizada para la activación de actuadores eléctricos y neumáticos, mediante Profinet y Ethernet, además se realizó el diseño de la mesa que servirá de soporte para los tanques, validando el diseño seguro mediante simulación CAD y CAE. Se cuenta con un módulo con ejes electromecánicos de movimiento lineal y rotativo controlados con un PLC CECC de Festo por IO-Link y Modbus. Se implementó un sistema de medición de energía inteligente, finalmente para el módulo de didáctica se presenta un problema de la industria empleando neumática, electroneumática y PLC para brindar una solución integral. Se realizaron pruebas para validar el adecuado funcionamiento de cada módulo implementado, posteriormente se realizaron presentaciones en las instalaciones de las empresas a nivel nacional, registrando a los participantes de la “Gira de la Productividad de Ecuainsetec” con la Expotainer durante diez semanas para validar la hipótesis planteada en este proyecto.

Palabras Clave: Industria 4.0, Internet industrial de las cosas IIOT, IO-Link, neumática, red Industrial.

Abstract

The purpose of this project is to update the content of a mobile exhibition center implemented inside an Ecuainsetec van, called Expotainer, based on the requirements of the company for the design, construction and implementation of five educational modules that make up the industrial network with processes that can be monitored and controlled through a web browser since the PLC FP7 allows the development of Industry 4.0 and IIOT applications. The process and sensor module uses a PLC S7-1200, HMI screen for visualization, sensors with IO-Link technology, decentralized periphery for the activation of electric and pneumatic actuators, through Profinet and Ethernet, also the design of the table that will support the tanks was made, validating the safe design through CAD and CAE simulation. There is a module with electromechanical axes of linear and rotary motion controlled with a Festo CECC PLC via IO-Link and Modbus. An intelligent energy measurement system was implemented. Finally, for the didactic module, an industry problem is presented using pneumatics, electro-pneumatics and PLC to provide an integral solution. Tests were conducted to validate the proper functioning of each module implemented, then presentations were made at the facilities of companies nationwide, registering the participants of the "Ecuainsetec Productivity Tour" with the Expotainer for ten weeks to validate the hypothesis put forward in this project.

Keywords: Industry 4.0, Industrial Internet of Things IIOT, IO-Link, pneumatics, Industrial network.

Capítulo I

Generalidades

En este capítulo se plantea el problema del cual se parte para brindar una solución integral, partiendo desde el planteamiento de los objetivos los cuales están en dados desde el punto de vista del desarrollo de un prototipo, también se plantea la hipótesis que permitirá validar la ejecución de este proyecto.

Planteamiento del problema

El analfabetismo digital no es más que el desconocimiento de nuevas tecnologías y en el Ecuador ha producido que pequeñas y medianas empresas (PyMEs) se encuentren en desventaja, puesto que no pueden implementar la formación de recursos humanos, así mismo existe falta de estándares de normalización, estructuras empresariales rígidas y el salto a la innovación tecnológica de la nueva industria, todo lo mencionado genera un importante riesgo ya que las PyMEs pueden quedar rezagadas o incluso desaparecer ante el desarrollo de nuevas tecnologías en la industria. (Chacón-Ramírez et al., 2020)

Ecuainsetec mediante su equipo de trabajo brinda asistencia técnica, capacitaciones y soluciones efectivas a los sectores de la industria ecuatoriana, la empresa cuenta con el respaldo de equipos dispositivos, productos y accesorios de marcas con gran reconocimiento en el mercado y que además son las más utilizadas a nivel mundial, dichos productos son reconocidos por su excelente calidad en el área de la automatización industrial tales como: Festo, IFM Electronics, Panasonic, WAGO, BrainChild, entre otras.

Dado que en la industria existen varios protocolos de comunicación, Ecuainsetec dispone de equipos y módulos que utilizan redes industriales multiprotocolo como Profinet, Modbus TCP/IP, EtherNet/IP y la tecnología IO-Link empleada en sensores y actuadores como elementos de campo. Los protocolos descritos son los más utilizados e igualmente tienen facilidad de adquisición y monitoreo de datos en sistemas industriales de control y

automatización de procesos. (Miranda, 2020)

La actualización de nuevas tecnologías trae consigo algunas ventajas que van desde mejorar la calidad de sus productos y servicios hasta la reducción significativa de tiempos y costos de producción, además se puede conocer la información y datos de los procesos industriales en tiempo real. (Rendon Trejo et al., 2019)

Teniendo en cuenta esta problemática Ecuainsetec, una compañía que se enfoca en brindar servicios de automatización industrial además de ofrecer a la industria ecuatoriana la posibilidad de aumentar su productividad en varios procesos, cuenta con más de 30 años de experiencia pero actualmente se ha propuesto desarrollar módulos demostrativos individuales o sistemas completos con fines didácticos y demostrativo la idea es llevar muestras móviles de los equipos que Ecuainsetec comercializa con el finalidad de solventar problemas y mejoras en la industria, de esta manera se pretende llegar a potenciales clientes.

El motivo del presente proyecto es implementar una red industrial multiprotocolo que permita integrar gran parte de la alta gama de equipos y dispositivos neumáticos, eléctricos y electrónicos que Ecuainsetec maneja bajo sus líneas de negocio con el objetivo de mostrar lo fácil que es integrar diferentes marcas que se manejan en la industria nacional, equipos que permitan al cliente adentrarse en la nueva Industria 4.0 y a su vez solventar problemas que se pueden presentar en la maquinaria utilizada en su cadena de producción, por esta razón se desarrolló una red industrial que cuenta con un potente módulo de adquisición de datos siendo este el elemento central y la parte más importante de la red, un módulo de control que se comunicará con otros PLC subordinados para realizar tareas y/o procesos, tales como el manejo de sensores inteligentes y bloques de válvulas como elementos de mando de actuadores neumáticos IO-Link, estos están enfocados en la medición y control de las variables físicas más importantes de la industria, alguno de ellos son: temperatura, presión, caudal, nivel de diferentes fluidos, esto como parte de la integración de equipos de la línea comercial de sensórica y procesos. Para la línea de control y movimiento se pretende desarrollar un

subproceso que realice movimientos precisos en ejes electromecánicos lineales y rotativos, además de incluir en esta red industrial el monitoreo remoto gracias al desarrollo de una plataforma web que es factible por la integración del plc o módulo de adquisición de datos con enfoque a la Industria 4.0. Así es como se pretende elevar el foco de atención de potenciales clientes que buscan la mejoría de su calidad, el presupuesto para implementar este tipo de proyectos es elevado por lo que Ecuainsetec buscar ser más competitivo. llevando este sistema de red industrial hacia una unidad móvil o furgoneta propiedad de la empresa, se denomina Expotainer.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar, construir e implementar una red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0 mediante el uso de tecnologías IO-Link e IIOT en la Expotainer de Ecuainsetec CIA LTDA. como una alternativa de exposición eficiente de los servicios de la empresa a los clientes.

Objetivos específicos

- Diseñar una red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0. para seleccionar los componentes y equipos a utilizar en cada subproceso.
- Construir los módulos demostrativos del sistema multitanque, del módulo de ejes electromecánicos y los tableros de control para implementarlos en la Expotainer.
- Implementar un sistema de medición de energía para monitorear el consumo energético de la red industrial.
- Diseñar las interfaces gráficas de los subprocesos la red industrial multiprotocolo para el monitoreo mediante la tecnología IIOT.
- Programar los controladores PLC de la red industrial mediante el uso de la norma IEC 61131-3 para realizar la intercomunicación y control de los equipos.

- Realizar pruebas de funcionamiento de la red industrial multiprotocolo que permita la validación de la hipótesis.

Justificación e importancia

En los últimos años Latinoamérica ha tenido varios cambios en su desarrollo económico, sin embargo, no ha logrado alcanzar el mismo nivel de países del primer mundo, lo que ha provocado una inestabilidad y cierta desconfianza por parte de inversores en la industria, a pesar de esto, grandes empresas de Latinoamérica han iniciado procesos de industrialización siendo Colombia, México, Brasil y Chile los países pioneros en impulsar la Industria 4.0 para buscar un espacio en el mercado internacional. (Duque, 2021).

Según (Núñez & Montero, 2019) en Ecuador se carece de innovación tecnológica en el sector industrial, ya que solo las medianas y grandes empresas cuentan con procesos automatizados y semi automatizados, mientras que las pequeñas empresas continúan realizando su producción de manera manual, dicha desinformación tecnológica ha llevado a una resistencia en la innovación de procesos industriales, para cambiar esto la industria ecuatorianas debe empezar a incluir un cambio en las actividades tanto tecnológicas como administrativas que permitan la obtención y procesamiento de datos con una comunicación efectiva a todos los actores de la planta por lo que también es imprescindible la capacitación adecuada al personal técnico.

Las ventajas que tendrían las industrias ecuatorianas al implementar tecnologías de la Industria 4.0 van desde generar crecimiento y posicionamiento en el sector manufacturero, cambios en los modelos de negocio, impacto en la cultura organizacional, optimización de operaciones tanto en velocidad como en productividad, flexibilidad. (Pacheco, 2020)

Ecuainsetec como parte de sus estrategias ante la desinformación de las nuevas tecnologías industriales se ha propuesto el desarrollo de una red industrial multiprotocolo con procesos automatizados implementados en una unidad móvil (furgoneta) denominada Expotainer con la cual las empresas puedan conocer la funcionalidad de la alta gama de

productos y equipos que cuentan para su comercialización, dando así a la industria ecuatoriana una opción moderna de soluciones para la automatización y control de procesos.

Adicionalmente Ecuainsetec utiliza estos módulos demostrativos como material didáctico con fines educativos en capacitaciones abiertas al público interesado en el manejo de las nuevas tecnologías con el fin de reducir la brecha de la desinformación tecnológica con los países desarrollados industrialmente. (Miranda, 2020)

Por lo que el desarrollo de este proyecto está planteado como una solución mecatrónica en beneficio de la industria ecuatoriana puesto que al implementar la red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0 en la Expotainer de Ecuainsetec servirá como herramienta innovadora de trabajo para los asesores comerciales que serán los encargados de dar a conocer los equipos, dispositivos y servicios que Ecuainsetec como empresa de automatización industrial ofrece innovación tecnológica de prestigio mundial al alcance de las empresas ecuatorianas abriendo paso hacia el futuro de la industria y el desarrollo nacional.

Hipótesis

¿El diseño, construcción e implementación de una red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0 mediante el uso de tecnologías IO-Link e IIOT en la Expotainer de Ecuainsetec CIA LTDA. servirá como una alternativa de exposición eficiente de los servicios de la empresa a los clientes.?

Variables de la investigación

Variable independiente

Red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0 mediante el uso de tecnologías IO-Link e IIOT en la Expotainer de Ecuainsetec CIA LTDA.

Variable dependiente

Alternativa de exposición eficiente de los servicios de la empresa a los clientes.

Capítulo II

Marco teórico

En este capítulo, se hará uso de los recursos bibliográficos que permitan establecer la conceptualización teórica de los elementos o equipos que se requiere utilizar, con la finalidad de llevar a cabo en capítulos posteriores una selección de componentes idóneos y eficientes para elaborar un diseño robusto y funcional.

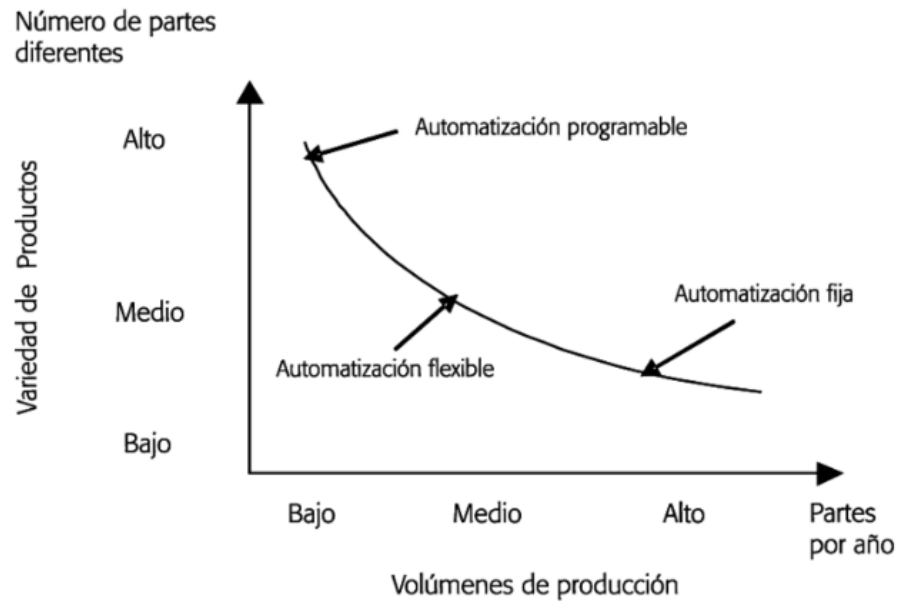
Automatización Industrial

Una de las definiciones de la automatización industrial dice, es la agrupación de técnicas afiliadas que unifican sistemas mecánicos, electrónicos, neumáticos, hidráulicos, entre otros, que son comandados por ordenadores o controladores lógicos programables, con el fin del control y la operación de la producción. Otra definición de la automatización industrial es la integración de varios procedimientos, protocolos y metodologías que se sincronizan para la operación sistemática de maquinaria que realizan tareas o procesos repetitivos que suelen ser desarrolladas por el ser humano de tal modo que se reduzca el esfuerzo físico que el trabajador realiza al ser asistidos por maquinaria sincronizada y comandada por controladores inteligentes, por ende mejora las condiciones laborales de seguridad y la integridad del recurso humano operacional, optimizando el rendimiento en la producción de la industria al desarrollo de algún producto, permitiendo a la misma competir de mejor manera en el mercado globalizado.

En la automatización industrial se identifican tres clases de automatización en función de los volúmenes de producción y variedad del producto generado, donde se tiene: automatización fija, automatización programable y automatización flexible. En la Figura 1, se muestra el tipo de automatización en función del volumen de producción y la variedad de productos. (Vallejo & Vallejo, 2006)

Figura 1

Gráfica volúmenes de producción vs variedad de producto.



Automatización fija

Esta clase de automatización es viable cuando el volumen producción justifica el coste de la inversión, dado que los equipos utilizados son enfocados al procesamiento de un producto determinado con un alto nivel de tasas de producción.

Automatización programable

Esta clase es viable cuando el volumen de producción es relativamente bajo, pero con una mayor diversidad de producción por lo que pueden ser adaptables con la configuración de las variables del producto, por lo que el uso de un software que permita esta configuración es muy utilizado en esta clase.

Automatización flexible

La automatización flexible es la más idónea cuando se tiene un rango de producción medio ya que están constituidos por un grupo de estaciones de trabajo interconectadas y controladas por un computador dado que es producto de la interacción de la automatización fija con la programable. (Naranjo & Sandoval, 2013)

Redes Industriales

El desarrollo tecnológico que se originó con la revolución industrial en el siglo XX, conllevó a una mejora en la calidad y en la producción, además disminuyó los riesgos laborales y costes, gracias al concepto de automatización que buscaba reemplazar sistemas mecánicos por sistemas eléctricos, con el avance de la automatización también se fue desarrollando las redes industriales. (Hurtado, 2017)

Como cualquier sistema de intercomunicación se encuentra formada por tres partes:

Sistema emisor

Elemento que comunica información con un formato de datos propio del sistema, transformando y codificando la señal generando señales compatibles con el medio o sistema físico.

Sistema físico de transmisión

Es a su vez soporte físico por donde se propagan las señales como estructura topológica del sistema de transmisión.

Sistema receptor

Elemento que recibe la información, realiza el proceso inverso al sistema emisor, recibe la información del receptor y los decodifica, ya que comparte el mismo lenguaje y sistema de codificación, además de considerar cuestiones de seguridad, privacidad y autenticidad. (Oliva et al., 2013)

Sistemas industriales de control

Se puede clasificar a los sistemas industriales de control en tres categorías: control centralizado, control distribuido y abiertos.

Control centralizado

Utilizada en sistemas simples no muy complejos, donde un elemento de control es el encargado de realizar todas las tareas, con este tipo de metodologías no es necesario un

sistema de intercomunicación ya que únicamente un sistema gestiona todas las señales.

Control descentralizado

Se requiere de un grupo de procesos que trabajan de manera independiente, por lo que se precisa una intercomunicación a través de una red de comunicación para la transferencia de información.

Control abierto

Se refiere a un tipo de gestión de planta que puede usar cualquier estrategia desde control centralizado hasta control distribuido, utilizando elementos de diferentes fabricantes, incluso puede trabajar con diferentes protocolos de comunicación. (González-Filgueira & Permuy, 2018)

Modelos OSI

El modelo OSI (Open System Interconnection) es un modelo de comportamiento para sistemas de control abiertos que cuenta con 7 niveles o capas, en los cuales se define como deberá actuar una red de comunicación.

Capa física

Elementos físicos de la conexión, define el medio físico de transmisión, maneja las señales eléctricas y define las características de los materiales.

Capa de enlace de datos

Esta capa construye la trama de información además de controlar que la transmisión se realice de manera correcta.

Capa de red

Este nivel se encarga que los datos puedan llegar desde el transmisor al receptor, se encarga de identificar el camino existente entre una o más redes.

Capa de transporte

Esta capa transporta paquetes de datos de información desde el dispositivo emisor al de

llegada, independientemente del tipo de red física que se utilice.

Capa de sesión

Estableciendo una sesión entre dos máquinas se puede efectuar las operaciones definidas de principio a fin y reanudar la sesión en caso de interrupción.

Capa de presentación

Esta capa asegura que los datos lleguen a los usuarios de forma entendible a pesar de los distintos protocolos utilizados tanto en un receptor como en un transmisor. Traducen una cadena de caracteres en algo entendible.

Capa de aplicación

Esta capa permite ejecutar acciones y comandos a los usuarios en sus aplicaciones.

Protocolos de comunicación Industrial

Se define como Protocolo de Comunicación a los conjuntos de reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos en tiempo real entre los dispositivos que conforman una red industrial, por lo que algunos protocolos son: (Estrada, 2018)

Modbus TCP/IP

Es utilizado para la trasmisión de información en redes industriales, pues es un protocolo de comunicación abierto, los dispositivos que trabajan con este protocolo lo hacen de tal modo que un maestro Modbus TCP/IP solicita la información y los esclavos Modbus TCP/IP proporcionan la información requerida, debido a esto la gran mayoría de fabricantes de dispositivos industriales como PLC, computadores, drivers para motores, optan por integrar este protocolo en sus equipos.

Profinet

Es una de las soluciones de comunicación industrial más avanzadas del mundo puesto que es un estándar de EtherNet/IP industrial para la automatización de procesos, además de reducir costos en su instalación posee una red segura y rápida siendo un protocolo ideal en

cualquier industria. (Profinet, 2021)

EtherNet/IP

Es un protocolo de red industrial que trabaja en la capa más alta del modelo TCP/IP y OSI, donde se labora con los dispositivos y facilita la comunicación entre los controles y los dispositivos de entrada y salida. (Editorial Control, 2018)

IO-Link

Si bien no es un protocolo de comunicación, IO-Link es el resultado del perfeccionamiento de técnicas de conexiones punto a punto para sensores y actuadores inteligentes, que se integran de manera uniforme a nivel de campo siendo así un sistema de comunicación industrial económico y de gran capacidad. (ECUAINSETEC, 2021)

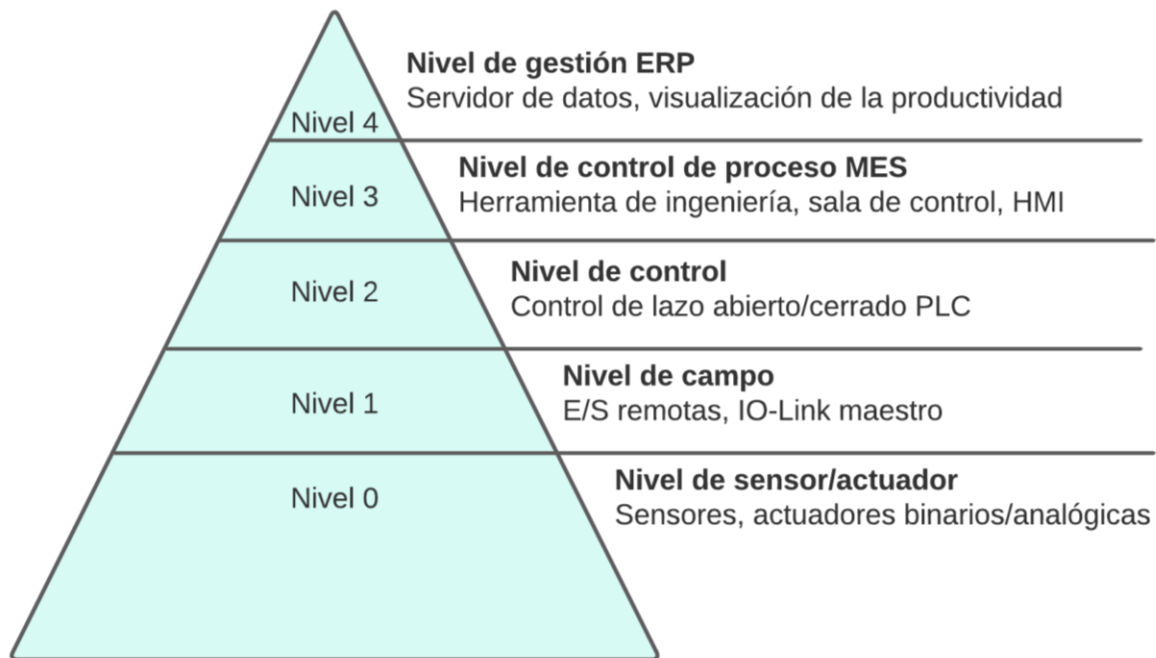
Pirámide de la automatización

Se había dicho que la automatización es una integración de tecnologías tanto clásicas (mecánica y electricidad) como modernas (electrónica, informática, telecomunicación), toda esta integración puede verse resumida en modo gráfico en la llamada pirámide de la automatización o CIM. (Boza, 2021)

La pirámide de la automatización es una estructura estratégica jerarquizada enfocada a la intercomunicación de cada uno de los niveles que conforman un proceso de producción en una planta, integrando de una manera eficiente el talento humano, procesos industriales, información en tiempo real y tecnologías de modo que usar esta pirámide como guía puede conllevar a una mayor eficiencia y competitividad por parte de las empresas como se aprecia en la Figura 2. (Rodríguez, 2007)

Figura 2

Pirámide de la automatización.



Éste es el modelo de automatización más difundido en el ambiente de manufactura por la ISO (International Standard Organization). Los niveles especificados son los siguientes:

Nivel 0 o nivel de instrumentación o de campo

Este nivel viene siendo el de menor rango en la pirámide, ya que se caracteriza por la existencia de dispositivos subprocesos y maquinaria en general, en este nivel también se encuentra toda la parte de instrumentación como sensores, actuadores, variadores de frecuencia, válvulas entre otros que realizan las operaciones más elementales de una producción industrial. Aquí se envía y recibe las señales hacia y desde el nivel 2.

Actuadores

Los actuadores ejecutan las órdenes de los equipos de control para manipular el proceso. Los actuadores como elementos de campo final en los procesos pueden ser alarmas visuales o sonoras, así también motores, válvulas, cilindros, entre otros, que pueden ser

accionados por mando eléctrico, neumático, mecánico o hidráulico siendo los dos primeros los mandos más utilizados en la industria con terminales de válvulas y controladores de válvulas neumáticos y válvulas neumáticas. En la Figura 3, se observa un cilindro neumático, un actuador giratorio y una válvula pinch. (Rangel, 2009)

Figura 3

Actuadores cilindro neumático, actuador giratorio y válvula pinch

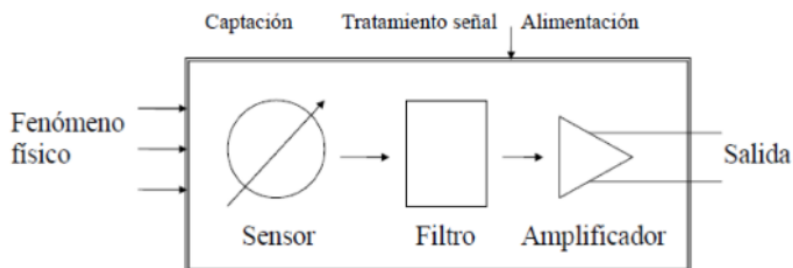


Sensores

Los sensores son los encargados de captar las magnitudes del medio las mismas que pueden ser variaciones de luz, temperatura, presión entre otros para posteriormente parametrizar esa magnitud en una variable para la toma de decisiones. Los sensores entregan señales eléctricas en la salida ya sean análogas o digitales, este tipo de sensores es el más utilizado en los sistemas actuales. En la Figura 4, se muestra el funcionamiento de un sensor ante un fenómeno físico. (Corona et al., 2014)

Figura 4

Funcionamiento de un sensor



Sensores de Proceso IO-Link

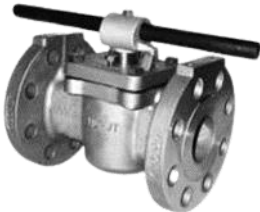

La tecnología de comunicación con sensores inteligentes IO-Link permite monitorear variables físicas presentes en procesos industriales como presión, flujo y temperatura de fluidos líquidos o gaseosos, nivel de tanques o depósitos con una precisión muy elevada y con la posibilidad de monitorear y registrar las variables en tiempo real de una manera fiable y segura también estos dispositivos permiten una configuración remota. (IFM, 2021)





Válvulas

Son instrumentos de control utilizados para limitar o detener por completo el paso de un fluido (líquido o gaseoso) a través de una tubería ya sea abriendo o cerrando el paso mediante una pieza o conjunto de piezas móviles de forma parcial o total en uno o más orificios. Las válvulas pueden ser clasificadas mediante su accionamiento ya sea de mando manual, mecánico, neumático y eléctrico de igual manera existe una gran variedad de tipos de válvulas como se muestra en la Tabla 1. (Rangel, 2009)

Tabla 1

Tipos de Válvulas de procesos

Tipo de válvula	Gráfico	Definición
Válvulas de Macho		Posee un obturador troncocónico que gira sobre su eje central mediante una palanca.
Válvulas de Mariposa		Válvula macho de diseño sencillo para aplicaciones de baja presión.

Tipo de válvula	Gráfico	Definición
Válvulas de Bola		Válvula macho que brinda un cierre hermético con una baja torsión (par).
Válvulas Distribuidoras		Permiten el paso del flujo de acuerdo a su distribución de vías ya sean normalmente abiertas o cerradas.
Válvula tres vías		Válvula que posee dos salidas y una entrada.
Válvula aprisionadora		Posee un aplastador que se aplasta o comprime entre sí en forma de tubo para limitar el paso del flujo.

Terminales de válvulas

Desde 1989 Festo ha ido mejorando su terminal de válvulas, concepto que nace partir de la unión de válvulas electromagnéticas modulares (integración eficaz de válvulas neumáticas con conexiones eléctricas) siendo estas las más rentables y flexibles que los mandos de control netamente neumáticos para aplicaciones específicas ya que reducen la

cantidad de tubos flexibles que se requieren para su instalación. (Festo, 2021)

Ejes electromecánicos

Los ejes de voladizo, p \acute{o} rtico y giratorios se caracterizan por su gran capacidad de carga, fuerza, velocidad y precisi \acute{o} n la cual se asegura en cada movimiento. Los mismos se ocupan para diversas aplicaciones como: Sistemas de dosificaci \acute{o} n, impresi \acute{o} n, desplazamiento, apertura de d \acute{a} mperes, ajuste de productos (control torque), plato divisor, movimientos de traslaci \acute{o} n, etc. Garantizando movimientos exactos y un aumento en la productividad de producci \acute{o} n adem \acute{a} s de una sencilla y f \acute{a} cil integraci \acute{o} n ya que se pueden adaptar a varios procesos a trav \acute{e} s de protocolos de comunicaci \acute{o} n como Modbus TCP/IP, EtherNet/IP, Profinet o IO-Link.

