

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que los autores han autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea del CRAI-Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la CRAI-Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-Biblioteca

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

**Diseño y construcción de una planta de procesos con guías de laboratorio y manual de
usuario**

Nicolás Andrés Ardila Rodríguez,

Luis Miguel Galán Salazar

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecatrónico

Director

Luis Rodrigo Mancilla López

Ingeniero Mecatrónico

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Ingeniería Mecatrónica

2019

Dedicatoria

A mi madre y mis abuelos...

Nicolas Andrés Ardila Rodríguez

A Dios, a mi querida madre, y a mi abuela que desde el cielo sé, me observa orgullosa...

Luis Miguel Galán Salazar

Agradecimientos

Agradezco a mi querida madre por su apoyo y esfuerzo que me ha permitido llegar hasta este momento, a mi familia y amigos por estar siempre ahí para ayudarme, tanto en lo académico como en lo personal.

Nicolas Andrés Ardila Rodríguez

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por haberme permitido llegar hasta aquí...

A mi querida madre, por todo su apoyo incondicional, amor, comprensión, ternura y dedicación durante el transcurso de mi carrera.

A todos mis amigos, compañeros y colegas, que durante este trayecto me brindaron de su valioso consejo y apoyo, en los diferentes obstáculos que fueron necesarios atravesar durante estos años de formación académica y para el desarrollo de este proyecto.

Luis Miguel Galán Salazar

A su vez agradecer a todos los docentes que, con paciencia y compromiso, nos dotaron de todos los conocimientos tanto teóricos como prácticos necesarios, en pro del desarrollo de esta tesis, y de nuestra preparación hacia la vida laboral.

Y de manera muy especial agradecer a la Universidad Santo Tomás, por permitirnos hacer uso de todas las herramientas, instalaciones y elementos necesarios, que fueron de vital importancia para la realización y el desarrollo de este proyecto de grado.

Contenido

	Pág.
Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
1. Diseño y construcción de una planta de procesos con guías de laboratorio y manual de usuario	15
1.1 Descripción del problema	15
1.2 Justificación	16
1.3 Alcance	16
1.4 Objetivos	18
1.4.1 <i>Objetivo general.</i>	18
1.4.2 <i>Objetivos específicos.</i>	18
2. Marco Referencial	20
2.1 Marco teórico	25
2.1.1 <i>Instrumentación.</i>	29
2.2 Marco Conceptual	34
3. Método	41
3.1 Descripción de etapas y tareas	41

PLANTA DE PROCESOS: GUÍAS Y MANUAL DE USUARIO	6
3.2 Recopilación de la información o investigación	42
3.3 Procesamiento de la información	42
3.3.1 <i>Etapa preliminar.</i>	43
3.3.2 <i>Etapa de desarrollo.</i>	43
3.3.3 <i>Etapa final.</i>	44
4. Resultados	46
4.1 Condiciones Iniciales del proyecto	46
4.1.1 <i>Materiales e Instrumentos.</i>	47
4.1.2 <i>Planta de procesos: aspectos generales.</i>	48
4.2 Diseño Preliminar	55
4.3 Diseño detallado	56
4.3.1 <i>Definición de la estructura.</i>	56
4.3.2 <i>Definición de las dimensiones.</i>	59
4.3.3 <i>Desarrollo de los tres diseños del banco de procesos.</i>	60
4.4 Criterio de selección	68
4.5 Construcción	69
5. Conclusiones	75
Bibliografía	77

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Lista de instrumentos disponibles antes de inicializar el proyecto</i>	47
Tabla 1.a. <i>Lista de instrumentos disponibles antes de inicializar el proyecto</i>	48
Tabla 2. <i>Lista de otros materiales disponibles antes de inicializar el proyecto</i>	48

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Planta piloto en la Universidad Tecnológica de Bolívar.	21
<i>Figura 2.</i> Planta didáctica para la implementación de algoritmos de control.	23
<i>Figura 3.</i> Modelo CAD de la planta construida en el proyecto.....	25
<i>Figura 4.</i> Ilustración de una planta de proceso para la producción de zumos y bebidas.	27
<i>Figura 5.</i> Ilustración de una planta piloto para instrumentación y control de procesos.	28
<i>Figura 6.</i> Clasificación de los caudalímetros.	29
<i>Figura 7.</i> Ilustración del principio de Von Karman.....	30
<i>Figura 8.</i> Ilustración física de un ejemplo de un sensor de efecto hall.	31
<i>Figura 9.</i> Estructura de una válvula proporcional.	32
<i>Figura 10.</i> Principio de funcionamiento de una válvula antirretorno.....	33
<i>Figura 11.</i> Ejemplo de un diagrama P&ID.	34
<i>Figura 12.</i> Representación de la precisión y la exactitud, en base a un valor de referencia y a la toma de varios datos.....	36
<i>Figura 13.</i> Representación del rango, en base a la medida de un termómetro.....	37
<i>Figura 14.</i> Representación del error ante la medida de caudal de varios instrumentos.....	38
<i>Figura 15.</i> Foto del primer banco de procesos para control de temperatura y flujo de agua desarrollado por la Universidad Santo Tomás. Por el Autor, 2019.	46
<i>Figura 16.</i> Diseño de la planta construida en el proyecto.....	49
<i>Figura 17.</i> Vistas del modelo CAD de la planta construida en el proyecto.....	50
<i>Figura 18.</i> P&ID del proyecto.....	52

<i>Figura 19.</i> Ruta de realimentación (Segmento Azul) evidenciada en el P&ID del proyecto.	53
<i>Figura 20.</i> Ruta de ascenso (Segmento Purpura) evidenciada en el P&ID del proyecto.	54
<i>Figura 21.</i> Ruta de descenso (Segmento Verde) evidenciada en el P&ID del proyecto.	55
<i>Figura 22.</i> Diseño de la estructura de la planta para control de flujo de agua y temperatura. El Autor.....	57
<i>Figura 23.</i> Imagen de las ruedas situadas en una sección de la base de la estructura. El Autor. ..	58
<i>Figura 24.</i> Angulo interno(interior-interior) en L hecha en material de aluminio utilizado para acoplar los perfiles 30x30 en la construcción de la estructura del banco de procesos.	58
<i>Figura 25.</i> Escuadras externas hechas en material de aluminio utilizados como soporte para dar rigidez vertical a la estructura del banco.	59
<i>Figura 26.</i> Tabla de medidas a considerar al momento de instalar un caudalímetro en función del diámetro y el arreglo de las tuberías.	62
<i>Figura 27.</i> Diseño #1 de la planta de procesos. El Autor	64
<i>Figura 28.</i> Diseño #2 de la planta de procesos. El Autor	66
<i>Figura 29.</i> Sección del lazo de control del diseño #1. El Autor.....	66
<i>Figura 30.</i> Diseño #3 de la planta de procesos. El Autor	68
<i>Figura 31.</i> Resultado de la ultima pregunta de la encuesta a interesados. El Autor	69
<i>Figura 32.</i> Diseño del tablero de control. El Autor	70
<i>Figura 33.</i> Soporte para los tubos. El Autor	71
<i>Figura 34.</i> Banco de procesos con la estructura ensamblada y los tableros de MDF acoplados dentro de esta. El Autor.....	72
<i>Figura 35.</i> a) Planta de procesos vista frontal. b) Planta de procesos vista posterior. El Autor ...	73
<i>Figura 36.</i> Tablero de circuitos y potencia. El Autor	74

Lista de apéndices

	Pág.
Apéndice A. Manual de Usuario de la planta de procesos USTA.....	79
Apéndice B. Dossier técnico de la planta de procesos USTA.....	79
Apéndice C. Practica de Laboratorio N°1.....	79
Apéndice D. Practica de Laboratorio N°2.....	79
Apéndice E. Practica de Laboratorio N°3.....	79
Apéndice F. Resultados encuesta a interesados.....	79
Apéndice G. Diagrama P&ID.....	79

Resumen

La Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Santo Tomás seccional Bucaramanga, en el año 2017, planteó un proyecto que buscaba dar solución a la necesidad de complementar el desarrollo práctico de los estudiantes dentro de las asignaturas de instrumentación, automatización y control. Se tenía previsto diseñar y construir cinco plantas de procesos que permitieran monitorear y controlar variables, tales como: temperatura, caudal y nivel de agua en un tanque, pero debido al tiempo requerido en la fabricación e implementación de cada una de estas, no se pudo completar el objetivo inicial, obteniendo como resultado dos de las cinco previstas.

Por esta razón y buscando avanzar en el proceso, se llevó a cabo este proyecto en donde se diseñó y construyó otra de las plantas de procesos, manteniendo los mismos lazos de control en la tubería e instrumentos, pero reorganizando la distribución de estos en el ensamblaje.

Adicionalmente se elaboraron tres guías de laboratorio enfocadas en el software LabVIEW y un manual de usuario, que permitiesen tener una mejor comprensión de los aspectos técnicos y de funcionamiento de la planta respectivamente.

Palabras Clave: Planta de Proceso, Guías de laboratorio, LabVIEW, Instrumentos.

Abstract

The Faculty of Mechatronic Engineering in 2017 proposed a project that sought to provide a solution to the need to complement the practical development of students within the subjects of instrumentation, automation and control. The intention was design and build five plants of the processes that allowed to monitor and control variables, such as: temperature, flow and level of water in a tank, but the time that it requires to manufacture and implementation of those, only reached to finished two plants of five.

For this reason and seeking to advance in the process, this project was carried out designing and built other process plant maintaining the same control loops in the pipeline and instruments but reorganizing the distribution of these in the assembly.

Additionally, three laboratory guides focused on LabVIEW software and a user manual were made, which allow for a better understanding of the technical and operational aspects of the plant, respectively.

Palabras clave: Process Plant, laboratory guides, LabVIEW, Instruments.

Introducción

Uno de los problemas que parece afectar a los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica, es la carencia de preparación al momento de emplear los conocimientos adquiridos durante la carrera, en problemas y situaciones de la vida real. Esto se puede deber a que existe una ausencia de enfoque práctico en algunas asignaturas, dentro de los planes académicos de la facultad, pues varias de estas, a pesar de poseer un buen énfasis teórico y metodológico, presentan deficiencias en la aplicación de estos, pues en su defecto enfatizan el concepto general de la teoría, más no en cómo puede ser utilizada en una aplicación real.

A pesar de esto, la facultad no ha sido inconsciente de este problema, y con el fin de alivianar las consecuencias en relación con lo anteriormente mencionado, han realizado inversiones para la adquisición de diferentes módulos, instrumentos y máquinas, que por medio de su correcta utilización, los estudiantes puedan tener la oportunidad de poner en práctica sus conocimientos, trabajando en interfaces que tengan las mismas características y funcionalidades que las que se pueden presentar a nivel industrial.

Sin embargo, durante la ejecución de esta medida y con el paso del tiempo, se han presentado inconvenientes que redujeron su efectividad, que han hecho que dicha inversión no proporcione los resultados esperados. Entre esto, se tiene que algunos de estos módulos siguen siendo insuficientes en cantidad, e inviables para poder implementarse en los planes de asignaturas respectivos, pues dada la posibilidad de una cantidad elevada de estudiantes y el número limitado de módulos, representarían un impedimento para el progreso del contenido de las materias en caso de ser utilizados. Adicionalmente, varios de los módulos presentes en la facultad no se encuentran

debidamente documentados, o carecen de un manual de mantenimiento adecuado, que permita conocer las medidas idóneas para realizar el mejor cuidado posible al equipo, o en caso de deterioro o daño, conocer que estrategias se puedan implementar para evitar situaciones de peligro, o para realizar un plan de mantenimiento y/o reparación.

Ante esta situación, el proyecto que se presenta a continuación en el contenido de este documento, busca aportar una solución parcial al problema planteado, pues tiene como objetivo, realizar el diseño y construcción de un nuevo módulo planta de proceso para el control de nivel, flujo de agua y temperatura, el cual se encuentra orientado para su uso en la automatización, y del que actualmente solo se disponen dos ejemplares en funcionamiento con su debida documentación y manual de mantenimiento, con el fin de aumentar su cantidad correspondiente, para que los estudiantes de ingeniería mecatrónica puedan hacer uso de este.

1. Diseño y construcción de una planta de procesos con guías de laboratorio y manual de usuario

1.1 Descripción del problema

La educación en todos los niveles está en constante evolución, atravesando grandes cambios, donde ya no solo se basa en la concepción de aprendizaje como transmisión y observación, sino que en la actualidad está orientada a un modelo activo y participativo, dotando al estudiante de herramientas prácticas, actualizadas y acordes con las temáticas, donde este pueda aplicar lo visto en clase y darle un mejor enfoque. A nivel mundial se han logrado grandes avances en este tema, ya que los estudiantes al integrar la práctica con los conocimientos adquiridos han logrado enriquecer estos, obteniendo un rumbo más claro de lo que ellos pueden lograr hacer.

