

Módulo Didáctico Para Prácticas De Laboratorio En Las Áreas De: Instrumentación –Automatización–Control–Comunicaciones Industriales–Universidad ECCI

MSc. Luis Fernando Rico Riveros, MSc. Alexander Cortes Llanos
MSc. Victor Hugo Bernal Tristanco, MSc. Jhon Fredy Bayona Navarro
Universidad ECCI

coordinacion.electronica@ecc.edu.co, acortesll@ecc.edu.co, vbernalt@ecc.edu.co, jbayonan@ecc.edu.co

Resumen—En este artículo se presenta el diseño e implementación de un módulo didáctico, para realizar prácticas de laboratorio en las áreas automática e instrumentación industrial. El objetivo central de este trabajo es describir el diseño metodológico, para el desarrollo del módulo, el cual consta de cinco fases que son: propuesta, diseño, práctica experimental, simulación y emulación del prototipo. Los resultados experimentales por fase, los cuales son obtenidos del módulo didáctico son presentados con su respectiva evidencia.

Palabras clave — Instrumentación, Automática, Simulación, Emulación.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la educación superior de calidad, debe tener las herramientas necesarias para desarrollar competencias en el área de automática e instrumentación, por esta razón, es necesario conocer el comportamiento de las variables físicas reales, tales como: temperatura, presión, caudal y nivel, así como, estudiar técnicas de control y automatización, protocolos de comunicaciones industriales y sistemas de instrumentación, sin embargo, muchas instituciones de educación superior en Colombia no cuentan con acceso a equipos que tengan sensores y actuadores industriales ni a software que emule ambientes de espacios industriales reales, en consecuencia, se dificulta el desarrollo de dichas competencias, motivo por el cual en este artículo se presenta el diseño metodológico de un módulo didáctico para la realización de prácticas de laboratorio en las áreas de instrumentación, automatización, control y comunicaciones industriales, el cual es tomado como opción de grado por estudiantes de ingeniería electrónica. Por otra parte, este módulo permite la transversalidad académica con programas de pregrado de la facultad de ingeniería como son: electrónica, mecatrónica, mecánica, industrial, plásticos, además, se orienta a los programas de posgrado en el área de automatización. En la Fig. 1 se muestran las fases del diseño metodológico, las cuales se describen a partir de la siguiente sección.

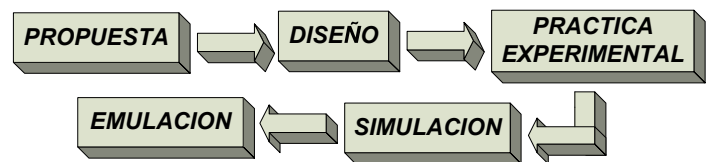


Fig. 1. Diseño metodológico

II. PROPUESTA

Esta fase consta de los siguientes aspectos: propuesta a la universidad, requerimientos de diseño, definición de las variables físicas y grupos de trabajo, a continuación se explica cada uno de estos aspectos.

II-A. Propuesta a la universidad

Este aspecto surge de la necesidad de poder disponer de una herramienta didáctica y pedagógica que pueda acercar a los estudiantes de pregrado y posgrado de la universidad ECCI, a un entorno industrial más real, así mismo, como un proyecto de opción de grado denominado pasantía interna, cuyo fin es el diseño y adecuación de módulos didácticos, para la realización de prácticas de laboratorio en las asignaturas de tecnología e ingeniería, a saber: instrumentación industrial, automatización industrial, control, sistemas digitales, comunicaciones, todo enfocado al entorno industrial. Al disponer de los módulos y a través de los mismos poder generar proyectos de grado y desarrollos de procesos emulados industriales. Otro aspecto importante para resaltar es el componente de transversalidad que se logra, ya que la universidad genera su oferta académica a través de los ciclos propedéuticos que consisten en niveles de formación, donde el primer nivel de formación es el tecnológico para posteriormente articular con el nivel de formación profesional, en este orden de ideas en la facultad de ingeniería se tienen programas académicos tecnológicos como: tecnología en electrónica industrial, tecnología en soporte en telecomunicaciones, tecnología en automatización y robótica industrial, entre otros, también, se tienen los programas de

ingeniería: como ingeniería electrónica, mecatrónica, mecánica industrial, biomédica, plásticos, entre otros, a nivel de posgrado se cuenta con la especialización en automatización industrial y telecomunicaciones inalámbricas, el objeto de esta transversalidad es el alcance y utilidad de los módulos didácticos para que los estudiantes de los diferentes programas de la facultad de ingeniería los usen y apropien.