Nivel 1 o nivel de campo y proceso

Es el nivel donde se encuentran los dispositivos de control como lo son PLC, , dispositivos accionados por periferia descentralizada, computadores industriales, controladores encargados del control y manipulaci \acute{o} n del proceso. Las se \acute{n} ales llegan desde el nivel inferior mediante cables individuales o mediante redes de comunicaci \acute{o} n dedicadas para sistemas y subsistemas.(Boza, 2021)

PLC

Un PLC es dispositivo de control computarizado industrial que cuenta con entradas y salidas que cumplen las instrucciones de una l \acute{o} gica de programaci \acute{o} n secuencial para realizar procesos autom \acute{a} ticos ya sean continuos o discontinuos cumpliendo satisfactoriamente con funciones como la temporizaci \acute{o} n, el conteo y la l \acute{o} gica utilizando elementos internos propios del PLC, eliminando as \acute{i} las conexiones por l \acute{o} gica cableada. (Mart \acute{i} nez, 2015)

Los lenguajes est \acute{a} ndares de programaci \acute{o} n se pueden clasificar en dos categor \acute{i} as de acuerdo a la norma internacional IEC 61131-3 que son lenguajes de tipo gr \acute{a} fico y de tipo textual, por ello se tiene a los diagramas de funciones secuenciales (SFC) o GRAFCET, al

diagrama de bloques de funciones (FBD) y el diagrama de escalera o Ladder para los lenguajes gráficos y el manejo de texto estructurado (ST) y la lista de instrucciones para el lenguaje textual. (Arias, 2019)

En la industria se trabaja con diferentes tipos de PLC entre los que se tiene:

PLC nano

Es un PLC de gama baja ya que tiene un limitado número de entradas y salidas, por lo que es utilizado en procesos de poca complejidad.

PLC compacto

Es un PLC con un mayor número de entradas y salidas que el tipo Nano, además de contar con más elementos de trabajo y funciones.

PLC modular

Este tipo de PLC facilita la ampliación de entradas y salidas tanto análogas como digitales mediante el acoplamiento de módulos de expansión sin la necesidad de mayores cambios en su estructura de hardware y software.

PLC para industria 4.0

Este tipo de PLC tiene herramientas enfocadas al IIOT, por lo que trabaja con protocolos de comunicación potentes lo que le permite mayor seguridad en envío de datos, enviar alertas por medio de correo electrónico, guardar datos históricos, además permite la visualización de datos web en tiempo real mediante servidores web embebidos, entre otros beneficios.

Computador industrial

Los sistemas modernos de automatización requieren de computadores industriales capaces de cumplir con tareas muy exigentes dentro de la industria, las mismas que no pueden ser llevadas por computadores de menor potencia por ello suelen ser computadores mucho más robustos tanto mecánico como eléctrico.(Barrientos & Gambao, 2014)

Sus aplicaciones son:

- Almacenar datos
- Supervisión de procesos
- Control

Nivel 2 o nivel de supervisión y control

En este nivel está encargado de la supervisión y la adquisición de datos. Aquí se encuentran equipos de visualización, autómatas de supervisión y computadores industriales especializados. Las tareas de este nivel son la supervisión de todo el proceso, mantenimiento correctivo y preventivo, optimización de operaciones, control de calidad. En este nivel se implementa los sistemas SCADA, dependiendo de la empresa este nivel admite cargar órdenes, consignas y recibir estados del proceso hacia y desde el nivel 1 de control.

HMI

Los sistemas HMI o Interfaz Humano Máquina son el medio por el cual el ser humano interactúa con un proceso, máquina, aplicación o dispositivo, para proporcionar una interfaz de control, monitorización y diagnóstico, gestionando así de mejor manera el proceso que se caracteriza por ser amigable con el usuario y operativo para la planta. (Barrios & Galeano, 2014)

Es un entorno digital mediante una interfaz en la cual se representan gráficamente los procesos que se deseen controlar, además de incluir alarmas y advertencias en tiempo real en pantalla lo que permite la reducción de riesgos y mejora la toma de decisiones en la planta. (Pérez-López, 2015)

Nivel 3 o nivel de gestión

Este es el nivel de planificación donde se encuentran los sistemas de ejecución de producción (MES). En este nivel se realiza la gestión de recursos de fabricación, programación de la producción, gestión de compras, control de inventarios, gestión de calidad, gestión de mantenimiento, gestión de materiales y análisis de costes de fabricación. Este nivel tiene

comunicación de los niveles 1 y 2 para recibir información necesaria para ejecutar las tareas que le corresponden.

Es el nivel de la cúspide de la pirámide y se encarga de la gestión y la componen los sistemas de gestión integral de la empresa (ERP). En este nivel se realiza la gestión comercial y de marketing, investigación y desarrollo, planificación estratégica, planificación financiera y administrativa, gestión de recursos humanos, ingeniería de proceso, gestión de la tecnología, gestión de los sistemas de información, ingeniería del producto.

Topología de red industrial

Una topología de red es una representación gráfica de la conexión los dispositivos entre sí. Es la disposición de los enlaces o nodos de las redes de comunicación industrial. La estructura topológica física hace referencia a los diferentes componentes de la red, incluida la ubicación y cableado de los dispositivos, mientras que la topología lógica indica como se transfieren los datos en los dispositivos de la red, independientemente del diseño físico implementado y se pueden definir tanto el aspecto físico como el lógico de la red.

Tipos de topologías en redes industriales

La disposición física en la que encuentran distribuidos e interconectados los elementos que conforman una red industrial reciben el nombre de topologías, las topologías de redes más comunes en la industria son: (Rubio, 2015)

- **Red punto a punto:** Es la conexión más sencilla, es una comunicación punto a punto entre dos dispositivos por ejemplo entre un PLC y un PC, su principal desventaja es que, si un dispositivo tiene que comunicarse con otros dispositivos, hay que establecer una conexión distinta para cada uno de ellos. En la Figura 5, se muestra la topología de red punto a punto.

Figura 5

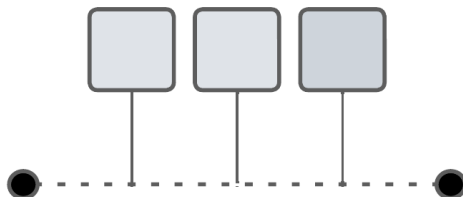
Red punto a punto

**Bus lineal**

Estructura de línea, todos los usuarios se comunican a través de una línea común. Los sistemas de bus de campo clásicos, como Profibus presentan este tipo de topología. En la Figura 6, se muestra la topología de red de bus lineal.

Figura 6

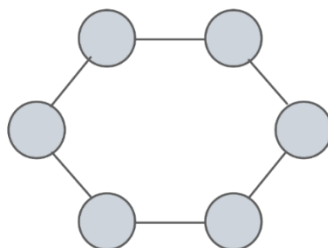
Bus lineal

**Anillo**

Es una topología de red en la que cada nodo se conecta exactamente a otros dos nodos, formando una única ruta continua los mensajes son transmitidos de un usuario al siguiente mediante una conexión de dos puntos. En la Figura 7, se muestra la topología de red anillo

Figura 7

Topología tipo anillo

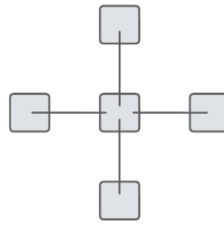


Estrella

Una estación central se encuentra conectada a todos los usuarios, también denominado Master. Para la topología en estrella, se debe contar con un equipo central a los nodos de forma individual, como un puerto hub o un switch. Esta topología requiere un cable por dispositivo, si bien ocupa más cables, la ventaja de esta topología es que, si se cae una línea de comunicación, solo ese dispositivo dejara de funcionar, los demás nodos de la red continuarán funcionando. En la Figura 8, se muestra la topología de red tipo estrella

Figura 8

Topología tipo estrella

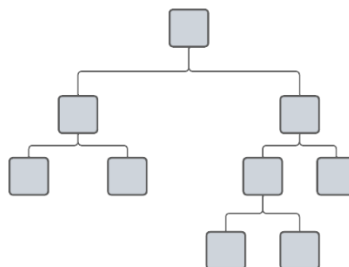


Árbol

Una topología de árbol distribuye la información a distintos nodos conectados entre sí a elementos de distribución en función de su tamaño, se puede considerar una topología en estrella expandida. Como una red Ethernet/IP que utiliza switches como componente de distribución. En la Figura 9, se muestra la topología de red tipo árbol.

Figura 9

Topología tipo árbol



Para lograr esta comunicación se utilizan protocolos que permiten la transferencia e intercambio de datos entre elementos que conforman una red industrial, además las redes permiten jerarquizar los procesos dividiéndolo en diversos niveles lo que trae ventajas como: mayor accesibilidad a la información, diagnóstico remoto y menores costes de mantenimiento.(Ortiz, 2011)

Capítulo III

Diseño de la Red Industrial

Se detalla de manera sistemática los elementos necesarios para el desarrollo del proyecto, partiendo de las necesidades y requerimientos para generar un concepto por módulo que la empresa desea en el producto final, con la selección de componentes de la red industrial de tal modo que sea multiprotocolo y apta para controlar procesos enfocados a la Industria 4.0 desatacando los equipos que Ecuainsetec

Requerimientos de diseño

Este proyecto también tiene como objetivo generar mayor confianza con el cliente y dar a conocer la amplia gama de servicios que Ecuainsetec brinda como empresa a la industria ecuatoriana de una forma innovadora, la dotación de material didáctico móvil brinda a los asesores técnicos la posibilidad de realizar mejores presentaciones y solventando así de manera efectiva las dudas que el cliente pueda tener en su propio lugar de trabajo.

La presente red industrial con enfoque a la Industria 4.0 está diseñada de tal manera que los tableros ubicados en los costados laterales internos de la furgoneta sirven de soporte y panel de presentación de los equipos más importantes de la red, siendo esto de gran importancia al momento de realizar la distribución organizada de los componentes puesto que esto será clave al momento de realizar una presentación seccionada favoreciendo a que la información presentada sea más comprensible al público.

Por lo que, para el diseño de la red industrial, material didáctico y la distribución de los componentes y se partió del levantamiento de necesidades y requerimientos de la empresa para el desarrollo de la Expotainer, por lo que en la figura 10 se presenta las necesidades de Ecuainsetec con las métricas propuestas para solventar cada uno de los requerimientos.

Figura 10

Necesidades reflejadas en métricas

Requerimientos	Métricas																
	Diseño mecánico seguro	Cantidad de protocolos implementados	Cantidad de sensores inteligentes	Número de servicios ofertados	Número de componentes enfocados a la industria 4.0	Número de personas interesadas en charlas	Número de interfaces web interactivas	Validación de diseño seguro por software	Número de circuitos a medir	Nivel de aceptación del cliente	Nivel de participación interactiva del cliente	Nivel de interés del cliente por conocer otros temas	Tiempo de duración de la exposición	Porcentaje interesado en una visita personalizada	Cantidad de variables monitoreadas en tiempo real	Número de componentes de periferia descentralizada	Tiempo de puesta en marcha de la Expotainer
Módulos y tableros robustos	*						*										
Exposición interactiva		*	*			*	*	*	*	*	*	*					
Planta didáctica de tanques				*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	
Control y monitoreo en tiempo real				*	*		*	*	*	*	*	*					
Contenido informativo					*	*	*	*	*	*	*	*					
Mostrar los servicios de Ecuainsetec				*	*	*	*				*	*	*				
Sistema inteligente de medición de energía				*	*		*	*	*	*	*	*		*			
Reutilización de componentes					*		*										
Uso intuitivo						*	*		*	*	*		*			*	*
Contenido focalizado a la industria				*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Promover cursos, charlas y capacitaciones				*		*			*	*	*	*					
Incentivar la migración a la industria 4.0				*	*		*		*				*				
Destacar componentes relevantes				*	*		*		*	*	*	*	*	*			
Implementación de sensorica inteligente			*	*	*	*	*		*	*	*	*					
Interfaz web interactiva e informativa				*	*		*	*	*	*	*	*		*			
Red con comunicación multiprotocolo	*		*	*	*			*	*	*	*	*					
Fácil puesta en marcha																	*
Uso de periferia descentralizada			*	*	*										*		

Nota. Requerimientos de Ecuainsetec propuestas por los asesores técnicos y didáctica para el desarrollo de la Expotainer y métricas como solución.

El diseño conceptual de cada tablero y módulo de demostración serán enfocados con el fin de solventar todos los requerimientos de la empresa y de los asesores técnicos quienes será las personas que presentarán la Expotainer, por lo que la distribución adecuada del

espacio disponible en el interior de la furgoneta es importante ya que de ello dependerá la cantidad de dispositivos visibles que se presentarán al público, por lo que la distribución se realizó en cinco secciones presentadas en la Figura 11, el contenido de estos módulos integra de manera didáctica los servicios que Ecuainsetec ofrece a sus clientes en la Expotainer.

Figura 11

Esquema de distribución de los módulos en el interior de la Expotainer



Diseño de concepto

La siguiente etapa del proceso de diseño de concepto conlleva al bosquejo del contenido de cada módulo y tablero de la Figura 11 con la separación de los subprocesos funcionales que serán parte del contenido de la Expotainer como se indica en la Figura 12.

Figura 12

Subprocesos funcionales de la Expotainer

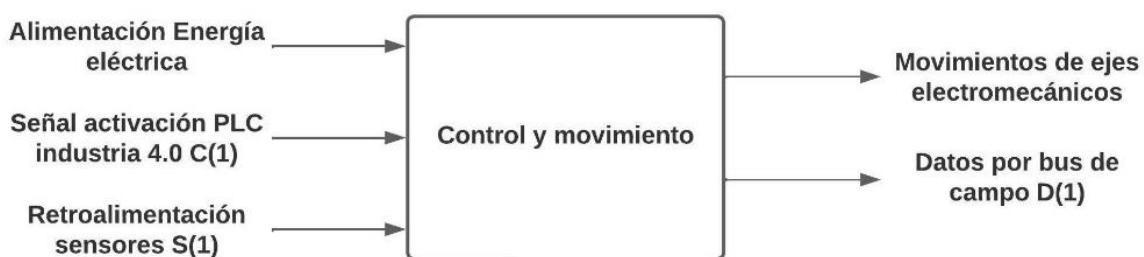


Control y movimiento

Para el módulo de control y movimiento se tiene previsto la implementación de un subproceso controlado mediante un servidor web, para ejecutar el movimiento de ejes electromecánicos. En la Figura 13 se muestra el diagrama funcional del flujo de entradas y salidas de la caja negra que conforman el módulo.

Figura 13

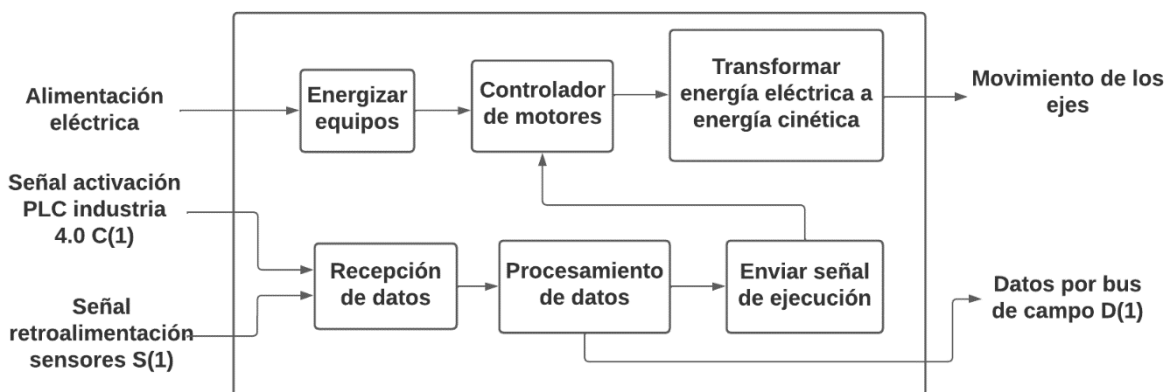
Diagrama funcional general del módulo de control y movimiento



En la Figura 14 se realiza una descripción más específica de las subfunciones requeridas para la activación del módulo, se requiere alimentación eléctrica, además de permitir la lectura de sensores, procesar y ejecutar las instrucciones dadas por el usuario mediante un servidor web, teniendo como salida el movimiento de los ejes y un bloque de datos por bus de campo con la información de los ejes hacia el PLC de Industria 4.0.

Figura 14

Diagrama de subfunciones del módulo de control y movimiento



En la Tabla 2 se muestran las diferentes opciones de conceptos que permiten el desarrollo de las subfunciones para ejecutar el movimiento de los ejes.

Tabla 2

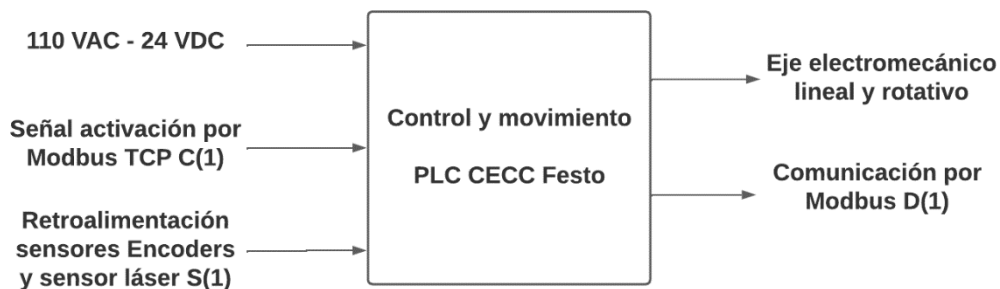
Propuesta de solución de conceptos del módulo de control y movimiento

Alimentación	Comunicación	Señal retroalimentación sensores S(2)	Visualizar datos	Procesar datos	Actuadores
Fuente 24VDC	Modbus TCP/IP	Encoder	Interfaz personalizado		Eje electromecánico lineal
Batería 24VDC	Profinet	Sensor de distancia láser	Interfaz Servidor Web nativo	PLC Festo	
110VAC	Ethernet/IP	Sensores fin de carrera		CECC	Eje electromecánico rotativo
220VAC	Modbus RTU	Sensor de distancia ultrasónico	Pantalla HMI		

En la figura 15 se presenta el concepto de solución seleccionado para solventar los requerimientos del módulo de control y movimiento, la empresa requiere que se utilice el PLC CECC de Festo para el procesamiento de datos, por lo que se parte de este equipo para la selección del resto de soluciones como alimentación de 110VAC y 24VDC para la sensórica, comunicación mediante el protocolo Modbus TCP/IP, lectura de la posición de los ejes mediante encoder y sensores de distancia láser.

Figura 15

Concepto de solución para el módulo de control y movimiento

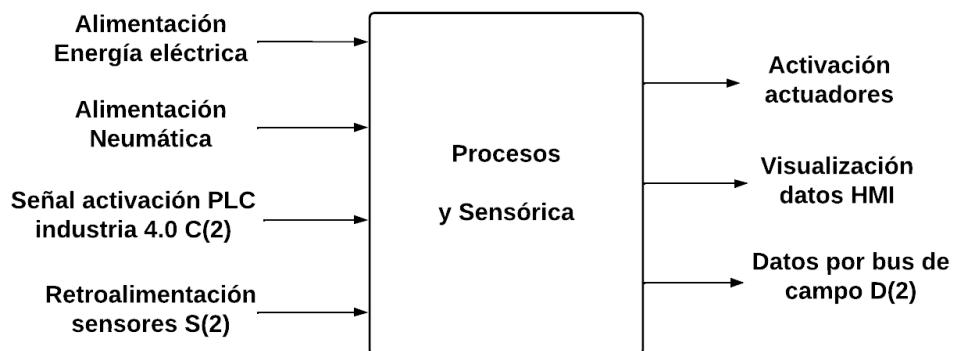


Procesos y sensórica

Para el módulo de procesos y sensórica se tiene previsto la implementación de un subproceso automático, un grupo de sensores interactivos monitoreados mediante un servidor web, para mostrar el funcionamiento en tiempo real de la instrumentación industrial asociada. En la Figura 16 se muestra el diagrama funcional del flujo de entradas y salidas de la caja negra que conforman el módulo.

Figura 16

Diagrama funcional general del módulo de procesos y sensórica

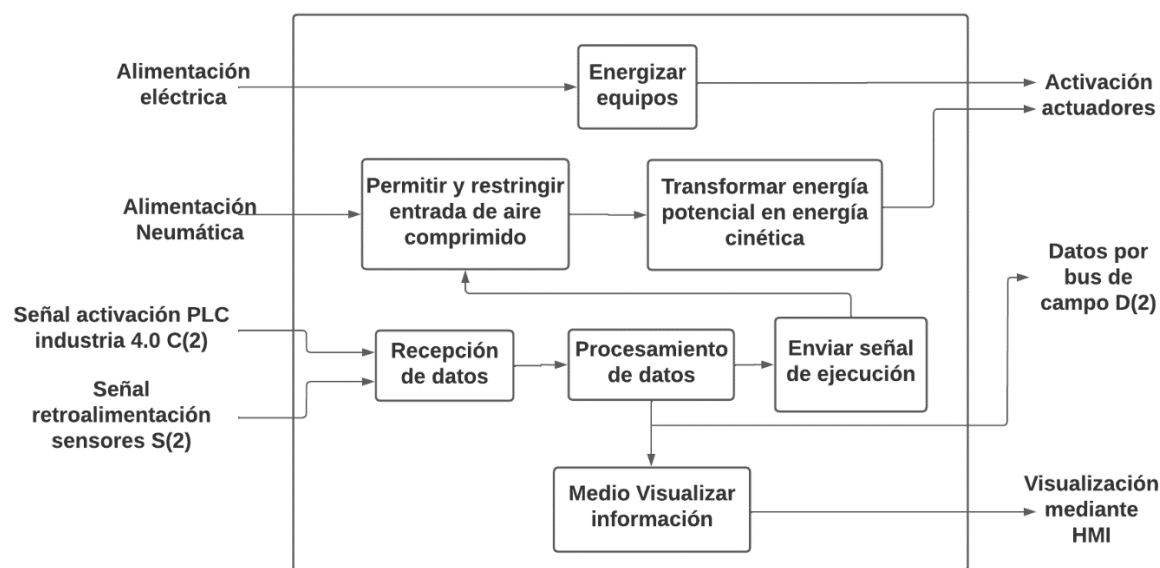


En la Figura 17 se realiza una descripción más específica de las subfunciones requeridas para la activación del módulo de procesos y sensórica, se requiere alimentación eléctrica y neumática, además de permitir la lectura de sensores inteligentes, controlar la

activación de actuadores de campo, monitorear y ejecutar las instrucciones dadas por el usuario mediante un servidor web, teniendo como salida la activación de actuadores neumáticos y eléctricos y un bloque de datos por bus de campo con la información del proceso hacia el PLC de Industria 4.0.

Figura 17

Diagrama de subfunciones del módulo de procesos y sensórica



En la Tabla 3 se muestran las diferentes opciones de propuestas que permiten el desarrollo de las subfunciones para el proceso automático con sensores inteligentes y actuadores de campo eléctricos.

Tabla 3

Propuesta de solución de conceptos del módulo de procesos y sensórica

Alimentación Eléctricos	Protocolo de Comunicación	Señal de sensores S(2)	Procesamiento datos	Actuadores eléctricos	Visualización Proceso
Fuente 24VDC	Modbus TCP/IP	Encoder	PLC S7-1200	Bomba de agua	Pantalla HMI

Alimentación Eléctricos	Protocolo de Comunicación	Señal de sensores S(2)	Procesamiento datos	Actuadores eléctricos	Visualización Proceso
Batería 24VDC	Profinet	Sensor de distancia láser		Electroválvulas	
110VAC	Ethernet/IP	Sensores tipo reed			Pantalla Computador Industrial
220VAC	IO-Link	Sensor de distancia ultrasónico			

En la Tabla 4 se muestran las diferentes opciones de propuestas para los actuadores con su respectiva unidad de mando o control neumático con la descripción de calidad de aire del Anexo 1.

Tabla 4

Propuesta de solución de conceptos del módulo de procesos y sensórica

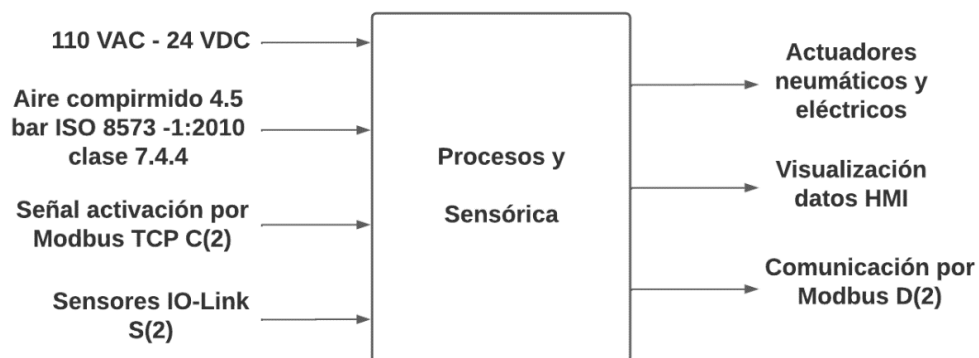
Alimentación Neumática	Conmutación de aire comprimido	Actuadores neumáticos
		Actuador giratorio de simple efecto
	Electroválvula 5/2 biestable	Actuador giratorio de doble efecto
Aire comprimido 4.5bar ISO 8573-10:2020 clase 7.4.4.		Válvula asiento inclinado
	Electroválvula 5/2 monoestable	
		Válvulas pinch

En la Figura 18 se presenta el concepto de solución seleccionado para solventar los requerimientos del módulo de procesos y sensórica, teniendo en cuenta que se deben utilizar sensores inteligentes con tecnología IO-Link, se requiere de una fuente reguladora de voltaje

de 24VDC con alimentación externa de 110 VAC, alimentación neumática con calidad de aire ISO 8573-1:2010 clase 7.4.4., transmisión de datos con el PLC FP7 mediante Modbus TCP para la activación de actuadores de proceso que serán los encargados de ejecutar físicamente el desarrollo de las etapas que serán visualizadas mediante una pantalla HMI.

Figura 18

Concepto de solución para el módulo de procesos y sensórica



Medición de energía inteligente

Para el sistema de medición de energía inteligente se tiene previsto la obtención y procesamiento de variables físicas eléctricas como el voltaje y la corriente, para la visualización mediante un servidor web del consumo energético de la Expotainer. En la Figura 19 se muestra el diagrama funcional del flujo de entradas y salidas de la caja negra que conforman el sistema de medición de energía.

Figura 19

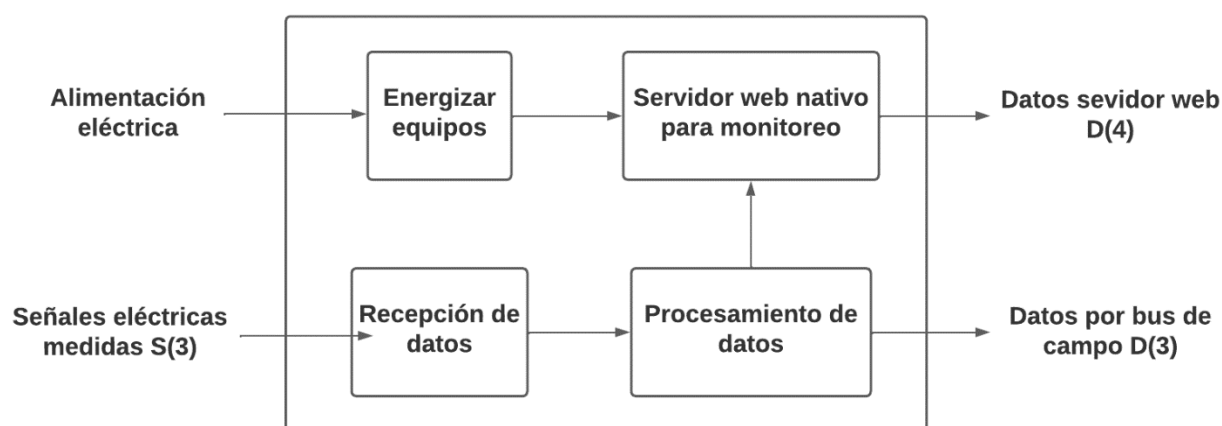
Diagrama funcional general del módulo de medición de energía inteligente



En la Figura 20 se realiza una descripción más específica de las subfunciones requeridas para el funcionamiento del módulo de medición de energía, se requiere alimentación eléctrica para energizar un equipo que sea capaz leer y procesar variables eléctricas, además de permitir un monitoreo de datos mediante un servidor web.

Figura 20

Diagrama de subfunciones del módulo de medición de energía inteligente



En la Tabla 5 se muestran las diferentes opciones de propuestas para la implementación del sistema de medición de energía inteligente que alimentan los módulos al interior de la Expotainer.