Frente a esto, La Universidad Santo Tomás seccional Bucaramanga y la facultad de Ingeniería Mecatrónica, ha visto la necesidad de aplicar estas mejoras y ampliar la forma en la que las clases se imparten, esto con el fin de complementar lo que ya se venía logrando hasta la fecha. Sin embargo, la Universidad solo posee módulos de PLC y bancos de neumática y solo dos bancos de control de temperatura y flujo de agua, por lo que los estudiantes no cuentan con todas las herramientas necesarias para desarrollar de forma idónea las prácticas de automatización que requieren de otros instrumentos o procesos específicos, como: control de temperatura, caudal, nivel, entre otros.

1.2 Justificación

Dentro de las distintas opciones que se podrían plantear para dar solución al problema, el diseño y construcción de un banco de procesos pensado en el control automatizado de temperatura, caudal y nivel, así como en el uso de instrumentos de medición, fue seleccionado como la mejor solución debido a que se ha visto en la industria que estos son los procesos más realizados y a su vez en los que los estudiantes pueden llegar a estar involucrados en su futuro profesional, por lo tanto se ve como una necesidad, implementar dentro de las clases relacionadas con la instrumentación y automatización industrial, un banco donde los estudiantes puedan practicar y estar en contacto con este tipo de procesos, generando un acercamiento inicial a lo que sería el campo laboral.

El proyecto está pensado como una inversión a largo plazo para la universidad teniendo en cuenta que está dotado de componentes de buena calidad y actualizado a las necesidades de la industria, sumando el valor agregado para los estudiantes en donde enriquecerán sus conocimientos y tendrán acceso todo momento a esta, y para los docentes al tener una herramienta de apoyo didáctico para validar los conceptos aprendidos por los estudiantes y complementar las clases teóricas. Es importante resaltar que incluir el banco de procesos a las clases da mayor solidez a la carrera y por lo tanto un mayor reconocimiento en la comunidad educativa, dando mayor confianza a los futuros estudiantes y los que ya se encuentran cursando la carrera.

1.3 Alcance

Dado que el objetivo principal de este proyecto consistía en construir una nueva planta de procesos como adición a las ya existentes, es necesario aclarar que no se diseñó una nueva planta, con diferentes especificaciones a las que ya poseían las anteriores, pues estas ya son válidamente funcionales, y construir una adicional con características que difieran de las otras, podía representar un problema al momento de utilizarlas todas en conjunto, ya que cada una de estas deben ofrecer exactamente la misma funcionalidad, y aunque puedan presentarse variaciones estéticas y estructurales, en todas se debe poder realizar lo mismo.

Para el diseño de la nueva planta, se modificó su estructura, reorganizando la forma en como los elementos se encontraban ubicados, garantizando que para los estudiantes sea más fácil acceder a cada componente de la planta, sin que esto representase un riesgo para ellos como para los elementos, dado esto, se realizaron varios modelos en el software de diseño CAD SolidWorks, en el cual se evaluaron las diferentes posibilidades de construcción para poder seleccionar el diseño más adecuado a llevar a cabo, enfocando estos diseños en la reutilización de componentes que han sido adquiridos por la facultad con anterioridad para este propósito.

Una vez se realizaron los distintos prototipos CAD de la planta, se aplicó una encuesta a expertos y usuarios finales, con el fin de conocer la opinión de estos determinando el prototipo final y del cual se llevó a cabo su construcción.

Adicionalmente a la construcción de la planta, se añadió un manual de usuario, informe técnico (Dossier) y guías de laboratorio, documentos que explican detalladamente todos los pasos y recomendaciones para su buen uso, características de los instrumentos que esta posee, normas de seguridad, entre otros aspectos.

Se puede comprobar que cada uno de los objetivos planteados en este documento se encuentran intrínsecamente introducidos dentro del alcance, pues este último abarca tanto los aspectos de diseño, como construcción, documentación y planificación de cada uno de los elementos que se realizaron en este proyecto, tanto para el diseño CAD en SolidWorks, como la realización del manual de mantenimiento y las guías de laboratorio con las que los estudiantes puedan practicar en estos, así pues, también se tiene en cuenta el objetivo general como base primordial de todo lo que se planificó desarrollar, pues el alcance se estableció dándole prioridad a la realización del diseño y construcción de la planta de procesos, dando una solución a lo propuesto en la formulación del problema.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Diseñar y construir la estructura de una planta de procesos para su ensamble, con el fin de incrementar el número de plantas disponibles de la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Santo Tomás para la medición y control de variables típicas en procesos industriales como temperatura, caudal y nivel. Esta planta contará con manual de usuario y nuevas prácticas de laboratorio como complemento de las existentes.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Diseñar tres modelos de estructuras de las plantas de procesos, por medio del Software de dibujo asistido por computadora (CAD) SolidWorks, para representar la distribución espacial de cada componente en la planta, sus materiales y ensamble, para la posterior selección del mejor modelo mediante un criterio de técnico.
- Ensamblar el modelo del módulo de procesos seleccionado, para manipular variables de temperatura, nivel y caudal de agua en un recipiente, por medio de los planos y diseños estructurados anteriormente.
- Diseñar un manual de usuario del módulo de procesos, con el fin de generar una guía que permita su puesta en marcha por parte de personas que lo usen por primera vez.
- Diseñar prácticas de laboratorio para manipular las variables de la planta de procesos, por medio del software LabVIEW.
- Diseñar una práctica de laboratorio para implementar un control clásico en una de sus variables mediante el software LabVIEW.

2. Marco Referencial

Dentro de la etapa de investigación es importante hacer referencia a otros trabajos relacionados con el proyecto que ya hayan sido desarrollados, con el fin de obtener información importante que pueda ser usada como punto de partida para tener en cuenta. Por este motivo, a continuación, se presentan algunos documentos que mencionan esto.

- **“Optimización y mejora de una planta didáctica de instrumentación y control de procesos”**

El proyecto se desarrolla en el SENA ubicado en la región del Bolívar y se basa en contribuir a la solución de una problemática social de la ciudad de Cartagena, donde se busca complementar el área de instrumentación, comunicación y control de procesos industriales, esto debido a la demanda del sector industrial por encontrar personal mejor capacitado. La optimización de la planta mostrada en la Fig. 1 tiene como objetivo suplir la falta de algunos instrumentos, así como realizar un lazo de control mediante PLC y HMI. [1]

De este proyecto es importante rescatar, la forma en la que constituyen la instrumentación y el control de la planta, dividiendo en dos partes su funcionamiento, la primera es la instrumentación y la segunda es el lazo de control que se comunica con el PLC. Esto se puede tener en cuenta ya que a partir del lazo de instrumentación se adquiere y transmite la información de las variables de la planta hacia el lazo de control, en el cual se ejecutarán distintas acciones deseadas.

Se destaca el método por el cual la planta del documento es optimizada, ya que se identifica los lazos más importantes, y los instrumentos que son vitales para el buen funcionamiento del proceso, descartándose aquellos aspectos que son obsoletos en el desarrollo de una mejor planta, algo vital para resaltar puesto que el banco que se busca construir en este proyecto, en cuestiones de estructura y diseño, estará orientado hacia una mejora tanto en sus aspectos generales como en sus características.



Figura 1. Planta piloto en la Universidad Tecnológica de Bolívar.

Adaptado de “Optimización y mejora de una planta didáctica de instrumentación y control de procesos”, por A. Romero Escobar, E. Sarmiento Hernandez, 2008.[1]

- **“Construcción de una planta de presión didáctica y portable para implementación de algoritmos de control”**

El resultado de este proyecto fue la construcción de un módulo didáctico y portátil tal como se muestra en la Fig. 2, en donde se pueda implementar y analizar el comportamiento de diferentes algoritmos de control dentro de una planta de procesos.

El objetivo de dicho proyecto buscaba dar una respuesta a la falta de equipos e instrumentos que se presentaban en los laboratorios de algunas universidades de Colombia, para su implementación en las prácticas de los estudiantes. Dentro del diseño del módulo se cuenta con tanques en cascada para el control de la presión, compresor de aire, instrumentos de medición y actuadores, así como una comunicación con el ordenador por medio de la adquisición de datos y el software LabVIEW. [2]

De este proyecto es importante resaltar la implementación del software LabVIEW dentro del funcionamiento general y el sistema de control de la planta, dando un entorno académico enfocado hacia los sistemas SCADA, con el cual se puede realizar acciones y supervisión de las etapas del proceso. Este es un software que también se tiene contemplado implementar en este proyecto.

Dado que el propósito mencionado en este documento, es construir una planta con portabilidad y peso ideal para controlar una variable de presión, análogo al nuestro que se construye para controlar flujo de agua y temperatura, corresponde a una referencia ideal que nos permite identificar formas óptimas para organizar los elementos de una planta/banco de proceso, pues no es alejada de la planteada en este proyecto, adicional a esto el documento nos otorga estrategias para implementar sistemas de control ideales, aspecto importante para el desarrollo de una de las prácticas.

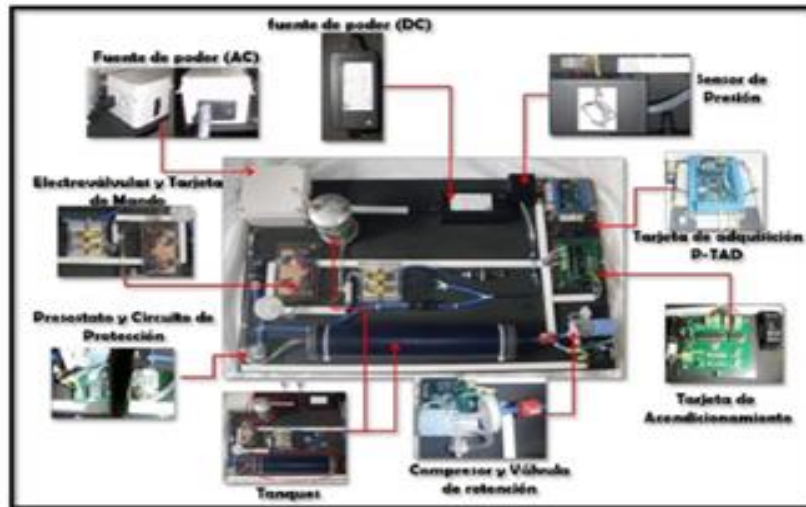


Figura 2. Planta didáctica para la implementación de algoritmos de control.

Adaptado de “Construcción de una planta de presión didáctica y portable para la implementación de algoritmos de control”, por N. L. Posada Restrepo, J. A. Ramirez Urrego, 2014. [2]

- **“Diseño de una planta piloto didáctica de intercambio térmico”**

En este trabajo se diseñó una planta piloto de intercambio térmico, donde se usa un intercambiador de calor de tubos y coraza, de mismo modo la planta cuenta con un equipo de enfriamiento, bombas para movilizar el fluido y tanques de almacenamiento. Dentro del proyecto se usó software para el diseño de los equipos y el cálculo de las tuberías, al igual se realizó el cálculo de la capacidad y diseño de la torre de enfriamiento. [3]

De este artículo se puede analizar los métodos que utilizan para control de temperatura con el fin de determinar, la forma más eficaz de realizar un manejo adecuado de la misma, a su vez también se destaca los métodos por los cuales se realizaron los diseños tanto en 2D y 3D de la planta de intercambio térmico construida, en donde se presenta un ejemplo de un diseño P&ID, el cual

proporciona una buena referencia, para la realización del perteneciente al “Banco de procesos para control de temperatura y flujo de agua”.

- **“Diseño, habilitación y ensamble de una planta de proceso con guías de laboratorio, manual de usuario y dossier técnico”**

Este proyecto se desarrolla como objetivo de complementar la planta física de los laboratorios de la universidad santo Tomás seccional Bucaramanga, en donde no se cuenta con módulos prácticos en los cuales los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica puedan realizar las prácticas de asignaturas, como: Instrumentación, Automatización y Comunicaciones. [4]

La planta de procesos mostrada en la Fig. 3, cuenta con dos tanques donde se busca controlar el caudal de un líquido, también se cuenta con dos bombas y un sistema para calentar el agua. El control de la planta se da por medio de un PLC, el cual permite realizar distintos controles dependiendo el uso que se requiera.