II-B. Requerimientos de diseño

Se formulan los requerimientos de diseño, para el desarrollo del módulo prototipo, el cual consiste en una planta con tres tanques en acero inoxidable, conectados a través de sistema de tuberías, que al estar acoplados a los diferentes subsistemas, se puedan generar condiciones de medida de las variables físicas: temperatura, caudal, nivel y presión, aportando al proceso de caracterización de dichas variables con elementos industriales, los cuales permiten al estudiante acercarse en mayor medida a un entorno industrial real. Partiendo de las caracterizaciones de las variables referenciadas, se pueden generar prácticas de laboratorio para las asignaturas de instrumentación industrial tanto de tecnología como de ingeniería en los programas académicos en los que aplique, por otro lado que se puedan aplicar a procesos de automatización industrial, con prácticas en las asignaturas pertinentes al área de automatización, realizando una continuidad didáctica y pedagógica, igualmente, los módulos se prestan para realizar adecuaciones y eventos tendientes a realizar y proponer estrategias de control, aplicándose a las asignaturas propias del área de control, en este mismo sentido y aplicando las herramientas tecnológicas disponibles como son los PLC de *Siemens* y sistema de adquisición industrial DAQ sbRIO de *National Instruments*, realizar e implementar una interfaz de comunicación basado en un protocolo de comunicaciones industriales como es profibus, profinet, entre otros.

II-C. Definición de las variables físicas y grupos de trabajo

Se definen técnicamente las variables físicas y tipo de medidores que se implementarían, además, se conforman los grupos de trabajo con los estudiantes y docentes participantes del proyecto, para esto se organizó el trabajo en forma colaborativa tipo empresarial. A continuación se presenta la estructura por grupos de trabajo y roles:

II-C1. Grupo de instrumentación: Es el encargado de todo el proceso de revisión técnica, propuesta comercial, caracterización de la variable, instalación, documentación, puesta en marcha y a punto de la misma, para lo cual este grupo de instrumentación se subdividió en: grupo variable temperatura, grupo variable presión, grupo variable caudal, grupo variable nivel, asimismo, cada grupo se responsabiliza de trabajar y realizar en forma satisfactoria todo lo solicitado y concerniente a cada variable.

II-C2. Grupo de comunicaciones: El objetivo de este grupo es generar el componente de comunicaciones orientado a la implementación de un protocolo de comunicaciones industriales, para tal fin se dispone del recurso tecnológico. Se quiso tener un sistema redundante de comunicación, el

cual consiste poder establecer comunicación y control, por una parte, con un controlador lógico programable PLC para el caso se utilizó un PLC de *Siemens S7 1200 PANEL - KTP 600*, por otra, con un sistema de adquisición de datos industrial, con una DAQ se utilizó la Tarjeta Single Board sbRIO 9632 de *National Instruments*.

II-C3. Grupo de control: El trabajo de este grupo es generar situaciones y eventos que permitan formular para su desarrollo y solución una estrategia de control, utilizando los sistemas y equipos antes mencionados como los sensores, transmisores, PLC, tarjeta sbRIO, tarjeta NI 6008, con el sustento y simulación basado en el software Matlab, LabVIEW. Este grupo genera una secuencia básica de control, no obstante, para trabajos de grado futuros, se pueden realizar aplicaciones de control más avanzadas, potencializando todos los elementos y dispositivos que hacen parte del módulo.

II-C4. Grupo de diseño: La labor de este grupo al igual que los demás es esencial ya que es el que da sustento y estructura física robusta a todos los componentes y dispositivos, tanto de entrada como de salida. Este grupo se subdividió en grupo estructura física y tablero eléctrico, el componente estructural se realizó basado en el paquete computacional Solid Works, con el cual se generaron todos los planos referentes a las dimensiones físicas, tanto de la estructura o esqueleto, el sistema de tanques, el sistema de tuberías, sistema de instalación de componentes y ubicación de los mismos. El grupo de tablero eléctrico en unión con el grupo de estructura física se encargó de la ubicación y conexión de cada uno de los componentes eléctricos, electrónicos, procesamiento de señales, actuadores, motores, PLC, tarjeta sbRIO, sistema de arranque, protecciones y cálculos de potencia eléctrica.