Tabla 5

Propuesta de solución de conceptos del módulo de medición de energía inteligente

Alimentación eléctrica	Protocolo de Comunicación	Señales eléctricas medidas	Visualización	Procesamiento datos
Fuente 24VDC	Modbus TCP/IP	Pinzas transformadoras de corriente 100A – 1A	Interfaz personalizado	KW2M Eco-Power meter
Batería 24VDC	Profinet	Pinzas transformadoras de corriente 50A – 5A	Interfaz Servidor Web	Panasonic

Alimentación eléctrica	Protocolo de Comunicación	Señales eléctricas medidas	Visualización	Procesamiento datos
110VAC	Ethernet/IP		nativo	
220VAC	Modbus RTU	Pinzas transformadoras de corriente 60A – 1A	Pantalla HMI	

En la Figura 21 se presenta el concepto de solución seleccionado para solventar los requerimientos del módulo de medición de energía inteligente, el equipo asignado para la medición es el KW2M Eco-Power meter Panasonic el cual requiere una alimentación de 110 VAC y utiliza pinzas transformadoras de corriente para la lectura de las variables eléctricas, se comunica a través del protocolo Modbus TCP , además de contar con un servidor web nativo para la visualización de datos mediante un navegador web.

Figura 21

Concepto de solución para el módulo de medición de energía inteligente

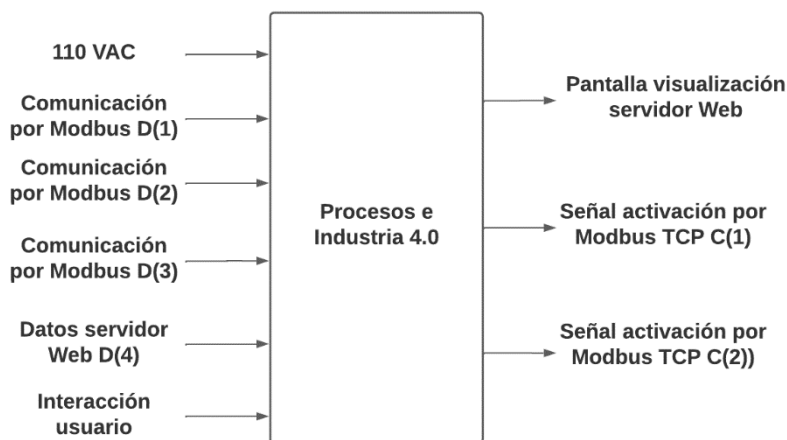


Industria 4.0

Para el módulo de procesos e industria 4.0 se requiere de un PLC para centralizar, procesar los datos y enviar las señales de activación o control para los módulos de control y movimiento, procesos y sensórica y medición de energía inteligente y que cuente con tecnología IIOT para el control y monitoreo mediante un navegador web. En la Figura 22 se muestra el diagrama funcional del flujo de entradas y salidas de la caja negra que conforman el módulo de procesos e industria 4.0.

Figura 22

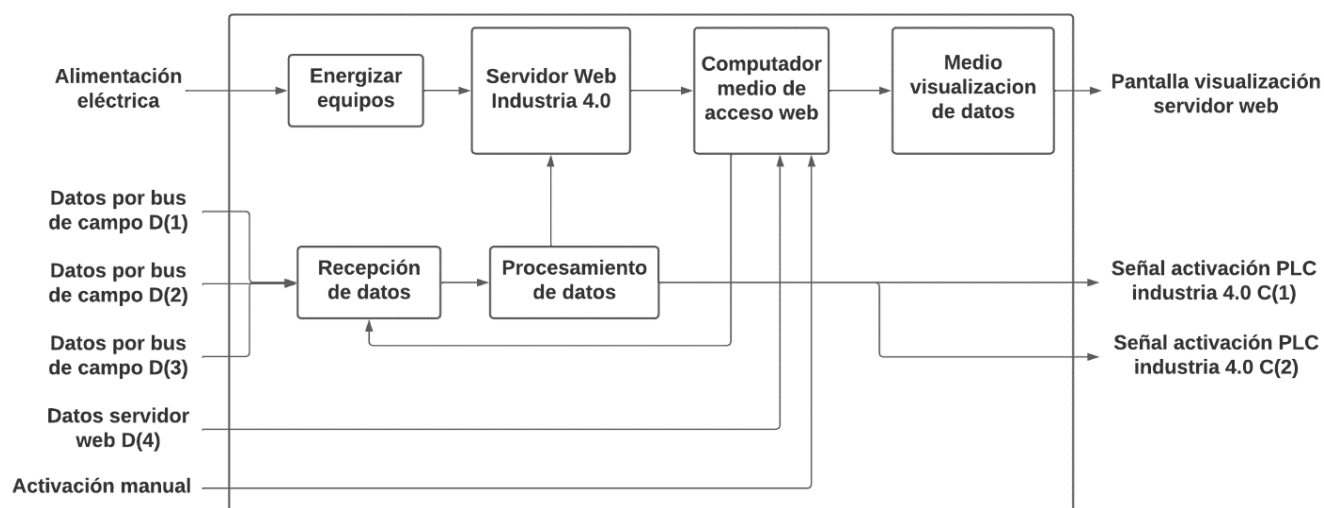
Diagrama funcional general del módulo de procesos e industria 4.0



En la Figura 23 se realiza una descripción más específica de las subfunciones requeridas para el funcionamiento del módulo de procesos e industria 4.0, se requiere alimentación eléctrica para energizar el equipo que sea capaz transmitir y recibir datos mediante bus de campo, el módulo cuenta con tecnología IIOT para el control y monitoreo mediante un navegador web.

Figura 23

Diagrama de subfunciones del módulo de procesos e industria 4.0



En la Tabla 6 se muestran las diferentes opciones de propuestas para la implementación del módulo de procesos e industria 4.0.

Tabla 6

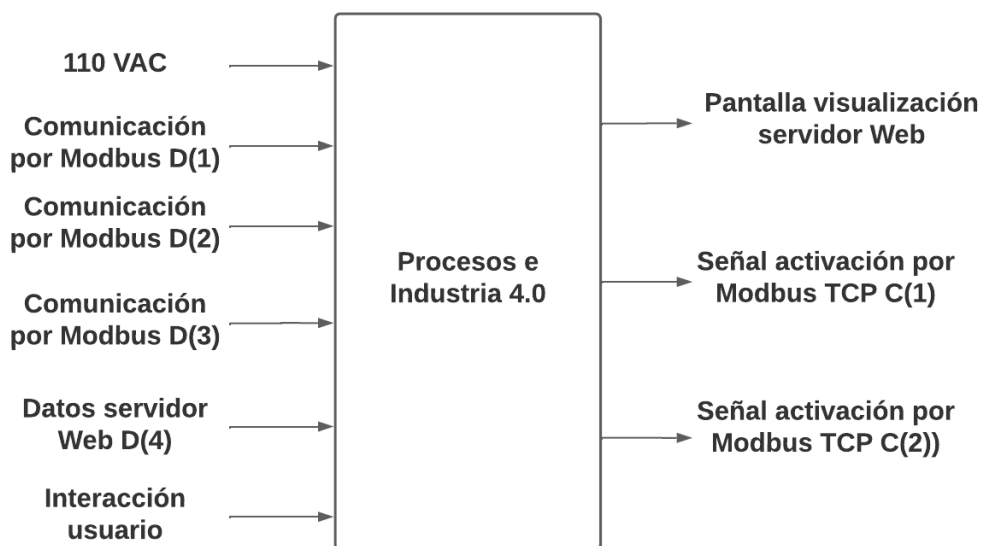
Propuesta de solución de conceptos del módulo de procesos e industria 4.0

Alimentación neumática	Protocolo de Comunicación	Gestión de datos y servidor web	Medio de acceso al servidor web	Visualización servidor web
Fuente 24VDC	Modbus TCP/IP			
110VAC	Profinet	PLC FP7 Panasonic	Computador	Pantalla LG
110VAC	EtherNet/IP		Industrial	VGA 19''
220VAC				

En la Figura 24 se presenta el concepto de solución seleccionado para solventar los requerimientos del módulo de procesos e industria 4.0, el equipo asignado por requerimiento de la empresa es el PLC FP7 el cual requiere una alimentación de 110 VAC, se puede comunicar a través del protocolo Ethernet IP y Modbus TCP, y permite alojar un servidor web para el control de cada uno de los módulos de la Expotainer

Figura 24

Concepto de solución para el módulo de procesos e industria 4.0

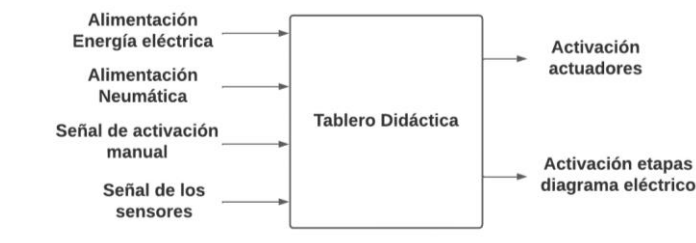


Tablero didáctica

El módulo de didáctica busca presentar una solución integral a un problema de la industria utilizando neumática, electroneumática y PLC. En la Figura 25 se muestra el diagrama funcional del flujo de entradas y salidas de la caja negra que conforman el tablero de didáctica.

Figura 25

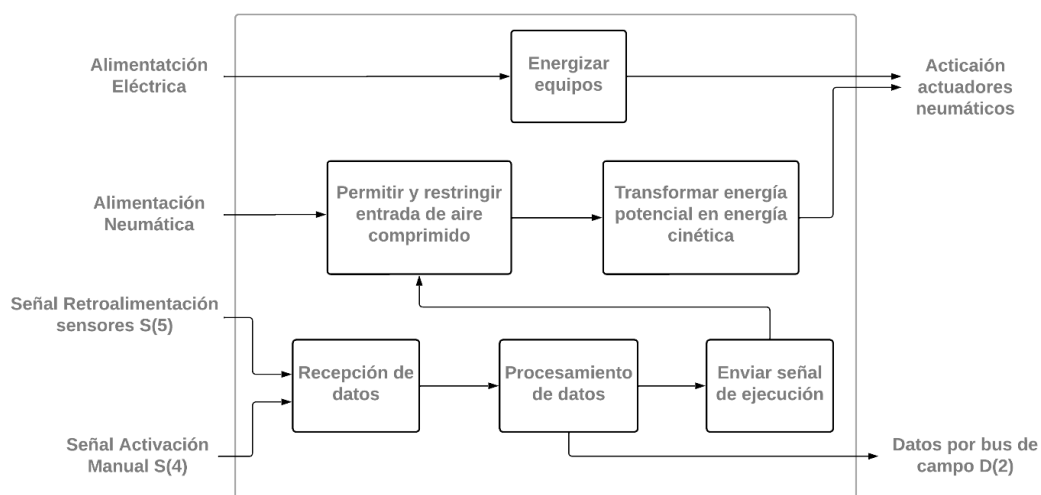
Diagrama funcional general del módulo de didáctica



En la Figura 26 se realiza una descripción más específica de las subfunciones requeridas para el funcionamiento del módulo de didáctica, se requiere alimentación eléctrica para energizar el PLC para la lectura de los sensores y la activación los dispositivos de mando electroneumáticos, también se precisa de alimentación neumática para la activación de los actuadores neumáticos de campo.

Figura 26

Diagrama de subfunciones del módulo de didáctica



En la Tabla 7 se muestran las diferentes opciones de propuestas para la implementación de la parte eléctrica del módulo de didáctica.

Tabla 7

Propuesta de solución de conceptos del módulo de didáctica

Alimentación eléctrica	Señal de activación manual	Señal sensor fin de carrera	Procesamiento datos	Indicador Visual
Fuente 24VDC 110 VAC	Pulsador	Sensor tipo reed	Plc FP0R	Pantalla HMI
110 VAC 220 VAC	Selector	Final de carrera tipo rodillo		Activación leds

En la Tabla 8 se muestran las diferentes opciones de propuestas para la implementación de la parte neumática del módulo de didáctica.

Tabla 8

Propuesta de solución de conceptos del módulo de didáctica

Alimentación Neumática	Conmutación de aire comprimido	Actuadores neumáticos
Aire comprimido	Electroválvula 5/2 biestable	Cilindros de simple efecto
4.5bar ISO 8573-10:2020 clase 7.4.4.	Electroválvula 5/2 monoestable	Cilindros de doble efecto

En la Figura 27 se presenta el concepto de solución seleccionado para solventar los requerimientos del módulo de didáctica, se pretende utilizar partes neumáticas por lo que se requiere alimentación con un aire comprimido de acuerdo a la norma ISO 8573 – 1:2010 clase 7.4.4. con el fin de garantizar la duración estimada del fabricante en los componentes, sensores

de posición tipo reed o magnéticos para la activación de los actuadores neumáticos y visualizadores led como parte de la solución integral mediante un PLC.

Figura 27

Concepto de solución para el módulo de didáctica



Diseño para el ambiente (DPA)

Es de interés de la empresa Ecuainsetec que se genere un proyecto que cuente con un enfoque en el que se priorice la reutilización de componentes que permita mostrar la gran variedad de procesos en los que pueden ser usados en la industria, dado que los componentes cuentan con un largo ciclo de vida.

Los componentes principales de la red industrial multiprotocolo fueron tomados en su mayoría de anteriores módulos demostrativos desarrollados por el área de proyectos o equipos que son utilizados en pruebas y demostraciones de funcionamiento con requerimientos específicos de los clientes, si bien se trabajará con equipos utilizados, también es preciso acotar que estos dispositivos cuentan con un estado de funcionamiento perfecto, ya que Ecuainsetec cuida de gran manera el material de trabajo con el que cuenta, por lo que el material reutilizado en la implementación de la Expotainer brindará un aspecto llamativo por el excelente estado de los elementos que la componen generando así una sensación de bienestar y confianza con el cliente al presentar módulos con terminados de primera calidad.

Considerando el acuerdo de no divulgación de información sensible firmado con la empresa no se presentarán los nombres específicos de los componentes, solo se presentará nombres genéricos.

Selección de componentes


Para seleccionar los componentes que solventen los requerimientos de cada módulo se trabaja en base a los módulos diseñados de acuerdo a los requerimientos planteados por la empresa, para cada módulo se reutilizó equipos que Ecuainsetec tiene para el desarrollo de proyectos demostrativos. En el Anexo 8 se presenta la hoja de datos de cada componente.




Módulo de procesos e industria 4.0

En la Tabla 9 se presentan los componentes que Ecuainsetec brindo para el desarrollo del módulo de procesos e industria 4.0 tomando en cuenta las características eléctricas y mecánicas, siendo el equipo de mayor relevancia el PLC FP7 de Panasonic puesto que es un dispositivo desarrollado con tecnología IIOT para aplicaciones de desarrollo de gestión de datos e interfaces de control y monitoreo web, además este es el PLC maestro encargado del control de los demás procesos de la red industrial mediante un navegador web y por protocolos de comunicación Ethernet TCP/IP y Modbus TCP/IP.

Tabla 9

Componentes y características del módulo de procesos e industria 4.0

Nombre	Modelo	Gráfico	Características
PLC Industria 4.0	FP7 - Panasonic		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 24VCC</p> <p>Protocolos de comunicación: Ethernet/IP y Modbus TCP</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 65</p> <p>Dimensiones: 90x28x80 mm</p>

Nombre	Modelo	Gráfico	Características
Acceso internet	PC INDUSTRIAL WAGO		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 24V CC (10...36V)</p> <p>Protocolos de comunicación: Ethernet IP</p>
Visualización	LG VGA 19''		<p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 40</p> <p>Dimensiones: Anchura: 40mm Altura: 150mm Profundidad: 105mm</p> <p>Resolución: 1366 x 720</p> <p>Entrada: 100-240 V CA, 50/60 Hz</p> <p>Medidas: 468,8 x 276,4 x 38,4 mm</p>
Conexión Red industrial	Switch Industrial WAGO		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 18 ... 30 VCC</p> <p>Protocolos de comunicación: Ethernet</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP30</p> <p>Dimensiones: Anchura 23.4mm Altura 109.2mm Profundidad 73.8mm</p>



Módulo de medición de energía inteligente

En la Tabla 10 se presentan los componentes para el desarrollo del módulo de medición de energía inteligente tomando en cuenta las características eléctricas y mecánicas, siendo el equipo de mayor relevancia el medidor de energía K2WM Eco-Power de Panasonic puesto que es un dispositivo pensado para aplicaciones de medición de energía, además de contador con un servidor web nativo para la visualización de todas las variables eléctricas medidas con las

pinzas transformadoras de corriente de 60A a 1A, este equipo se comunica también con el PLC FP7 a través del protocolo Modbus TCP.

Tabla 10

Componentes y características del módulo de medición de energía inteligente




Nombre	Modelo	Gráfico	Características
Medidor de energía inteligente	KW2M Panasonic		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 110VAC hasta 240VAC</p> <p>Protocolos de comunicación: Modbus TCP</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 65</p>
Pinzas transformadoras de corriente	Wago 60-1A		<p>Corriente nominal primaria: 60 A</p> <p>Longitud del cable: 3m</p> <p>Grado de protección IP: IP20</p>




Módulo de medición de energía inteligente

En la Tabla 11 se presentan los componentes escogidos para el desarrollo del módulo de control y movimiento tomando en cuenta las características eléctricas y mecánicas para la activación de un eje electromecánico lineal y rotativo desde un servidor web, siendo el PLC CECC de Festo el encargado de recibir los datos del PLC FP7 para el control y activación de los actuadores mediante el protocolo de comunicación Modbus TCP.

Tabla 11

Componentes y características del módulo de control y movimiento

Nombre	Modelo	Gráfico	Características
PLC Control y movimiento	CECC Festo		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 30V DC</p> <p>Tipos de salida: Digital y IO-Link</p> <p>Protocolos de comunicación: O-Link Modbus TCP</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 20</p> <p>Dimensiones: Longitud: 130mm Altura: 106mm Anchura: 48,15mm</p>
Controlador de motor	CMMO DIOP Festo		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 24V DC</p> <p>Tipos de salida: Digital</p> <p>Protocolos de comunicación: Ethernet TCP/IP</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 40</p>
Controlador de motor	CMMO LKP Festo		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 24V DC</p> <p>Tipos de salida: Digital IO-Link</p> <p>Protocolos de comunicación: Ethernet TCP/IP, Modbus</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 40</p>




Nombre	Modelo	Gráfico	Características
Eje electromecánico	EPCO Festo		<p>Tipo de alimentación: 24 V CC</p> <p>Grado de protección IP: IP 40</p> <p>Peso: 5 kg</p> <p>ELÉCTRICAS</p>
Eje electromecánico	ERMO Festo		<p>Tipo de alimentación: 24V DC</p> <p>Presión mín. de trabajo: 7 bar</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 40</p> <p>ELÉCTRICAS</p>
Fuente AC/DC	Fuente AC/DC Festo SVG		<p>Tipo de alimentación: 110VAC</p> <p>Corriente nominal de salida: 5A</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP20</p> <p>Peso: 900g</p>



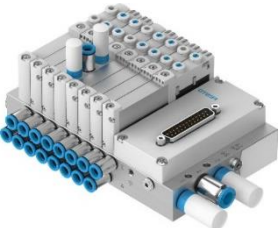
Módulo de procesos y sensórica

En la Tabla 12 se indican las características de los componentes escogidos para el desarrollo del módulo de procesos y sensórica tomando en cuenta las características eléctricas, mecánicas y neumáticas para la activación de un proceso de tanques con sensores IO-Link, actuadores neumáticos, eléctricos y electroneumáticos a través del uso de periferia descentralizada, los componentes de este módulo se comunican a través del protocolo Profinet y Modbus para el PLC FP7.

Tabla 12

Componentes y características del módulo de procesos y sensórica

Nombre	Modelo	Gráfico	Características
PLC Procesos y sensórica	S7 1200		<p style="text-align: center;">ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 120V AC, 230V AC</p> <p>Tipos de salida: Digitales tipo relé</p> <p>Protocolos de comunicación: Profinet, Modbus TCP/IP</p> <p style="text-align: center;">MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 20</p> <p>Dimensiones: Anchura: 90mm Altura: 100mm profundidad: 75mm</p>
Visualización HMI	HMI 4.3'' Brainchild		<p style="text-align: center;">ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 11-36V CC</p> <p>Comunicación: Ethernet</p> <p style="text-align: center;">MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 65</p> <p>Dimensiones: 140X116X57 mm</p>
Periferia descentralizada	Maestro IO-Link AL ifm		<p style="text-align: center;">ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 20 ... 30 V CC</p> <p>Tipos de entrada: Digital, IO-Link</p> <p>Comunicación: IO-Link, Profinet</p> <p style="text-align: center;">MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 65, IP66</p> <p>Dimensiones: Peso: 369 g</p>


Nombre	Modelo	Gráfico	Características
Periferia descentralizada	Maestro IO-Link AL ifm		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 20 ... 30 V CC</p> <p>Tipos de entrada: Digital, IO-Link</p> <p>Comunicación: Ethernet IP</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP69K</p> <p>Dimensiones: Peso: 409 g</p>
Periferia descentralizada	CPX Festo		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 24V DC</p> <p>Protocolos de comunicación: Profinet</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 65, IP 67</p> <p>Dimensiones: Ancho: 50 mm Largo: 107 mm Alto: 50 mm</p>
Periferia descentralizada	VTUG Festo		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 24V DC</p> <p>Tipos de salida: Digital</p> <p>Protocolos de comunicación: Ethernet IP</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 40, IP 65, IP 67</p> <p>Dimensiones: Peso: 53 g</p>




Nombre	Modelo	Gráfico	Características
Fuente AC/DC	Fuente AC/DC Wago 787-712		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 240V AC</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 20</p> <p>Dimensiones: Anchura: 136mm Altura: 50 mm Profundidad: 92 mm</p>




En la Tabla 14 se presentan los sensores y actuadores seleccionados para el desarrollo del módulo de procesos y sensorica tomando en cuenta las características eléctricas, mecánicas y neumáticas capaces de solventar el sensado y ejecución de un proceso enfocado a la industria alimenticia.




Tabla 13



Características de los sensores

Nombre	Modelo	Gráfico	Características
Sensor de nivel capacitivo continuo	KQ ifm		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 18...30V DC</p> <p>Tipos de salida: Digitales</p> <p>Comunicación: IO-Link</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 65</p> <p>Dimensiones: 250x28x16,7 mm</p>

Nombre	Modelo	Gráfico	Características
Sensor de nivel por radar guiado	LR ifm		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 18...30V DC</p> <p>Tipos de salida: Analógicas y Digitales</p> <p>Comunicación: IO-Link</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 68, IP 69K</p> <p>Longitud de varilla: 150...2000 mm</p>
Sensor capacitivo puntual	LMT ifm		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 18 ... 30 V CC</p> <p>Tipos de salida: Digital</p> <p>Comunicación: IO-Link</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 68, IP 69K</p> <p>Dimensiones: Peso: 210 g</p>
Sensor de distancia láser	O5D ifm		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 10 ... 30 V DC</p> <p>Tipos de salida: Digital</p> <p>Comunicación: IO-Link</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 65, IP 67</p> <p>Dimensiones: 56x18,2x46,8 mm</p>

Nombre	Modelo	Gráfico	Características
<p>Convertor sensor presión a IO-Link</p>	<p>DP ifm</p>		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 18...30V DC</p> <p>Tipo de entrada: Analógica</p> <p>Tipos de salida: IO-Link</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 67</p> <p>Dimensiones: 63x30x24 mm</p>
<p>Sensor de temperatura y conductividad</p>	<p>LDL ifm</p>		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 18...30V DC</p> <p>Tipos de salida: Analógica</p> <p>Comunicación: IO-Link</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 68, IP 69K</p> <p>Dimensiones: Peso: 692,6 g</p>
<p>Sensor de temperatura</p>	<p>SI5 ifm</p>		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 18...36V DC</p> <p>Tipos de salida: Digitales</p> <p>Protocolos de comunicación: IO-Link</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 65, IP 67</p> <p>Dimensiones: Peso: 248,5 g</p>


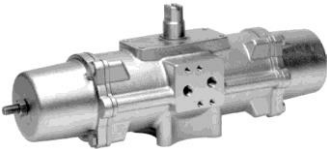
Nombre	Modelo	Gráfico	Características
Convertor sensor PT100 a IO-Link	TP / PT100 ifm		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 20...32V DC</p> <p>Tipo de entrada: Analógica</p> <p>Tipos de salida: IO-Link</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 67</p> <p>Dimensiones: Peso: 41g</p>
Sensor de temperatura	TD28 ifm		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 18 ... 30 V CC</p> <p>Tipos de salida: Digital</p> <p>Comunicación: IO-Link</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 67, IP 68, IP 69K</p> <p>Dimensiones: Peso: 332,5 g</p>
Sensor de posición actuador giratorio	MWQ ifm		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipos de salida: Digital</p> <p>Comunicación: IO-Link</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 65, IP 67</p> <p>Dimensiones: 95x50x57mm</p>





Nombre	Modelo	Gráfico	Características
Sensor de flujo de aire comprimido	SD6 ifm		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 18...30V DC</p> <p>Tipos de salida: Analógica y Digital</p> <p>Comunicación: IO-Link</p> <p>NEÚMATICAS</p> <p>Presión mín. de trabajo: 2.5 bar</p> <p>Calidad de aire: ISO:8573-1:2010 clase 7.4.4</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 65, IP 67</p> <p>Dimensiones: 731 g</p>
Pantalla de visualización	E303 ifm		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 18...30V DC</p> <p>Comunicación: IO-Link</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 65, IP 67</p> <p>Dimensiones: Peso: 174 g</p>




En la Tabla 14 se presentan los sensores y actuadores seleccionados para el desarrollo del módulo de procesos y sensórica tomando en cuenta las características eléctricas, mecánicas y neumáticas capaces de solventar el sensado y ejecución de un proceso enfocado a la industria alimenticia.

Tabla 14

Características de los actuadores de proceso

Nombre	Modelo	Gráfico	Características
Actuadores y sensores	CMSX Festo		<p>ELÉCTRICAS</p> <p><i>Tipo de alimentación:</i> 24V DC</p> <p>NEUMÁTICAS</p> <p><i>Presión mín. de trabajo:</i> 3...8 bar</p> <p><i>Calidad de aire:</i> ISO 8573-1:2010 [7:4:4]</p> <p><i>Accionamiento:</i> Doble efecto</p> <p>MECÁNICAS</p> <p><i>Grado de protección IP:</i> IP 65</p> <p><i>Dimensiones:</i> 190x105x130 mm</p>
Actuadores y sensores	DAPS Festo		<p>ELÉCTRICAS</p> <p><i>Tipo de alimentación:</i> 24V DC</p> <p><i>Tipos de salida:</i> Analógica</p> <p>NEUMÁTICAS</p> <p><i>Presión mín. de trabajo:</i> 4.5 bar</p> <p><i>Calidad de aire:</i> ISO 8573-1:2010 [7:4:4]</p> <p><i>Accionamiento:</i> Simple efecto</p> <p>MECÁNICAS</p> <p><i>Dimensiones:</i> Peso: 4500 g</p>

Nombre	Modelo	Gráfico	Características
Actuadores y sensores	SM ifm		<p>ELÉCTRICAS</p> <p><i>Tipo de alimentación:</i> 18...30V DC</p> <p><i>Tipos de salida:</i> Analógica y Digitales</p> <p>MECÁNICAS</p> <p><i>Grado de protección IP:</i> IP 67</p> <p>Peso: 544 g</p>
Indicador de posición actuator giratorio	DAPZ Festo		<p>ELÉCTRICAS</p> <p><i>Tipo de alimentación:</i> 4 ... 250 V</p> <p>MECÁNICAS</p> <p><i>Grado de protección IP:</i> IP 67</p>
Actuador eléctrico	Pan world Magnet Pump		<p><i>Flujo máximo:</i> 25 L/min-30L/min</p> <p><i>Altura máxima:</i> 13,5 pies</p> <p><i>Potencia del motor:</i> 20W</p> <p><i>Extremo húmedo:</i> PPG</p>
Actuadores neumáticos	VZXA Festo		<p>NEUMÁTICAS</p> <p><i>Presión mín. de trabajo:</i> 5...10 bar</p> <p><i>Accionamiento:</i> Doble efecto</p> <p><i>Calidad de aire:</i> ISO 8573-1:2010 [7:4:4]</p> <p>MECÁNICAS</p> <p><i>Grado de protección IP:</i> IP 65, IP 67</p> <p><i>Dimensiones:</i> Peso: 1096...10700 g</p>




Nombre	Modelo	Gráfico	Características
Actuadores neumáticos	VZQA Festo		NEUMÁTICAS
			<i>Presión mín. de trabajo:</i> 3,5...6 bar
			<i>Accionamiento:</i> Doble efecto
Actuadores Neumáticos	DFPD Festo		NEUMÁTICAS
			<i>Presión mín. de trabajo:</i> 2...8 bar
			<i>Accionamiento:</i> Doble efecto
Elementos de acción	Válvula mariposa 6"		MECÁNICAS
			<i>Dimensiones:</i> Peso: 137 g
			<i>Material:</i> hierro fundido
			NEUMÁTICAS
			<i>Calidad de aire:</i> ISO 8573-1:2010 [7:4:1]
			<i>Dimensiones:</i> Peso: 965 g
			MECÁNICAS
			<i>Temperatura Máx.:</i> 120 centígrados
			<i>Brida montaje actuador:</i> Acople dado 1"
			Palanca hasta 10" reductor manual a partir de 12" de 2" a 10" con reductor manual

Módulo de didáctica

En la Tabla 15 se presentan las características de los componentes escogidos para el desarrollo del módulo de didáctica tomando en cuenta las características eléctricas, mecánicas y neumáticas para la activación de actuadores neumáticos e indicadores visuales para la representación de la solución del esquema eléctrico del problema de la industria desarrollado.