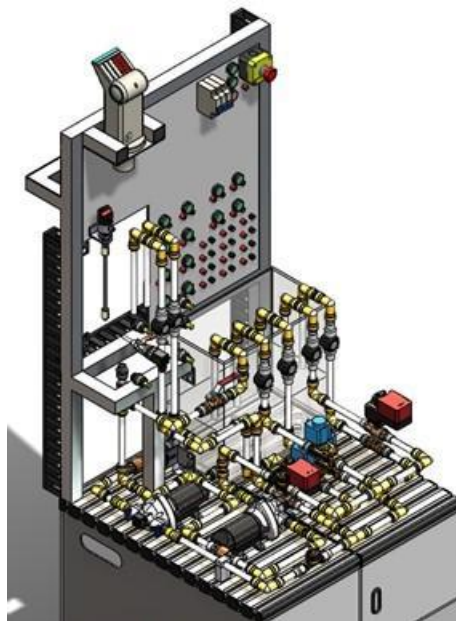


Figura 3. Modelo CAD de la planta construida en el proyecto.

Adaptado de “Diseño, habilitación y ensamble de cinco plantas de procesos con guías de laboratorio, manual de usuario y dossier técnico”, por J. G Peñaranda Mendez, C. A Lopez Cardozo, 2015. [4]

Es importante aclarar que este trabajo de grado fue fundamental para el desarrollo del proyecto presentado en este documento, pues al ser la primera ejecución del desarrollo de bancos de proceso para el control de flujo de agua y temperatura, presenta diseños que tanto a nivel mecánico, electrónico, eléctrico y estructurales, son vitales como referencia para la construcción de la nueva planta.

De este proyecto se pudo rescatar los planos eléctricos necesarios para realizar la caja de potencia del banco, a su vez toda la información referente al instrumentado como sensores y actuadores que permitieron la instalación de cada uno de estos.

2.1 Marco teórico

Para poder establecer una base teórica del desarrollo de la planta de procesos, primero es necesario definir dos términos importantes que, aunque parezcan diferentes entre sí, en realidad están muy relacionados, los cuales son: **planta de procesos** y **planta piloto**.

- **Planta de Procesos**

Una planta de proceso se define como una instalación que dispone de todos los elementos y medios necesarios para poder realizar algún tipo de proceso en particular y cuya importancia radica en combinar el trabajo humano con las máquinas o componentes pertenecientes a dicha instalación, con el fin de poder transformar algún tipo de materia prima o energía, en un producto o resultado determinado, como en el caso que se presenta en la Fig. 4, la cual es un ejemplo de una planta de proceso sanitaria destinada para la producción de zumos y bebidas, fabricadas por la empresa española SACOME. [5]



Figura 4. Ilustración de una planta de proceso para la producción de zumos y bebidas. Adaptado de “Plantas de procesos para zumos y bebidas”, por SACOME, 2019. [5]

- **Planta Piloto.**

Por otro lado, una planta piloto hace referencia a una planta de proceso a escala reducida usualmente diseñada y orientada para fines didácticos, con el objetivo de estudiar un determinado proceso, evaluando si este es viable de ser implementado o no a nivel industrial, a continuación, se presenta en la Fig. 5, un ejemplo de una planta piloto, para instrumentación y control de procesos, desarrollada por la empresa colombiana Didacontrol SAS. [6]



Figura 5. Ilustración de una planta piloto para instrumentación y control de procesos. Adaptado de “Planta piloto y módulos de enseñanza”, por Didacontrol S.A.S, 2018. [6]

Según un artículo de la empresa SGS relacionada con el proceso de diseño de productos de metalurgia [7], las plantas pilotos son el mejor modo para:

- Probar componentes de vital importancia.
- Establecer la viabilidad de tecnología o equipos nuevos.
- Verificar la capacidad de satisfacer requisitos medioambientales.
- Minimizar el riesgo comercial, operativo, medioambiental, y técnico.

La importancia de estas dos definiciones radica en que la planta que se busca construir en este proyecto entra parcialmente en ambos conceptos, ya que corresponde a un módulo diseñado para fines didácticos, pero que emula un proceso de carácter industrial. A pesar de no estar enfocado a un estudio en particular, busca proporcionar al estudiante una experiencia cercana a la que se presentaría en situaciones reales.

2.1.1 Instrumentación.

Con respecto al instrumentado de la planta de procesos, se incluyen entre otros elementos, sensores, válvulas y actuadores que, con su correcto funcionamiento, permiten la medición y el control, del flujo de agua y temperatura.

- **Caudalímetros.**

Conceptualmente un caudalímetro es un instrumento usado para medir de forma lineal o no lineal, el caudal volumétrico de un líquido o un gas, los cuales se pueden clasificar según como se muestra en el diagrama de la Fig. 6, basado en la información proporcionada por Lana Sarrate, una empresa española dedicada a brindar soluciones para la gestión de procesos de caudales. [8]

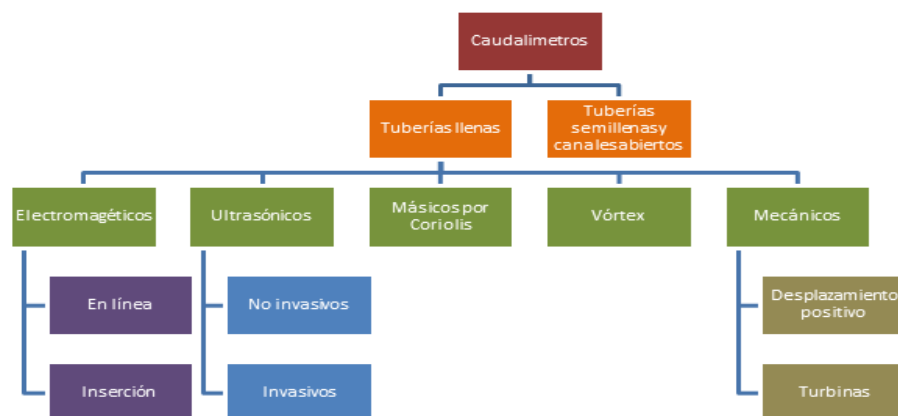


Figura 6. Clasificación de los caudalímetros.

Adaptado de “Diseño, habilitación y ensamble de cinco plantas de procesos con guías de laboratorio, manual de usuario y dossier técnico”, por J. G Peñaranda Mendez, C. A Lopez Cardozo, 2015. [4]

Sin embargo, de estos caudalímetros se abarcarán solo dos, dado que son los comercialmente más usados, en los cuales se encuentran, los caudalímetros Vortex, y los caudalímetros electromagnéticos o de efecto hall.

- **Caudalímetros Vortex**

Los caudalímetros Vortex, son caudalímetros basados en el principio de Von Karman, en donde el fluido, al chocar con un obstáculo de forma triangular, genera vórtices dentro del instrumento, a los cuales se les mide su frecuencia de vibración que resulta ser proporcional al flujo volumétrico de paso del fluido tal como se muestra en la Fig. 7, todo esto mediante el uso de sensores piezoeléctricos para determinar dicha frecuencia de vibración, esto hace que estos tipos de caudalímetros sean precisos, y requieran bajo mantenimiento, dada su dependencia de un principio físico. [9]

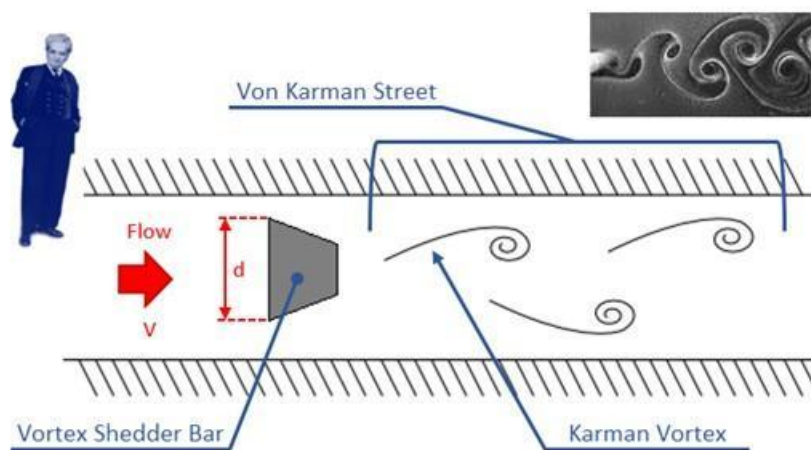


Figura 7. Ilustración del principio de Von Karman.

Adaptado de “Medidores de flujo Vortex”, por YOKOWAGA, 2018. [9]

- **Caudalímetros electromagnéticos o de Efecto Hall.**

Los caudalímetros de efecto hall, son aquellos que poseen una pequeña turbina que rota con el flujo del agua, a los cuales por medio de un sensor de efecto hall, se mide la frecuencia de rotación de la turbina para determinar el caudal del fluido de paso, un ejemplo de este es mostrado en la Fig. 8. [10]



Figura 8. Ilustración física de un ejemplo de un sensor de efecto hall.

Adaptado de “Sensor de flujo de agua YF-S201”, por NAYLAMP MECHATRONICS, 2019. [11]

- **Válvulas.**

Una válvula se puede definir como un instrumento, que permite regular la circulación de un fluido, sea líquido o gas, mediante algún tipo de accionamiento que puede ser tanto de carácter mecánico, como eléctrico, entre otros.

Las válvulas se pueden clasificar dependiendo del propósito para el que estén dispuestas, y según la empresa española Comeval, se pueden dar en cuatro categorías, las cuales son: regulación, retención, seguridad y aislamiento.

Sin embargo, en el caso de este proyecto se realizará un énfasis para las válvulas de tipo de retención y regulación, pues son las más comunes, para su uso en la instrumentación industrial.

- **Válvulas de regulación.**

Son un tipo de válvulas que se encargan de controlar la proporción de paso de un fluido, usualmente son accionadas por energía externa, que suele ser de carácter mecánico o eléctrico, tienen la ventaja de que pueden variar tanto la presión como el caudal del fluido. Entre los tipos de válvulas de este tipo se encuentran las de carácter manual, ON-OFF, o proporcional que posee una estructura tal como se muestra en la imagen de la Fig. 9.

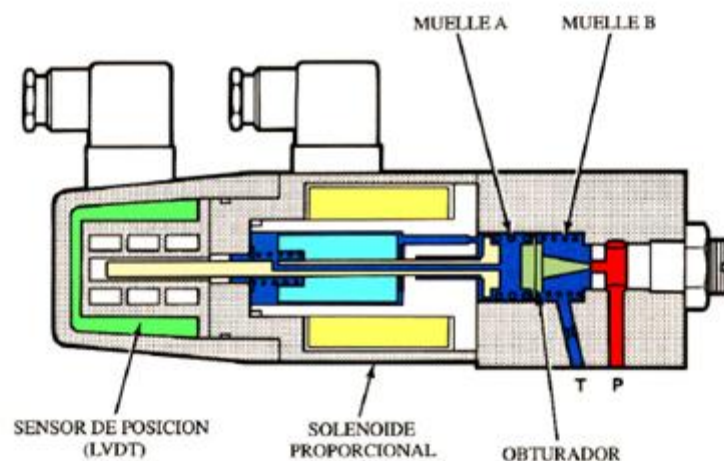


Figura 9. Estructura de una válvula proporcional.

Adaptado de “Hidráulica Proporcional”, por SEAS, 2016. [12]

- **Válvulas de Retención.**

Por otro lado, las válvulas de retención son un tipo de válvulas que permiten el paso de un fluido en una sola dirección, y ejercen presión para evitar que el fluido circule sin la activación de una bomba que supere dicha presión, o cuando este trate de desplazarse en dirección contraria, tal como se muestra en la Fig. 10. Entre las válvulas más comunes se tienen las antirretorno, o válvulas CHECK. [13]

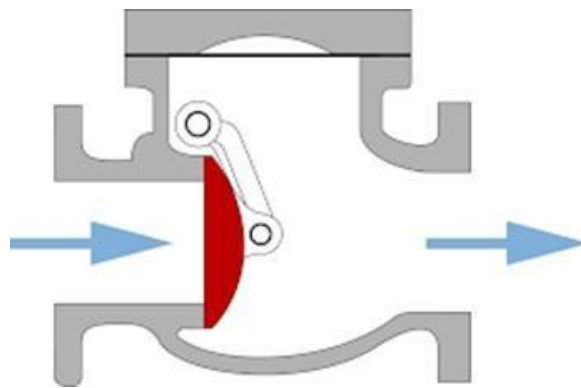


Figura 10. Principio de funcionamiento de una válvula antirretorno.

Adaptado de “INSTALACJE WODNO”, por KANALIZACYJNE, 2019. [14]

- **P&ID.**

Diagrama usado en la industria con el fin de indicar de forma gráfica las tuberías e instrumentación en un proceso específico. Dentro del diagrama se debe indicar las líneas de control, información operativa y detalles de los instrumentos. Un ejemplo se muestra en la Fig. 11.

