



**Planta Piloto Automatizada Multivariable para el
Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Sede Malambo, Colombia**

Automated Multivariable Pilot Plant for the National Learning Service (SENA),
Malambo, Colombia

Recibido: 20/05/2020 **Aprobado:** 20/09/2021

Jair Barrios

Servicio Nacional del Aprendizaje SENA. Sede Malambo, Colombia.

Correo ing_jair@hotmail.com

Código Orcid <https://orcid.org/0000-0001-7508-0373>

Kenneth Rosillón

Universidad del Zulia. Red de Investigación Estudiantil.

Redieluz. Maracaibo, Venezuela.

Correo: kennethr10.03@gmail.com

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0172-3828>

Resumen

La investigación presentó la propuesta para una planta piloto multivariable para el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), sede Malambo. Para ello se desarrolló una investigación de tipo descriptiva, al mismo tiempo de tipo proyectiva, que permitió conocer el detalle del proceso de funcionamiento de la planta piloto y buscar soluciones que permitieron obtener un control ajustado de las variables manipuladas. La investigación desarrollada se considera de tipo no experimental, por tanto, el fenómeno fue estudiado, posteriormente analizado. Como resultado obtenido, se logró definir a detalle el funcionamiento de la planta donde se especificaron los diferentes procesos y equipos empleados por la misma. Sobre los cuales se realizaron los respectivos estudios para los que se permitió determinar las variables del proceso necesarios para lograr la automatización deseada. Por último, se desarrolló una simulación del proceso de producción, por medio del software LabView en su versión 2011, donde se observó la interacción de los equipos cuyo producto final fue un proceso totalmente automatizado, destacando a su vez la ergonomía de la instalación, así como los bajos costos de instalación y mantenimiento en los instrumentos y equipos.

Palabras claves: Automatización, Control, Instrumentos, Planta piloto, Simulación

Abstract

The research presented the proposal for a multivariate pilot plant for the National Learning Service (SENA), Malambo headquarters. For this, a descriptive research was developed, at the same time projective type, which will get to know the details of the operating process of the pilot plant and seek solutions that allow obtaining an adjusted control of the manipulated variables. The research developed is considered non-experimental, therefore, the phenomenon was studied, subsequently analyzed. As a result obtained, it was possible to define a detail of the operation of the plant where the different processes and equipment used by it were specified.



On which the studies were carried out for which it was possible to determine the variables of the process necessary to achieve the desired automation. Finally, a simulation of the production process was developed, using the LabView software in its 2011 version, where the interaction of the teams whose final product was a fully automated process is found, highlighting in turn the ergonomics of the installation, as well as the low costs of installation and maintenance in the instruments and equipment.

Keywords: Automation, Control, Instruments, Pilot plant, Simulation

Introducción

El sector productivo es un escenario fundamental para el desarrollo personal de los individuos. En él se despliegan sus capacidades, se definen rasgos de personalidad como la autonomía y la estabilidad. En este sentido, las exigencias de los tiempos modernos han llevado a la comunidad educativa a pensar en cómo formar a los niños y niñas, así como a los jóvenes, para enfrentar su propia vida y darles instrumentos que les permitan utilizar sus conocimientos para desarrollar las destrezas necesarias para incorporarse al mundo productivo.

Por ello, además del desarrollo de competencias básicas y ciudadanas, es indispensable que las instituciones educativas fomenten en los estudiantes competencias laborales, entendidas como un conjunto de conocimientos, habilidades, actitudes y disposiciones, que les conduzcan a trabajar en equipo, lograr resultados en una organización o unidad productiva y los habilite para conseguir un empleo, generar su propia empresa o negocio, mantenerse en la actividad y aprender elementos específicos del mundo del trabajo.

En este sentido, el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), cuenta en su estrategia con roles relevantes que permiten impulsar el desarrollo de este país (Colombia). La ley 119 de 1994 le asigna un camino trascendental como la entidad llamada a realizar investigación en Formación Profesional Integral; así mismo, el Decreto de Gobierno 585 de 1991 dispuso para el SENA la función de adelantar actividades de formación profesional con reglas vigentes, dirigida a transferir tecnologías de utilización inmediata en el sector productivo, realizar programas, proyectos de investigación aplicada, desarrollo tecnológico, orientar la creatividad de los trabajadores colombianos, fomentar la innovación empresarial, el desarrollo tecnológico productivo dirigido al sector empresarial colombiano y a los demás agentes del Sistema de Ciencia.

El modelo de enseñanza-aprendizaje hace que el estudiante entienda el principio de funcionamiento de los elementos de control, para su manipulación. Esto no sólo les da una formación firme, sino que se aprovechan más las horas de clase. Además, los estudiantes se forman como ingenieros, evalúan y crean soluciones a los proyectos asignados, y en su proceso de diseño incluyen los elementos de construcción, los cuales son necesarios.

Dicho modelo de enseñanza incluye módulos o guías que permiten establecer parámetros que generen en el estudiante diferentes acciones encaminadas a conocer y entender el funcionamiento de cada uno de los sistemas, para presentar a la hora de realizar una automatización de una planta que tenga en su proceso las variables nivel y temperatura.

En este orden de ideas, el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Colombo Alemán, Sede Malambo, cuenta con una planta piloto de control e instrumentación para variables básicas como presión, nivel y temperatura, la cual debe ser empleada en la formación de Técnicos en Instrumentación, como también en operadores de procesos de Ingeniería de control. Por ello, el SENA debe contar con equipos e instrumentos en óptimas condiciones, garantizando su funcionalidad, operabilidad y uso, en los distintos procesos y escenarios de formación (Sena, 2018).