Tabla 15

Característica tablero de didáctica

Nombre	Modelo	Gráfico	Características
PLC Tablero	PLC FP0R Panasonic		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 24V CC</p> <p>Tipos de salida: Tipo relé</p> <p>Comunicación: Modbus RTU</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 65</p> <p>Dimensiones: 25x60x90 mm</p>
Sensores de posición reed magnético	SME Festo		<p>ELÉCTRICAS</p> <p>Tipo de alimentación: 24V CC</p> <p>Tipos de salida: Digital PNP</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Grado de protección IP: IP 65</p>
Actuadores electroneumáticos	Válvulas VUVG Festo		<p>NEUMÁTICAS</p> <p>Presión mín. de trabajo: 2...8 bar</p> <p>Accionamiento: Electroválvula 5/2</p> <p>Calidad de aire: ISO 8573-1:2010 [7:4:4]</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Material: Cuerpo aluminio</p>

Nombre	Modelo	Gráfico	Características
Actuadores neumáticos	Cilindros redondos DSNU		<p>NEUMÁTICAS</p> <p>Presión mín. de trabajo: 2...8 bar</p> <p>Accionamiento: Doble efecto</p> <p>Calidad de aire: ISO 8573-1:2010 [7:4:4]</p> <p>MECÁNICAS</p> <p>Material: Cuerpo acero inoxidable</p>

Al culminar todas las presentaciones planificadas a nivel nacional con la Expotainer, Ecuainsetec tiene previsto el desarrollo de nuevo contenido con diversas aplicaciones de la industria de modo que los componentes utilizados en este proyecto de tesis servirán para el desarrollo de nuevos módulos demostrativos y de nuevo contenido de futuras ediciones de la Expotainer, ya que Ecuainsetec constantemente renueva el contenido de presentación de productos industriales promoviendo la diversificación de aplicaciones hábiles para los equipos que sean de interés del público al cual se pretende llegar, teniendo las consideraciones necesarias para producir la menor cantidad de desechos y residuos sólidos, y en caso del material que no es factible la reutilización se procura que el material sea apto para el reciclaje, de modo que el impacto ambiental generado del proyecto sea mínimo.

Diseño para la industria (DPI)

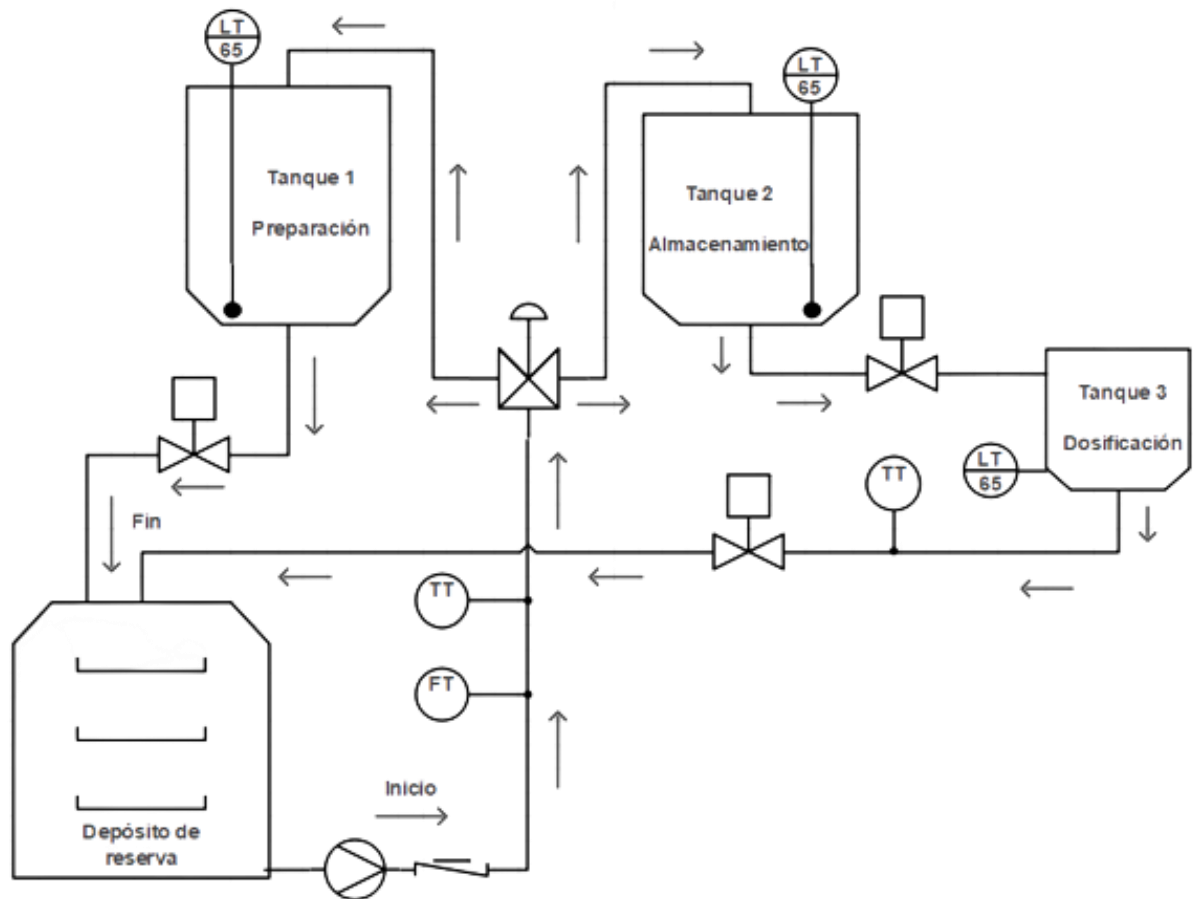
El módulo de procesos y sensórica consta de una secuencia automática de tres etapas, representada en tres tanques, el inicio de la etapa parte desde la activación de la bomba que lleva el fluido desde el depósito para el llenado de un tanque de 20 litros correspondiente a la etapa de preparación, una vez alcanzado el nivel del tanque 1 que se monitorea mediante un sensor de radar guiado que da la señal al controlador y se cambia la dirección del fluido al

tanque 2 mediante la conmutación de un actuador neumático que acciona a la válvula de 3 vías, simultáneamente se inicia la descarga del contenido del tanque 1 mediante una válvula de asiento inclinado, la segunda etapa está dada en el tanque de 15 litros para el almacenamiento, cuando llega a nivel máximo que es sensed mediante un sensor capacitivo, es decir este sensor no está en contacto con el fluido, por lo que mediante este sensor se empieza la descarga del producto en cantidades proporcionales a un tanque de 5 litros para la dosificación del producto correspondiente a la etapa 3, donde un sensor de nivel capacitivo puntual indicará cuando debe continuar la descarga de producto cuando este esté vacío, luego de cumplir el proceso hasta vaciar el tanque el fluido vuelve al depósito, como se indica en el diagrama P&ID de la Figura 28, además las variables presentes en este proceso como temperatura, flujo y nivel son monitoreadas en tiempo real mediante sensores inteligentes IO-Link e intervenidas mediante actuadores neumáticos accionados por electroválvulas de bloques de válvulas con periferia descentralizada.

Esta sección también cuenta con una serie de sensores que serán interactivos, de tal manera que el público pueda manipular el equipo y monitorear el cambio de las variables manipuladas en tiempo real, gracias a la periferia descentralizada que permite utilizar puertos de entradas y salidas de un dispositivo en otra variable que no necesariamente influya en el proceso, por lo que la etapa de sensorica cuenta con dos secciones, una parte enfocada al monitoreo del proceso de los tanques para el control del proceso automático y otros sensores dedicados a la interacción activa con el público y la interfaz web.

Figura 28

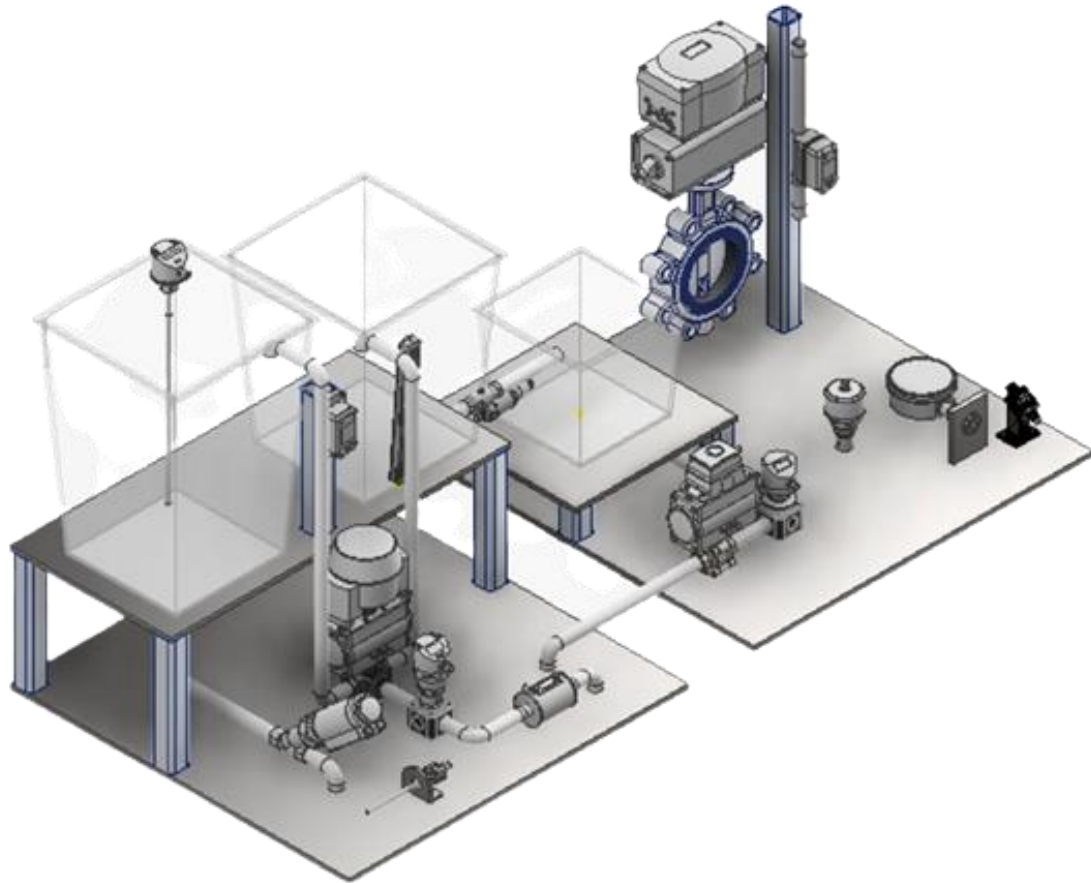
Esquema P&ID del proceso de tanques



El diseño CAD de los tanques se realizó en el programa Inventor con el fin de realizar una distribución uniforme de los componentes involucrados ya que al ser componentes desarrollados por empresas de prestigio en la industria se tiene acceso a las archivos CAD en las páginas oficiales, haciendo más factible la distribución con respecto al espacio físico disponible en la furgoneta para el módulo de procesos y sensorica, por lo que en la Figura 29 se presenta la vista isométrica del diseño conceptual a detalle.

Figura 29

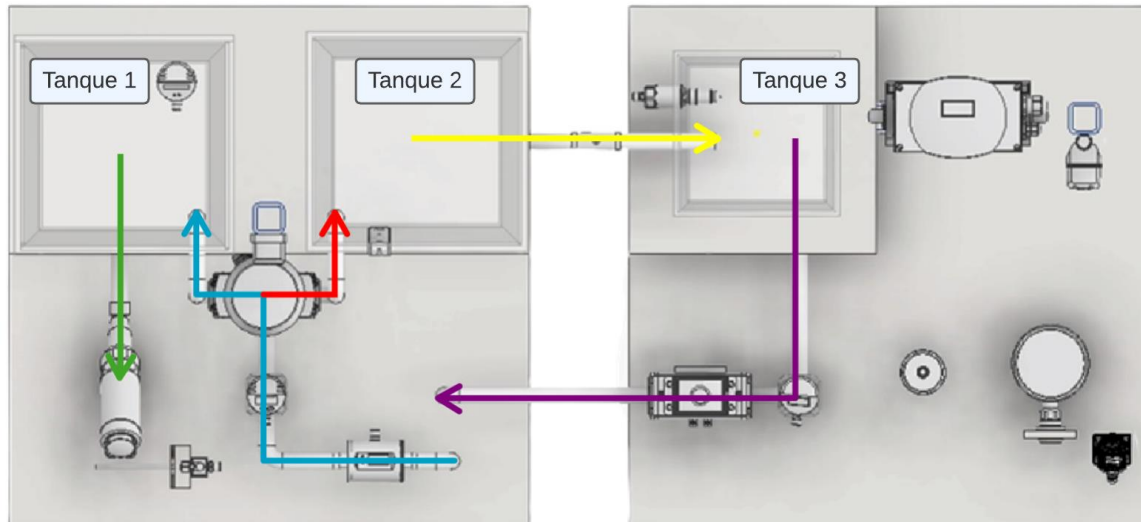
Vista isométrica del diseño conceptual del módulo de procesos y sensorica



En la figura 30 se observa la vista superior del diseño conceptual a detalle donde se puede apreciar la distribución de los elementos, se describe la trayectoria del fluido donde la flecha de color azul indica el inicio de la etapa, a continuación al culminar el llenado del tanque 1, la válvula de tres vías conmuta su dirección y empieza el llenado del tanque 2 con la flecha roja, el vaciado del tanque 1 al depósito esta descrito en la flecha de color verde, en la flecha amarilla se observa el desfogue al tanque de dosificación, por último en color morado se indica el vaciado del fluido del tanque 3 hacia el tanque de reserva.

Figura 30

Vista superior del diseño conceptual del módulo de procesos y sensórica



La sección principal de la Expotainer está centrada en la industria 4.0, dado que es la tecnología que Ecuainsetec busca promover al mercado ecuatoriano, por lo que en este tablero se colocará una pantalla con un computador industrial conectado a la red industrial multiprotocolo mediante un cable ethernet a un switch industrial, este computador a su vez será el medio para ingresar a un navegador de internet ya sea, Firefox, Google Chrome, Opera, entre otros, de este modo ingresando en el navegador la IP 192.168.0.2 correspondiente al PLC o módulo de adquisición de datos FP7 de Panasonic, que es un PLC enfocado a la industria 4.0, puesto que este es el equipo cerebro de toda la red industrial ya que el servidor web es un servicio de este dispositivo, por ende este equipo cumple con los nuevos avances de la industria 4.0 por lo que cuenta con su propio servidor web embebido de modo que hace más sencillo y seguro el acceso al IIOT en los procesos de la red industrial multiprotocolo de la Expotainer.

El servidor web será el medio principal para el monitoreo, control y fuente de información de toda la red industrial que conforma la Expotainer, por lo que al ingresar a la IP correspondiente del PLC FP7 se tendrá acceso a todas las interfaces personalizadas que están

diseñadas de tal modo que tal presentación sea fluida , informativa e interactiva captando así de mejor manera la atención de los clientes. En la Figura 31 se muestra el tablero de industria 4.0.

Figura 31

Tablero Industria 4.0



Adicionalmente este tablero contará con un sistema de medición de energía inteligente, el cual medirá el consumo energético de tres cargas o líneas de alimentación independientes mediante pinzas transformadoras de corriente que abrazan el conductor de las cargas que son correspondientes a las fuentes de alimentación de cada sub proceso de la red industrial, de tal modo que se pueda visualizar en la interfaz web el consumo de cada línea en tiempo real, permitiendo que los clientes observen las ventajas del medidor de energía KW2M de

Panasonic, mismo que cuenta con comunicación Modbus TCP/IP para el envío de datos al plc FP7 y así visualizar la interfaz personalizada o para el acceso al servidor web nativo del medidor inteligente KW2M, por lo que en este canal se puede visualizar todos los datos que el equipo adquiere del consumo energético de cada línea en tiempo real, generando un historial de datos para acceder inclusive al análisis de datos. En la Figura 32 se muestra el tablero de medición de energía.

Figura 32

Tablero medición de energía

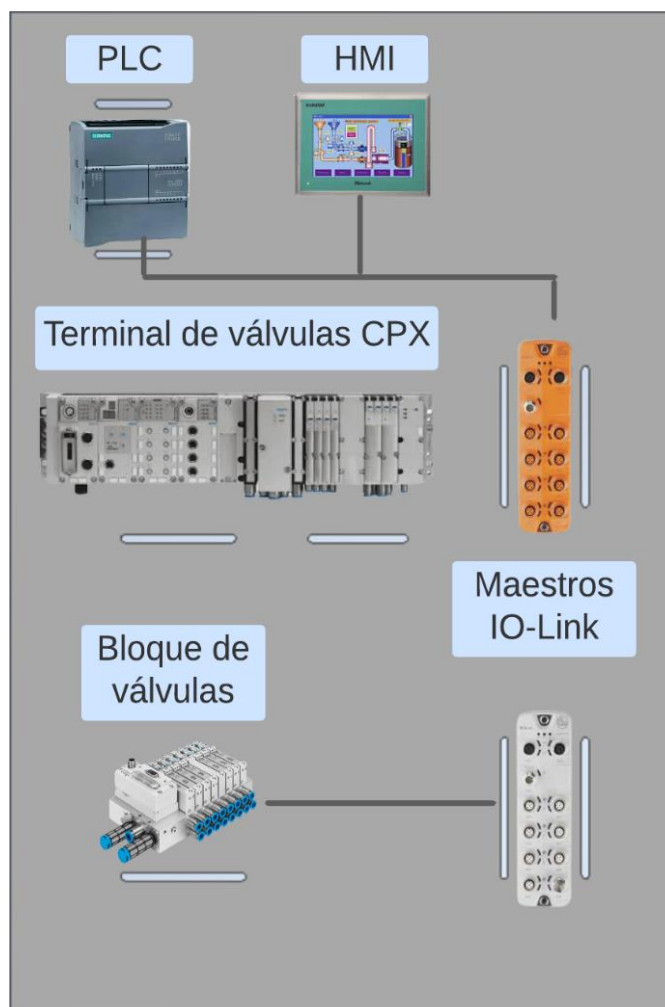


En la Figura 33 se presenta el tablero correspondiente a la sección de procesos y periferia descentralizada donde se pretende diseñar un tablero en donde se exponga la adquisición de datos y control del proceso de tanques mediante el uso de periferia descentralizada de modo que un PLC S7 1200 estará conectado en modo esclavo del PLC maestro FP7 de industria 4.0, el controlador S7 1200 será el equipo principal de la sub red Profinet, que contará con un maestro IO-Link para la adquisición de datos de los sensores y con puertos de comunicación Profinet para la trasmisión de información, la sub red también contará con un dispositivo de periferia descentralizada de Festo, que integra los puertos de entradas y salidas de un PLC con un bloque de electroválvulas integrado, haciendo un equipo ideal como solución a problemas electroneumáticos, el cual servirá para controlar equipos del proceso de tanques como equipos demostrativos e interactivos gracias a sus entradas y salidas múltiples.

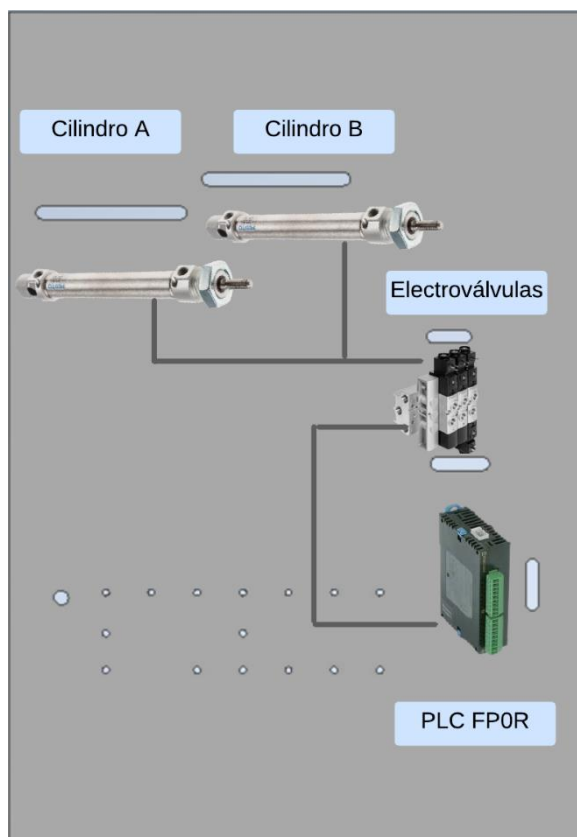
El tablero de periferia descentralizada también presenta equipos con comunicación Ethernet IP, por lo que se contará con un maestro IO-Link apto para la industria alimenticia el cual será el punto de concentración de los sensores que monitorean ciertas variables involucradas en el proceso de tanques y otras variables interactivas con el público. Además, el PLC FP7 también controlará mediante la comunicación Ethernet IP la activación de electroválvulas dispuestas en un terminal de válvulas compacto para los actuadores neumáticos que intervienen en el proceso de tanques.

Figura 33

Tablero procesos y sensórica

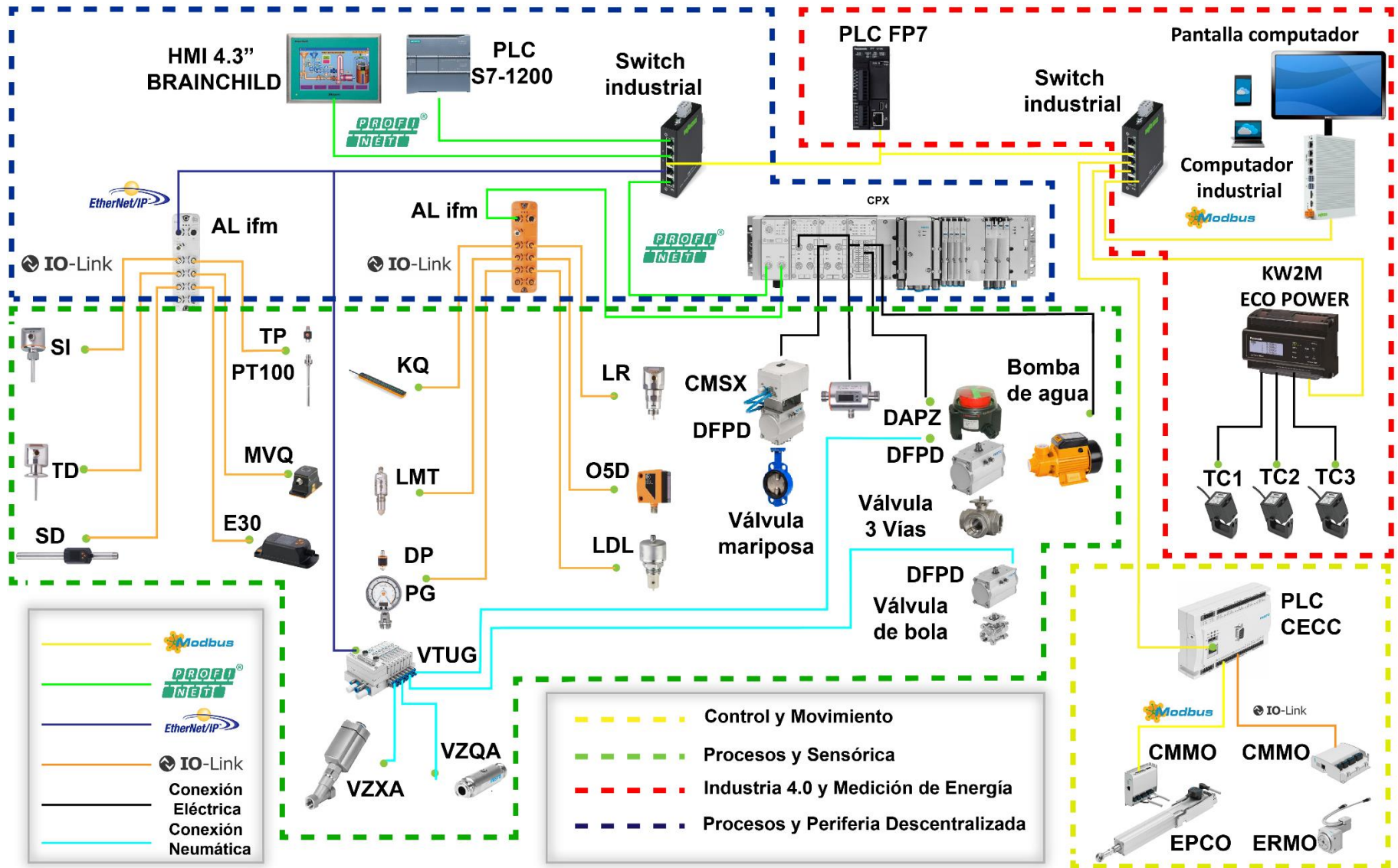


Para el tablero correspondiente a didáctica se pretende presentar la solución a un problema de la industria el cual consiste en la elaboración de tejas plásticas onduladas dos moldes metálicos, forman una matriz con la forma y detalles finales de la teja. Los moldes se cierran, presionando una plancha plástica precalentada en un horno. Al accionar un interruptor de inicio, el cilindro A expulsa su vástago lentamente, presionando el molde superior contra el inferior, dando forma a la plancha plástica, un sensor de final de carrera en A acciona el retroceso del vástago y da la orden para que el cilindro expulsor B extienda su vástago. El retorno del cilindro expulsor se realiza mediante un sensor de final carrera en B empleando la integración de la neumática, electroneumática y PLC, puesto que el desarrollo de la solución será demostrativo contará con el esquema eléctrico, neumático y el diagrama de fases neumático de la solución del problema propuesto, el proceso será comandado por un PLC de Panasonic con salidas de relé, siendo este el único PLC que no está conectado a la red industrial, debido a que la aplicación no es de mayor complejidad, con esta aplicación se quiere a dar a conocer los PLC de la gama más baja que Ecuainsetec tiene para sus clientes, ya que el proceso contará con 5 entradas digitales, un selector, cuatro sensores de posición o finales de carrera para los dos cilindros que serán los actuadores del proceso neumático, que para activarlos se requiere de 4 salidas con salida a relé para la activación de las electroválvulas que empujan y contraen los cilindros. En la Figura 34 se presenta la distribución que tendrán los componentes del tablero de didáctica, dejando un espacio considerable en el tablero para incluir información del problema como la descripción y solución completa al problema propuesto.

Figura 34*Tablero didáctico***Topología de la red industrial**

Una vez obtenido el diseño conceptual del contenido de cada módulo y tablero de la Expotainer, se presenta en la Figura 35 la topología en la que se abarcan todos los componentes de la red industrial, marcando en recuadros de líneas entrecortadas la sección o subproceso a la que corresponde de acuerdo a la ubicación del interior de la furgoneta, adicionalmente se ilustra la conexión con los respectivos protocolos de comunicación que manejará cada equipo de la red de la industria 4.0.

Figura 35*Topología de la red*



Diseño para la manufactura (DPM)

Teniendo en cuenta las funciones y especificaciones del producto se busca integrar diferentes técnicas para el desarrollo del producto (técnicas CAD, CAE, análisis mecánico) para un diseño con una alta calidad y que al mismo tiempo disminuya los costos de manufactura ya que se busca validar que las planchas de aluminio que se pretende reutilizar para la construcción de las mesas para los tanques son factibles para un diseño seguro.