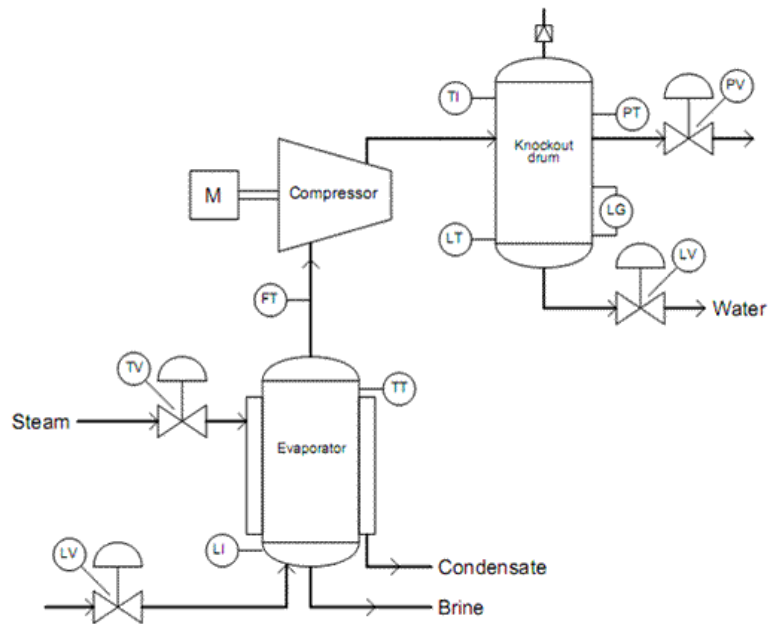


Figura 11. Ejemplo de un diagrama P&ID.

Adaptado de “Diagramas de flujo de procesos (PFD) y diagramas de proceso e instrumentación P&ID”, por J. C. Villajulca, 2015. [15]

- **Control PID.**

Uno de los enfoques que busca la planta de procesos es permitir a los usuarios realizar control PID, este permite por medio de una retroalimentación de un sistema, controlar variables de salida respecto a la entrada. Para esto se cuenta con una perturbación o salida de agua en cada uno de los tanques, y de esta forma se debe controlar las válvulas proporcionales y bombas con el fin de mantener el nivel de agua.

2.2 Marco Conceptual

Independiente del área de trabajo, todas las plantas de procesos poseen un factor común que parte de la cuantificación de las características de cada uno de sus instrumentos, para los cuales, con el fin de poder medir sus capacidades de trabajo bajo diferentes estándares, en la instrumentación industrial se han desarrollado varios conceptos y nomenclaturas que sirven para poder medir la eficacia y calidad de cada uno de estos, las cuales se describen a continuación:

- **Exactitud.**

En instrumentación se define exactitud, a la cualidad de un instrumento para dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud medida, es decir, qué tan cerca se encuentra el valor medido con respecto al valor real.

Dado esto, se considera un instrumento como exacto a aquel que cuente con la capacidad de dar valores de lectura con errores pequeños, y cuyo promedio de las mediciones coincida con el valor verdadero de dicha magnitud. [16]

- **Precisión.**

En instrumentación se define como precisión, a la tolerancia de medida o de transmisión de un instrumento, o lo que es igual, a la dispersión del conjunto de valores de mediciones repetidas de una magnitud, cabe destacar que cuanto menor es la dispersión mayor es la precisión. En la Fig.

12, se muestra un gráfico que describe la función que abarca cada uno de los términos de instrumentación, entre las cuales se encuentra la Exactitud. [16]

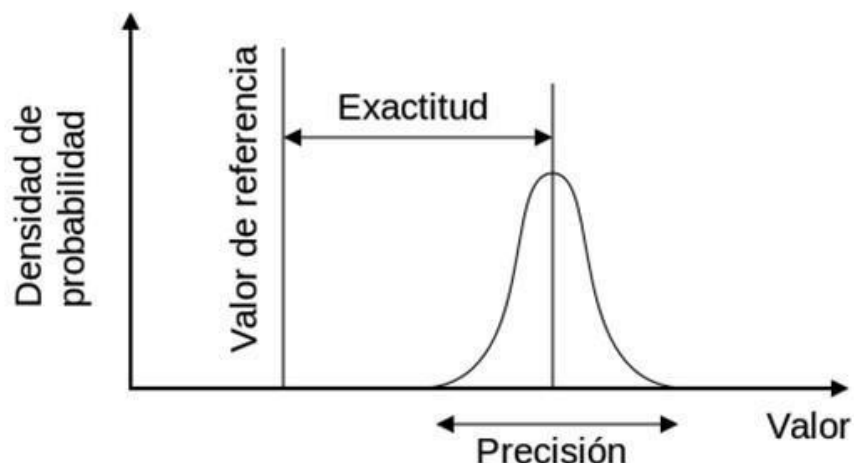


Figura 12. Representación de la precisión y la exactitud, en base a un valor de referencia y a la toma de varios datos.

Adaptado de “Terminología de instrumentación”, por B. J. Guevara A, Y. Y. Velasquez M, 2014. [16]

- **Rango (Campo de medida).**

Se entiende por rango al conjunto de valores de la variable medida que se encuentran comprendidos dentro de los límites de medición o transmisión de un instrumento; es decir, los valores para los cuales este mismo proporciona una lectura válida y confiable como se muestra en la Fig. 13. El rango es un termómetro que implica tanto su lectura mínima como su lectura máxima posible. [16]

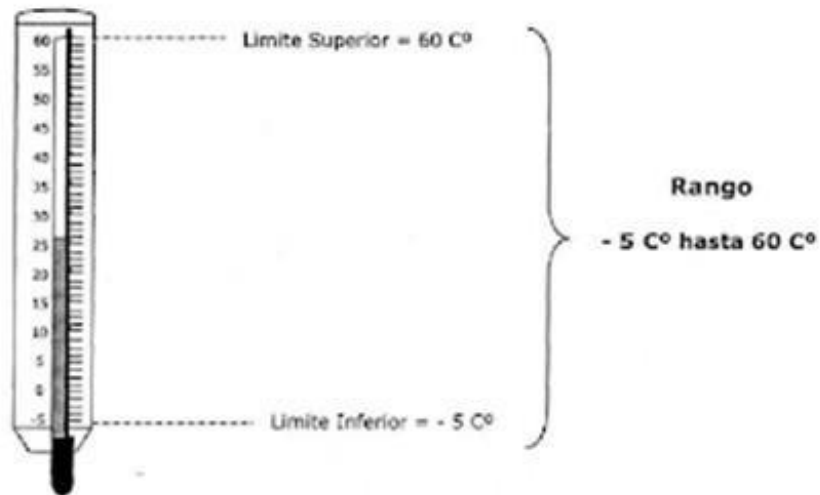


Figura 13. Representación del rango, en base a la medida de un termómetro.

Adaptado de “Terminología de instrumentación”, por B. J. Guevara A, Y. Y. Velasquez M, 2014. [16]

- **Alcance (Span).**

El alcance o el Span de un instrumento hace referencia a la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior de la capacidad de medida de este mismo. Donde LS representa el límite máximo y LI el límite mínimo de medición. [16]

- **Error.**

Basado en la definición del libro Instrumentación industrial por Antonio Creus “El error es la desviación que presentan las medidas prácticas de una variable de proceso con relación a las

medidas teóricas o ideales, como resultado de las imperfecciones de los aparatos y de las variables parasitas que afectan al proceso.” [17]

Donde se define el error como:

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

Cabe destacar que, si la variable medida por el instrumento se encuentra en condiciones de régimen permanente, la diferencia de las medidas se le denomina Error Estático.

Por otro lado, si la variable medida por el instrumento actúa de manera dinámica y cada variación requiere de cierto tiempo para ser leído o transmitido por un instrumento, a la diferencia de estas se le denomina Error Dinámico.

Un ejemplo de esto se plantea en la Fig. 14, donde se muestran dos termómetros de similares características expuestas ante una condición de medición de referencia para que las que, a pesar de estar a iguales condiciones, difieren en su valor medido. Dicha diferencia es la que sería catalogada como error entre ambos instrumentos. [17]

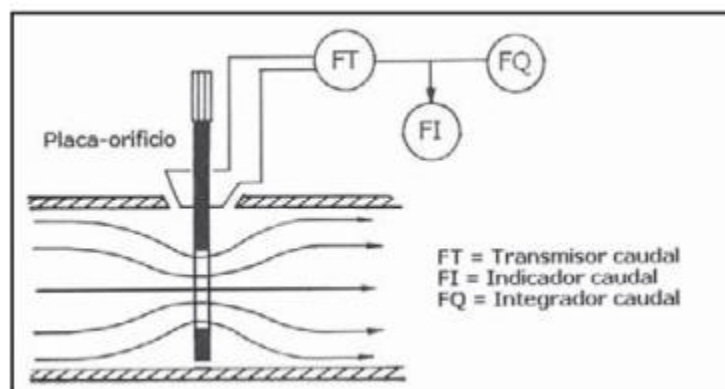


Figura 14. Representación del error ante la medida de caudal de varios instrumentos.

Adaptado de “Instrumentación Industrial”, por Antonio Creus, 2011. [17]

- **Repetibilidad**

Corresponde a la capacidad de un instrumento para reproducir las posiciones de los valores leídos o de la señal de salida del instrumento, al realizar repetidas mediciones con valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio, y en el mismo sentido de variación, recorriendo todo el alcance de este. [17]

- **Zona Muerta**

Corresponde al campo de valores de la variable operacional donde no varía la indicación o transmisión del instrumento en la señal de salida, es decir, ante cambios de magnitud de la variable operacional el instrumento no produce respuestas. Este suele venir dado en % del alcance de la variable medida. [17]

- **Sensibilidad**

Hace referencia a la razón de cambio entre el incremento de la señal de salida o de la lectura del instrumento y la variable operacional, después de haberse alcanzado un estado estable o de reposo. [17]

- **Histéresis**

La histéresis se define como la diferencia máxima que se observa entre los valores indicados del instrumento para el mismo valor de la variable operacional cuando este realiza mediciones tanto en sentido ascendente como descendente. [17]

- **Resolución**

La resolución de un instrumento corresponde a la menor diferencia de valor que el instrumento puede distinguir. Un ejemplo ocurre en los instrumentos analógicos dependiendo desde donde el operador observe la posición de la aguja, se dará un error de paralelaje en la lectura efectuada y la distancia entre los valores marcados. [17]

3. Método

El método empleado para este proyecto se basó en la investigación, diseño, comprobación e implementación. Se dio inicio con la recopilación de información de los bancos ya presentes en la facultad de Ingeniería Mecatrónica, junto a otras fuentes de investigación, para continuar posteriormente a las etapas de diseño, criterio de selección y construcción. El pilar fundamental dentro del proceso de selección recayó en “la voz del cliente” (docentes, estudiantes, y la facultad de Ingeniería Mecatrónica) los cuales gracias a su experiencia ayudaron por medio de esta a definir el diseño final, al igual que aportaron sugerencias de posibles aspectos que se podían mejorar.

3.1 Descripción de etapas y tareas

El objetivo principal del proyecto fue diseñar y construir un banco de procesos en donde los estudiantes puedan controlar distintas variables, como: temperatura, nivel y caudal de un líquido, facilitando y complementando el aprendizaje, al poner en práctica los conocimientos adquiridos en el aula de clase y en general a lo largo de la carrera contemplando el resultado final esperado, fue necesario desglosar el objetivo general en específicos, que permitan identificar las etapas y tareas que deben realizarse. Dentro de estos objetivos específicos fue necesario incluir la entrega de guías de laboratorio, dossier técnico y manual de usuario. Por lo tanto, la lista de actividades o tareas, se dividieron en etapas de la siguiente forma:

3.2 Recopilación de la información o investigación

Uno de los puntos más importantes en el desarrollo del proyecto fue la investigación, ya que esta fue la base donde se aclararon dudas y se recopilaron ideas que sirvieron en la etapa de diseño y construcción. De esta forma la investigación se ejecutó por medio de un estado de arte en donde se tuvo en cuenta fuentes bibliográficas de proyectos similares al que se está realizando, reconociendo los puntos claves e ideas que fueran de importancia para el proyecto. De la información adquirida se encontraron normas de instalación para algunos instrumentos como los caudalímetros, al igual que para los planos eléctricos, como lo es la IEC (International Electrotechnical Commission) [18], que unifica la terminología eléctrica, la cual fue necesaria para la elaboración del diagrama P&ID, esto garantizo seguridad y confiabilidad al proyecto.