II-C5. Grupo logística y costos: Encargado de recopilar la información técnica suministrada por los demás grupos, los requerimientos para realizar y consultar información de precios, consolidar información comercial mediante cotizaciones, facturas y proveedores, además, la revisión de documentos técnicos y generación de manuales.

II-C6. Grupo de asesores: Este grupo lo conformó un grupo de docentes (autores de este documento), el grupo de asesores se dividió en asesores técnicos, asesor comercial, asesor general técnico y metodológico, fueron los encargados de estar trabajando todo el tiempo y de la mano con los estudiantes, generando conceptos técnicos y metodológicos, reuniones y consultas con asesores externos, realizar revisión de avances técnicos y documentación, generación de informe final en la consolidación del libro y los capítulos correspondientes para sustentación y evidencia.

II-C7. Dirección General: La asume la Coordinación del programa académico Ingeniería Electrónica, es el puente entre estudiantes, docentes y directivos, encargado de gestionar y decidir todo lo referente al proyecto desde presupuesto, compras, reuniones con proveedores, reunión con asesores externos, espacios de laboratorio, préstamo de equipos, asignación docentes asesores, asignación de jurados, entre otros.

III. DISEÑO

Esta fase consta de los siguientes aspectos: gestión presupuesto y compras, información comercial, diseño estructura física y tablero eléctrico, grupo de instrumentación, grupo de comunicaciones y control, grupo logística y costos, a continuación se explica cada uno de estos aspectos

III-A. Gestión presupuesto y compras

Esta gestión tiene una trazabilidad institucional, desde la propuesta, usuarios finales, beneficiarios, transversalidad, costos, aprobaciones por parte del componente técnico de laboratorio, del componente académico y administrativo, así como la interacción con las altas directivas de consejo superior, extender la solicitud de presupuesto y lograr su aprobación.

III-B. Información comercial

Este aspecto lo asumen todos los integrantes de los grupos especialmente el de logística y costos, se deben establecer reuniones técnicas con los docentes asesores y asesores externos, reuniones con posibles proveedores y proveedores finales, reuniones con las directivas, con el departamento de compras e inventarios, se debe establecer la información de precios y consolidación de cotizaciones, por requerimiento administrativo de tener la información comercial de por lo menos tres proveedores, para generar transparencia y objetividad, por último se debe cursar propuesta definitiva de instrumentos y equipos consolidada en sus componentes de costos y proveedores. El costo total del proyecto basado en la implementación y funcionalidad de cinco módulos didácticos fue de ciento cincuenta millones de pesos colombianos (\$ 150.000.000), es decir que cada módulo tiene un costo de cincuenta millones de pesos colombianos (\$ 50.000.000), este costo incluye todos los componentes físicos: estructura, tanques, tubería, sensores, actuadores, motores, dispositivos de procesamiento (PLC, DAQ), más no la mano de obra y el componente de diseño, análisis, implementación y la cuantificación del conocimiento aportado por todos los miembros del equipo de trabajo.

III-C. Diseño estructura física y tablero eléctrico

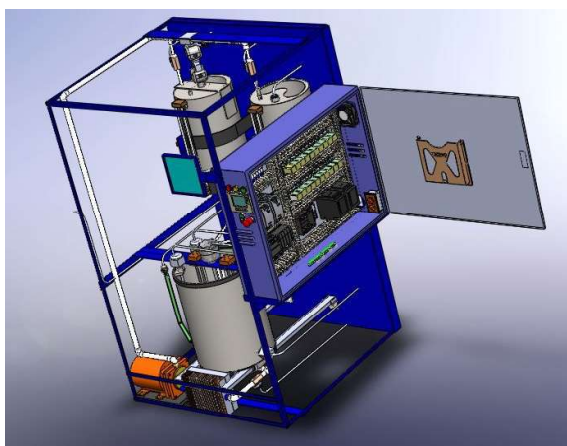


Fig. 2. Diseño de estructura y tablero eléctrico

Esta tarea la realiza el grupo de diseño de estructura y tablero eléctrico. Después de un proceso de reuniones técnicas al interior del grupo y socializando a los demás integrantes del proyecto se logró consolidar los planos de toda la estructura con dimensión de todos sus componentes, en la Fig. 2 se presenta la imagen general de este resultado, es una imagen realizada en *solid works*, donde se muestra la estructura, los tanques (uno y dos parte superior, tres parte inferior) y el tablero eléctrico.