Cabe destacar, que actualmente esta planta no cumple con los requerimientos operativos ya que está deteriorada; los instrumentos existentes están desgastados, sin calibrar, obsoletos, algunos sin instalar. Su integridad mecánica no es confiable e insegura, además carece de un equipo y sistema automatizado para controlar, monitorear las condiciones de los procesos, como tampoco un manual de funciones y procedimientos que permita detectar errores a la hora de ejecutar las diferentes actividades de formación (Sena, 2018).

La falta de instrumentos acorde con las variables a medir, instrumentos mal dimensionados, con pobre configuración y sin calibración, además de no existir un sistema de automatización condujo al deterioro de los equipos, la inoperancia del sistema, no prestación del servicio, condiciones de operación inseguras, mala configuración, obsolescencia de equipos y la falta de formación de los aprendices en las áreas de automatización e instrumentación Industrial.

Lo anteriormente establecido fue causado por el manejo inadecuado de las políticas de investigación, desarrollo e innovación en el área de control y automatización de procesos, sumando a esto el abandono y desactualización de contenidos de esta área por parte de los docentes, estudiantes e investigadores, al no tener un soporte financiero de ayuda para la formulación y evaluación de proyectos de ingeniería que involucren las etapas visualización, básica, conceptual y de detalle respectivamente.

En consecuencia, las industrias y sus procesos requieren de sistemas controlados de manera eficiente, contar con personal técnico con las capacidades, habilidades y destrezas a la vanguardia de procesos innovadores. Siendo el SENA la primera institución del país encargada de adelantar actividades de formación profesional con reglas vigentes, dirigida a transferir tecnologías de utilización inmediata en el sector productivo, realizar programas, proyectos de investigación aplicada, desarrollo tecnológico, orientar la creatividad de los trabajadores colombianos, fomentar la innovación empresarial, el desarrollo tecnológico productivo dirigido al sector empresarial colombiano y a los demás agentes del Sistema de Ciencia.

A lo anterior se suma la carencia de contenidos y prácticas profesionales actualizadas para las diversas cátedras libres, cursos e investigaciones los cuales se llevan a cabo en este centro regional por lo que esto últimamente ha entorpecido el avance profesional de los profesionales del área conduciendo a molestias y malestar económico en las carteras de estos investigadores. En tal sentido, el SENA debe ser capaz de generar propuestas al sector productivo de las industrias colombianas, razón por la cual requiere contar con una planta piloto automatizada multi-variable, equipada con tecnología de punta, que le permita transferir conocimientos, reforzar las teorías impartidas y comparar los logros reales.

Para tales fines, se requiere formular estrategias de enseñanza aprendizaje fundamentadas en la práctica de principios de automatización, programas de simulación, manejo de instrumentación, elementos neumáticos y programación de procesos, enfocadas en el diseño de módulos donde los profesores asignen tareas o actividades prácticas a ser desarrolladas por los estudiantes y así construir conocimientos efectivos para su aplicación en la industria.

En efecto, si las industrias no cuentan con sistemas de control y automatización de sus procesos, se afectan los tiempos de producción, entrega de los productos y bienes, por ende la productividad de los procesos, convirtiéndolas en empresas ineficientes. De allí que, se consideró perentorio para el SENA como elemento dinamizador de la enseñanza sobre procesos de automatización, implementar una planta piloto donde se simulen los procesos industriales y las variables nivel y temperatura requeridos por la colectividad empresarial.

Las plantas pilotos permiten simular procesos de calibración y ajuste, determinar fallas funcionales y la integración de los distintos componentes típicos de la instrumentación y demás equipos de las planta de procesos, antes, durante y después de la puesta en marcha, así como implantar procedimientos de control e identificar diferentes funciones de los instrumentos en el proceso.



En su concepción moderna, la automatización se puede definir como una tecnología mediante la cual se programan órdenes para operar un proceso dado, combinado con realimentación de información para identificar como fueron ejecutadas las ordenes programadas. El control automático de procesos beneficia al incrementar la calidad y volúmenes de producción, eliminación de errores y aumento en la seguridad, por ende, reducción de los costos asociados a la producción de los bienes y servicios de las plantas industriales (Córdoba, 2006).

Es importante destacar, que la aplicación masiva de las técnicas de control automático en la industria, permite al hombre aplicar al máximo sus capacidades de cálculo, reducir el uso de su fuerza física y controlar efectivamente los procesos, maquinarias y equipos asociados a la producción. En la actualidad, gracias al desarrollo y aplicación de las técnicas modernas de control, un gran número de tareas y cálculos asociados a la manipulación de las variables ha sido delegado a computadoras, Controlador Lógico Programado (PLC) y accionamientos especializados para el logro de los requerimientos del sistema.

En concordancia con lo anterior, Córdoba (2006) plantea varias consideraciones para ejecutar proyectos de automatización, destacándose el mejoramiento de estándares de calidad, reducción de pérdidas en producción, incremento de la repetitividad y la estabilidad de los procesos de manufactura, reducción del trabajo físico y repetitivo, obtención de mayor continuidad de la producción, mejoramiento de la relación costo beneficio, predominio de visión abierta para atender las necesidades planteadas, así como selección de proveedores y fabricantes en términos de tecnología de automatización.

Por tanto, el control de procesos es imprescindible en las industrias de procesamiento de hidrocarburos, químico, hidráulico, térmico, entre otras; en particular las plantas pilotos experimentales, donde se hace extensivo el uso de estrategias de control clásicas como modernas, con lazos multi-variables, en muchos casos con modelos predictivos, no solo para incrementar la productividad y optimizar los procesos, sino también como una capa de protección para la operación segura del sistema. Todas estas razones evidencian en mayor grado la necesidad de implantar como estrategia de enseñanza-aprendizaje en las universidades y centros de investigación.

Basado en lo anteriormente planteado, se formuló como objetivo general desarrollar una propuesta para la instalación de una planta piloto automatizada que maneje múltiples variables de control tradicional, a fin de promover el estudio de sistemas clásicos y avanzados por parte de los estudiantes del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), sede Malambo, Colombia.