Debido a que el proyecto nació de la necesidad de dar continuidad a la construcción de las plantas, se indago información que surgió de estas, como: tesis de grado, dossier técnico, manual de usuario, entre otros, de esta forma se enriqueció el proyecto partiendo de los mismos estándares, conservando la esencia de este y mejorando posibles fallos que no se percibieron en aquel momento.

3.3 Procesamiento de la información

Una vez se culminó la etapa de recopilación de información se procedió a dar cumplimiento con las etapas que corresponden directamente a los objetivos específicos.

3.3.1 Etapa preliminar.

1. Se seleccionaron las ideas que fueron de utilidad para el proyecto y se plantearon los requerimientos básicos (condiciones iniciales), teniendo en cuenta el alcance del proyecto.
2. Se realizo y entrego el correspondiente anteproyecto, en donde se contemplaron aspectos que definen el proyecto, como: el problema que se busca resolver, los objetivos y alcance, así como información de costos y cronograma.

3.3.2 Etapa de desarrollo.

3. Se realizo el diseño preliminar del proyecto basado en la información recopilada y contemplando las condiciones iniciales, generando las bases que posteriormente se usaron en el diseño detallado.
4. Una vez esclarecido lo que se iba a realizar y definidos los factores relevantes dentro del proyecto, se procedió a detallar las características fundamentales que iban a tener cada uno de los prototipos y que se quería ofrecer al usuario con cada uno.
5. Mediante el uso de SolidWorks el cual es un software CAD se realizaron los tres prototipos basados en un mismo diseño estructural, pero con una disposición distinta de los instrumentos, esto con el fin de que posterior al criterio de selección, el proceso

de construcción se diera de manera más sencilla, contando ya con los planos y la distribución de cada uno de los componentes.

6. Se llevo a cabo una encuesta a expertos y usuarios finales como criterio de selección, donde mediante preguntas relacionadas con la planta de procesos, se determinó cuál de los 3 diseños planteados era el más adecuado para su posterior construcción.
7. Seleccionado el diseño final y detallado de la planta se procedió a comprobar el correcto funcionamiento de los componentes (los cuales ya fueron adquiridos por la universidad con anterioridad) esto con el fin de validar que no hubiera ningún inconveniente en la construcción y puesta en marcha de la planta. Para esto cada uno de los componentes se comprobó de manera visual por separado y los resultados obtenidos se anexaron en el dossier técnico mediante de una tabla donde se calificó el estado y se dio una breve descripción de cada uno respectivamente.

3.3.3 Etapa final.

8. Con cada una de las etapas anteriores finalizadas se dio inicio a la construcción de la planta, integrando cada una de las distintas partes, como: estructura, tableros, instrumentación, elementos de control, indicadores, y tablero eléctrico. Este proceso fue guiado por medio del diseño CAD y los planos eléctricos con los cuales ya se contaba con anterioridad.

9. Se realizó la implementación y/o puesta en marcha, comprobando que todos los componentes de la planta funcionaran correctamente y que no existieran inconvenientes no planteados.
10. Se diseñaron guías de laboratorio enfocadas en el aprendizaje del funcionamiento de la planta por parte del usuario mediante el software LabVIEW, y basadas en la metodología ya trabajada por los docentes dentro de las prácticas existentes, complementando de esta manera los conocimientos adquiridos en las clases.
11. Se elaboró un manual de usuario y dossier técnico donde se especifica de forma clara las distintas partes de la planta, el correcto uso, precauciones y recomendaciones.

Por último, se entregó un informe final que incluye de forma detallada todos los procedimientos y tareas realizadas durante el desarrollo del proyecto, el cual servirá de base para la sustentación de la tesis.

4. Resultados

4.1 Condiciones Iniciales del proyecto

Las condiciones iniciales del proyecto partieron de indicaciones estipuladas por el cuerpo de docentes de la facultad, que fueron desde sugerencias estéticas hasta requerimientos planteados para garantizar que el estudiante tuviera la misma experiencia de uso, que si empleara otra de las plantas dispuestas por la universidad.

Entre las indicaciones se solicitó que la nueva planta de procesos tuviera un diseño parecido al que poseía la primera desarrollada por la facultad mostrada en la Fig. 15, pero que su vez hiciera uso de los elementos y materiales que no fueron empleados en la construcción de las otras plantas.



Figura 15. Foto del primer banco de procesos para control de temperatura y flujo de agua desarrollado por la Universidad Santo Tomás. Por el Autor, 2019.

4.1.1 Materiales e Instrumentos.

Se presenta dos tablas de los componentes con los que se contaban antes de iniciar el proyecto, algunos de estos proveniente de proyectos anteriores. La primera cataloga todo el instrumentado disponible en su momento (Tabla 1), y la segunda algunos de los materiales más importantes, con los que se disponía (Tabla 2).

Tabla 1. *Lista de instrumentos disponibles antes de inicializar el proyecto.*

Elemento	Cantidad(unidad)	Descripción
Electrobomba Flowject	1	Bomba centrífuga de turbina con entrada y salida de 1/2", alimentación 12 Vdc
Electrobomba cm30p7	1	Bomba centrífuga con entrada y salida de 1-1/2", con alimentación de 24 Vdc
Sensor ultrasónico THE PROBE	1	Sensor ultrasónico para la detección de nivel de líquidos en tanques, ideal para ambientes industriales con presencia de polvo.
Electroválvula proporcional	2	Válvula proporcional compuesta por un actuador giratorio conectado a una válvula de bola.
Sensor de temperatura	1	Sensor de temperatura tipo RTD (pt1000) con transmisor.
Electroválvula ON-OFF	3	Válvula solenoide de tipo on-off con cuerpo de latón y acero inoxidable, tensión de alimentación 12 Vdc.
Sensor capacitivo	4	Sensor capacitivo de dos hilos para la detección de presencia de agua.
Fuentes de 24V	2	Fuente de alimentación industrial AC-DC con cuerpo metálico.
Caudalímetro Vortex	2	Sensor de caudal industrial de tipo Vortex con salida analógica de 4 hilos y conexión externa de rosca.

Tabla 2.a. *Lista de instrumentos disponibles antes de inicializar el proyecto.*

Sonda de nivel	1	Sonda de nivel guiada con salida digital y/o analógica con pantalla LCD de 14 segmentos.
Caudalímetro de turbina	4	Caudalímetro de tipo turbina con sensor de efecto hall.
Relé de estado solido	1	Relé de estado sólido para solución rápida de conmutación

Tabla 3. *Lista de otros materiales disponibles antes de inicializar el proyecto.*

Elemento	Cantidad(unidad)	Descripción
Tubo de ½” Pavco CPVC de 3 metros	10	Tubo de presión para agua caliente CPVC de ½”.
Perfiles de aluminio 30x30 de 1 metro	15	Perfil de aluminio 30x30 utilizado para la estructura de la planta
Unión interior en L de aluminio para perfil 30x30	6	Unión utilizada para juntar los perfiles de aluminio 30x30.
Soldadura CPVC 1/8 de galón	1	Soldadura utilizada para pegar las tuberías CPVC.
Limpiador CPVC 1/8 de galón	1	Limpiador para quitar suciedad en las tuberías.
Tarjetas de Potencia	2	Tarjetas de potencia, destinadas para la alimentación del control y la potencia de la planta.

4.1.2 Planta de procesos: aspectos generales.

Se realizó una identificación de las características de las plantas con las cuales ya contaba la Universidad Santo Tomás, esto con el fin de establecer un punto de partida claro y conciso, que definiera los elementos más importantes para diseñar y construir el nuevo modelo. Los detalles de este proceso se exponen a continuación mediante una retroalimentación general.

La planta de procesos que se propuso construir en este proyecto debía mantener características similares a las ya existentes. Fig. 16.

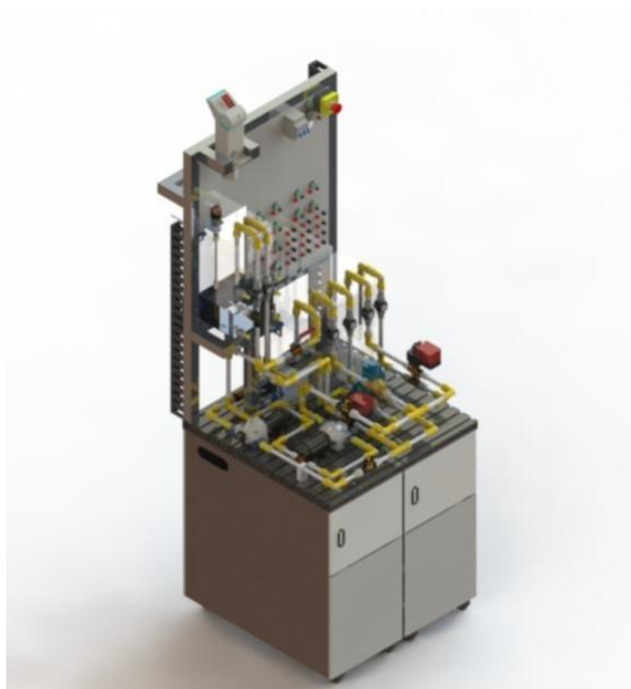


Figura 16. Diseño de la planta construida en el proyecto.

Adaptado de “Diseño, habilitación y ensamble de cinco plantas de procesos con guías de laboratorio, manual de usuario y dossier técnico”, por J. G Peñaranda Mendez, C. A Lopez Cardozo, 2015. [19]

Esta imagen sacada del manual de mantenimiento del proyecto “Diseño, habilitación y ensamble de cinco plantas de procesos con guías de laboratorio, manual de usuario y dossier técnico” [4], [19], corresponde a un modelo CAD de las plantas que actualmente se encuentran dentro de la universidad. Construida para un control automatizado, permite al usuario regular variables como el nivel, temperatura y flujo de agua entre los tanques y tuberías presentes en estas, todo esto mediante la manipulación de los diferentes actuadores (bombas, válvulas, termorresistencias) dispuestos para la utilización del usuario.

En términos de estructura, la planta posee un arreglo de diferentes elementos de instrumentación, entre los cuales se encuentran, dos tanques de almacenamiento de agua ubicadas en la parte superior e inferior de la planta, dos electrobombas de agua FLOJECT destinadas para la succión de agua en cada tanque, un total de 8 caudalímetros de los cuales 2 son caudalímetros

Vortex y 6 son caudalímetros POW110D3B ubicados estratégicamente para realizar la medición del flujo volumétrico en diferentes tuberías, un total de 8 válvulas, de las cuales 3 son manuales, 3 son electromecánicas de tipo ON-OFF, y 2 son válvulas electromecánicas de tipo proporcionales, para controlar el paso del agua en diferentes secciones, 4 sensores de proximidad capacitivos, para determinar el nivel del agua en cada tanque, 1 sensor ultrasónico SIEMENS adicional para prácticas de medición de profundidad en el tanque superior, una resistencia para el control de la temperatura del agua en el tanque superior, y un sensor de temperatura de tipo MBT3560, entre otros elementos como pilotos, displays, pulsadores, etc., que permiten adecuar una correcta interacción entre el usuario y la interfaz del módulo, tal como se puede ver en las vistas CAD de la Fig. 17.

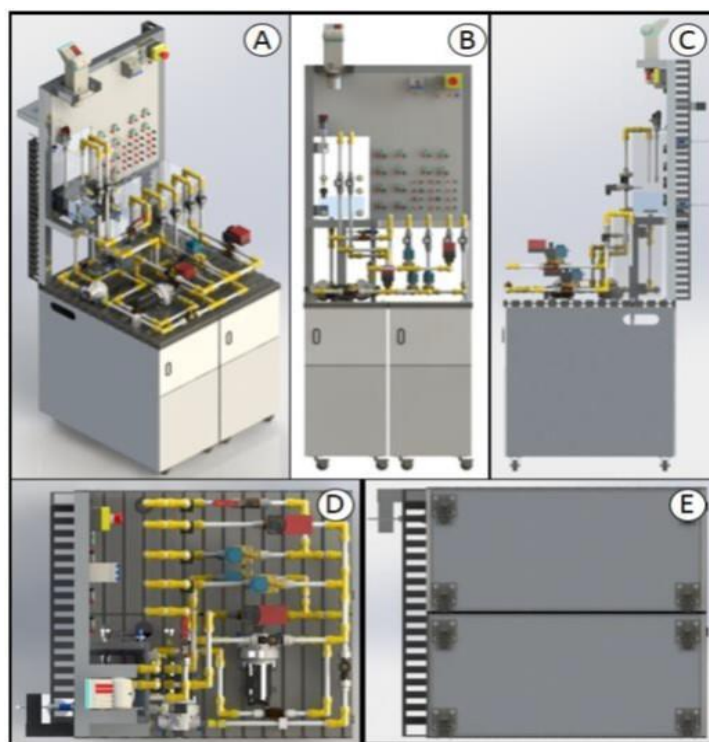


Figura 17. Vistas del modelo CAD de la planta construida en el proyecto.