III-D. Grupo de instrumentación

El diseño, análisis e implementación de este componente lo asumió el grupo de Instrumentación, el cual quedó dividido y conformado de acuerdo a la variable física a trabajar, caracterizar, probar, ajustar, consolidar y documentar, así mismo se decidió y aprobó por comité integrado por el director general y docentes asesores, que se debía trabajar con diferentes tipos de sensores que brindaran información de la misma variable pero por diferente método y fenómeno de caracterización, esto con el fin de que el estudiante al trabajar con cada uno de estos sensores pueda generar puntos de comparación que se ven reflejados en criterios de diseño, y poder dar un punto de vista en la escogencia en las aplicaciones que se les presenten en el ambiente real industrial.

III-D1. Temperatura: Se decidió trabajar con tres tipos de sensores, como son: termocupla, RTD y termistor, se presenta en la Fig. 3 una imagen de los tres tipos de sensores instalados en la parte inferior del tanque número tres, así mismo se hace una breve descripción de cada uno de los sensores.



Fig. 3. Sensores de temperatura instalados

III-D1a. Termistores NTC: Este tipo de termistores tienen un coeficiente de temperatura negativo por lo que disminuyen fuertemente su resistividad a medida que aumenta la temperatura.

III-D1b. Termopar tipo K: Los termopares son uno de los sensores más comunes empleados en la medición de temperatura, ya que son relativamente económicos brindando exactitud y además pueden operar sobre un amplio rango de temperaturas.

III-D1c. Resistance Temperature Detector (RTD): Detectores de temperatura basados en la variación de una resistencia eléctrica se suelen designar con sus siglas RTD.



Fig. 4. Celda de carga con indicador digital

III-D2. Presión: Se decidió trabajar con dos tipos de sensores: sensor/transmisor de presión hidrostática y celda de carga, se presenta en la Fig. 4 y 5 una imagen de los dos tipos de sensores instalados: uno en la parte superior del tanque número Uno, ubicado en la parte superior izquierda ubicada allí la celda de carga y otro en la parte inferior del tanque número Tres, ubicado allí el sensor de presión hidrostática, se presenta a continuación una breve descripción de cada uno de los sensores.



Fig. 5. Sensor transmisor de presión hidrostática

III-D2a. Celda de carga: Las celdas de carga tipo S son denominadas así por la forma que tienen similar a la letra S, este tipo de celdas de carga son a menudo utilizadas para aplicaciones como: conversión de Balanzas mecánicas y electrónicas, tolvas o tanques en suspensión y pesaje con propósito general de pesaje.

III-D2b. Sensor/Transmisor de presión hidrostática: Los sensores de presión son usados para aplicaciones de alta y baja presión y pueden medir presión absoluta, manométrica y diferencial, El transmisor de presión abarca una señal de salida de 4 a 20 mA, con versiones hidrostática, absoluta, y relativa, rango de medición de 0-250 mbar a 0-25 bar, ajuste de puesta a cero y de span.



Fig. 6. Sensor transmisor de presión hidrostática



Fig. 7. Sensor de paletas rotativas con indicador

III-D3. Caudal: Se decidió trabajar con dos tipos de sensores: Sensor de turbina BLANCETT 1100 y Sensor de paletas rotativas SIGNET 2536, se presenta en la Fig. 6 y 7

una imagen de los dos tipos de sensores instalados uno en la línea de presión conectada directamente a la motobomba y el otro en la tubería de la parte superior derecha, a continuación se hace una breve descripción de cada uno de los sensores.

III-D3a. Sensor de turbina BLANCETT 1100: Este sensor está ubicado a la salida de la bomba. De acuerdo a las especificaciones ofrecidas por el fabricante se requiere un mínimo de 10 pulgadas de tubería aguas arriba y 5 pulgadas aguas abajo para lograr un resultado óptimo. Rango de 5 – 50 gl/min.