Metodología

Desde el punto de vista del alcance y naturaleza, esta investigación se clasifica como descriptiva proyectiva, por buscar la solución a una problemática planteada que impactara positivamente en la colectividad universitaria, conformada por docentes, estudiantes e investigadores del SENA, mediante la cual se generará un producto científico posible de ser llevado a la empresa pública o privada, inclusive universidades aliadas, al automatizar los procesos y sistemas para la práctica y aplicación de los conceptos teóricos fundamentales de la automatización.

Al respecto, Arias (2012) señala que los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de cualquier grupo, persona o fenómeno que sea sometido a análisis, a los cuales se puede llegar mediante propuestas por vías diferentes, enfoques, métodos y técnicas propias. El diseño se considera documental no experimental ya que se realizó sin manipular deliberadamente la variable. Debido a esto, al abordar el diseño de la automatización como alternativa para recuperar la planta piloto multivariable del SENA, solo se describe su



proceso y funcionamiento, sin manipular la realidad existente, ni variar las condiciones de dicha observación.

En este sentido Hurtado (2012) señala que la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, críticas e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por investigadores en fuentes documentales, impresas, audiovisuales o electrónicas. Por otro lado, en la elaboración de esta investigación se empleó la confrontación documental de las diferentes fuentes bibliográficas o documentales (literatura, sobre el tema de investigación) consultadas.

La población y muestra de la investigación estuvo conformada por folletos, revistas, cotizaciones de proveedores sobre las plantas experimentales tipo piloto, similares a la instalada en la institución, para la cual se establecieron unidades de análisis para la recolección de la información. Los instrumentos utilizados para el cotejo documental fueron la lectura de textos, tesis y trabajos de grado, videos, página web y publicaciones científicas.

Para Tamayo y Tamayo (2012), las unidades de análisis son una población limitada objeto de estudio que genera conclusiones particulares en ese sentido y orden cronológico. De igual manera, Arias (2012), la población o universo se refiere al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas y los elementos o unidades son las personas, instituciones o cosas involucradas en la investigación.

De acuerdo con Hurtado (2012) las técnicas de recolección de datos comprenden procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener la información necesaria para dar respuesta a su pregunta de investigación, y así lograr la información necesaria para dar lugar al desarrollo de la investigación. En ese sentido, se utilizaron como técnicas e instrumentos de recolección de datos, la observación de tipo directa, la entrevista estructurada dirigida al personal del Servicio Nacional de Aprendizaje, la lista de cotejo y el cuaderno de notas.

Según Tamayo y Tamayo (2004, p.182), "la observación es la más común de las técnicas de investigación, esta sugiere y motiva los problemas, conduce a la necesidad de la sistematización de los datos", así mismo, define a la observación directa como "aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación". Esta técnica fue utilizada para la comprensión y desarrollo del sistema automatizado de la planta piloto, el principal objeto de estudio en la investigación, de esta manera describir el proceso para el desarrollo del sistema de monitoreo y control, realizar su análisis, interpretación, contrastar opiniones, así obtener las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

También se utilizó el block de notas, como instrumento de recolección de datos, donde se realizaron los bosquejos y los cálculos de la investigación, así como el uso de software para la realización de los diseños estructural y automatizado de la planta piloto multivariable del SENA. Igualmente se consultaron manuales técnicos de los fabricantes de los equipos e instrumentos, así como software para el diseño y puesta en prueba del sistema.

Resultados

El SENA es una institución de formación para jóvenes aprendices, docentes, investigadores como personal de la industria en formación. La sede Malambo tiene instalada una planta piloto para el estudio de variables como la presión, nivel, flujo y temperatura, fundamentales en la teoría de instrumentación y control de procesos. Esta planta de procesos fue diseñada con el propósito de la formación y capacitación continua de los estudiantes de esta sede del Sena Colombo Alemán, sobre las operaciones unitarias, típicas, aplicadas de la industria, así como el estudio de las funciones de control principales o supervisión de las variables anteriormente mencionadas.

La planta ofrece amplias posibilidades de formación, enseñanza y aprendizaje en las áreas de automatización, instrumentación y control de procesos. Los aprendices pueden comprender la construcción, el método de funcionamiento, así como la utilización de ejemplos de tipos configuración y calibración de transmisores, reguladores, controladores y válvulas de control, utilizados comúnmente en una planta de procesos industriales. Por otra parte, se puede observar y analizar el funcionamiento del lazo de control. Al interactuar con la planta se adquiere la experiencia necesaria tratando distintas fallas en el funcionamiento de una planta de procesos (Rojas, 2015).

Para el ingeniero profesional y los aprendices, la planta ofrece la posibilidad de estudiar el comportamiento de un sistema complejo que implique análisis e interacciones del lazo de control, adquirir confianza en la puesta en marcha, calibración y ajuste de los diferentes tipos instrumentos asociados, junto con la experiencia en tratamiento de fallas en el funcionamiento de la planta de procesos industrial. A continuación, se presenta una imagen real de la planta y sus componentes actuales.



Figura 1. Planta piloto multivariable. SENA, Sede Malambo
Fuente: Elaboración Propia (2017)

La presente investigación determinó que la planta no cuenta con manual de funcionamiento y operación; los operadores realizan estas acciones de manera manual. La mencionada planta es semi-automática y fue adquirida del catálogo de productos de la empresa fabricante FESTO LATAM (Festo Latinoamérica, 2017). De forma compacta y ergonómica, posee dos tanques de procesos, uno para la medición de nivel y otro para temperatura y nivel respectivamente, con las dimensiones que se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1
Dimensiones de la planta piloto automatizada

Dimensiones (metros)	
Diámetro	2
Altura	2.5
Profundidad	1.5

Fuente: Elaboración Propia (2017)

Esta planta piloto consta de recipientes almacenadores con las dimensiones que se presentan en el cuadro 2, con elementos térmicos y eléctricos, líneas de tuberías para el transporte de líquidos, que permite la observación de su comportamiento extrapolado a nivel industrial con la finalidad de evidenciar las teorías clásica-moderna de control.