Adaptado de “Diseño, habilitación y ensamble de cinco plantas de procesos con guías de laboratorio, manual de usuario y dossier técnico”, por J. G Peñaranda Mendez, C. A Lopez Cardozo, 2015.[19]

Con un ancho de 68 cm, y una altura de 180 cm, la planta está diseñada para ser lo más compacta posible, posee en la parte inferior unos rodachines con el fin de facilitar su desplazamiento y almacenaje dentro de las instalaciones de la universidad, además está organizada para que los instrumentos y elementos de uso de la misma, sean fácilmente accesibles para el usuario y se encuentren aislados de los componentes de control y potencia vitales para el funcionamiento de la planta, a los que solo el personal autorizado puede acceder, pues un usuario regular no necesitara interactuar con los componentes que no tengan que ver con el control para el flujo de agua y temperatura.

4.1.3 Planta de procesos: Funcionamiento y lazo de control.

Primordialmente el funcionamiento de la planta se centra en el intercambio de agua de los dos tanques mediante el uso de las electrobombas dispuestas para cada uno de estos, y la manipulación de la apertura de las válvulas por las diferentes trayectorias de tuberías presentes, por lo que dependiendo de cuál electrobomba se encuentre activa y que válvulas se encuentren abiertas, las rutas del flujo del agua variaran de un tanque a otro, entonces, excluyendo las rutas de vaciado manual, existen un total de tres rutas para el flujo del agua, presentes en el P&ID mostrado a continuación en la Fig. 18.

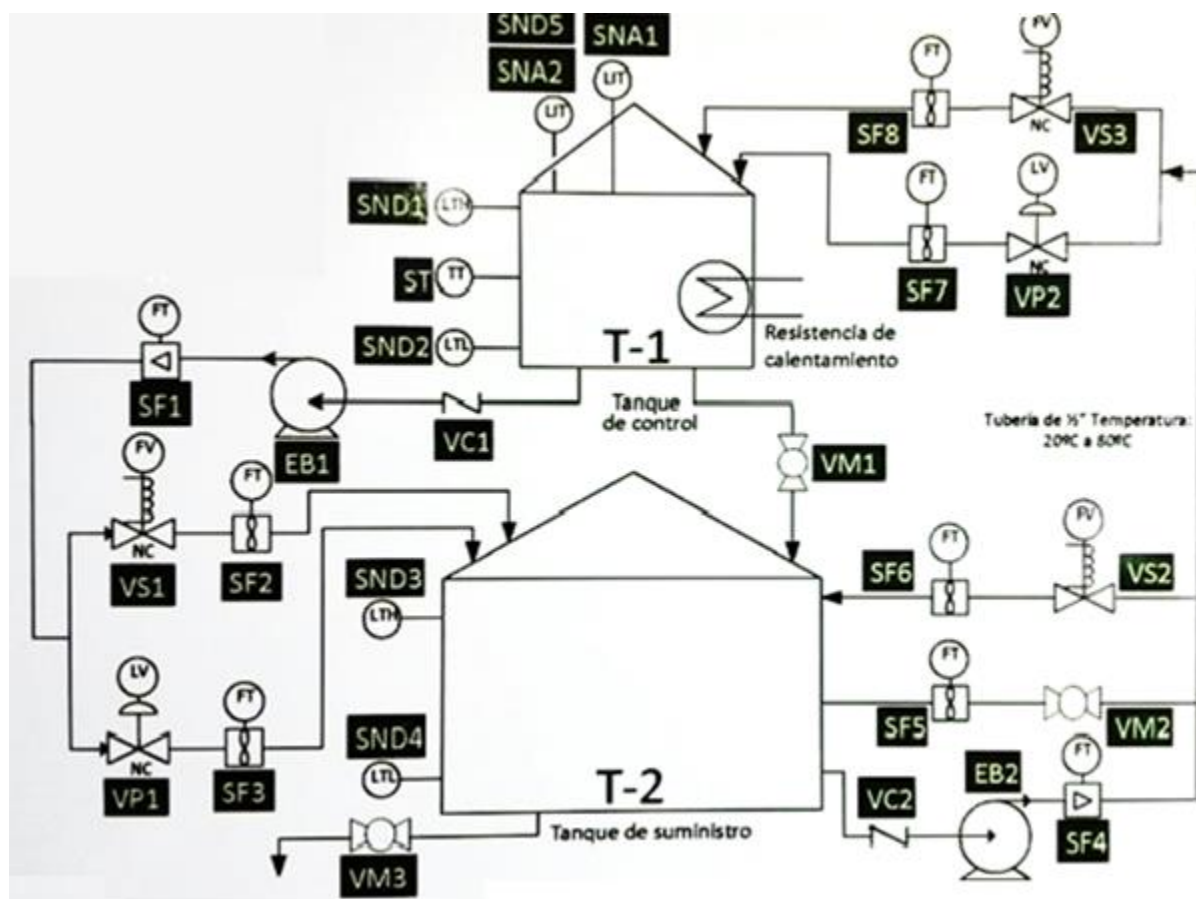


Figura 18. P&ID del proyecto.

Adaptado de “Diseño, habilitación y ensamble de cinco plantas de procesos con guías de laboratorio, manual de usuario y dossier técnico”, por J. G Peñaranda Mendez, C. A Lopez Cardozo, 2015” [4]. Imagen tomada por el Autor.

- **Ruta de realimentación al tanque inferior**

Sucede cuando la electrobomba del tanque inferior esta activada, y la válvula manual y/o la válvula ON-OFF de retorno al tanque inferior se encuentra abierta, en este caso el agua bombeada desde este tanque retornara a sí mismo tal como se muestra en la Fig. 19.

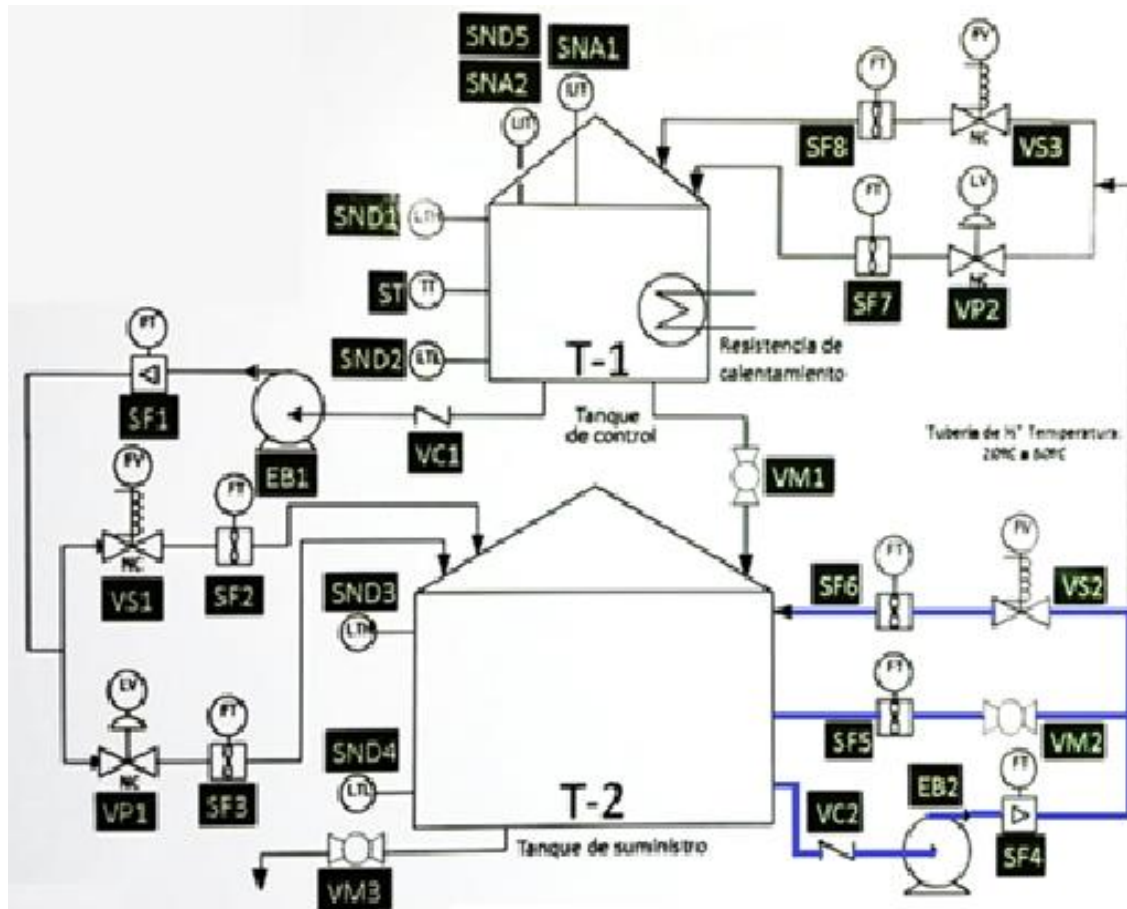


Figura 19. Ruta de realimentación (Segmento Azul) evidenciada en el P&ID del proyecto.

Adaptado de “Diseño, habilitación y ensamble de cinco plantas de procesos con guías de laboratorio, manual de usuario y dossier técnico”, por J. G Peñaranda Mendez, C. A Lopez Cardozo, 2015 [4]. El Autor

- **Ruta de ascenso del tanque inferior al tanque superior**

Ocurre cuando la electrobomba del tanque inferior esta activada, y la válvula proporcional y/u ON-OFF del tanque superior se encuentran abiertas, en este caso el agua se desplazará al tanque superior Fig. 20.

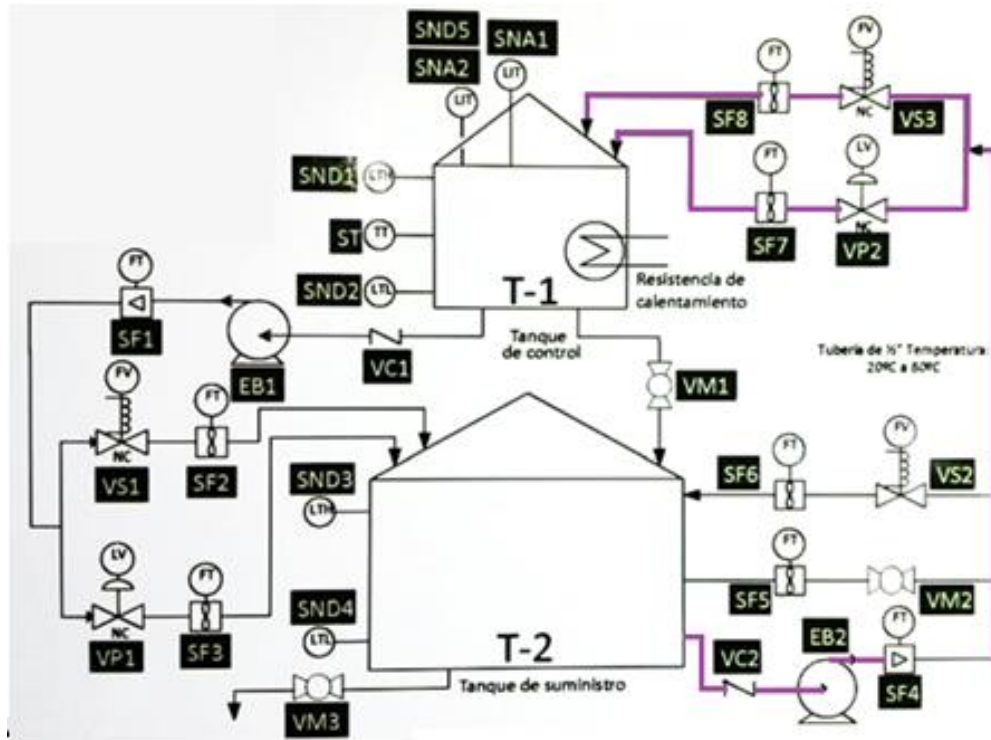


Figura 20. Ruta de ascenso (Segmento Purpura) evidenciada en el P&ID del proyecto.

Adaptado de “Diseño, habilitación y ensamble de cinco plantas de procesos con guías de laboratorio, manual de usuario y dossier técnico”, por J. G Peñaranda Mendez, C. A Lopez Cardozo, 2015. [4]. El Autor.

- **Ruta de descenso del tanque superior al tanque inferior**

Se da cuando la electrobomba del tanque superior se encuentra activada, en este caso si las válvulas de acceso al tanque inferior están abiertas, el agua bajara del tanque superior al tanque inferior.