Estimación de costos de manufactura

Los costos de componentes y costos de ensamble son los aspectos más importantes para considerar para la estimación de los costos de manufactura. Dentro de los costos de componentes o partes del producto se toma en cuenta elementos electrónicos y neumáticos de control e instrumentación, para el costo de ensamble se tomó en cuenta el costo de la mano de obra y prestaciones de servicios para llevar a cabo la fabricación de varios componentes.

Reducción de costos de los componentes

Teniendo en consideración los requerimientos del proyecto se buscó maneras de simplificar los procesos de producción reutilizando materiales que habían sido usados previamente, además del uso de nuevas tecnologías de fabricación y prototipado rápido como es la impresión 3D para la creación de varios componentes como bases y soportes para el montaje seguro de sensores y actuadores que intervienen en la sección de procesos y sensórica.

Impacto de decisiones del DPM en otros factores

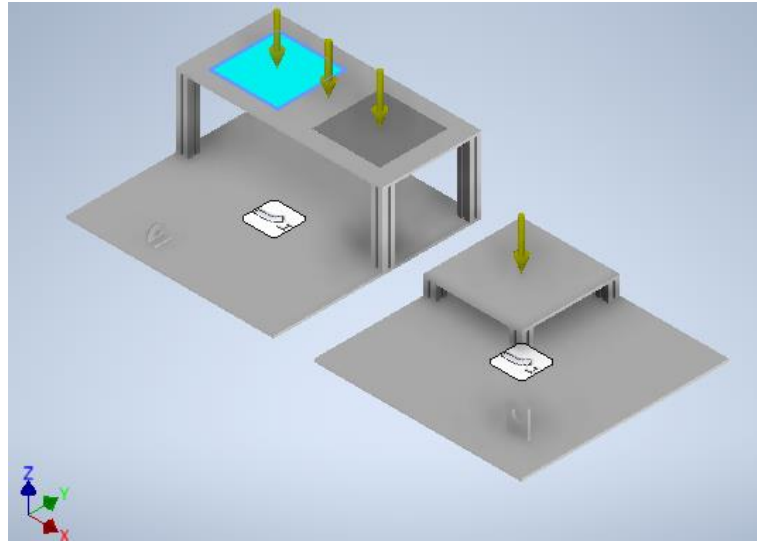
El impacto del DPM en la calidad del producto es alto debido a la constante búsqueda por parte de la empresa en la que una disminución en los costes de manufactura eleve el nivel de calidad del producto

De las necesidades recopiladas de los procesos a realizarse se requieren tres tanques con una capacidad de 20, 15 y 10 litros por lo que se necesitan superficies que sean capaces

de soportar el peso sin sufrir deformaciones, la principal superficie debe soportar el peso conjunto de los tanques de 20 y 15 litros. En la Figura 36 se muestra la propuesta de diseño para las mesas del módulo de procesos y sensórica

Figura 36

Propuesta de diseño para las mesas del módulo de procesos y sensórica



Se calcula el peso ejercido por los tanques sabiendo que los tanques se llenaran con agua con la ecuación 1.

$$20 \text{ lt} \rightarrow 20 \text{ kg}$$

$$15 \text{ lt} \rightarrow 15 \text{ kg}$$

$$W_1 = m * a \quad (1)$$

$$W_1 = 20 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/seg}^2$$

$$W_1 = 196.2 \text{ N}$$

$$W_2 = m * a$$

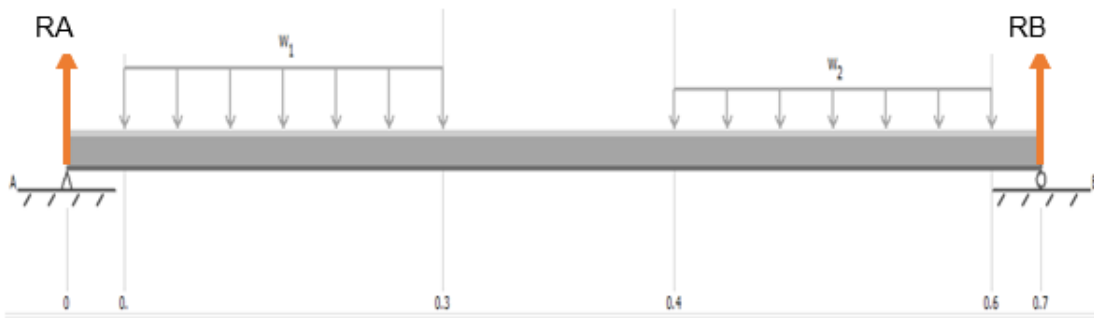
$$W_2 = 15 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/seg}^2$$

$$W = 147.15 \text{ N}$$

Una vez que conocemos las fuerzas involucradas se realiza un diagrama de cuerpo libre, los dos tanques ejercerán cargas distribuidas sobre la estructura como se muestra en la Figura 37.

Figura 37

Diagrama de cuerpo libre



Para encontrar las reacciones se utiliza las ecuaciones de sumatorias de momentos y sumatorias de fuerzas utilizando las ecuaciones 2 y 3.

$$\sum F_y = 0 \quad (2)$$

$$\sum M = 0 \quad (3)$$

$$\sum M = 0$$

$$R_A(0.674m) - (196.2N)(0.53m) - (147.15N)(0.15m) = 0$$

$$R_A = 183.97 N$$

$$\sum F_y = 0$$

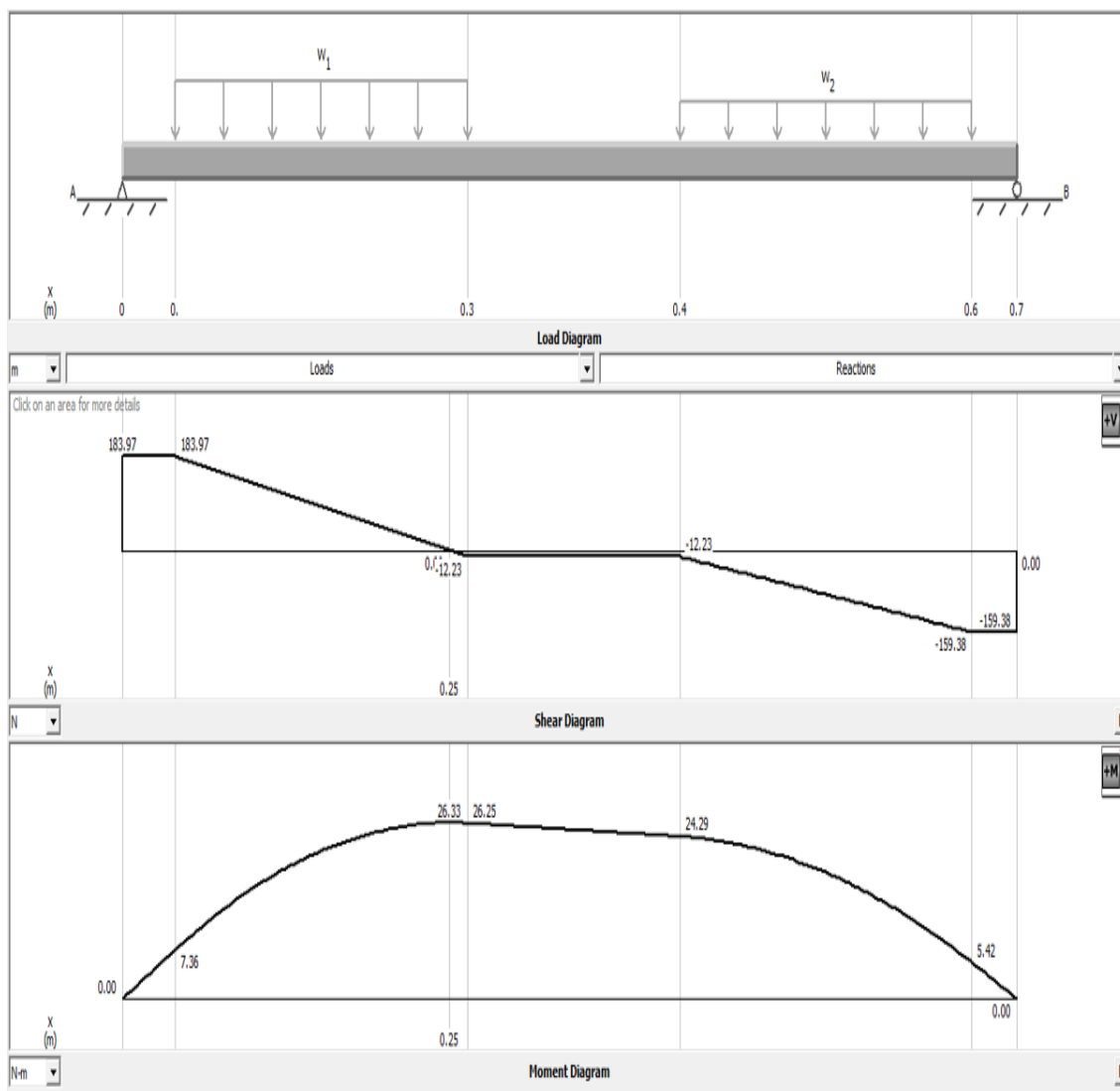
$$R_A + R_B - 196.2 - 147.15$$

$$R_B = 159.38 N$$

Con los datos obtenidos se realiza los diagramas de fuerza cortante y momentos flector, para graficar los diagramas se utiliza el software MDSolid en la Figura 38 se muestran los diagramas.

Figura 38

Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos de la mesa



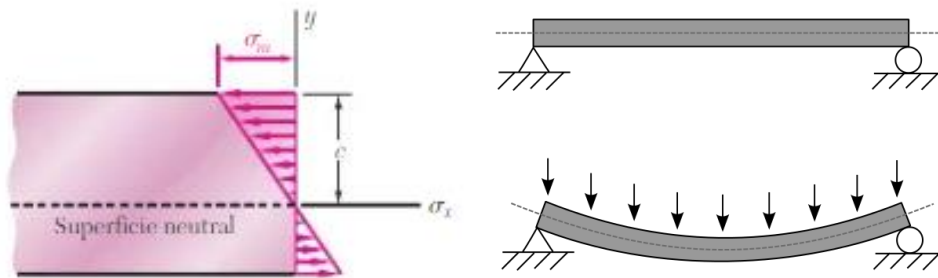
Utilizando el diagrama de momentos se puede determinar el esfuerzo máximo al que se encuentra sometido el elemento.

El momento es máximo en el punto en que el diagrama fuerza cortante tiene un cruce por cero por lo cual el momento máximo es de 26.33N-m.

El esfuerzo varía dependiendo a que distancia se encuentre del eje neutro siendo el máximo el que se encuentra en la superficie del elemento como ilustra en la Figura 39.

Figura 39

Esfuerzo de una viga con respecto al eje neutro



Con la ecuación 4 para calcular el esfuerzo máximo es:

$$\sigma = \frac{M}{S} \quad (4)$$

Donde:

M: momento flector

S: módulo elástico de sección

Para el caso de un elemento rectangular el módulo elástico de sección es

$$S = \frac{1}{6} b * h^2$$

$$\sigma = \frac{6(26.33N - m)}{(0.32) * (9x10^{-3})^2}$$

$$\sigma = 6.1 MPa$$

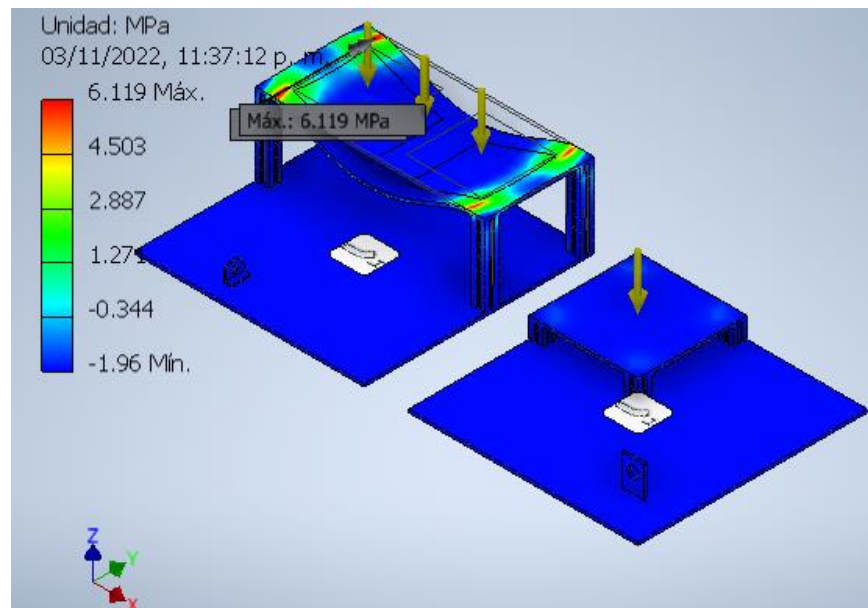
El material con el que se construyó el elemento fue aluminio 6061, de acuerdo con la Anexo 2 el límite de cedencia del aluminio es de 240 MPa.

El esfuerzo máximo al cual es sometido el elemento es menor que el límite de cedencia del aluminio y de acuerdo con el diagrama esfuerzo deformación el elemento se encuentra trabajando en la zona elástica por lo que cualquier deformación que se produzca no será permanente.

Utilizando el software Inventor y a través de análisis de elementos finitos se calculó la deformación producida sobre el elemento, el máximo esfuerzo que soporta que es verificado por los cálculos manuales como se muestra en las figuras 40.

Figura 40

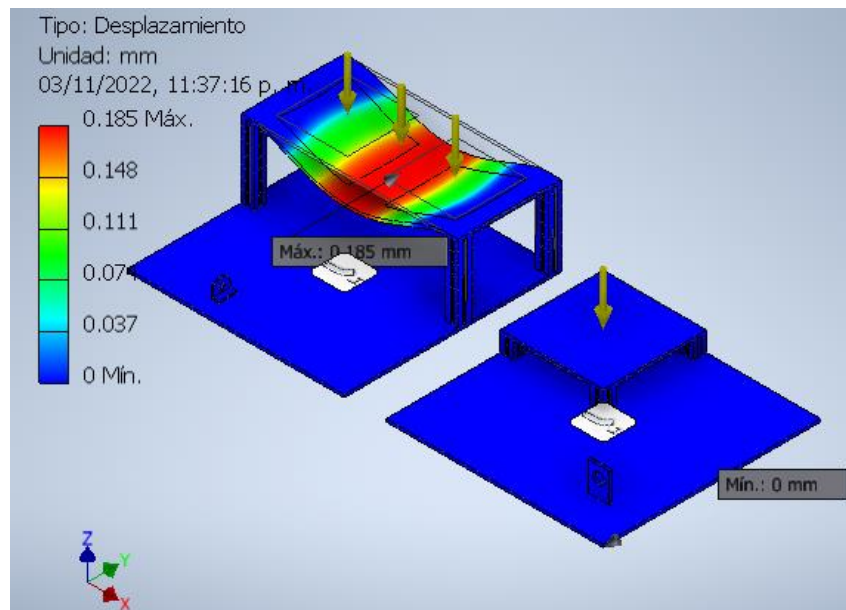
Tensión principal obtenida por software CAE



En la figura 41 se realiza la simulación para determinar el desplazamiento máximo que sufrirá la estructura de aluminio en el punto más crítico que esta dado en la mitad de la plancha de aluminio con los dos apoyos en los extremos.

Figura 41

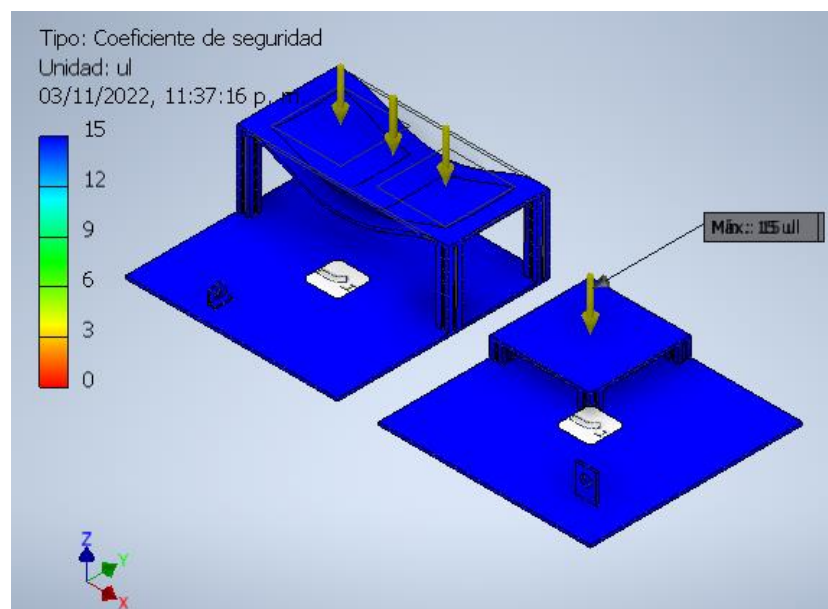
Desplazamiento máximo obtenido por software CAE



En la figura 42 se observa que toda la estructura cuenta con un diseño seguro, mediante la simulación CAD y CAE en Inventor.

Figura 42

Coefficiente de seguridad del diseño de las mesas obtenido por software CAE



Capítulo IV

Implementación del Sistema Mecatrónico

En este capítulo se presenta de manera ordenada el proceso de la construcción e implementación de los módulos y tableros de procesos y subprocesos que conforman la red industrial con enfoque a la Industria 4.0 de la Expotainer.

Construcción e implementación del módulo de procesos y sensórica.

Para el desarrollo de los módulos de proceso y sensórica se empezó por la selección del material para las bases y mesas de los módulos por lo que de acuerdo al cálculo estimado en el capítulo anterior se comprobó que las planchas de aluminio 6061 de 10mm de espesor obtenidas de módulos demostrativos desarrollados por la empresa con anterioridad son adecuadas para la construcción de mesas seguras que resistan el peso de los tanques, por lo que será un factor que permita ahorro económico en la ejecución del proyecto ya que solo fue preciso realizar un tratamiento estético a las planchas el cual es presentado en la Figura 43, mismo que consistió en el masillado, lijado y pintado de las planchas con el fin de eliminar perforaciones, raspones u otras imperfecciones, de modo que las mesas no tengan rastro alguno de que son reutilizadas.

Figura 43

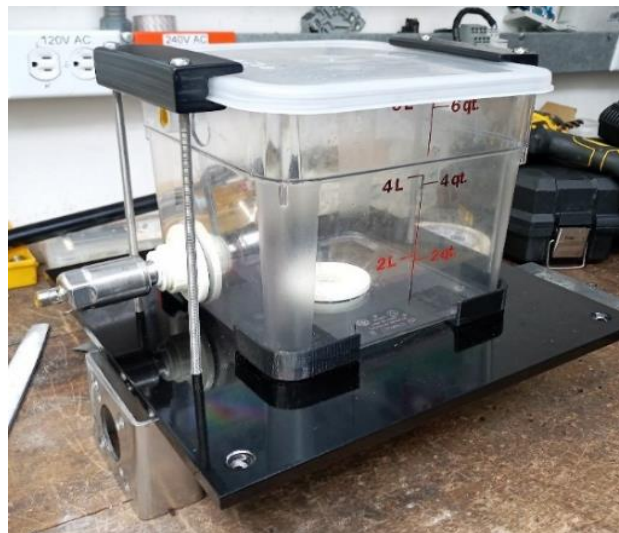
Construcción de mesas con planchas de aluminio 6061 reutilizadas y tratadas



En la Figura 44, se muestra cómo se realizó la fijación de los tanques sobre las bases de aluminio, ya que fue posible gracias a cuatro bases impresas en 3D ubicadas bajo cada esquina de cada tanque, que sirven como colchón de amortiguación favoreciendo a que el tanque de acrílico no esté en contacto directo con la mesa, evitando daños por contacto y vibración entre elementos rígidos, además se diseñó piezas en 3D para sujetar la parte superior del tanque con la base mediante varillas roscadas recubiertas de mangueras transparentes a modo de anclaje a la base con tuercas, logrando así que los tanques queden bien fijados a la superficie de la mesa.

Figura 44

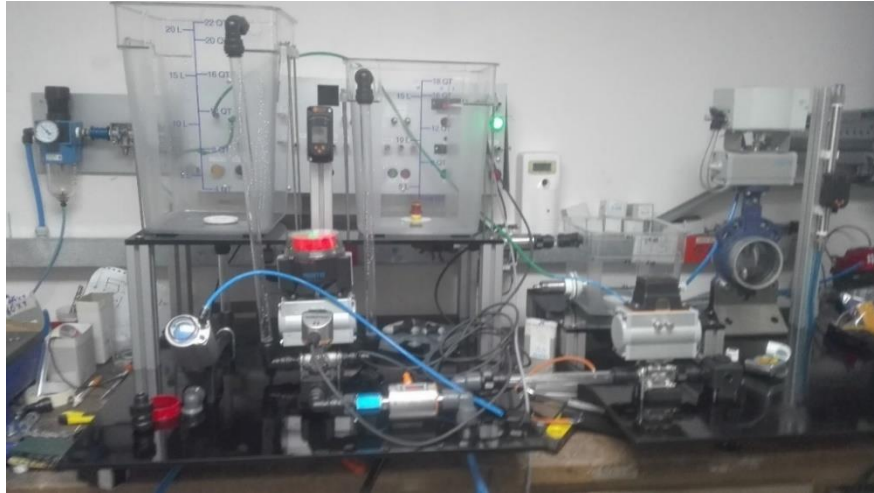
Fijación de los tanques a la superficie de la mesa



El montaje de todos los sensores, actuadores y componentes en las bases del módulo de proceso de los tanques se realizó de acuerdo con la distribución del ensamble CAD del diseño conceptual, por lo que en la Figura 45, se realizan pruebas de llenado de los tanques para verificar que no existan fugas en las tuberías tras el ensamble del proceso en las bases de aluminio antes del montaje en la furgoneta.

Figura 45

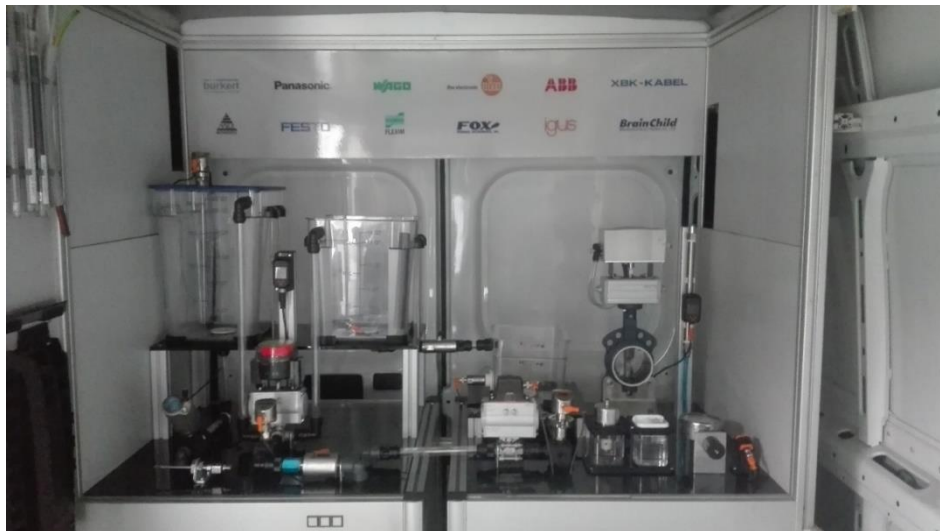
Verificación de fugas y ensamble.



Tras confirmar que el ensamble del módulo de tanques esta bien rezaliado se procede al montaje de las bases sobre las mesas destinadas a este propósito de acuerdo a la distribución del espacio del interior de la furgoneta, por lo que la Figura 46, se evidencia el montaje del ensamble del proceso sobre las mesas con la ubicación de los componentes de acuerdo al diseño conceptual realiado en el ensamble CAD.

Figura 46

Implementación de los módulos de procesos y sensórica



Implementación del tablero de procesos y periferia descentralizada

El montaje de los componentes se realizó en el taller de acuerdo a la distribución del diseño conceptual ya que está será importante al momento de colocar los vinilos con el esquema de conexión de la red industrial señalando el protocolo de comunicación con el que se trabaja.

El cableado de todos los componentes se realizó bajo las mesas fijando el cableado de forma ordenada a las estructuras de la Expotainer y con canaletas en la parte posterior de los tableros, tal como se visualiza en la Figura 47.

Figura 47

Cableado de sensórica al posterior del tablero



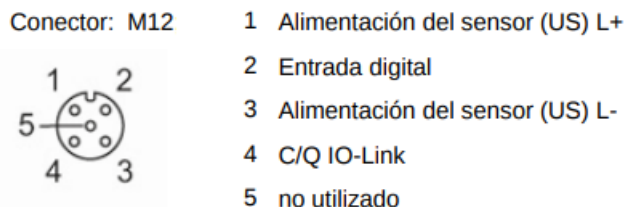
Conexión de sensórica con terminales M12

Para que los sensores de ifm funcionen con la tecnología IO-Link se debe realizar la conexión con cables aptos para sensores, debido a que estos cables cuentan con los hilos necesarios para la alimentación y la transmisión de señales mediante un conector M12 hembra para el lado del cable que va al sensor y es necesario armar un conector M12 macho para el maestro del otro extremo el cable, por lo que todos los sensores se conectaron como se indica

en la Figura 48, conectando el cable de color café al pin 1 L+, el azul al pin 3 L-, y el cable color negro al pin 4, siendo este el medio para la transferencia de datos IO-Link, de modo que todos los sensores se conectaran en esta disposición.

Figura 48

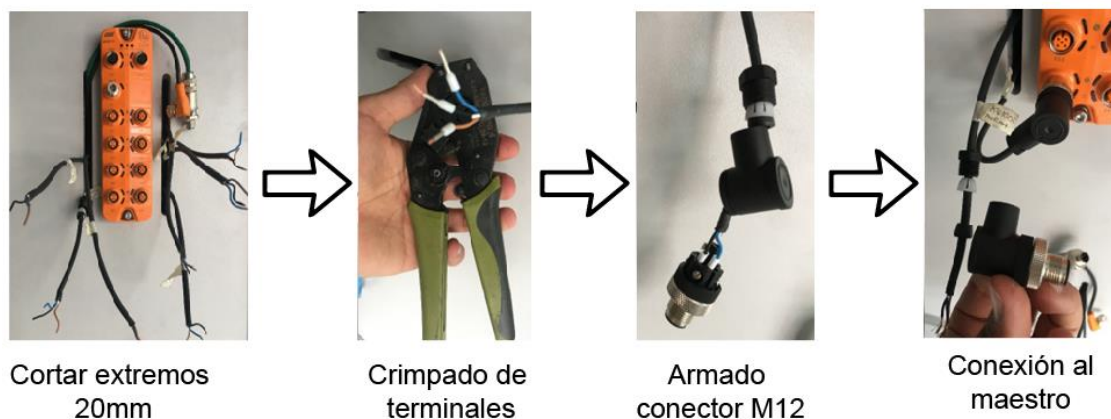
Esquema de conexión de conectores M12



Para realizar una conexión segura de los cables del sensor al conector M12 se siguió los pasos que se muestran en la Figura 49, por lo que primero se cortó los extremos de los cables con una longitud de 20mm, luego con la crimpadora se fijó los extremos de los cables con terminales Wago, se atornilló cada cable con su respectivo pin de acuerdo a la Figura 50, luego se armó las piezas restantes del conector M12, finalmente se conectó el sensor al maestro IO-Link, logrando así la comunicación IO-Link entre el maestro y el sensor.

Figura 49

Conexión de sensores con conectores M12 al maestro IO-Link



Tras conectar todos los sensores en los maestros IO-Link ciertos sensores aptos para la industria alimenticia se conectaron en el maestro con comunicación EtherNet/IP, puesto que este equipo cuenta con certificación IP69K, lo que lo hace apto para esta industria, los datos recoletados de estos sensores se envían directamente al PLC FP7, además bajo este protocolo se conecta un terminal o bloque de válvulas el cuál será el encargado de la activación de todos los actuadores neumáticos finales involucrados en el control del proceso de los tanques, tal como se indica en la Figura 50.