Cuadro 2
Dimensiones Tanques Tk1 y Tk2

Dimensiones	Unidad	Dimensiones
Radio	cm	50
Altura		150
Área	cm ²	7854

Fuente: Elaboración Propia (2017)

Parámetros y Requerimientos para la automatización de la planta piloto automatizada en el Sena Colombo Alemán – Sede Malambo

Para determinar los parámetros y requerimientos de la planta piloto multivariable del Sena Colombo Alemán, Sede Malambo, se estableció como una primera variable la temperatura, por su condición de retardo que teóricamente presentan adicional, valor dependiente de las operaciones llevadas a cabo en los procesos industriales, instalaciones de energía y servicios auxiliares. También se consideraron la medición de nivel y flujo por su importancia, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como del balance adecuado de los insumos como materias primas utilizadas y los productos finales a generarse.

Requerimientos para la automatización

Para determinar los requerimientos de automatización en función de los equipos ya existentes, fue necesario revisar y asegurar facilidades para el suministro de agua, aire de instrumentos, y electricidad tanto en 110v como en 220v respectivamente. A continuación, se presentan los aspectos mínimos considerados para automatizar la planta piloto de la institución educativa:

- a) **Cambios de carga:** variaciones que se producen en la variable a controlar debido a cambios ocurridos en el transcurso del proceso.
- b) **Tiempo requerido** para que las variables alcancen un nuevo valor adecuado, una vez ocurra un cambio de carga. Este tiempo de retraso se debe a tres propiedades del proceso, capacidad de almacenamiento, resistencia y tiempo de transporte.
- c) **Carga del proceso** a la cantidad de fluido que el proceso necesita en un instante de tiempo determinado para conservar unas condiciones de trabajo o un funcionamiento adecuado. Los cambios de carga se producen por varios motivos: variación en la demanda del valor del caudal del fluido de control, cambios en las propiedades del fluido de control, cambios en las condiciones ambientales y calor generado por reacciones químicas en el proceso.
- d) **Área para la instalación:** es importante el área de localización de la planta, la cual debe estar equidistante del centro de control a fin de prevenir lesiones o daños a la integridad de cualquier estudiante, docente o cualquier otro integrante de la comunidad educativa. El espacio es fundamental para diseñar y construir una adecuada estructura de canalizaciones de

electricidad e instrumentación, así como la disposición del sistema de alarmas y conexiones extras de control

Parámetros para la automatización de la planta piloto multivariable

Una vez definidos los requerimientos fue necesario, en función de la capacidad de la planta, establecer los parámetros para obtener un sistema automatizado donde las variables de nivel, flujo y temperatura se mantuvieran en el rango en todo momento. En primera instancia se procedió a plasmar los parámetros de temperatura acorde a la capacidad de almacenamiento del tanque, modelando y simulando el mismo, a fin de garantizar la precisión en el rango establecido y programar eficientemente el controlador. Para el desarrollo del modelo matemático se utilizaron fórmulas que estudian el comportamiento del sistema.

De acuerdo con los parámetros de las variables nivel y temperatura, es importante destacar que la automatización de la planta piloto diseñada, contempla dos tanques instalados de forma paralela acorde a la altura de la planta. Ambos tanques con la misma capacidad de almacenamiento, pero con diferentes tiempos de calentamiento y llenado, debido a la cantidad de masa que entra y sale; por ello se dan los rangos menores para el más alejado de la entrada de alimentación de agua. Los rangos de temperatura calculados, máximo 120°C, no representan riesgos para los operadores

Según los parámetros de la variable nivel, es importante destacar que la automatización de la planta piloto diseñada, contempla dos tanques instalados en paralelo acorde a la altura de la planta, ambos con la misma capacidad de almacenamiento, pero con diferentes tiempos de llenado y vaciado, debido a la cantidad de masa que entra y sale; por ello se dan los rangos menores para el más alejado de la entrada de alimentación de agua.

Diseño de la Automatización de la planta piloto multivariable para el SENA Colombo Alemán – Sede Malambo

La distribución física de la planta piloto multivariable del SENA Colombo Alemán – Sede Malambo se observa en la figura 2, donde se muestran en 3D los componentes y sistemas de control asociados. Es importante ubicar cada instrumento en función de las normativas de la American National Standard ANSI/ISA-5.1-2009, se instalarán indicadores locales, equipos de transmisión remota llevando las señales a través del cableado hacia la sala de control.

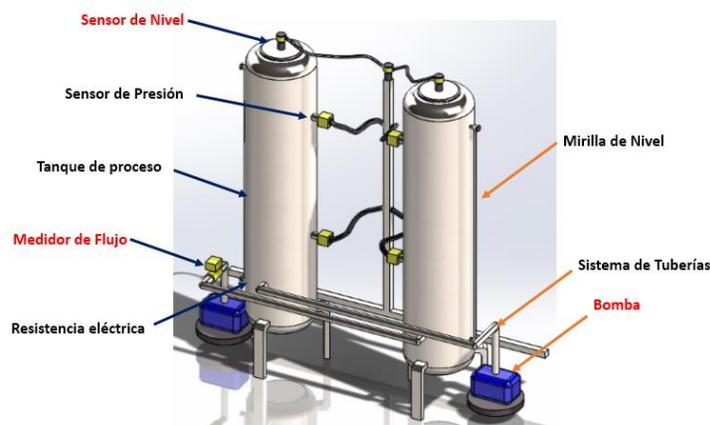


Figura 2. Plano 3D de la planta piloto multivariable
Fuente: Elaboración Propia (2017)

Partiendo del diseño anterior, se logrará medir las variables flujo, nivel, presión y temperatura respectivamente. La imagen muestra el sistema automatizado compacto con la adecuación de los instrumentos de forma ergonomica para el ahorro de espacios en el área donde será instalada.. Tambien se muestra la ruta para las canalizaciones de electricidad e instrumentación por donde se llevaran los sensores hasta la sala de control, todos estos tendran proteccion NEMA, ISA asi como IEC para lo referente a corto circuito.