Fig. 21.

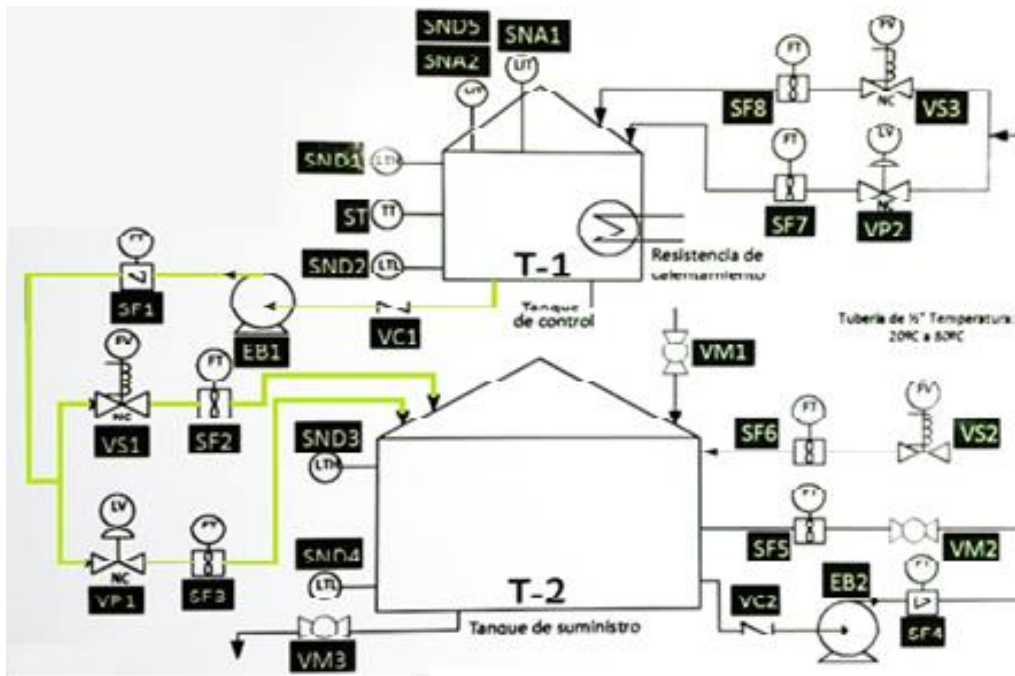


Figura 21. Ruta de descenso (Segmento Verde) evidenciada en el P&ID del proyecto.

Adaptado de “Diseño, habilitación y ensamble de cinco plantas de procesos con guías de laboratorio, manual de usuario y dossier técnico”, por J. G Peñaranda Mendez, C. A Lopez Cardozo, 2015. [4]. El Autor.

4.2 Diseño Preliminar

De acuerdo con las condiciones iniciales y la información recopilada referente a la estructura de las plantas anteriores, se contaba con materiales distintos a los utilizados. Entre lo más destacable fue la falta de disponibilidad de mesones de marca FESTO, por lo tanto, ya no se podía utilizar uno de estos como soporte para la instrumentación y los componentes.

Ante esta situación se decidió que la estructura a diseñar utilizaría los perfiles de aluminio y se basaría en la primera planta desarrollada por la facultad de ingeniería mecánica, en donde los elementos serían situados de manera vertical. Implicando una reorganización de los componentes

y tuberías, de tal forma que se cumpliera el lazo de control presente en las otras plantas, pero que se adaptase a esta nueva estructura.

4.3 Diseño detallado

4.3.1 Definición de la estructura.

Un aspecto importante para el proyecto fue el diseño de la estructura de la planta, debido a los requerimientos de dimensiones y técnicos que esta debía poseer. Para ello fue necesario considerar detalles como el tamaño de los elementos principales, los tanques, sensores y actuadores, así como las geometrías externas dadas por el lugar de operación, su desplazamiento, portabilidad y ergonomía.

La estructura mostrada en la Fig. 22, se decidió diseñar en perfiles de aluminio 30x30 los cuales tienen como característica principal la fácil instalación y unión entre sí, al igual que un peso ligero y una alta resistencia, siendo esto comprobado en la realización de la planta de procesos antigua, pues esta fue capaz de soportar todos sus elementos y componentes sin comprometer su propia estabilidad y la seguridad de su funcionamiento, y dado que dichos elementos correspondían a los mismos que se utilizaron en este proyecto, se nos proporcionó seguridad para su uso, pues se observó poca probabilidad de que ocurriese algún inconveniente, debido a la estática y resistencia de dicha planta.

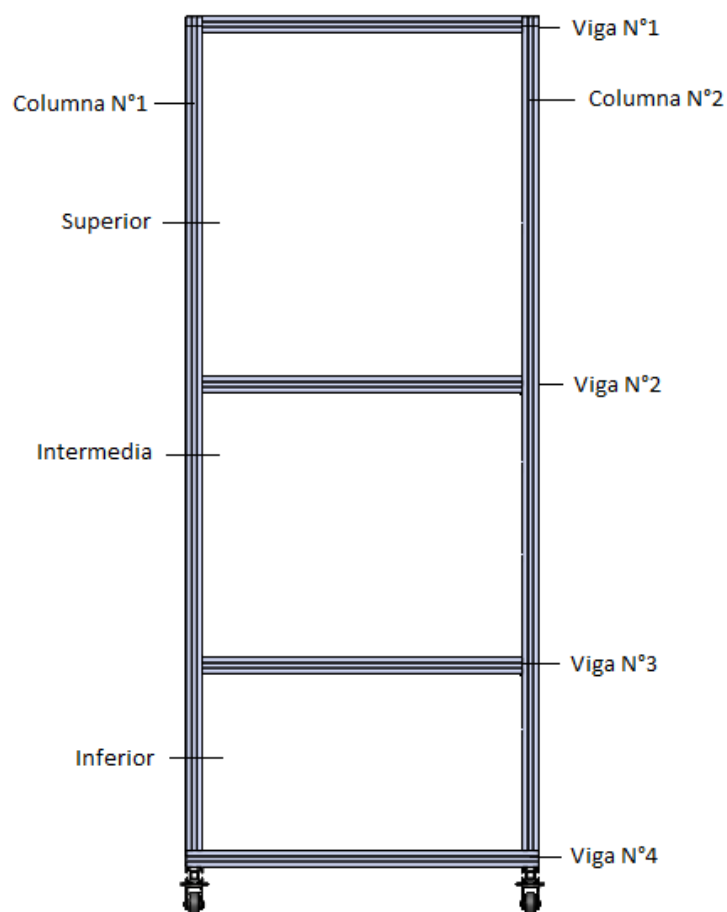


Figura 22. Diseño de la estructura de la planta para control de flujo de agua y temperatura. El Autor.

Con el fin de no modificar esto y mantener la rigidez del ensamblaje, se colocaron dos columnas soportadas por medio de dos vigas, cada una asignada respectivamente para cada columna, ubicadas de manera perpendicular a la cara principal donde estaba estipulado irían los componentes. Adicionalmente, se situaron dos ruedas a los extremos de la base de la estructura, con el fin de unir ambos lados y dar soporte a los tableros. Por último, se colocaron 4 vigas transversales encargadas de separar cada una de las secciones del banco, las cuales fueron tres y corresponden a la sección superior, intermedia e inferior, esto fue necesario para poder dar soporte a los dos tanques ubicados en la viga 2 y 3 de la estructura, tal como se muestra en la Fig. 23.

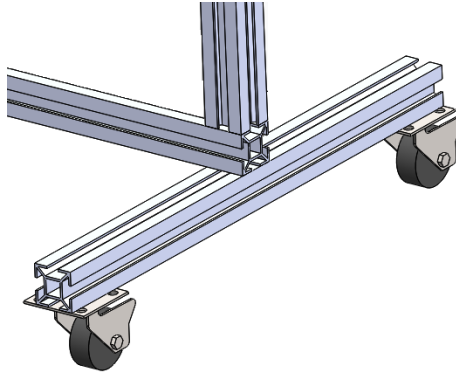


Figura 23. Imagen de las ruedas situadas en una sección de la base de la estructura. El Autor.

Como medio de sujeción para acoplar las columnas y las vigas de la estructura, se utilizaron uniones interiores en L como las mostradas en la Fig. 24, diseñadas y fabricadas para su uso en perfiles 30x30, las cuales tienen la propiedad de desplazarse internamente en la cavidad de estas, y por medio de un tornillo con cabeza hexagonal son capaces de apretar y sujetar las secciones de aquellas que se desean juntar.



Figura 24. Angulo interno(interior-interior) en L hecha en material de aluminio utilizado para acoplar los perfiles 30x30 en la construcción de la estructura del banco de procesos.

Adaptado de “componentes universales”, por SLP Industrial Systems S.A, 2018. [20]

Por otro lado, para la base de las ruedas y el soporte del marco de la planta se utilizaron cuatro uniones externas presentadas en la Fig. 25, las cuales se situaron de a par en el lado frontal y posterior de las vigas verticales, otorgando de esta manera estabilidad y rigidez al contrarrestar los

esfuerzos de flexión y torsión generados por el peso de la planta, evitando a su vez, un posible volcamiento al desplazarla o ponerla en funcionamiento.



Figura 25. Escuadras externas hechas en material de aluminio utilizados como soporte para dar rigidez vertical a la estructura del banco.

Adaptado de “Elementos de unión”, por CRONOS, 2017. [21]

4.3.2 Definición de las dimensiones.

Una vez se definió el diseño de la estructura, el paso siguiente a emplear fue el de establecer las dimensiones de esta. En cuanto a la altura de la planta, se determinó que debía ser de 190 cm, pues este valor es similar al que poseen los demás bancos presentes en la universidad, además de ser inferior al de los accesos de los laboratorios (puertas, pasillos, etc.).

Para definir el ancho del banco, fue necesario tener en cuenta todos los elementos de la planta a nivel general, buscando garantizar que existiese el espacio suficiente para organizar cada uno de estos. Entre los componentes más destacados se encontraban los tanques de agua, los cuales abarcan un espacio de 20cm de ancho por 39 cm de alto.

Otros elementos considerables fueron los indicadores y borneras ubicadas en el panel de control, los cuales influyeron en el ancho de la planta debido a la cantidad de estos que se hicieron uso. Siendo necesario para este propósito mantener la distribución de la forma en que estaban organizados en las otras plantas de procesos, donde estaban catalogados en grupos de actuadores y sensores, dado que era de vital importancia garantizar que el usuario tuviera las mismas condiciones de trabajo al momento de utilizar esta planta, que si emplease cualquiera de las otras dispuestas por la facultad. Por ende, para la ubicación de las borneras como de los indicadores, se determinó utilizar un espacio de 46cm de ancho por 40 cm de alto.

Teniendo noción de que el tanque superior soportado en la viga #2, y el panel de control ubicado en el tablero superior se iban a encontrar compartiendo el mismo espacio, se determinó que el ancho de la planta (sin contar con las dimensiones de los perfiles, pues estos corresponden al marco.) sería equivalente a la suma del ancho de ambas secciones, más 1.5cm en cada extremo correspondiente al espacio de separación entre estas, dando como resultado un total de 69 cm.

Cabe destacar que para evitar que el desplazamiento de la planta en las entradas de los laboratorios se convirtiera en una limitante para establecer su ancho, la determinación de esta medida partió de asumir que la planta entraría por dichas entradas de forma lateral y no frontal, para optimizar el espacio y no condicionar el diseño de esta manera.

4.3.3 Desarrollo de los tres diseños del banco de procesos.

Contando ya con el diseño detallado de la estructura y la definición de las medidas ya realizada, se procedió a elaborar tres modelos CAD en el software SolidWorks en donde a partir de las

condiciones iniciales y criterios adicionales (los cuales se mencionan más adelante), pudiera visualizarse de forma adecuada la distribución de los distintos componentes dentro de la planta de procesos. Para ello se buscó mejorar y brindar una mejor experiencia en aspectos como: seguridad, comodidad, accesibilidad a los instrumentos, funcionalidad, entre otros, centrándonos en que cada modelo diera énfasis de a mayor a menor proporción en cada uno de estos campos, ofreciendo de esta manera distintas opciones, con el fin de que tanto los expertos como los usuarios finales, tuvieran alternativas para elegir el modelo más adecuado en base a sus requerimientos, expectativas y criterios.