Figura 50

Red Comunicación EtherNet/IP



En la Figura 51 se muestra la subred de protocolo Profinet en donde se encuentran conectados seis sensores a un maestro IO-Link, además de un terminal de periferia descentralizada CPX de Festo, ambos elementos envían y reciben información al PLC S7-1200 por Profinet, este PLC a su vez se encuentra configurado en modo esclavo de una red Modbus TCP/IP, y el PLC FP7 se encuentra configurado como maestro, las funciones que cumple el PLC S7-1200 son las siguientes.

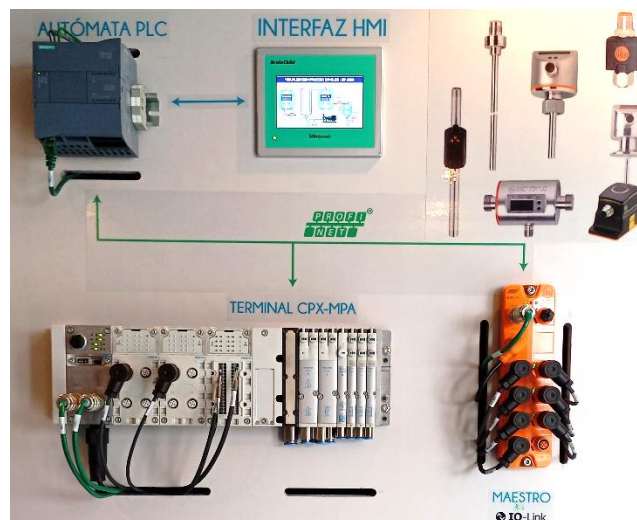
- Puente para la transmisión de datos del PLC FP7 al hmi de Brainchild para la visualización del proceso en tiempo real.
- Recibir, convertir y enviar el bloque de datos del maestro FP7 de Modbus TCP/IP a

Profinet para el control del terminal de válvulas CPX.

El terminal de válvulas CPX es un equipo con características especiales, puesto que integra módulos de entradas y salidas analógicas y digitales con un bloque de electroválvulas, con una salida digital se controla la activación de un relé para encender y apagar la bomba de agua del depósito a los tanques, utilizando una salida analógica se envía la señal de control a un posicionador proporcional neumático, que activa a un actuador neumático giratorio que abre y cierra una válvula de mariposa de 6 pulgadas, a modo interactivo ya que puede ser controlado mediante IIOT.

Figura 51

Red protocolo Profinet



Implementación tablero de industria 4.0 y medición de energía

La adecuación del tablero, además del montaje de los equipos se realizó en el taller de Ecuainsetec, fue necesario contar con una fuente de 110VAC para la alimentación del computador industrial, el monitor y el medidor de energía inteligente KW2M de Panasonic, también para la comunicación se conectaron todos los equipos de la red a un switch industrial de Wago, el cual está visible en la parte frontal del tablero. En la Figura 52, se visualiza el montaje del tablero en el espacio asignado dentro de la furgoneta.

Figura 52

Montaje tablero medición de energía



Para el ingreso a la plataforma de la interfaz IIOT se utiliza un navegador web que se encuentra instalado en un computador industrial de Wago, en la Figura 53, se muestra parte del proceso de configuración del sistema operativo Ubuntu en el computador.

Figura 53

Instalación Ubuntu computador industrial



El PLC FP7 al ser un dispositivo enfocado a la Industria 4.0, cuenta con un servidor web nativo, en el cual se desarrolló la plataforma web para el monitoreo de la información y la operación de las siguientes acciones.

- En su sistema esta alojado el servidor web, para el monitoreo y control de los módulos de Control y movimiento, sensórica y procesos y medición de energía inteligente.
- Recibe de datos del PLC S7-1200 de las entradas del módulo de sensórica y proceso, gestiona la información y envía las señales de mando para el terminal CPX, además de enviar los datos que se presentarán en el hmi a través de Modbus TCP/IP.
- Mediante Modbus TCP/IP controla dos drivers de ejes electromecánicos, uno lineal y un rotativo con el PLC CECC.

En la Figura 54, se muestra el montaje final de tablero con el PLC FP7, la pantalla con el computador industrial donde se observa el servidor web propio del medidor de energía KW2M de Panasonic en el tablero de la Industria 4.0.

Figura 54

Montaje final tablero Industria 4.0



Implementación módulo de control y movimiento

El montaje de los componentes del módulo de control se realizó en el taller de la empresa, el módulo que se indica en la Figura 55, está conformado por un PLC CECC, dos controladores de motor CMMO, dos ejes electromecánicos lineal y rotativo, la fuente de alimentación para este módulo se ubicó en la parte inferior de la base, puesto que la placa será montada en un mesa en la Expotainer.

Figura 55

Montaje componentes control y movimiento

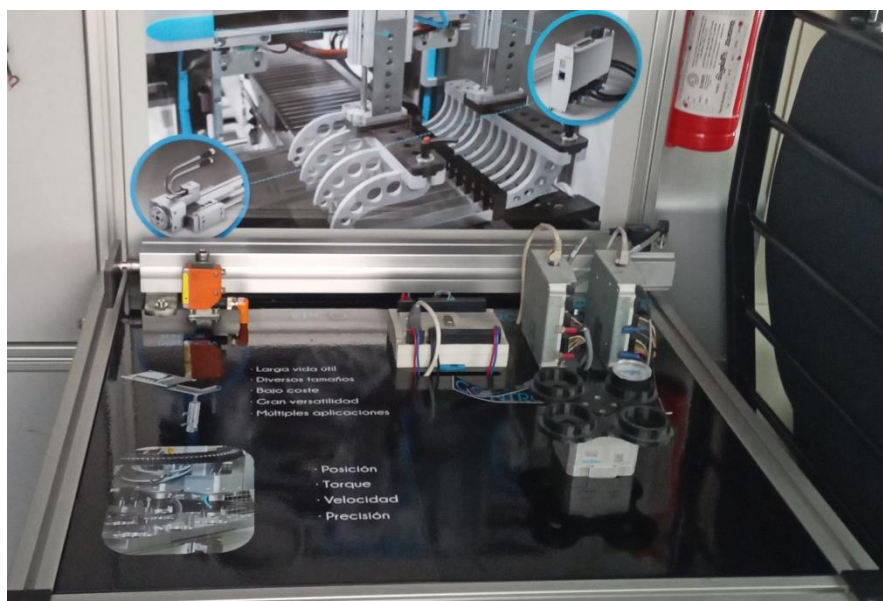


El PLC CECC permite trabajar con Modbus TCP/IP e IO-Link, el eje electromecánico lineal EPCO trabaja mediante Modbus TCP/IP, y el eje electromecánico rotativo ERMO con IO-Link, presentando la versatilidad de los productos de Festo.

Para el accionamiento de los ejes electromecánicos se requiere de controladores de motor CMMO, estos dispositivos son los que reciben la información del PLC CECC para la activación mediante el servidor web IIOT. En la Figura 56, se muestra el montaje del módulo de control y movimiento de la Expotainer.

Figura 56

Montaje final módulo control y movimiento



Implementación del tablero de didáctica

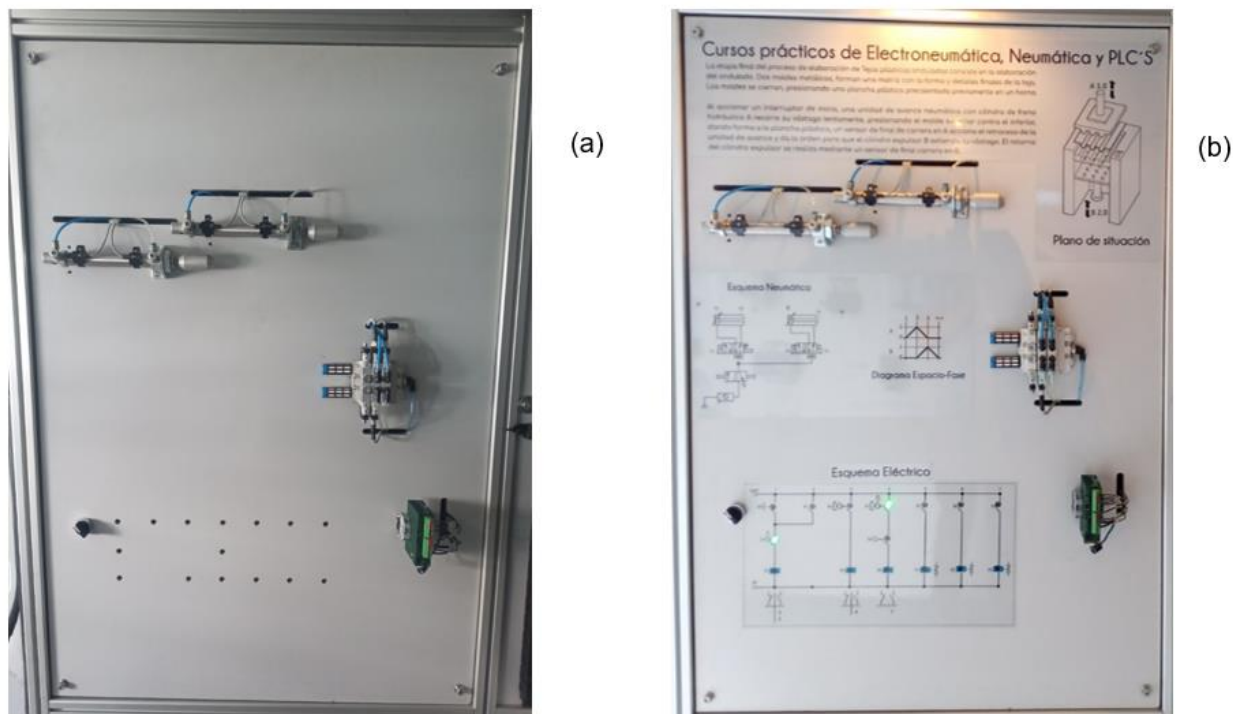
El propósito del tablero de didáctica es presentar al público los cursos de capacitación en áreas de neumática, electroneumática y PLC, como una solución integral a problemas habituales de la industria.

En la Figura 57 a) se visualiza el tablero que consta de dos cilindros neumáticos de doble efecto, cuatro sensores de posición tipo reed-switch para los fines de carrera, un bloque de válvulas con una válvula 5/2 biestable y una válvula 5/2 monoestable, diagrama de conexión eléctrico que representa la activación de cada componente mediante leds y para el control del tablero se utiliza el PLC FP0R con salida de relé de Panasonic, cabe mencionar que todos los componentes utilizados en este tablero son los mismos que se utilizan en las capacitaciones prácticas que brinda Ecuainsetec.

En la Figura 57 b) se muestra la solución integral para un proceso de ondulado de tejas en el cual se presenta el diagrama de conexión neumático, diagrama de fases de los cilindros y el esquema de conexión electroneumático.

Figura 57

Montaje componentes tablero didáctica



Nota. a) Montaje del tablero didáctico. b) Solución del problema

Implementación del servidor IIOT de la industria 4.0

El servidor web fue desarrollado en el software WebCreator de Panasonic, en este programa se diseñó toda interfaz del IIOT, con una serie de ventanas de modo que la presentación sea secuencial, ordenada, informativa, interactiva y además que la interfaz tenga la capacidad de controlar cada etapa de los módulos de la red industrial multiprotocolo, por lo que en adelante se explicará cada ventana de la interfaz de la Industria 4.0 y su relación con cada proceso.

Interfaz de bienvenida

Al colocar la dirección 192.168.0.2 en un navegador de internet, se ingresa a la pantalla de bienvenida de la plataforma web de Industria 4.0, en la Figura 58, se indica la pantalla de inicio.

Figura 58

Interfaz de bienvenida



En la Figura 59, se muestra la pantalla del menú de selección de procesos, donde se puede seleccionar entre control y movimiento, procesos y sensórica o medición de energía.

Figura 59

Pantalla menú de procesos



Interfaz de control y movimiento

En la Figura 60, se muestra la primera ventana informativa del proceso de control y movimiento, haciendo enfoque en las características de los ejes electromecánicos de Festo.

Figura 60

Pantalla inicio interfaz control y movimiento



Para el control del eje electromecánico lineal EPCO, en la interfaz IIOT de la Figura 61, se cuenta con un panel de mando manual en la cual es posible configurar la posición y la velocidad, también hay otro panel para el monitoreo de la ubicación mediante dos sensores, un encoder propio del eje electromecánico EPCO y un sensor láser IO-Link de distancia para verificar la posición del vástago en tiempo real.

Figura 61*Interfaz eje electromecánico EPCO*

Para el control del eje electromecánico rotativo ERMO, se cuenta con un botón de activación de la secuencia programada, también la visualización de la posición en revoluciones con respecto al origen en tiempo real como se observa en la Figura 62.

Figura 62*Interfaz eje electromecánico ERMO*

Interfaz de procesos y sensórica

En la Figura 63, se muestra una venta informativa referente a la periferia descentralizada, con el nodo Profinet del terminal de válvulas CPX y los maestros IO-Link Profinet y EtherNet/IP.

Figura 63

Pantalla informativa terminales de comunicación



En la Figura 64, se muestra una interfaz interactiva cuyo control estará dado por un panel de botones los cuales activan las electroválvulas integradas en este módulo, también se cuenta con un deslizador para controlar en porcentaje de apertura de la válvula de mariposa mediante un controlador proporcional neumático, instalada en la base del módulo de procesos y sensórica.

Figura 64*Interfaz terminal CPX*

En la interfaz del terminal VTUG de la Figura 65, me implementó un panel de botones los cuales activan las electroválvulas que controlan los actuadores neumáticos del procesos de los tanques.

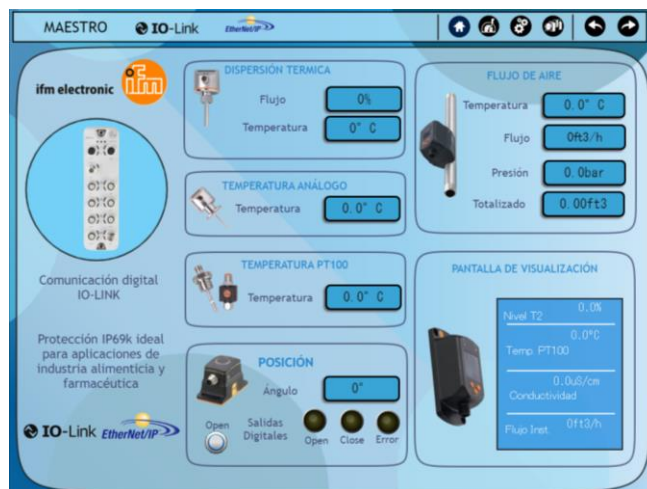
Figura 65*Interfaz terminal VTUG*

En la interfaz de la Figura 66, se muestran el monitoreo de cuatro sensores enfocados a la industria alimenticia, conectados al maestro IO-Link de comunicación EtherNet/IP , además

de contar con un sensor de posición de un actuador neumático el cual puede ser activado con un botón en la sección de posición para observar el cambio en las salidas del sensor, también se muestra los datos de la pantalla de visualización IO-Link.

Figura 66

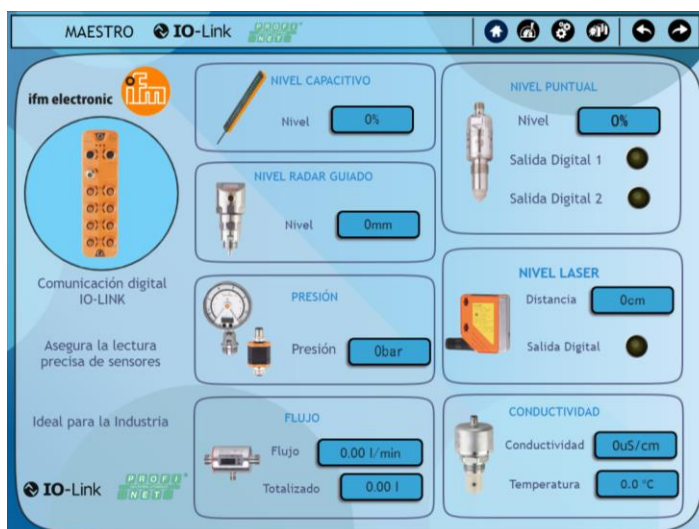
Interfaz maestro IO-Link EtherNet/IP



La visualización de los datos de los sensores conectados al maestro IO-Link con comunicación Profinet se muestran en la Figura 67 .

Figura 67

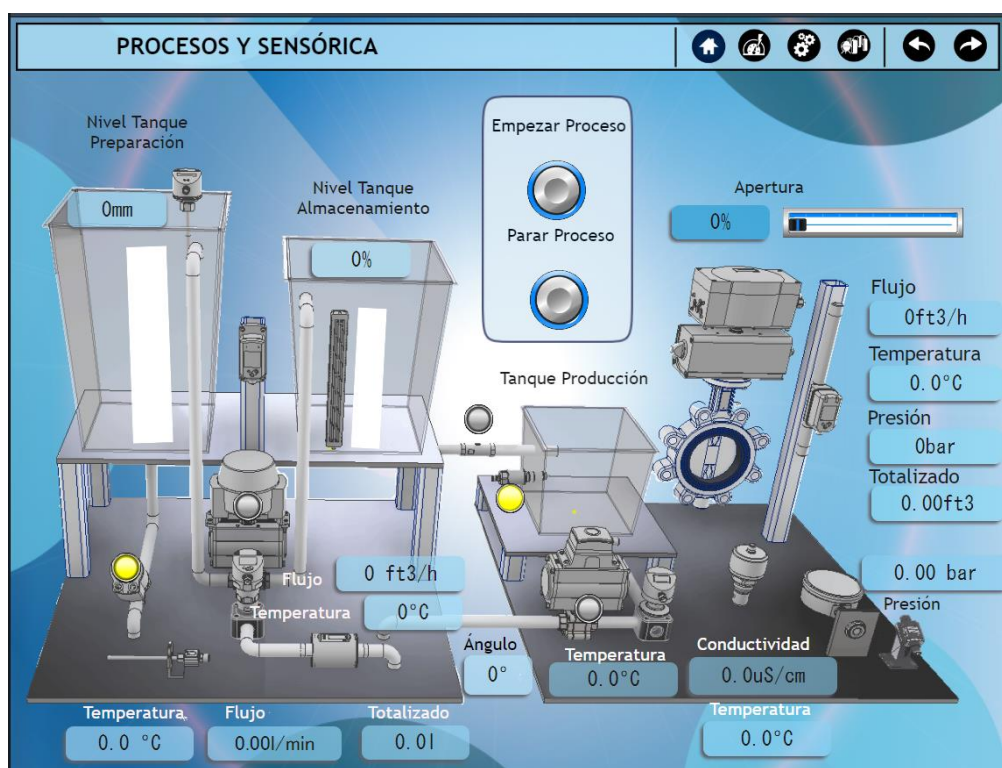
Interfaz maestro IO-Link Profinet



El monitoreo y control del proceso de los tanques esta dado en la ventana de la Figura 68, donde es posible controlar el inicio y la parada de todo proceso de los tanques, en donde se muestra en tiempo real el estado de las variables de los sensores implementados en el módulo de procesos y sensórica, también se puede controlar la apertura de la válvula de mariposa del posicionador proporcional neumático.

Figura 68

Interfaz control y monitoreo de procesos y sensórica



Interfaz de medición de energía inteligente

La primera pantalla informativa de la Figura 69, se muestran datos y características del medidor de energía KW2M.

Figura 69

Interfaz informativa medición de energía



Con los datos obtenidos a través de Modbus TCP/IP del medidor de energía se creó una interfaz personalizada donde se presentan mediante gráficos los datos en tiempo real de variables como el voltaje, la corriente, el consumo en KWh de tres líneas correspondientes a los tres circuitos de alimentación monitoreados. En la Figura 70, se presenta la interfaz web personalizada de medición y energía.

Figura 70

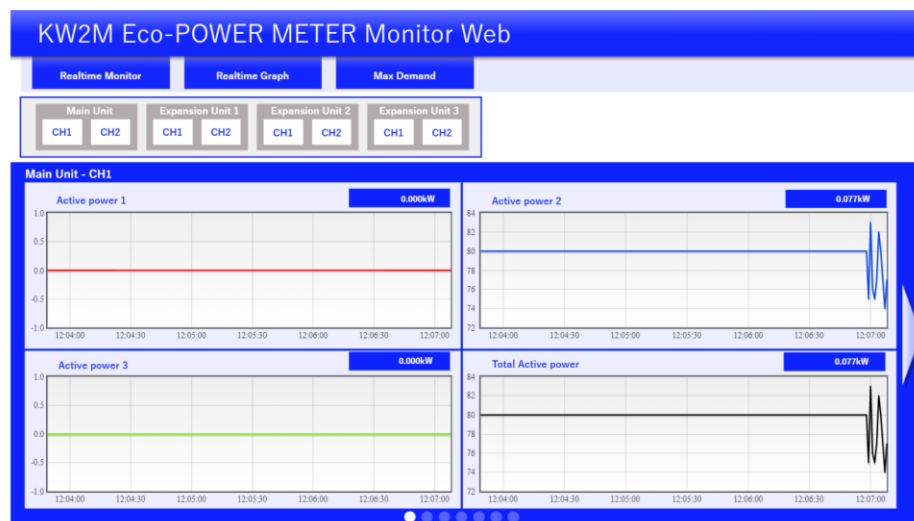
Interfaz web personalizada de medición y energía



El medidor de energía inteligente cuenta con una interfaz gráfica propia del equipo la cual se muestran en las Figura 71.

Figura 71

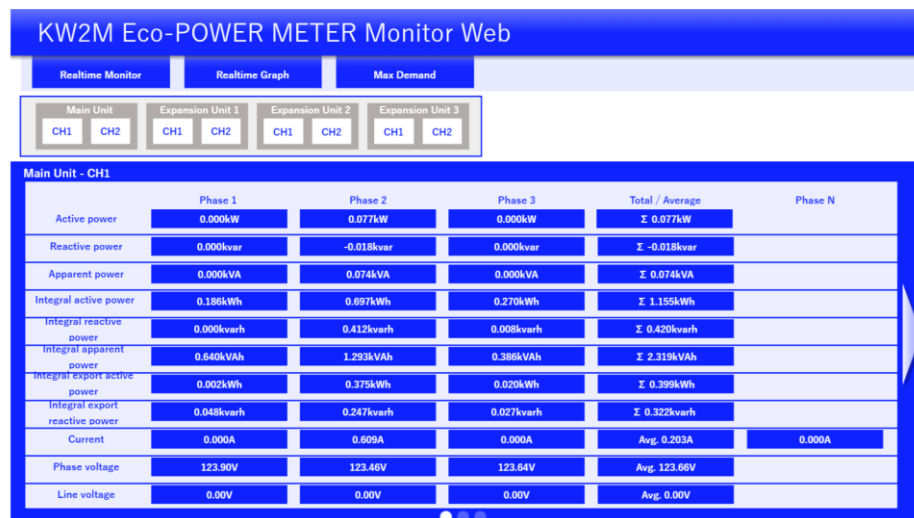
Gráficas de la interfaz web del medidor de energía KW2M



En la Figura 72 se indica la visualización de todas variables del consumo eléctrico de cada línea monitoreada.

Figura 72

Tablas de la interfaz web del medidor de energía KW2M



Programación PLC

La programación de los elementos de control PLC fue realizada en cada software especializado para cada marca, en el Anexo 8 se presenta la programación de cada equipo.

Análisis de costos

Considerando el acuerdo de no divulgación de información sensible firmado con la empresa no se presentarán precios específicos de los componentes, por lo que los precios se generalizaron seccionando los componentes por grupos.

En la tabla 16 se muestra de forma detallada los recursos materiales y valor total

Tabla 16

Recursos materiales

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	VALOR	
		UNITARIO	TOTAL
Material estructura montaje	1	\$ 4.000,00	\$ 4.000,00
módulos y tableros			
Tanques	4	\$ 50,00	\$ 200,00
PLCs	4	\$ 500,00	\$ 2000,00
Pantalla HMI	1	\$ 450,00	\$ 450,00
Instrumentación de sensórica	1	\$ 4500,00	\$ 4500,00
IO-LINK			
Instrumentación de actuadores	1	\$ 4500,00	\$ 4500,00
Neumáticos			
Bomba de agua	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Accesorios Neumáticos	1	\$ 600,00	\$ 600,00

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	VALOR	
		UNITARIO	TOTAL
Accesorios Eléctricos	1	\$ 600,00	\$ 600,00
Periferia descentralizada	3	\$ 500,00	\$ 1500,00
		TOTAL	\$18 400,00

Toda la implementación de la Expotainer tuvo un precio aproximado de \$ 18 400 dólares, sin embargo hay que tener en cuenta que ciertos equipos fueron tomados de módulos demostrativos desarrollados anteriormente, Ecuainsetec busca posicionarse en la industria nacional con sus servicios y productos por lo que el desarrollo e innovación constante de estos módulos demostrativos se consideran como una inversión para la empresa.

Capítulo V

Pruebas de funcionamiento y validación de hipótesis

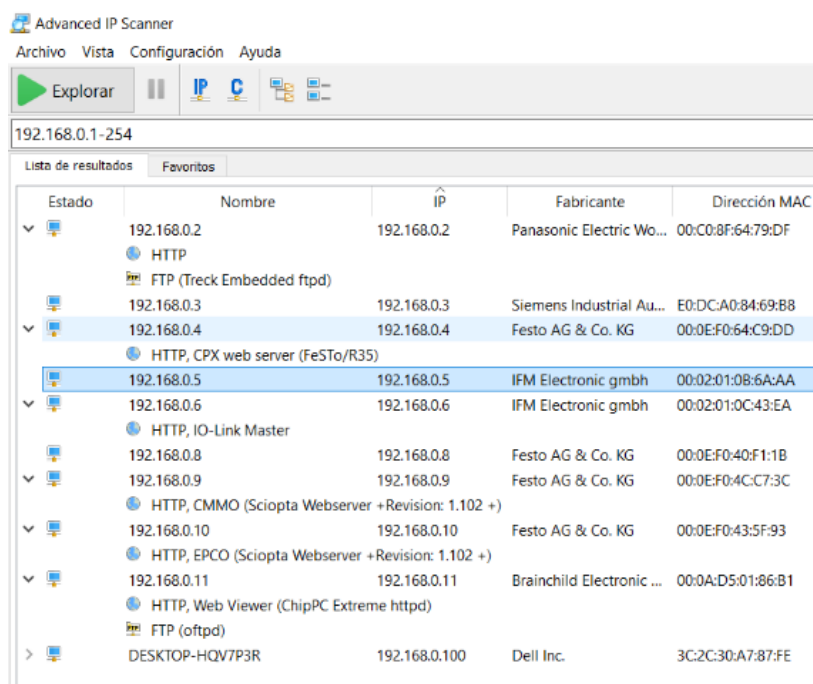
En este capítulo se presentan las pruebas de funcionamiento realizada a los componentes que conforman la red industrial, con el fin de validar la comunicación y la transmisión de datos desde el servidor web, también se plantea la validación de la hipótesis mediante el método t-Student y una comparativa del impacto obtenido en los clientes con la Expotainer.

Pruebas de funcionamiento de dispositivos conectados

Utilizando el software de licencia libre Advanced IP Scanner se realiza una búsqueda de las direcciones IP conectadas a la red industrial de la Expotainer, en la Figura 73 se muestran los equipos con su respectiva dirección IP, una vez escaneados los dispositivos conectados se identifica el equipo de Panasonic encargado de alojar el servidor web apuntando a la dirección 192.168.0.2.