El objetivo principal de este sistema es tener un lazo de medición de nivel por ultrasonido en el recipiente TANK01. En la parte superior del depósito se encuentra instalado un Transmisor de nivel ultrasonido LT, el sensor envía una señal ultrasónica inaudible dentro del depósito, indicando el tiempo que demora en ir y venir hasta el obstáculo más cercano detectado, en este caso el agua, enviando una señal eléctrica al controlador de nivel LC, encargado de recibir la información y comparar con el valor establecido de nivel (Set Point), para luego enviar una señal eléctrica des-energizando la bomba B2 y una señal neumática a las válvulas de control FCV01 / FCV02 para cerrar el paso de flujo cuando alcance el límite superior. A continuación, se presenta el esquemático del análisis de flujo de señales hacia el controlador programable.

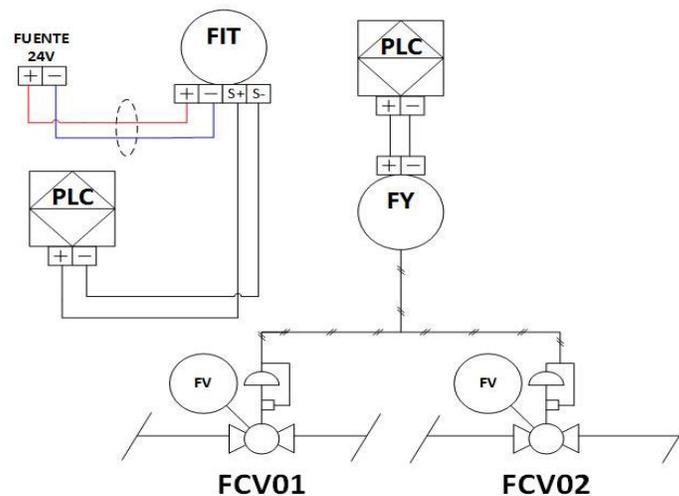


Figura 3. Lazo electrónico/neumático. Sistema de control de flujo de agua. Fuente: Elaboración Propia (2017)

En este lazo se puede comprobar las conexiones desde las válvulas hacia el convertidor I/P y posteriormente hacia el controlador lógico programable. Por otra parte, se muestra la conexión del transmisor de flujo hacia otro módulo de control a través de una fuente de alimentación en corriente continua a 24V respectivamente. Ahora bien, para la instalación de este cableado se propone un par trenzado para mitigar el ruido de los componentes electrónicos, así como se proyecta la conexión con RJ45 como capa física del estándar Ethernet.

En este lazo se pueden comprobar las conexiones desde los switches de nivel de baja y alta presión hacia el controlador lógico programable. Por otra parte, se muestra la conexión del transmisor de presión diferencial hacia otro módulo de control a través de una fuente de alimentación en corriente continua a 24V respectivamente. Igualmente se propone un par trenzado para mitigar el ruido de los componentes electrónicos, así como se proyecta la conexión con RJ45 como capa física del estándar Ethernet.

De la misma manera, en este lazo se pueden comprobar las conexiones de los sensores de temperatura de manera que los mismos necesitan una junta de compensación y circuitos de ampliación de voltaje para llevarlos al regulador programable. Por otra parte, se muestra la conexión del transmisor de presión diferencial hacia otro módulo de control a través de una fuente de alimentación en corriente continua a 24V respectivamente. Esta temperatura será regulada a través del mecanismo ON/OFF de la resistencia, así como también de la válvula FVC03 la cual permitirá el paso de agua caliente/fría al proceso.

Ahora bien, para este cableado también se proponen un par trenzado para mitigar el ruido de los componentes electrónicos, así como se proyecta la conexión con RJ45 como capa física del estándar Ethernet. A continuación, se presenta el esquemático del lazo de temperatura.

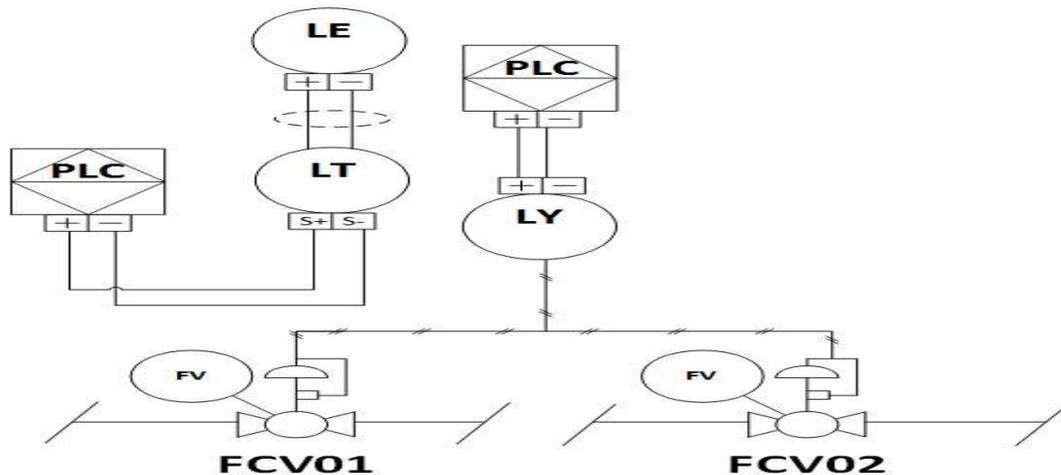


Figura 4. Lazo electrónico/neumático del sistema de control de nivel
Fuente: Elaboración Propia (2017)

En este lazo se puede comprobar las conexiones desde las válvulas hacia el convertidor I/P y posteriormente hacia el controlador lógico programable. Por otra parte, se muestra la conexión del transmisor de nivel ultrasónico hacia otro módulo de control a través de una fuente de alimentación en corriente continua a 24V respectivamente. Se propone un cableado de un par trenzado para mitigar el ruido de los componentes electrónicos, así como se proyecta la conexión con RJ45 como capa física del estándar Ethernet. Cabe destacar, este medidor ultrasónico contiene en su haber un transductor para traducir la señal de amplitud u expansión de la onda hacia el fluido de contacto. Ahora bien, se tienen los planos eléctricos de conexión hacia el tablero principal de energía.