III-D3b. Sensor de paletas rotativas SIGNET 2536: Este medidor de paletas funciona mediante un rotor que está sumergido en el fluido. El eje del rotor es perpendicular a la dirección del flujo, de tal forma que el paso del líquido a través de las paletas genere giro en el rotor. La velocidad de giro o rotación de la paleta es sensada por una bobina electromagnética. En las condiciones indicadas por el fabricante, se especifica que este sensor debe adaptarse a la tubería mediante un acople tipo T. Rango de velocidad 0.1 a 6 m/s.

III-D4. Nivel: Se decidió trabajar con dos tipos de sensores: Sensor de flotador con boyas y sensor ultrasónico (DL 34), se presenta en la Fig. 8 y 9 una imagen de los dos tipos de sensores instalados uno en el tanque número dos parte superior derecha y el otro en la parte superior del tanque número Uno parte superior izquierda, así mismo se hace una breve descripción de cada uno de los sensores.

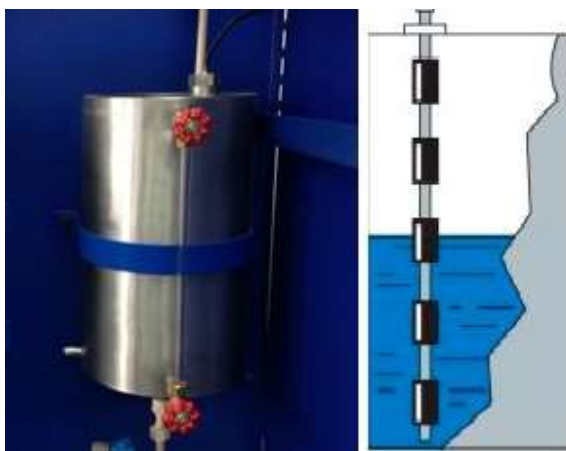


Fig. 8. Sensor tipo flotador con boyas

III-D4a. Sensor de flotador con boyas: El sensor es de instalación y puesta en funcionamiento simple, ya que posee puntos fijos, los cuales son: bajo, medio bajo, medio, medio alto y alto, estas mediciones se obtienen por la activación a través de reed switch, los cuales permiten tener una salida digital y facilita la implementación con PLC's.

III-D4b. Sensor ultrasónico (DL 34): El transmisor de nivel ultrasónico de uso general proporciona una medición continua de nivel de hasta 5,5 metros con una salida de señal de 4-20 mA, y se configura a través de Webcal (Software entregado por el proveedor del sensor). El sensor de nivel

tiene 4 relés cuya histéresis y lógica a prueba de fallos son programables.



Fig. 9. Sensor de ultrasonido

III-E. Grupo Comunicaciones y control

Este grupo trabajo el componente de comunicaciones, las cuales se establecieron a través de los dispositivos PLC S7 1200 PANEL - KTP 600, se muestra a continuación en la Fig. 10 la instalación del PLC en el tablero eléctrico, con algunas características del dispositivo.



Fig. 10. Instalación PLC en el tablero eléctrico

Por otro lado el grupo de comunicaciones trabajo con el sistema de adquisición de datos industrial Tarjeta Single Board sbRIO 9632, logrando buenos resultados pero no los más óptimos, este componente está en proceso de revisión y mejora a través de otros proyectos de grado, se presenta una breve descripción del sistema DAQ utilizado y una imagen del mismo a través de la figura 11. Se aclara que el sistema presentado en la Fig. 11, National Instruments lo denomina DANI, tiene una presentación como plataforma robótica basado en la tarjeta sbRIO 9632, presentando grandes prestaciones, dentro de las cuales y para el proyecto se usa como sistema de adquisición de datos industrial, siendo un recurso de hardware y software bastante útil, usado pero no desarrollado en el proyecto. La tarjeta sbRIO 9632 es un sistema controlador, que está diseñado para aplicaciones que requieren de flexibilidad, alto rendimiento y fiabilidad. Controlador integrado en tiempo real, FPGA reconfigurable y E/S en una sola tarjeta. FPGA spartan de 2M Xilinx.