Figura 73

Escaneo de direcciones IP en la red industrial

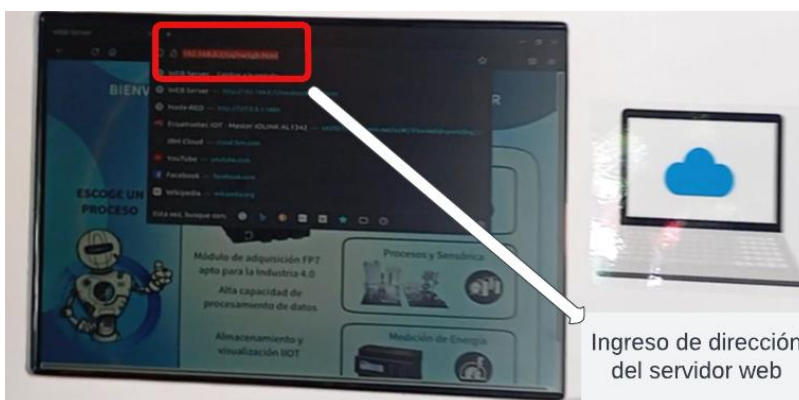


Estado	Nombre	IP	Fabricante	Dirección MAC
✓	192.168.0.2 ● HTTP FTP (Treck Embedded ftpd)	192.168.0.2	Panasonic Electric Wo...	00:C0:8F:64:79:DF
✓	192.168.0.3	192.168.0.3	Siemens Industrial Au...	E0:DC:A0:84:69:B8
✓	192.168.0.4 ● HTTP, CPX web server (FeSTo/R35)	192.168.0.4	Festo AG & Co. KG	00:0E:F0:64:C9:DD
✓	192.168.0.5 ● HTTP, IO-Link Master	192.168.0.5	IFM Electronic gmbh	00:02:01:0B:6A:AA
✓	192.168.0.6	192.168.0.6	IFM Electronic gmbh	00:02:01:0C:43:EA
✓	192.168.0.8	192.168.0.8	Festo AG & Co. KG	00:0E:F0:40:F1:1B
✓	192.168.0.9 ● HTTP, CMMO (Sciopta Webserver +Revision: 1.102 +)	192.168.0.9	Festo AG & Co. KG	00:0E:F0:4C:C7:3C
✓	192.168.0.10 ● HTTP, EPCO (Sciopta Webserver +Revision: 1.102 +)	192.168.0.10	Festo AG & Co. KG	00:0E:F0:43:5F:93
✓	192.168.0.11 ● HTTP, Web Viewer (ChipPC Extreme httpd) FTP (oftpd)	192.168.0.11	Brainchild Electronic ...	00:0A:D5:01:86:B1
>	DESKTOP-HQV7P3R	192.168.0.100	Dell Inc.	3C:2C:30:A7:87:FE

Para validar el funcionamiento del servidor web se ingresa la dirección 192.168.0.2 mediante un navegador web instalado en el computador industrial, en la Figura 74 se indica el acceso al servidor web.

Figura 74

Ingreso dirección en navegador web



Pruebas de funcionamiento de control y movimiento

En la Figura 75 el eje electromecánico EPCO y rotativo ERMO se encuentran ubicados en su posición inicial

Figura 75

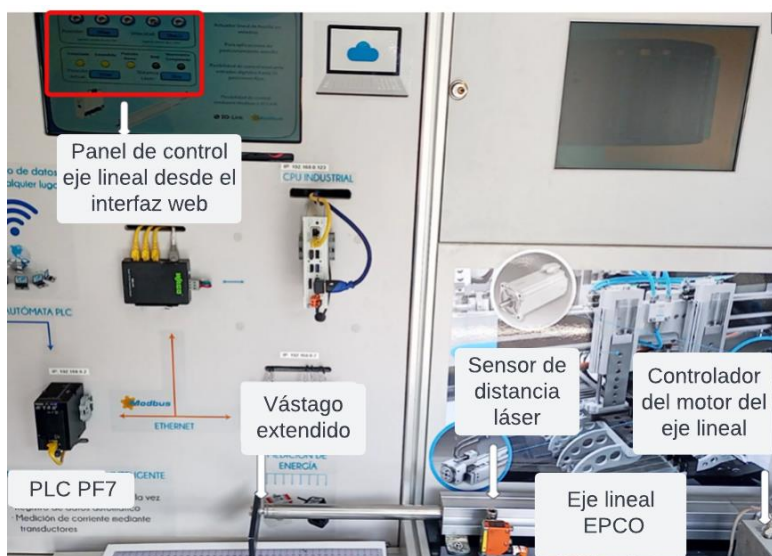
Posición home ejes electromecánicos



En la Figura 76 se realiza la prueba de control manual del eje electromecánico lineal desde el servidor web del computador de la Expotainer con entrada de posición y velocidad asignada por el usuario se puede observar que el vástago se ha desplazado hasta la posición ingresada de forma manual.

Figura 76

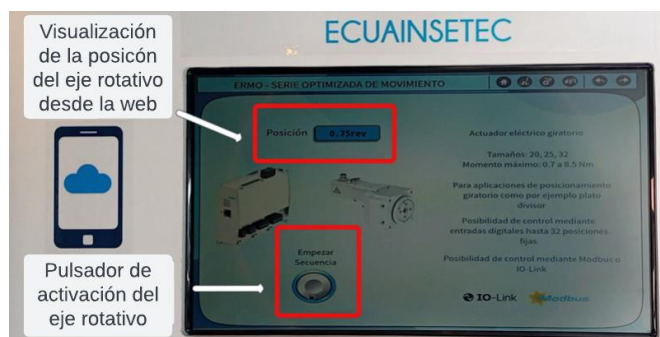
Activación eje electromecánico lineal



En la Figura 77 se realiza la prueba de control manual del eje electromecánico rotativo con la señal de activación desde el servidor web del computador de la Expotainer, en la pantalla se visualiza la posición desde el origen.

Figura 77

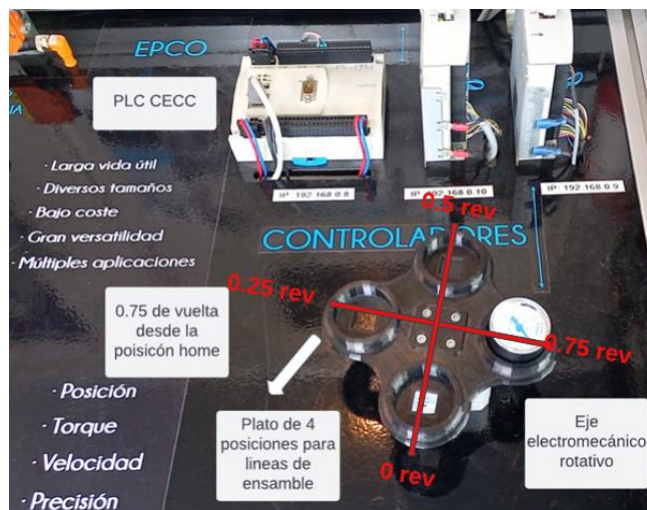
Interfaz web eje electromecánico ERMO



En la Figura 78 se observa que el plato de 4 posiciones del eje rotativo se ha desplazado hasta 0.75 revoluciones, tomando como referencia el manómetro para verificar la posición

Figura 78

Verificación física del movimiento del eje rotativo

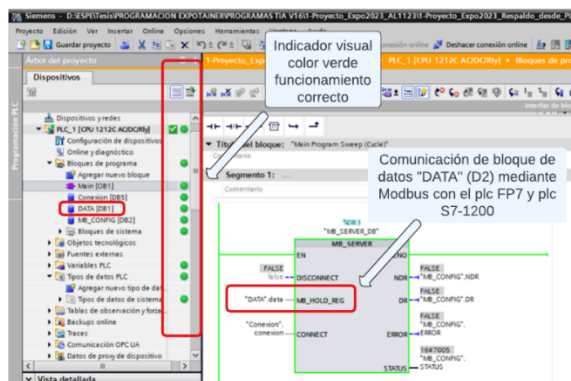


Pruebas de funcionamiento de procesos y sensórica

En la Figura 79 se muestra el bloque de configuración Modbus TCP que permite la comunicación bidireccional entre el PLC S7-1200 con el plc FP7, se verifica el funcionamiento adecuado de los dispositivos conectados mediante los indicadores visuales.

Figura 79

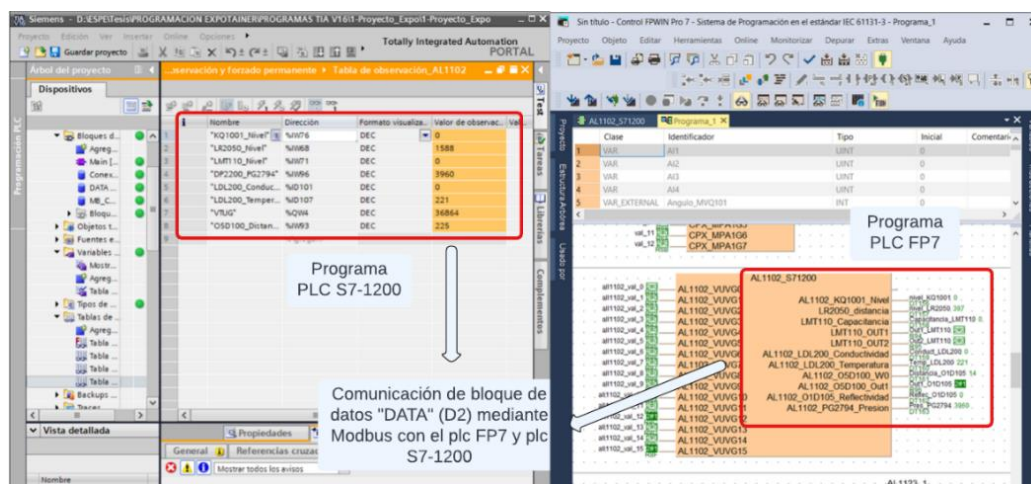
Bloque de configuración Modbus TCP



En la Figura 80 se muestra la trama de datos obtenidos de los sensores IO-Link obtenidos en tiempo real en el PLC S7-1200 a través del maestro IO-Link Profinet y enviados al PLC FP7 mediante Modbus TCP.

Figura 80

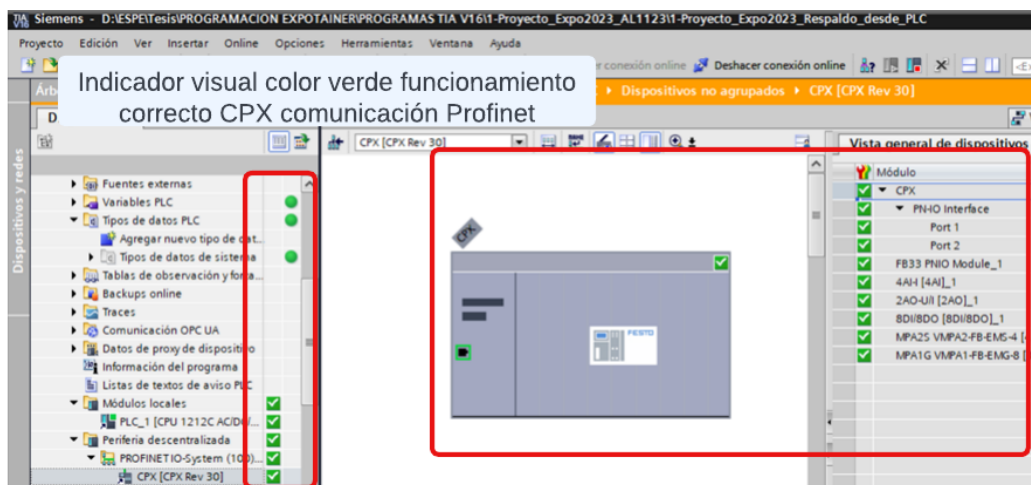
Datos de sensores leídos por el PLC



En la Figura 81 se verifica el funcionamiento de los módulos eléctricos y neumáticos instalados en el CPX y validando la comunicación Profinet entre el CPX con el PLC S7-1200.

Figura 81

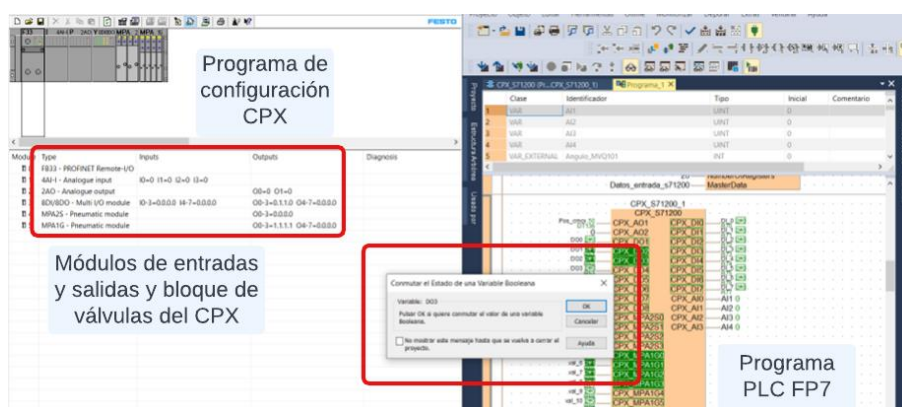
Verificación funcionamiento módulo CPX



En la Figura 82 se realiza una prueba de funcionamiento forzando las salidas de los módulos instalados en el CPX mediante el programa CPX-FMT, donde se puede apreciar la activación de los bits forzados tanto el programa del PLC FP7 como en el software de diagnóstico.

Figura 82

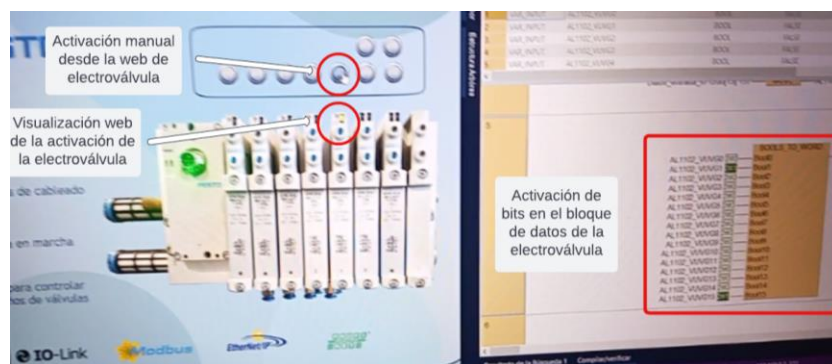
Forzado de salidas del CPX



En la Figura 83 se muestran las pruebas al bloque de válvulas para la activación manual de los actuadores neumáticos desde el servidor web, también se muestra la visualización en el software FPwin Pro 7 de los bits activados.

Figura 83

Activación electroválvulas desde el servidor web



En la Figura 84 se muestra la activación física de la electroválvula del bloque de valvulas VTUG desde el servidor web

Figura 84

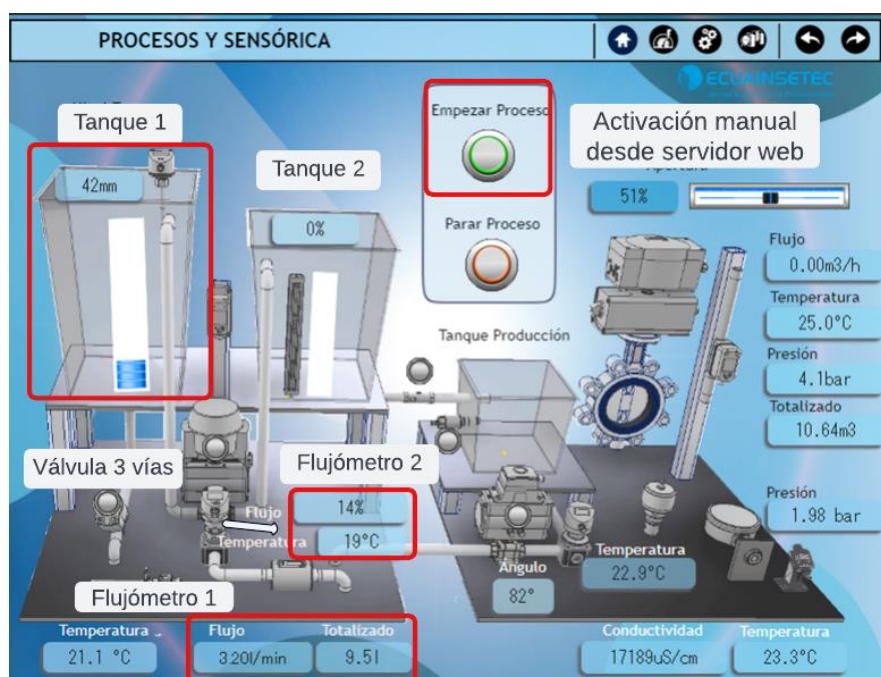
Activación física de la electroválvula desde la interfaz web



En la Figura 85 se presenta la interfaz web de la activación manual de la etapa de preparación, el flujómetro 1 muestra un valor de 3.20 litros de agua por minuto que circulan a través de la tubería donde la valvula de tres vías direcciona el fluido hacia el tanque 1.

Figura 85

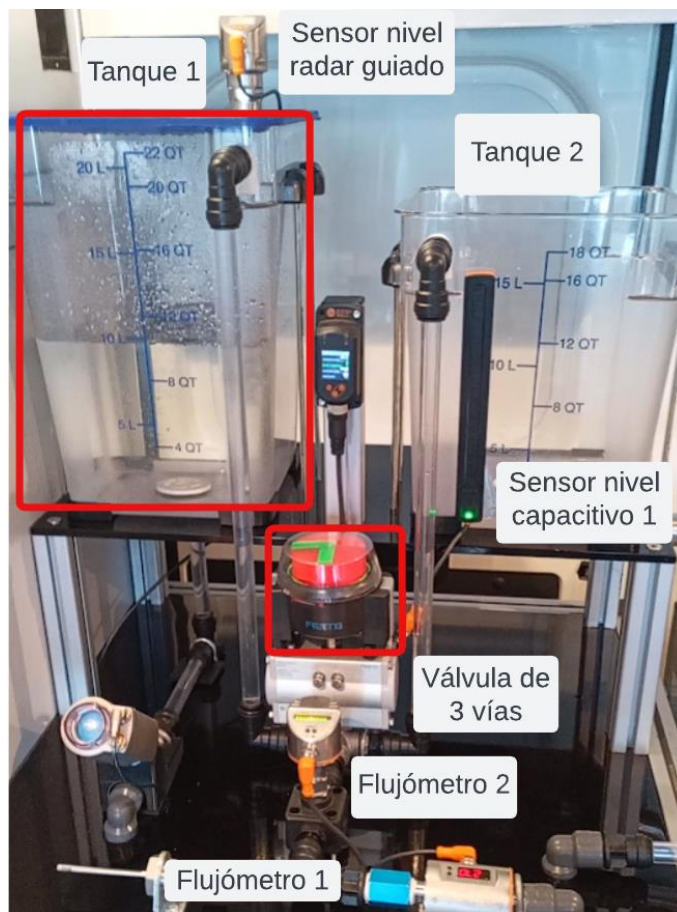
Interfaz web funcionamiento etapa de preparación



En la Figura 86 se presenta el funcionamiento físico de la etapa de preparación, donde la valvula de tres vías direcciona el fluido hacia el tanque 1 lo cual es corroborado con el indicador visual de posición.

Figura 86

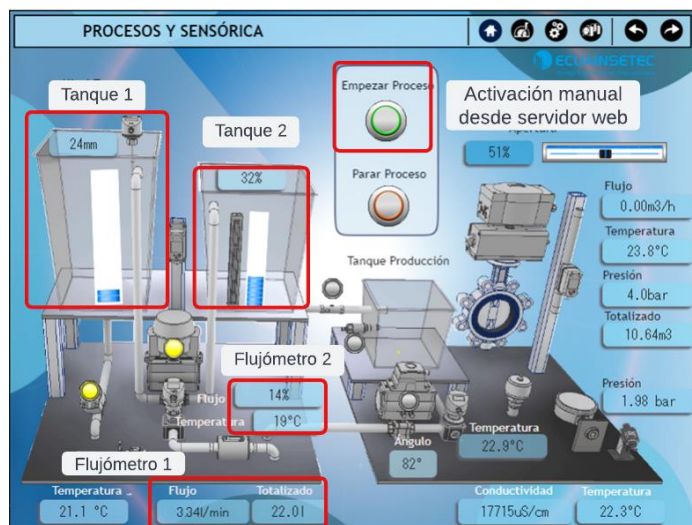
Activación física de la etapa de preparación



La etapa de almacenamiento que se indica en la Figura 87, se observa dos indicadores visuales activados correspondientes a la válvula de asiento inclinado para el desfogue del tanque 1 y a la válvula de tres vías, cambiano el sentido del fluido para el llenado del tanque 2.

Figura 87

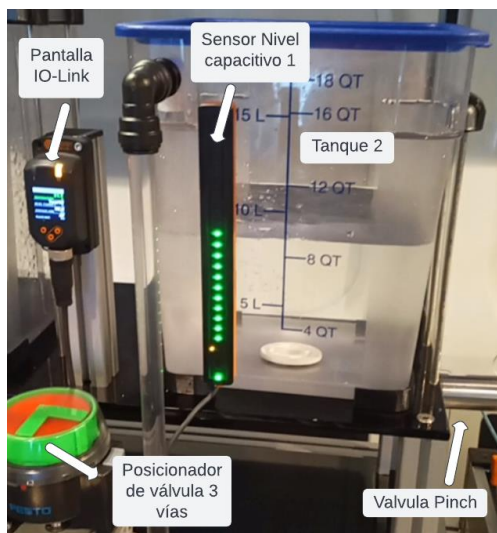
Interfaz web funcionamiento etapa de almacenamiento



En la Figura 88 se presenta el funcionamiento físico de la etapa de almacenamiento, donde se aprecia el nivel del tanque de manera visual en el sensor capacitivo, también se observa la conmutación de la caja posicionadora de la válvula de tres vías que indica que el fluido está dirigido al tanque 2.

Figura 88

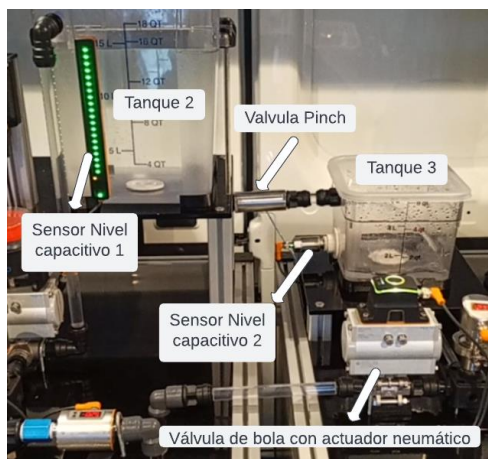
Activación física de la etapa de almacenamiento



En la Figura 89 se presenta de forma física el llenado completo del tanque 2 y la visualización lumínica del sensor de nivel, para dar paso a la apertura de la válvula pinch para el desfogue del líquido al tanque de dosificación.

Figura 89

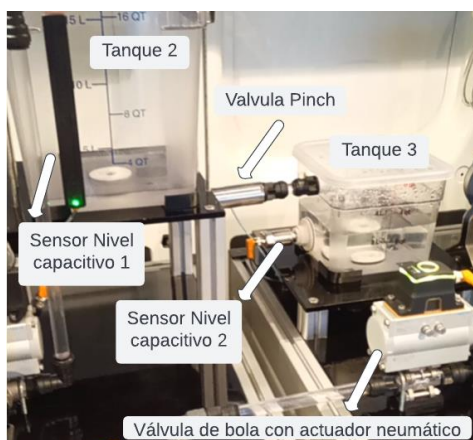
Inicio del vaciado del tanque 2



El vaciado del tanque de almacenamiento esta dado en dosificaciones del 20% de nivel detectado por el sensor capacitivo, en la etapa final del proceso de los tanques, se observa que el tanque 2 está casi vacío al pasar el fluido al tanque de producción, sin embargo la válvula de bola aún esta cerrada, como se muestra en la figura 90.

Figura 90

Finalización del vaciado tanque 2



La pantalla de visualización -E30 IO-Link muestra cuatro variables de los sensores involucrados en el proceso, también de los sensores interactivos enfocados al usuario y su aplicación en tiempo real, se observa además la configuración por color asignada al estado de cada variable, como se muestra en la figura 91.

Figura 91

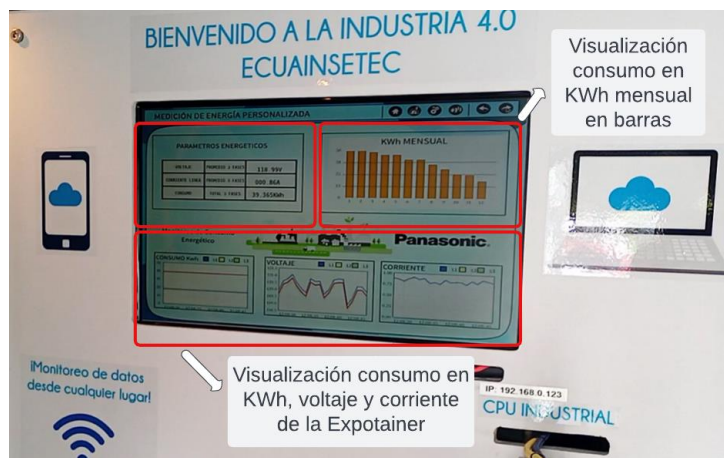
Visualización de variables con pantalla IO-Link



En la Figura 92 se muestran las gráficas en la interfaz web personalizada del consumo energético de los módulos de la Expotainer validando la comunicación Modbus TCP entre el PLC FP7 y el medidor de energía inteligente KW2M.

Figura 92

Visualización de las gráficas del consumo energético



En la Figura 93 se visualiza las gráficas en tiempo real de las tres líneas de energía medidas en el servidor web nativo del medidor de energía inteligente KW2M.

Figura 93

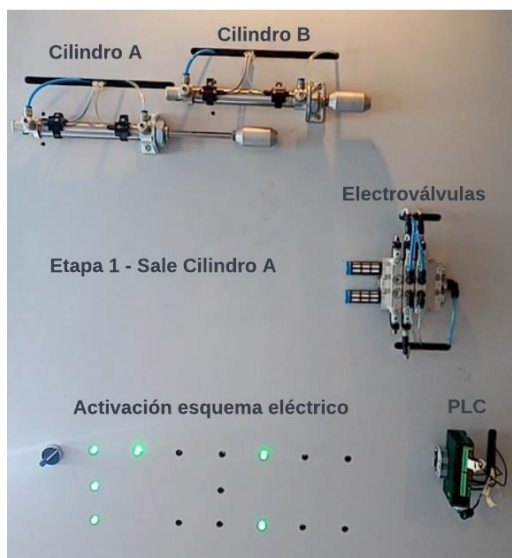
Visualización en el servidor web nativo del consumo energético



El inicio de la activación del módulo de didáctica esta dado por un selector, mismo que da la instrucción al PLC FP0R para comandar la electroválvula para la expulsión del cilindro A tal como se muestra en la Figura 94.

Figura 94

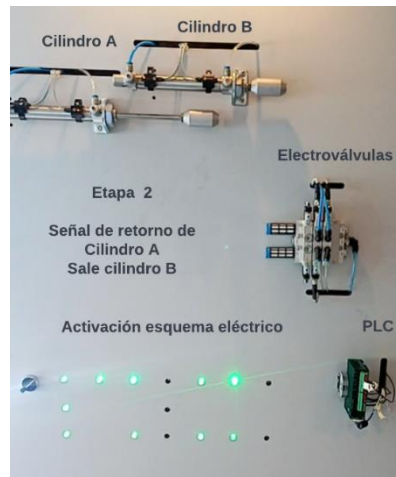
Etapa 1 módulo didáctica



Para la etapa 2 del problema, cuando el vástago A llega a su destino un sensor de fin de carrera marcan el retorno del cilindro A y la expulsión simultanea del vástago del cilindro B, como se muestra en la Figura 95.

Figura 95

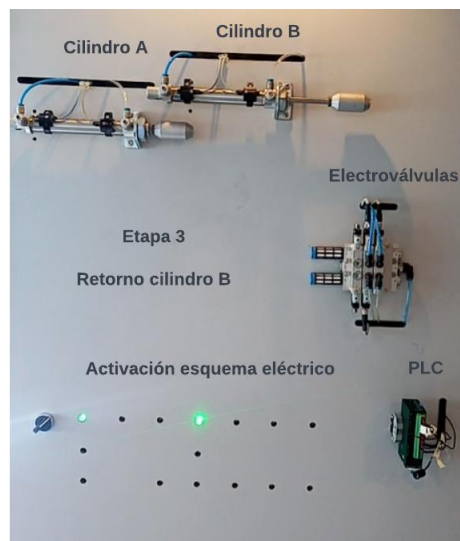
Etapa 2 módulo didáctica



La etapa final está dada cuando el vástago B retorna a su posición de origen culminando la solución del problema planteado, como se muestra en la figura 96.

Figura 96

Etapa 3 del módulo de didáctica



Planteamiento de hipótesis

Hipótesis

¿El diseño, construcción e implementación de una red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0 mediante el uso de tecnologías IO-Link e IIOT en la Expotainer de Ecuainsetec CIA LTDA. servirá como una alternativa de exposición eficiente de los servicios de la empresa a los clientes.?

Variables de la investigación

Variable independiente

Red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0 mediante el uso de tecnologías IO-Link e IIOT en la Expotainer de Ecuainsetec CIA LTDA.