Se puede decir, el diagrama de conexiones eléctricas desde el controlador PLC hasta el sistema de alimentación por corriente alterna se realiza a través de mecanismos de conexión por alimentación de corriente continua y elementos como relés, contactores y switches, responsables de hacer los pases requeridos en función de la onda que se trabajara en la planta piloto como tal. Se destaca, el conexionado de las bombas se realiza en trifásico con un voltaje de 220/440V dependiendo de la configuración del circuito de arranque y potencia manteniendo una frecuencia estándar de 60Hz.

Arquitectura de comunicación de la planta

El sistema de comunicación que se propone permitirá controlar y supervisar el proceso de control en las variables nivel, flujo, presión y temperatura en este recinto experimental. Ahora bien, evaluando las arquitectura o topologías de conexión se ha decidido la tipo Bus la cual estará conformada por una serie de capas. En la primera capa se encuentran los dispositivos de campo (Válvulas neumáticas y eléctricas, bombas, contactores, relés, transmisores de presión, flujo, nivel y temperatura), en la segunda capa están ubicados los equipos de control (PLC), en la tercera y última capa se encuentran el equipo de supervisión, conformado por un HMI al cual tendrán acceso, tanto estudiantes como docentes para alterar valores de diseño de la planta piloto.



Figura 5 Arquitectura de Comunicación de la planta piloto
Fuente: Elaboración Propia (2017)

Selección de los equipos e instrumentos para la planta piloto multivariable

Para el desarrollo de esta fase, se requirió de la solicitud de información por parte de los expertos en el área, así como de la consulta de las tendencias actuales en equipos e instrumentos por parte de los fabricantes. Una vez diseñado el sistema, se procedió a la selección de los equipos para realizar una propuesta de compra u adquisición de los mismos, necesarios para el óptimo funcionamiento de la planta piloto experimental en la institución industrial. Para ello se realizó un proceso de licitación donde se solicitaron cotizaciones a varios proveedores, a fin de obtener la mejor propuesta a los intereses de la institución y bajo costo.

Validación del funcionamiento automático de la planta piloto multivariable del SENA Colombo Alemán, Sede Malambo

Una vez seleccionados los equipos e instrumentos para la planta piloto multivariable, se estimaron los parámetros de función de transferencia, asegurando sistemas de control precisos desde el inicio del proceso hasta su posterior parada. En primera instancia se presenta el

diagrama de arranque de la planta, el cual estará conformado por un HMI, este interfaz humano maquina permitirá la operación por parte de los docentes, estudiantes o practicantes, de esta manera se podrán realizar pruebas y ajuste necesarios al proceso.

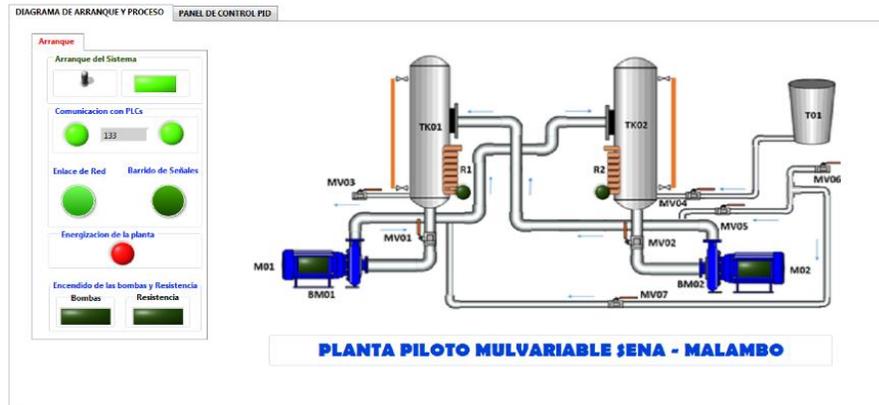


Figura 6. HMI del arranque de la planta piloto
Fuente: Elaboración Propia (2017)

Como se observa en la figura 6, en un primer plano la planta piloto realiza el barrido de sus señales, tarea a ser realizada por el controlador lógico programable a fin de validar que todos los sensores y elementos finales de control estén en óptimo funcionamiento para dar inicio y encendido a las bombas y resistencias del sistema. A continuación, en la figura 7, se presenta el esquemático del encendido de estos equipos.