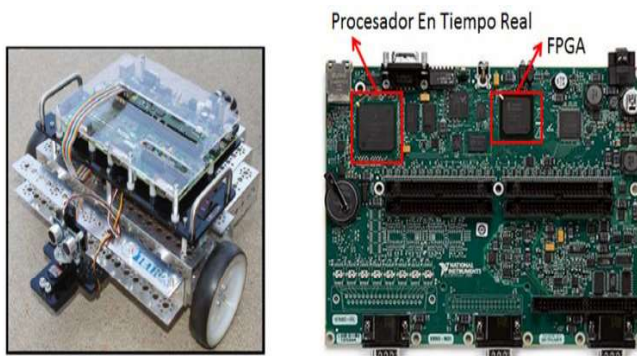


Fig. 11. Tarjeta sbRIO 9632

IV. PRACTICA EXPERIMENTAL

Para lograr el proceso de medición se caracterizaron diferentes tipos de sensores, medidores indicadores, actuadores, programación PLC, programación sistema de adquisición de datos industrial, que permite la implementación de un bus de campo de comunicación industrial. A continuación se hace una breve descripción de los dispositivos y elementos que conforman el módulo:

- Tres tanques de acero inoxidable son conectados entre sí a través de un sistema de tuberías, que permiten generar condiciones de medida y control, de las variables temperatura, caudal, nivel y presión.
- La estructura metálica brinda la fortaleza mecánica necesaria al módulo, permitiendo la instalación de los tanques, de las tuberías y de los diferentes dispositivos sensores, medidores y actuadores.
- La variable de temperatura se mide a través de tres tipos de sensores y transductores, los cuales son termocupla, termistor y RTD.

- La variable presión se mide a través de dos tipos de sensores: sensor transmisor de presión piezo resistivo y celda de carga de 100 Kg; este último con indicador.
- La variable nivel se mide a través de dos tipos de sensores: sensor transmisor de ultrasonido y sensor de nivel tipo flotador de boyas.
- La variable caudal se mide a través de dos tipos de sensores: sensor de turbina y sensor de paleta rotativa, cada uno con su indicador.
- Una motobomba trifásica con su variador de velocidad, para generar condiciones de medida de caudal.
- El sistema tiene electroválvulas ON/OFF, proporcional y ON/OFF con amortiguamiento de golpe de ariete.
- La resistencia de inmersión, para generar condiciones de medida de variación de temperatura desde el taque tres, el de más baja posición en el diseño y estructura.
- Un tablero de conexiones eléctricas, al cual confluyen todas las señales tanto de entrada y salida de cada uno de los sensores, indicadores y actuadores.
- Un PLC marca *Siemens S7 1200*, el cual cuenta con entradas y salidas tanto analógicas como digitales, con pantalla KTP 600, para interfaz de control gráfica.
- Tarjeta de adquisición de datos Industrial NI sbRIO que es un sistema de adquisición de datos profesional e industrial marca *National Instruments*, con entradas y salidas tanto analógicas como digitales, con pantalla de PC para interfaz de control gráfica en programación LabVIEW. Permite establecer a través de su configuración un bus de datos de comunicaciones industriales.
- Tarjetas de adquisición de datos NI-USB 6008, el cual es un sistema de adquisición de datos académico e industrial marca *National Instruments*, con entradas y salidas tanto analógicas como digitales, con pantalla de PC para interfaz de control gráfica en programación LabVIEW.

Para lograr la medición de cada una de las variables, se implementó un proceso sistemático y metódico de medida el cual consta de:

- Determinación de variable de medida e instrumentación técnica asociada.
- Creación de condiciones de medida.
- Generación de información basada en pruebas constantes.
 - Tabulación de la información.
 - Gráficas de la información, para determinación de líneas de tendencia, a través regresiones.
 - Comparación de curvas características, dadas por el fabricante y logradas a través del proceso de medición.
 - Obtención de ecuaciones características.
- Análisis y conclusiones de resultados por variable.
- Generación de guías de laboratorio por variable.
- Pruebas de puesta en marcha y a punto de todo el sistema integrado.
- Proyección y mejoras al sistema.