Variable dependiente

Alternativa de exposición eficiente de los servicios de la empresa a los clientes.

Comprobación de la hipótesis

La furgoneta inició su gira a nivel nacional donde se logró visitar 47 empresas en un lapso de 10 semanas, el objetivo de la Expotainer es mejorar la eficiencia de las charlas técnicas logrando un mayor alcance en el número de participantes y en la cantidad de temas expuestos por presentación.

Para determinar la factibilidad del presente trabajo de titulación se aplicó el método estadístico t de Student, a través de este se puede comprobar la eficiencia de la Expotainer de Ecuainsetec CIA LTDA. Posteriormente se realizaron encuestas al personal de las empresas que la Expotainer tuvo alcance.

Para este método es preciso definir una hipótesis nula y una hipótesis alternativa.

Hipótesis nula (H0)

¿El diseño, construcción e implementación de una red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0 mediante el uso de tecnologías IO-Link e IIOT en la Expotainer de

Ecuainsetec CIA LTDA no servirá como una alternativa de exposición eficiente de los servicios de la empresa a los clientes.?

Hipótesis alternativa (H1)

¿El diseño, construcción e implementación de una red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0 mediante el uso de tecnologías IO-Link e IIOT en la Expotainer de Ecuainsetec CIA LTDA servirá como una alternativa de exposición eficiente de los servicios de la empresa a los clientes.?

En la Tabla 17 se muestran las diferentes alternativas de validación que puede tomar la hipótesis

Tabla 17.

Condiciones para la hipótesis

Número de condición	Número de condición	Condición de validación
1	$H_1 > H_0$	$T > t_{\alpha}$
2	$H_1 < H_0$	$T < -t_{\alpha}$
3	$H_1 = H_0$	$T < \frac{t_{\alpha}}{2} \text{ o } T > \frac{t_{\alpha}}{2}$

Donde T indica el valor de la distribución calculada y t_{α} significa el valor de distribución normal del t de Student establecido.

El interior de la furgoneta tiene la capacidad para 7 personas incluyendo al asesor técnico que brinda la charla, por lo que se estima que la media de participantes por cada empresa sea de 6 personas, en cada presentación de la Expotainer se lleno un registro de participantes, en la Tabla 18 se enlista la fecha en la que se realizó la presentación y el número de asistentes por empresa, datos utilizados para la validación de la hipótesis mediante el método del t de Student.

Tabla 18*Presentaciones charlas con Expotainer*

Número de semana	Fecha semana	Número empresa	Fecha presentación	Número de Personas
	29/08-			
Semana 1	02/09/2022	1	30/08/2022	23
		2	01/09/2022	20
		3	01/09/2022	44
		4	02/09/2022	31
Semana 2	05-09/09/2022	5	05/09/2022	7
		6	06/09/2022	8
		7	06/09/2022	3
		8	07/09/2022	7
Semana 3	12-16/09/2022	9	11/09/2022	18
		10	12/09/2022	3
		11	13/09/2022	4
		12	14/09/2022	13
Semana 4	19-23/09/2022	13	20/09/2022	13
		14	21/09/2022	22
		15	22/09/2022	7
		16	23/09/2022	5
		17	23/09/2022	9
Semana 5	26-30/09/2022	18	27/09/2022	7
		19	28/09/2022	2

Número de semana	Fecha semana	Número empresa	Fecha presentación	Número de Personas
		20	28/09/2022	5
		21	29/09/2022	11
		22	29/09/2022	3
Semana 6	03-07/10/2022	23	03/10/2022	8
		24	05/10/2022	2
		25	06/10/2022	11
		26	07/10/2022	7
Semana 7	10-14/10/2022	27	10/10/2022	11
		28	11/10/2022	10
		29	12/10/2022	6
		30	13/10/2022	16
		31	14/10/2022	16
Semana 8	17-21/10/2022	32	17/10/2022	15
		33	19/10/2022	5
		34	20/10/2022	6
		35	20/10/2022	10
		36	21/10/2022	14
Semana 9	24-28/10/2022	37	24/10/2022	14
		38	25/10/2022	14
		39	25/10/2022	15
		40	26/10/2022	10
		41	27/10/2022	21

Número de semana	Fecha semana	Número empresa	Fecha presentación	Número de Personas
		42	27/10/2022	8
		43	28/10/2022	8
Semana 10	07-11/10/2022	44	07/11/2022	7
		45	08/11/2022	14
		46	09/11/2022	6
		47	10/11/2022	18
Total				537

Para obtener el valor de distribución del T de Student se emplea la ecuación 5

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad (5)$$

Donde:

\bar{X} = Media de la distribución de los datos

μ_0 = Media de la población estimada

S = Desviación estándar

n = Número de muestras

Con la fórmula 6 se calcula la desviación estándar de las muestras.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_1^n (X - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (6)$$

Donde:

X = Número de participantes por empresa

En la Tabla 19 se presenta la media de la distribución de los datos de las frecuencias observadas de los participantes para cada una de las empresas, datos utilizado para el cálculo de la desviación estándar.

Tabla 19.

Frecuencias Observadas

N°	X	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
1	23	11.574	133.957
2	20	8.574	73.513
3	44	32.574	1061.065
4	31	19.574	383.141
5	7	-4.426	19.589
6	8	-3.426	11.737
7	3	-8.426	70.997
8	7	-4.426	19.589
9	18	6.574	43.217
10	3	-8.426	70.997
11	4	-7.426	55.145
12	13	1.574	2.477
13	13	1.574	2.477
14	22	10.574	111.809
15	7	-4.426	19.589
16	5	-6.426	41.293
17	9	-2.426	5.885
18	7	-4.426	19.589
19	2	-9.426	88.849

N°	X	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
20	5	-6.426	41.293
21	11	-0.426	0.181
22	3	-8.426	70.997
23	8	-3.426	11.737
24	2	-9.426	88.849
25	11	-0.426	0.181
26	7	-4.426	19.589
27	11	-0.426	0.181
28	10	-1.426	2.033
29	6	-5.426	29.441
30	16	4.574	20.921
31	16	4.574	20.921
32	15	3.574	12.773
33	5	-6.426	41.293
34	6	-5.426	29.441
35	10	-1.426	2.033
36	14	2.574	6.625
37	14	2.574	6.625
38	14	2.574	6.625
39	15	3.574	12.773
40	10	-1.426	2.033
41	21	9.574	91.661
42	8	-3.426	11.737
43	8	-3.426	11.737

N°	X	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
44	7	-4.426	19.589
45	14	2.574	6.625
46	6	-5.426	29.441
47	18	6.574	43.217
$\bar{X} = 11.426$		$\sum(X - \bar{X})^2 = 2875.467$	

A continuación, se reemplaza el valor de la sumatoria calculado en la fórmula 6

$$S = \sqrt{\frac{2875.467}{46}}$$

$$S = \sqrt{62.510}$$

$$S = 7.906$$

Reemplazando los datos en la ecuación del T de Student se obtiene:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

La media de la población es de $\mu_0 = 6$ ya que se estima que se debe contar con 6 asistentes por empresa.

$$T = \frac{11.426 - 6}{\frac{7.906}{\sqrt{47}}}$$

$$T = \frac{11.326}{\frac{7.906}{6.856}}$$

$$T = \frac{11.326}{1.153}$$

$$T = 4.7051$$

Para determinar el valor de t_{α} , es necesario calcular los grados de libertad con la ecuación 7

$$gl = n - 1 \quad (7)$$

$$gl = 47 - 1$$

$$gl = 46$$

Finalmente, en la tabla de distribución del T-Student del Anexo 3 y con los valores de gl y un nivel de significancia de 0.1 ya que corresponde a un estudio de mercadotecnia y se obtiene como resultado $t_{\alpha} = 1.3002$.

Con los valores obtenidos de T y t_{α} se cumple la primera condición de la Tabla 1.

$$T > t_{\alpha}$$

$$4.7051 > 1.3002$$

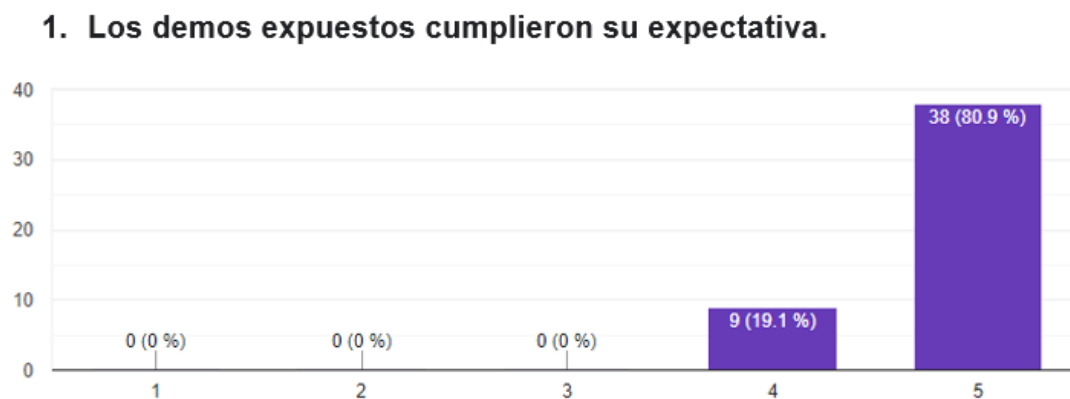
Resultados de las encuestas

En el anexo 4 se incluye la encuesta realizada a un representante de cada empresa, con el fin de conocer el nivel de aceptación del contenido expuesto por el asesor técnico a los asistentes, obteniendo los siguientes resultados considerando solamente con las preguntas de interés.

En la Figura 97 se evidencia que más del 80% de los clientes están muy satisfechos con los módulos demostrativos presentados.

Figura 97

Pregunta 1: Expectativa de los módulos demostrativos expuestos



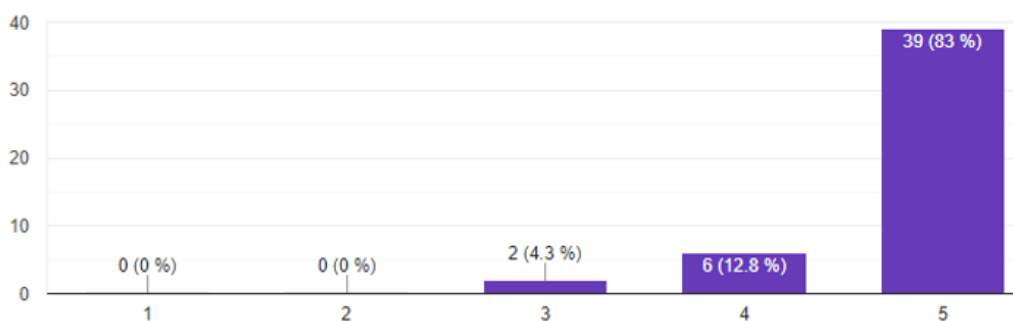
En la Figura 98 se obtiene que el 83% de los encuestados considera que el

contenido presentado es útil para su área de trabajo.

Figura 98

Pregunta 2: Utilidad de los módulos demostrativos

2. Considera alguno de ellos útil para su área.

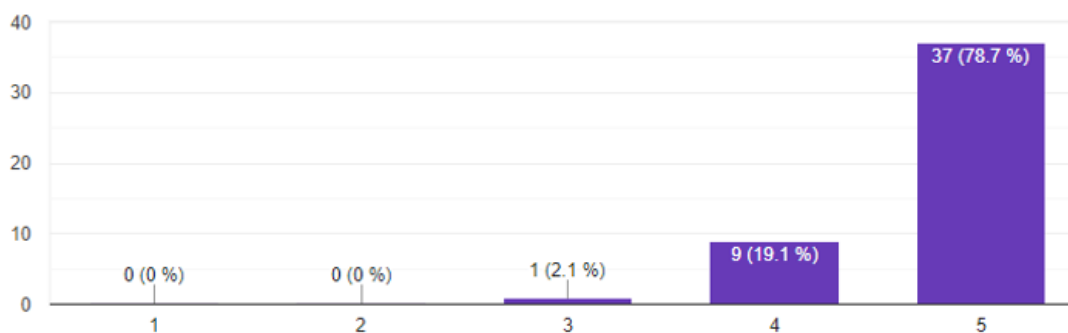


En la Figura 99 se observa que el 78.7% de clientes coincide que el material de apoyo es apropiado para una mejor comprensión de los temas presentados.

Figura 99

Pregunta 3: Materiales de apoyo

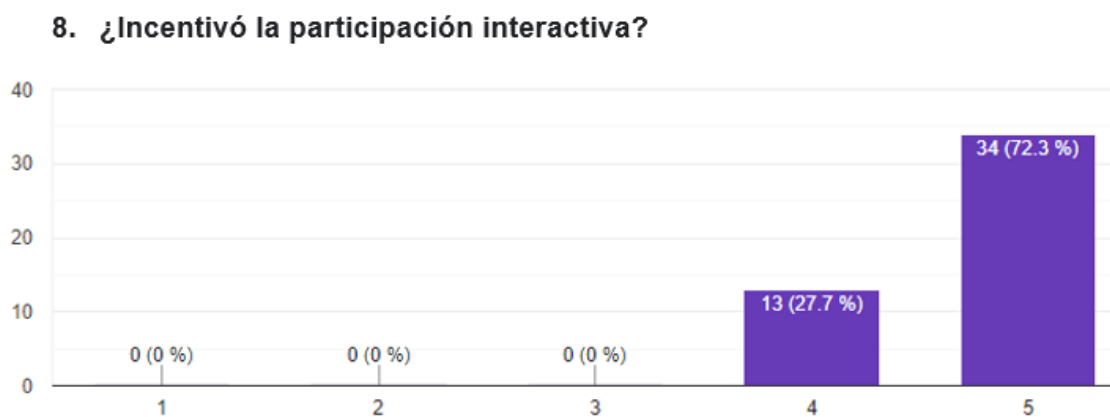
3. ¿Los materiales de apoyo fueron los apropiados?



En la figura 100 se tiene que mas del 70% de los clientes interactuo activamente con los equipos presentados en la Expotainer.

Figura 100

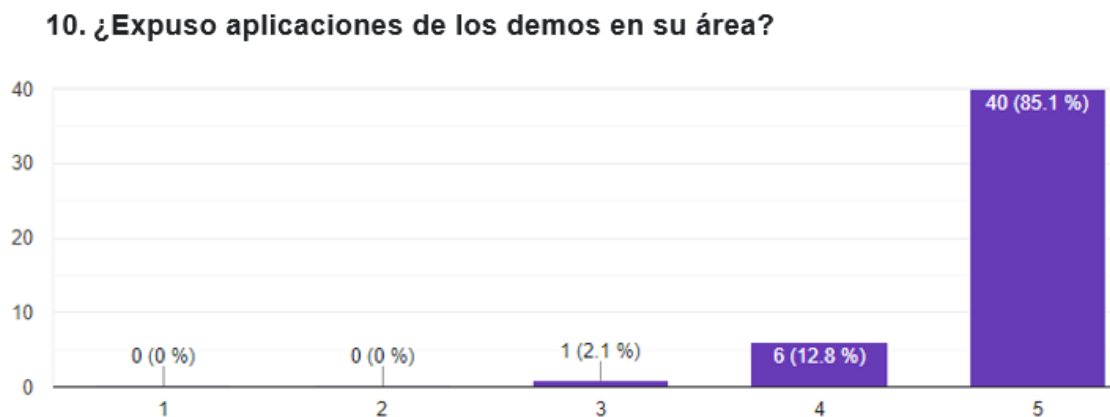
Pregunta 8: Se incentivo la participación



En la figura 101 se tiene que El 85% de la muestra considera que se han presentado DEMO's acorde al área de trabajo.

Figura 101

Pregunta 10: Se expuso aplicaciones de los módulos demostrativos en su área



En la figura 102 se afirma la confianza generada por Ecuainsetec a los clientes al estar dispuestos a acceder a mas información de los cursos, charlas y capacitaciones que profesionales de la empresa brindan como parte de los servicios ofertados.

Figura 102

Pregunta 13: Interés en cursos charlas o capacitaciones.

13. ¿Le gustaría que lo contactemos para cursos, charlas o capacitaciones?

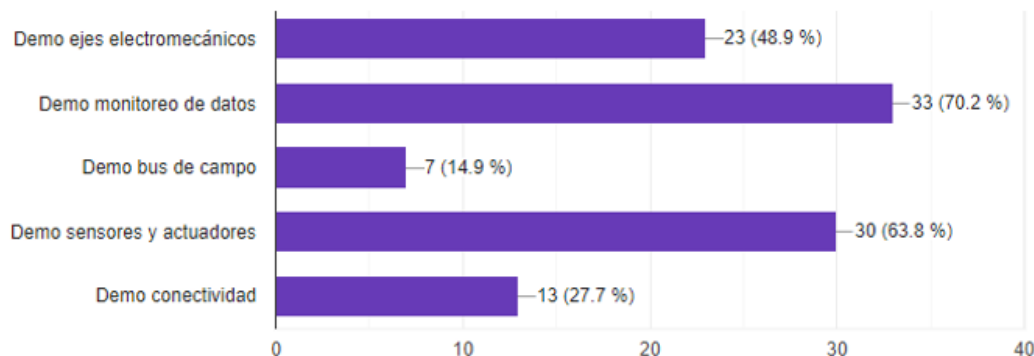


En la figura 103 se observa el interes de los clientes por conocer mas módulos demostrativos que Ecuainsetec cuenta como parte su material didáctico siendo esto una oportunidad directa de negocio para los asesores técnicos.

Figura 103

Pregunta 14: Interés en otros módulos de Ecuainsetec

14. Tomando en cuenta los módulos que se le ha expuesto, ¿qué otros demos le gustaría conocer?



En la Tabla 20 se presenta el número de empresas y personas correspondiente al Anexo 5, en donde Ecuainsetec realizó presentaciones o charlas técnicas con equipos demostrativos en un lapso de diez semanas, pero sin la Expotainer.

Tabla 20

Presentaciones y charlas técnicas sin Expotainer

Número de semana	Fecha semana	Número de empresa	Fecha	Número de Personas
Semana 1	03-08/04/2022	1	08/04/2022	23
Semana 2	10-14/04/2022	2	14/04/2022	5
Semana 3	17-22/04/2022	3	22/04/2022	8
Semana 4	01-05/05/2022	4	04/05/2022	8
Semana 5	29/05-02/06/2022	5	02/06/2022	9
Semana 6	26-30/06/2022	6	30/06/2022	9
Semana 7	17-21/07/2022	7	05/07/2022	8
Semana 8	24-29/07/2022	8	21/07/2022	9
Semana 9	24-29/07/2022	9	27/07/2022	7
		10	29/07/2022	11
Semana 10	01-05/08/2022	11	02/08/2022	8
Total				105

Un indicador que permite validar la eficiencia de la implementación de la Expotainer está en la Tabla 20 donde se tuvo un alcance de 11 presentaciones con un total de 105 personas con los equipos demostrativos habituales de Ecuainsetec sin la Expotainer, en la Tabla 18 correspondiente a las presentaciones con la Expotainer se obtuvo alcance en 47 empresas con un total de 527 personas en el mismo periodo de tiempo, se observa que las presentaciones con la Expotainer tiene un alcance cinco veces mayor en el número de personas y cuatro veces

en la cantidad empresas que las presentaciones realizadas sin la Expotainer.

La apertura recibida por los clientes a la presentaciones y charlas técnicas viene dada por el desarrollo de módulos y maletas demostrativas que permiten ver el funcionamiento en tiempo real del equipo, por lo que nivel de interés de los clientes por recibir charlas técnicas se vio incrementado de gran manera, cuando se implementaron las presentaciones con la Expotainer, gracias a que la furgoneta permite aumentar el número de productos y servicios ofertados por la empresa en una misma presentación y al ser un producto novedoso los clientes brindaron mayor apertura a una visita técnica especializada.

Por lo tanto, se determina que la hipótesis alternativa es aceptada, es decir que "El diseño, construcción e implementación de una red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0 mediante el uso de tecnologías IO-Link e IIOT en la Expotainer de Ecuainsetec CIA LTDA. servirá como una alternativa de exposición eficiente de los servicios de la empresa a los clientes."

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- El diseño, construcción e implementación una red industrial multiprotocolo con enfoque a la Industria 4.0 mediante el uso de tecnologías IO-Link e IIOT en la Expotainer de Ecuainsetec CIA LTDA. es una alternativa de exposición eficiente de los servicios de la empresa a los clientes ya que realizando una comparativa en el mismo lapso de tiempo con las charlas realizadas sin la Expotainer y con la Expotainer mostraron que el número de empresas interesadas en la visita especializada aumentó en cuatro veces, también incrementó cinco veces el número asistentes, logrando llegar a un total de 527 personas en 47 empresas en un lapso de 10 semanas.
- El diseño de los módulos que conforman la Expotainer partió de los requerimientos de la empresa de contar con una red industrial multiprotocolo enfocada a la Industria 4.0, se presentaron cinco diseños de concepto de cada subproceso se seleccionó la mejor solución para los criterios considerados en cada módulo haciendo énfasis en el diseño para el ambiente con la reutilización de los componentes utilizados.
- La construcción de los módulos y montaje de los compontes en los tableros se realizó en los talleres de Ecuainsetec, partiendo del espacio físico disponible en el interior de la furgoneta, se realizó el diseño de la mesa para el soporte de los tanques para el módulo de procesos y sensórica, el cual fue validado como diseño seguro mediante un software CAE, dando como resultado un valor un desplazamiento máximo de 0.185mm en el punto más crítico asegurando que la mesa no sufrirá deformaciones.
- El sistema de medición de energía inteligente está conformado por el equipo KW2M de Panasonic, a través de pinzas amperimétricas transformadoras de corriente de 60A a 1A, y con un voltaje de referencia se monitorean tres circuitos de alimentación

independientes que se utilizan en la red industrial, el medidor de energía realiza las operaciones necesarias para permitir la visualización de las variables mediante un servidor IIOT el cual cuenta con una interfaz personalizada en el PLC FP7 y una interfaz propia del dispositivo las cuales muestran variables como amperaje, voltaje, consumo energético y permite la generación de una base de datos históricos en un periodo de tres meses para un posterior análisis.

- El diseño de la interfaz web para la aplicación IIOT fue desarrollado en el software WebCreator el cual utiliza como servidor al PLC FP7, desde un navegador web es posible el monitoreo y control en tiempo real de cada subproceso que conforma la red, desde control y movimiento con Modbus TCP/IP, procesos y sensórica mediante Profinet, Ethernet IP y Modbus TCP/IP, y medición de energía inteligente con Modbus TCP/IP para transmisión de los datos de cada etapa.
- El desarrollo de la red industrial multiprotocolo fue basado en los protocolos de comunicación más utilizados en la industria ecuatoriana los cuales son Modbus TCP/IP, Profinet y Ethernet/IP, además de trabajar con IO-Link que, a pesar de no ser un bus de campo como tal, asegura la transmisión de datos digitales del sensor al maestro IO-Link.
- Para la programación de los PLC FP7 de Panasonic, CECC de Festo, S7-1200 de Siemens se trabajó bajo la norma IEC 61131-3 puesto que es el estándar para el control de procesos industriales, esta norma permitió la interconectividad de dispositivos de distintas marcas que conforman la red industrial, se utilizó tres lenguajes de la norma, programación en escalera o Ladder (LD), texto estructurado (ST) y diagrama de bloques funcionales (FBD) para el control de los subprocesos de la red industrial.
- Para realizar las pruebas de funcionamiento y validar la comunicación entre los dispositivos que conforman la red industrial de la Expotainer se desarrolló un manual de

usuario presentado en el Anexo 6, que especifica los pasos a seguir y los resultados esperados del funcionamiento normal de todos los procesos de la Expotainer.

Recomendaciones

- Para una rápida comprensión de cada etapa de la Expotainer se recomienda revisar el Anexo 6, el cual es una guía rápida del funcionamiento y puesta en marcha de cada tablero y módulo de la red industrial.
- Para que la Expotainer pueda ser presentada a un cliente se tiene dos condiciones, el cliente debe proveer una toma de alimentación de 110VAC, y una toma de aire de comprimido de mínimo 4.5 bar, con la adquisición de un compresor portátil se podría llegar a lugares y a clientes quienes no cuenten tomas neumáticas.
- Para asegurar el tiempo de vida de los componentes que conforman el sistema neumático se recomienda revisar cada 3 meses el cartucho de 40 micras del regulador de presión, puesto que, si esta de color amarillento debe ser reemplazado, para asegurar una calidad de aire 7.4.4 que es óptima para aplicaciones estándar según la norma ISO 8573-1:2010.
- Para la construcción de futuros módulos demostrativos se recomienda aplicaciones que integren los temas que llamaron más la atención del cliente como monitoreo de datos, industria 4.0, sensórica IO-Link, ejes electromecánicos y neumática.
- La Expotainer tiene previsto realizar una gira a nivel nacional, una vez cumplido su objetivo Ecuainsetec innova constantemente el contenido de sus presentaciones, por lo que de acuerdo al diseño para el ambiente se prevé volver a utilizar los mismos componentes dando un nuevo ciclo de vida al equipo, sin embargo, existen partes que no podrán volver a ser reutilizadas, por lo que se recomienda realizar un adecuado desecho de material reciclable.

Bibliografía

- Barrientos, A., & Gambao, E. (2014). *Sistemas de Producción Automatizado* (Dextra Edi).
https://www.academia.edu/42657532/Sistemas_de_Producción_Automatizados
- Boza, A. (2021). AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE SALSAS PARA DISMINUIR LA MERMA EN LA LINEA DE MANUFACTURA DE UNA EMPRESA DE ALIMENTOS [Universidad Privada del Norte]. In *Ucv*.
https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27380/Boza_Ramirez%2C_Angelo_Gianfranco.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Corona, L., Abarca, G., & Jesus, C. (2014). *Sensores y Actuadores Aplicaciones con Arduino* (G. E. P. S. A. de C.V. (ed.)).
<https://books.google.com.ec/books?id=wMm3BgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Díaz, D., & Veloz, A. (2019). Diseño y construcción de un sistema de dosificación monitoreado a través de la nube. [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. In *Repositorio.Espe.Edu.Ec*. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/21042/1/T-ESPE-039751.pdf>
- González-Filgueira, G., & Permy, F. J. R. (2018). Automatización de una planta industrial de alimentación mediante control distribuido. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 27, 1–17. <https://doi.org/10.17013/risti.27.1-17>
- Hidalgo, I., Yasaca, S., Hidalgo, B., Rolando, P., & Diego, H. (2018). Diseño, Programación E Implementación De Una Red De Plc Rs 485, Caso Práctico: Laboratorio De Automatización Industrial En Una Institución De Educación Superior. *European Scientific Journal, ESJ*, 14(9), 455. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n9p455>
- Hurtado, J. M. (2017). *Introducción a las Redes de Comunicación Industrial*. 19.
http://www.infopl.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC_net_introduccion3b3n-

a-las-redes-de-comunicac3b3n-industrial.pdf

Miranda, K. (2020). Diseño e implementación de un sistema de supervisión, monitoreo y control multiprotocolo en un módulo demostrativo portátil. [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. In *Repositorio.Espe.Edu.Ec*.

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/21898/1/T-ESPE-043493.pdf>

Naranjo, E., & Sandoval, F. (2013). "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HMI CON RED PROFIBUS EN EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA" [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3079>

Oliva, N., Castro, M., & Diaz, G. (2013). *Redes de comunicaciones industriales*.

https://books.google.co.ve/books/about/Redes_de_comunicaciones_industriales.html?id=4TKJ9IpMSJEC

Ortiz, L. (2011). Topología de Red. *Fundación Universitaria Konrad Lorenz*.

<https://repositorio.konradlorenz.edu.co/handle/001/3859>

Oviedo Duque, M. E. (2017). Construcción de un módulo demostrativo de un robot cartesiano para identificación y clasificación de elementos por colores, para la empresa Ecuainsetec Cía. Ltda. In *Repositorio.Espe.Edu.Ec*. <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12648>

Peciña, L. (2018). *Comunicaciones Industriales y WinCC*. MARCOMBO S.A

Robalino, A. (2017). "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DEL EQUIPO PURIFICADOR DE AGUA FC-L.PIN-22 DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ESPOCH."

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6875>

Rodriguez, A. (2007). *Sistemas SCADA Guía Práctica* (Marcombo E).

<https://books.google.com.ec/books?id=Sai-a0WQw24C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Vallejo, B., & Vallejo, S. (2006). Aspectos generales de la automatización industrial del sector farmacéutico. *Scielo*, 35.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-74182006000100003

Anexos