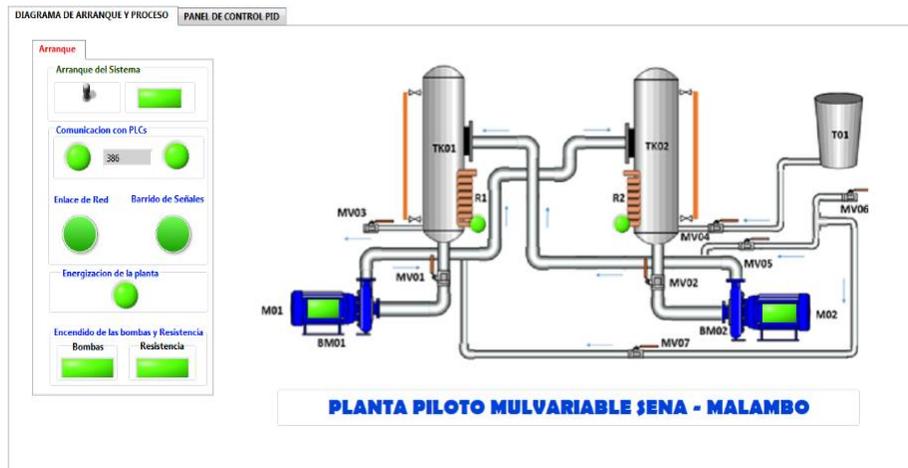


Figura 7. Aprobación del arranque de la planta piloto
Fuente: Elaboración Propia (2017)

Como se pudo ver en la figura 7, una vez aprobada el barrido de las señales, se inicia el sistema con el encendido en baja tensión de las resistencias eléctricas, así como los sistemas de bombeo con válvulas al 5% de apertura por condición de diseño a fin de evitar el golpe de ariete en las bombas.

En la figura 8 se presenta el panel de control de la planta donde se podrán apreciar que una vez iniciado el sistema el usuario debe asignar los SP (set point) para empezar el proceso.

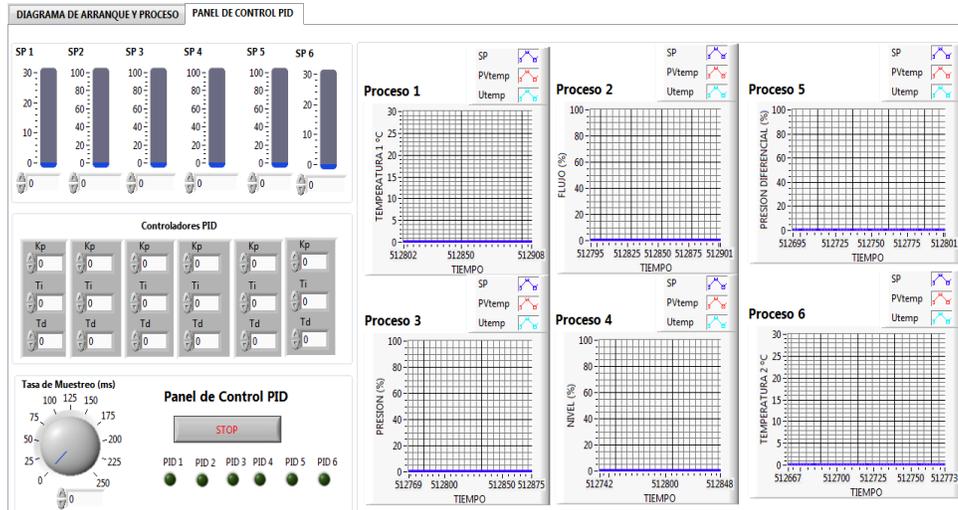


Figura 8. Panel de control de la planta piloto.
Fuente: Elaboración Propia (2017)

Como se observó en la figura anterior, los elementos de asignación de valores son dados por el usuario (valor deseado), quien también debe programar los controladores (PID-PI) para dar inicio al proceso. Esto es calculado previamente por el modelo matemático desarrollado durante esta investigación. Por otra parte, se debe garantizar que el tiempo de muestreo sea efectivo para la corrida del sistema de control. En la parte derecha del panel se presenta la respuesta del sistema de control, el valor deseado debe estar en cero. En la figura 9 se muestran los valores asignados para la regulación de planta.

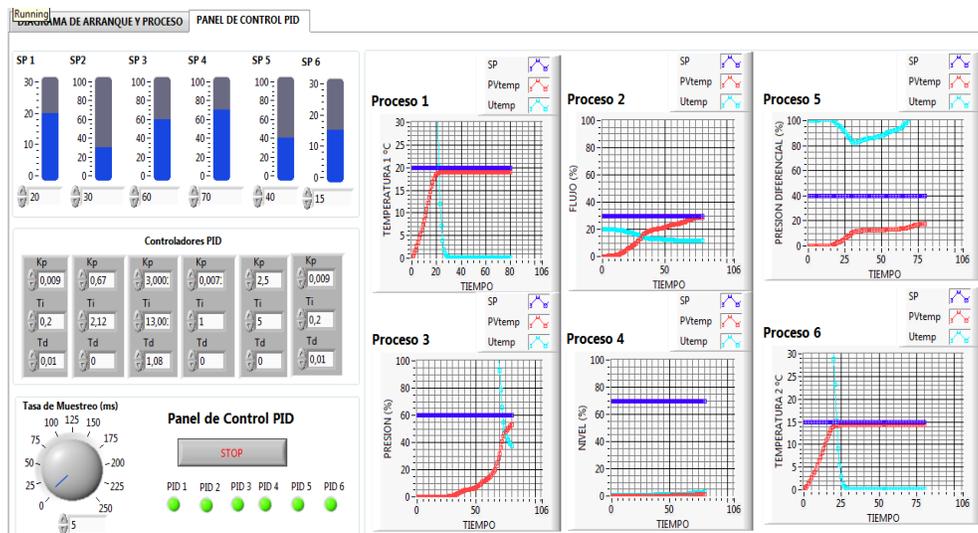


Figura 9. Sistema de excitación para la respuesta de la planta piloto.
Fuente: Elaboración Propia (2017)

En la figura anterior se pudo observar, durante la puesta en marcha de la planta y con los valores deseados programados, se ponen en activación los reguladores PID y/o PI; también se observa el comportamiento en tiempo real y variaciones de los sistemas a fin de comprobar que la línea azul es el valor deseado y todas las variables de la planta están llegando al mismo, validando los modelos matemáticos desarrollados según los parámetros establecidos para esta investigación.