Se presenta a continuación en la Fig. 12 imágenes del módulo, donde se observan los componentes que conforman el sistema didáctico terminado

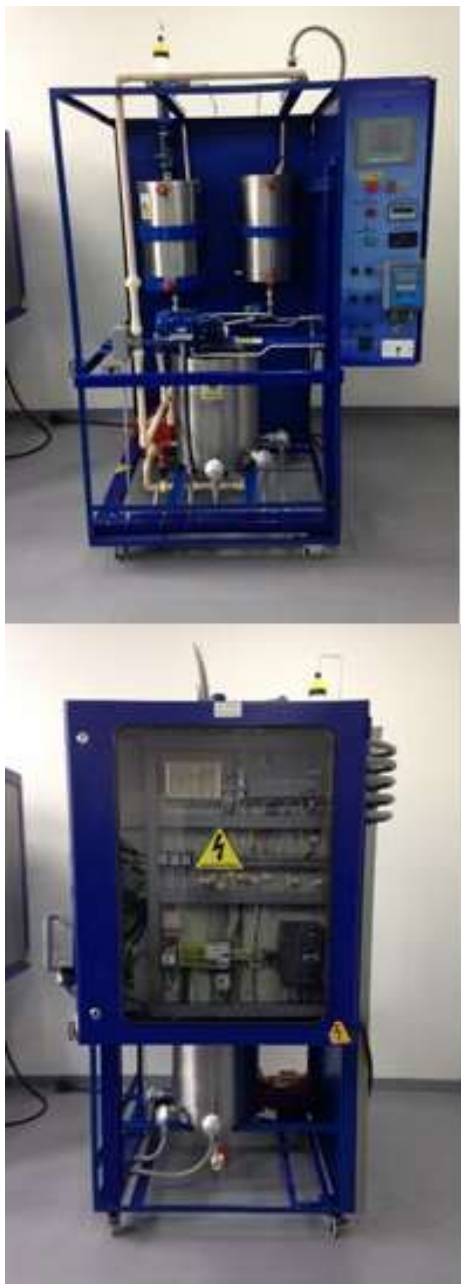


Fig. 12. Módulo terminado tablero eléctrico

V. SIMULACIÓN

En esta fase se logró realizar el proceso de simulación basado en las herramientas computacionales: LabVIEW parte de instrumentación y comunicaciones, TIA PORTAL programación del PLC comunicaciones, Matlab grupo control, a continuación en la Fig. 13 se presenta algunas imágenes de los programas desarrollados en esta fase.

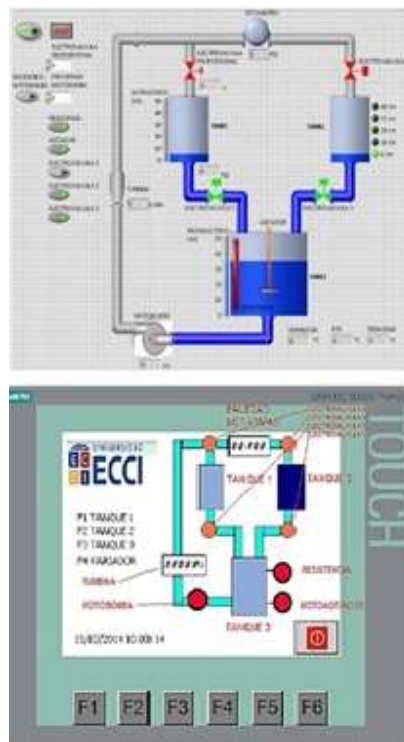


Fig. 13. Interfaz gráfica en LABVIEW y KTP600

VI. EMULACIÓN

En la fase de emulación básicamente se trabajó las secuencias de control con la tarjeta NI 6008 con interfaz en Matlab, este desarrollo correspondió al grupo de control, en la Fig. 14 se muestra la emulación realizada con el sensor de ultrasonido a través de su indicador digital y la interfaz y resultados en Matlab.

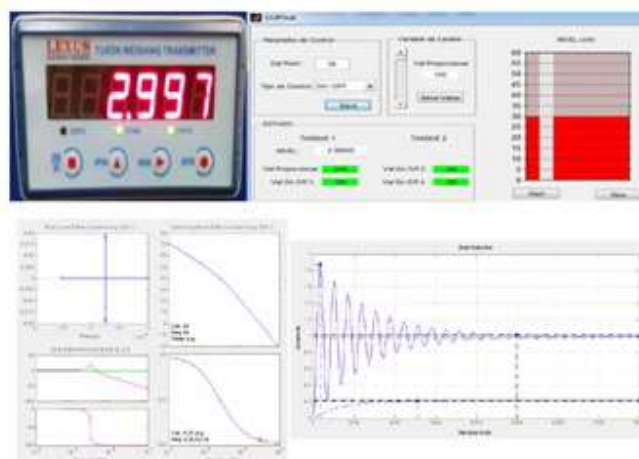


Fig. 14. Resultados emulacion en matlab

VII. RESULTADOS

Después de todo el proceso de recopilación de información, diseño, caracterización, implementación, puesta en marcha y puesta a punto del módulo, se obtuvo una gran experiencia, lográndose un muy buen trabajo y por ende un buen resultado, pudiéndose realizar para cada grupo y fase un componente de verificación y comprobación de resultados, un buen desarrollo del proceso de medición y control, basado en estrategia básica de funcionamiento e interacción de cada uno de sus componentes. Sin desconocer que cada sistema y subsistema de por sí presentaba su propio desafío y complejidad, pero a través de un proceso metódico, en ocasiones prueba y error, se logró sobre pasar los inconvenientes y obstáculos presentados que como siempre se argumentaba, eran problemas de ingeniería que los deben resolver ingenieros.

El tiempo efectivo dedicado al proyecto por parte de los docentes asesores, estudiantes y director general del proyecto fue de aproximadamente ocho meses, cumpliéndose las fases propuestas de desarrollo, en forma continua, resaltando que las fases de gestión comercial, adquisición de todos los insumos, diseño e implementación y puesta a punto, fueron las más complejas y que demandaron más tiempo de ejecución. De cada fase, grupo y trabajo específico se generó la documentación correspondiente, se está en proceso de realizar el proceso de redacción, y estructuración de publicación del libro correspondiente especializado.

VIII. CONCLUSIONES

Se aclara que todo el diseño, desarrollo e implementación del sistema es único y fue realizado en conjunto con las directivas, docentes asesores y estudiantes de la universidad ECCI, se tomaron diferentes referentes, pero en definitiva todo el sistema de módulos didácticos es propio, único y exclusivo de la universidad ECCI, surgió como una necesidad en la implementación de laboratorios especializados, logrando un muy buen resultado que se replicó en la conformación de otros módulos similares, con la participación de los docentes y estudiantes de ingeniería electrónica y mecatrónica.

Mediante el desarrollo del proyecto se afianzaron competencias de trabajo en equipo, teniendo en cuenta asignación de roles en cada grupo de trabajo. Para la obtención del producto final fue de vital importancia la consecución de resultados de cada grupo.

El diseño y construcción del prototipo permitió la implementación y mejora de cuatro módulos más, que se presentan como plantas piloto, este trabajo permitió que los estudiantes interactuaran en todos los niveles de desarrollo de un sistema real a nivel industrial, caracterizando cada uno de los componentes a fin de lograr una sinergia entre ellos, generando como resultado final un producto marca ECCI.

El módulo didáctico permite desarrollar prácticas de laboratorio en las asignaturas de automatización, instrumentación básica y avanzada, control, redes de comunicación industrial y sistemas embebidos. A partir de este modelo surgen propuestas de implementación como por ejemplo: laboratorios remotos para el desarrollo de prácticas a distancia disponible no solo

para estudiantes de la universidad ECCI, sino para estudiantes de otras instituciones, con alcance a nivel empresarial. [1], [2], [3], [4], [5], [6]

REFERENCIAS

- [1] D. William, *Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control*. USA: McGraw-Hill, 2005.
- [2] F. Jacob, *Handbook of Modern Sensors*. Third Edition. San Diego, CA, USA: Springer, 2004.
- [3] L. Bela, *Instrument Engineers Handbook*. Process Measurement and Analysis. Fourth Edition. USA: CRC Press, 2003.
- [4] K. Tony, *Lessons in Industrial Instrumentation, Version 2.12*. Creative Commons Attribution 4.0 International Public License, 2015.
- [5] W. Jon, *Sensor Technology Handbook*. Burlington, MA, USA: Newnes-Elsevier, 2005.
- [6] ISA, *Specification, Installation, and Calibration of Turbine Flowmeters*. The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 1977.