Finalmente, en la figura 10 se muestran los instantes o momentos de tiempo donde las variables están siendo estabilizadas en el régimen estacionario. Se observa como la línea PV (roja) iguala al set-point respectivamente. Por otra parte, la línea de color celeste muestra la acción de control provista por la válvula y/o la resistencia de estado sólido, indicando, los mismos no se esfuerzan para obtener el punto de estabilización en el sistema, adecuado para los procesos académicos desarrollados en el SENA en su sede Malambo, Colombia.

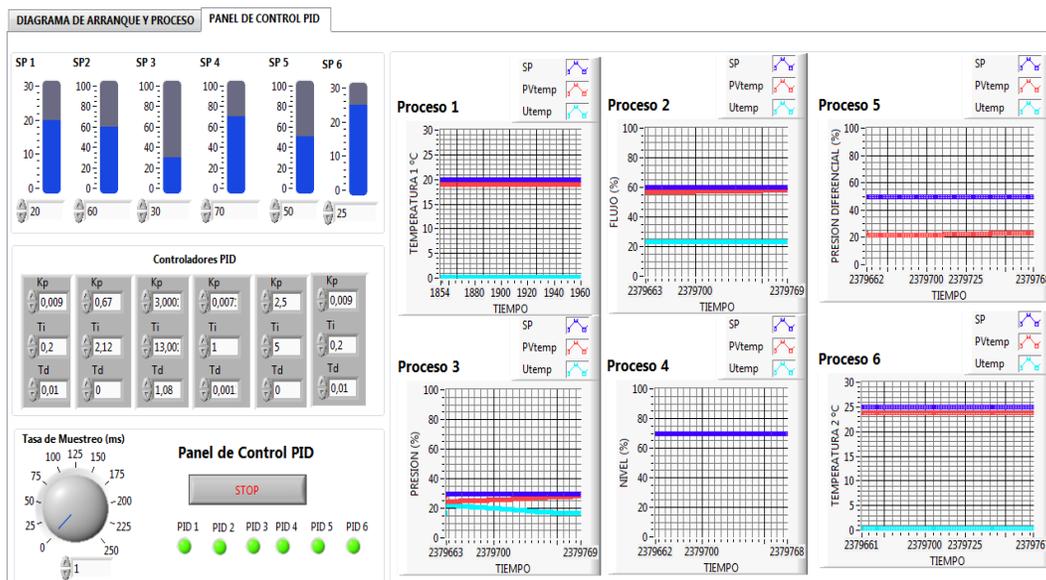


Figura 10. Estabilización de la planta piloto.
Fuente: Elaboración Propia (2017)

Conclusiones

Los resultados del estudio arrojaron que el proceso de funcionamiento de la planta piloto multivariable se puede manejar de manera continua con el uso adecuado de equipos e instrumentos diseñados para tal fin, que a su vez permitan controlar los tiempos de procesamiento de cada una de las fases del proceso. Mediante la definición de los parámetros operacionales de la planta piloto multivariable, se pueden escalar los tiempos de producción de una planta industrial, optimizando el uso de equipos e instrumentación de acuerdo a los requerimientos del sistema.

Las características del proceso permitieron diseñar un sistema automatizado, donde se especificaron los equipos e instrumentos necesarios, así como los protocolos de comunicación a ser empleados y los niveles de corriente requeridos por la planta propuesta. Se logró seleccionar mediante matrices de comparación, los equipos que mejor se adaptan al funcionamiento del sistema automatizado tomando en consideración la naturaleza del proceso estudiado.

Se realizó la validación del sistema automatizado con resultados positivos, mediante la simulación, utilizando LabVIEW, un software de ingeniería de sistemas que requiere pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware e información de datos, se logró observar el funcionamiento de todo el proceso de producción, tomando en cuenta los respectivos sistemas de control. Finalmente, después de haber estudiado los aspectos técnicos y operativos se desarrolló la propuesta de la planta piloto automatizada multivariable para el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Sede Malambo, Colombia.

Referencias Bibliográficas

- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación*. Editorial Episteme 6a edición. Caracas, Venezuela, ISBN: 980-07-8529-9
- Córdoba, E. (2006). *Manufactura y Automatización*. *Revista Ing. Investig*, 26 (3). Bogotá
Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/643/64326315.pdf>
- Decreto 585 de 1991. Por lo cual se crea el Consejo nacional de Ciencia y tecnología, se reorganiza el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología – Colciencias. Publicada en el Diario Oficial N° 39702, de 26 de febrero de 1991. Recuperado de:
<http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1124363>
- Festo Latinoamérica (2017). *Catálogo de Productos y Servicios Neumáticos para Plantas Piloto*. Recuperado de:
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/377670/Process_Automation_es_2019-05_low.pdf
- Hurtado, J. (2012). *El proyecto de investigación, una Comprensión Holística*. Caracas, Venezuela: Editorial Quirón.
- International Society of Automatización (2009). *American National Standard. ANSI/ISA-5.1-2009 Instrumentation Symbols and Identification*. Recuperado de:
http://integrated.cc/cse/Instrumentation_Symbols_and_Identification.pdf
- LabVIEW (2011). *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*. Recuperado de:
<https://www.ni.com/es-cr.html>
- Ley 119 de 1994. Por la cual se reestructura el Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA. Publicada en el Diario Oficial N° 41.216, de 9 de febrero de 1994. Recuperado de:
<https://agenciapublicadeempleo.sena.edu.co/Normatividad/Ley%20119%20de%201994.pdf>
- Rojas, J (2015). *Modelamiento de los Sistemas de Potabilización de Agua Orientado al Diseño de Control Supervisorio*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de:
<https://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8970/1/UPS-CT005251.pdf>
- Tamayo y Tamayo, M. (2004). *El proceso de la Investigación Científica*. México. DF: Editorial Limusa. ISBN N° 968-18-5872-7