Los criterios establecidos para todos los modelos se plantearon con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de cada uno de los instrumentos y corregir inconvenientes encontrados en los diseños anteriores, los cuales se presentan a continuación:

- Una de las funciones que permite realizar la planta es la medición de flujo del agua que circula por cada uno de los lazos de control, para esto se cuenta con dos caudalímetros tipo Vortex ubicados cada uno en la salida de las bombas, y seis de tipo turbina en cada una de las tuberías que ingresan a los tanques. La señal de salida de estos puede ser medida mediante el uso de las borneras ubicadas en el panel de control, la cual corresponde a una señal de voltaje con un rango entre 0 a 10 Vdc. Como criterio de acuerdo a las instrucciones de instalación dadas por la empresa FlowMeet [22] conocedora de este tipo de sensores se debe manejar una distancia mínima a la entrada y a la salida de los caudalímetros, determinada por los accesorios y/o las válvulas situadas en la tubería y calculada mediante la tabla mostrada en la Fig. 26, esto con el fin de evitar una medición errónea debido a las turbulencias que se pueden producir al fluir el agua en trayectos cortos.

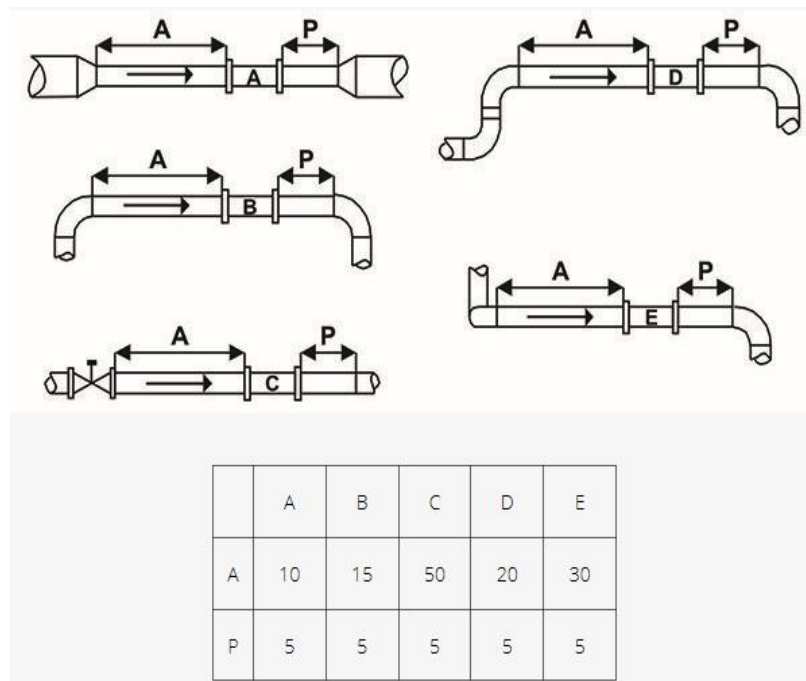


Figura 26. Tabla de medidas a considerar al momento de instalar un caudalímetro en función del diámetro y el arreglo de las tuberías.

Adaptado de “Guía de instalación y mantenimiento de una turbina”, por FlowMeet, 2018. [22]

Es importante destacar que este criterio corresponde a uno de los inconvenientes que se lograron identificar en las otras plantas de proceso, ya que esta deficiencia fue observada al momento de corroborar si se cumplía con este aspecto, y a partir de esto se determinó que el diseño de la planta en sus tres modelos tenía que tener en cuenta este requerimiento para así evitar cometer el mismo error.

- Otro factor que se venía presentando y no se le daba la suficiente importancia era la posición del botón de parada de emergencia, el cual en la plantas anteriores se encuentra en la esquina superior derecha del tablero, dificultando su accionamiento y ubicándose en una lugar de poca accesibilidad, estabilidad y rigidez, este es un inconveniente muy importante debido a que este botón es de vital importancia ante cualquier tipo de problema o incidente en la planta relacionado con su uso inadecuado y/o referente a alguna falla técnica, por lo que debe encontrarse en una posición acorde y estable donde el usuario

tenga fácil acceso para accionarlo en el menor tiempo posible. Por esta razón, como criterio se estableció cambiar la posición del botón de parada de emergencia, a una altura de 120 cm de acuerdo con la medida promedio de la ubicación de las manos en las personas, y en una inclinación de 45° en vez de 90° para facilitar su activación.

- El sensor THE PROBE de marca Siemens es uno de los dos sensores que permite medir el nivel de agua en el tanque de control (superior), como criterio este sensor debe instalarse a una distancia mínima de 30 cm desde el punto de medición para que no existan problemas a causa de la zona muerta.

Una vez definidos los criterios de diseño y funcionalidad que se debían cumplir en todos los modelos, se procedió a realizar los tres diseños especificados en el programa de diseño CAD SolidWorks, tal como se mencionó en apartados anteriores:

- **Primer Diseño**

Para el primer diseño, se quiso brindar al usuario la facilidad de visualizar de manera ordenada la disposición de cada uno de los lazos de control en la planta, esto debido a la dificultad que representaba el poder comprender la rutas de las tuberías en los bancos anteriores, aun con ayuda del diagrama P&ID, por ende se colocaron de tal manera que fueran simétricas en ambos lados, ubicando los tanques de forma alineada y centrada, y el panel de control separado en los grupos de sensores y actuadores a cada uno de los lados del tanque superior respectivamente, como se puede apreciar en la Fig. 27.

En cuanto a los criterios establecidos, el sensor THE PROBE se colocó a una altura de 33 cm desde la parte superior del tanque de control y centrado a este; los caudalímetros se situaron acorde a las distancias dadas por la tabla de instalación de estos instrumentos, y con el fin de facilitar y optimizar el espacio requerido, se estableció que a la entrada y la salida de cada caudalímetro debía ir un codo de 90°, ya que esta era la configuración más recomendada pues requería de menos espacio según lo estipulado en la tabla (10 veces el diámetro de la tubería a la entrada y 5 a la salida) a comparación con cualquier otra configuración, esto aplica tanto para los tipo turbina como para los Vortex.

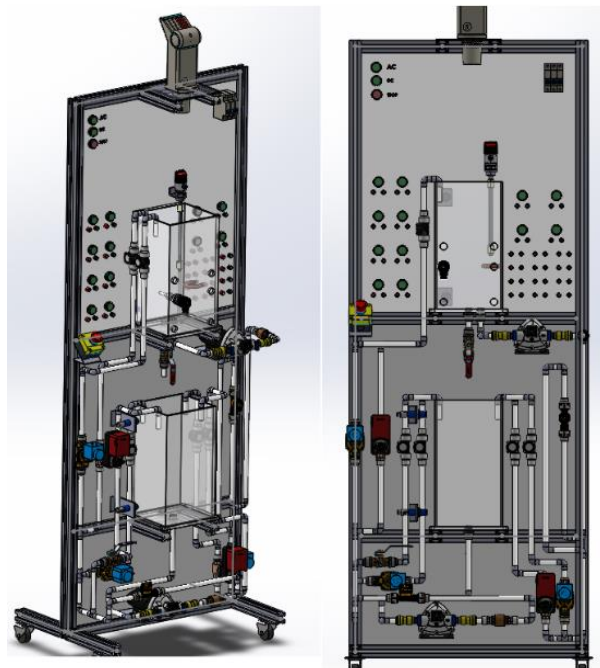


Figura 27. Diseño #1 de la planta de procesos. El Autor

De acuerdo con la altura del tanque de control y la distancia que se debía respetar con el sensor THE PROBE, se estableció que las dimensiones del tablero superior debían ser de 75 cm de alto por 69 cm de ancho, especificados con anterioridad gracias al diseño de la estructura. En cuanto al tablero intermedio, esto se definió de manera similar, teniendo en cuenta la separación entre ambos tanques, ya que era de cierta importancia contar con suficiente espacio para que el usuario pudiera

verter el agua con comodidad, con el fin de evitar algún tipo de accidente relacionado con esto, por lo tanto se definió una distancia razonable de 40 cm entre dichos elementos para un total de 70 cm. Dado que el tablero inferior no requería ninguna distancia mínima, se le destino el resto de espacio disponible, equivalente a 33 cm suficiente para situar algunos instrumentos y componentes.

En cuanto a la distribución de los instrumentos, como se mencionó antes se buscó mantener la simetría de estos, situando el lazo de control que partía del tanque de suministro por la zona izquierda de la planta y los que provenían del tanque de control por la derecha de esta. El botón de parada de emergencia se colocó a la altura estipulada y se dejó al lado izquierdo del banco.

- **Segundo Diseño**

En el diseño del segundo modelo, hay que decir no varió demasiado con respecto al primero, ya que se mantuvieron algunos aspectos que no eran necesarios modificar, como las dimensiones de los tableros, la distribución del panel de control, la posición de los tanques, y las distancia entre estos. En este caso, no se dispusieron los instrumentos de forma simétrica debido a que en este diseño se utilizaban mucho más materiales, pues de base requiere de más tubería para conseguir suplir la forma que posee. Por lo tanto, en lugar de desarrollar lo anterior se buscó mejorar el modelo modificando el lugar donde se colocaría cada componente, de tal manera que fueran más cortos los lazos y así poder simplificar el proceso de construcción.

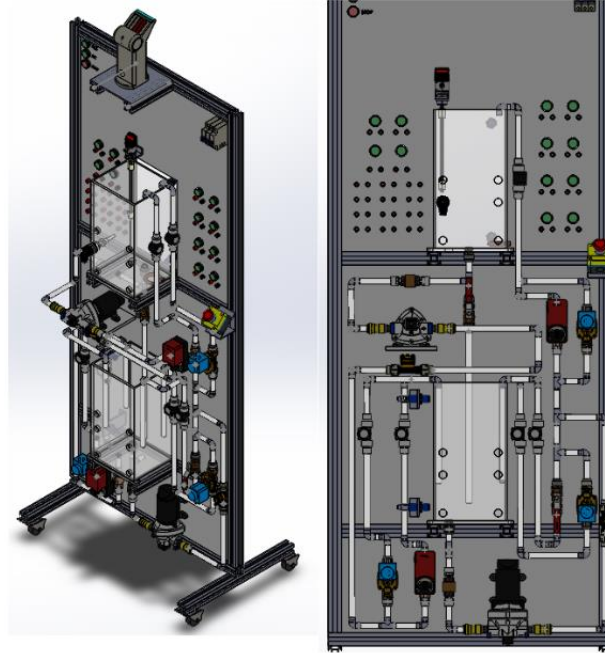


Figura 28. Diseño #2 de la planta de procesos. El Autor

Como se puede observar en la Fig. 28, las rutas ahora son más directas y los elementos se encuentran situados de tal forma que favorece el espacio para la instalación de los caudalímetros, contrariamente a lo que ocurría en la Fig. 29 correspondiente al primer modelo, donde para situar el caudalímetro Vortex se debía dar vueltas innecesarias.

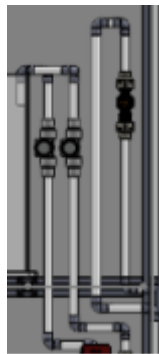


Figura 29. Sección del lazo de control del diseño #1. El Autor

- **Tercer Diseño**

En el tercer y último diseño tal como se muestra en la Fig. 30, el principal cambio que se realizó fue el de modificar la distribución de los tanques que fue utilizada en los dos modelos anteriores, esto con el fin de brindar mucha más comodidad al usuario al momento de llenar el tanque de suministro, debido que al estar uno encima de otro, podría traducirse en incomodidad al momento de realizar dicha acción. Como complemento que refuerza este cambio, la posición de los tanques planteada en este diseño corresponde a la misma que las plantas dispuestas en la facultad, en donde estos están ubicados en lados opuestos y uno encima del otro, más específicamente el de control en la parte superior derecha y el de suministro en la inferior izquierda.

Este cambio dio como ventaja la posibilidad de unir ambos grupos del panel de control en el lado izquierdo del tablero (actuadores y sensores.), brindando de esta manera mayor comodidad al usuario al conectar la planta con dispositivos como multímetros, DAQ, PLC, entre otros, sin que el tanque superior representase un obstáculo. La razón por la cual se decidió de qué lado iría cada uno de estos, fue la posición de las borneras de entradas y salidas de los módulos PLC con los que ya cuenta la facultad, los cuales actualmente se encuentran en el lado derecho de estos, acortando la distancia de los cables que deben ir entre cada uno, permitiendo de esta manera un entorno de trabajo más ordenado y limpio, y a su vez otorgando más de seguridad.

En cuanto a la distribución de los instrumentos, se buscó mantener un diseño que permitiera una construcción sencilla al utilizar la mínima cantidad de materiales y realizar rutas de tuberías directas y fáciles de entender, al relacionarlas con el diagrama P&ID. Por este motivo se dispuso todos los instrumentos que hacían parte de los lazos que ingresan al tanque de suministro alineados en la parte inferior de la planta y los del tanque de control por un lateral de esta, evitando de esta manera que se entrelazan.

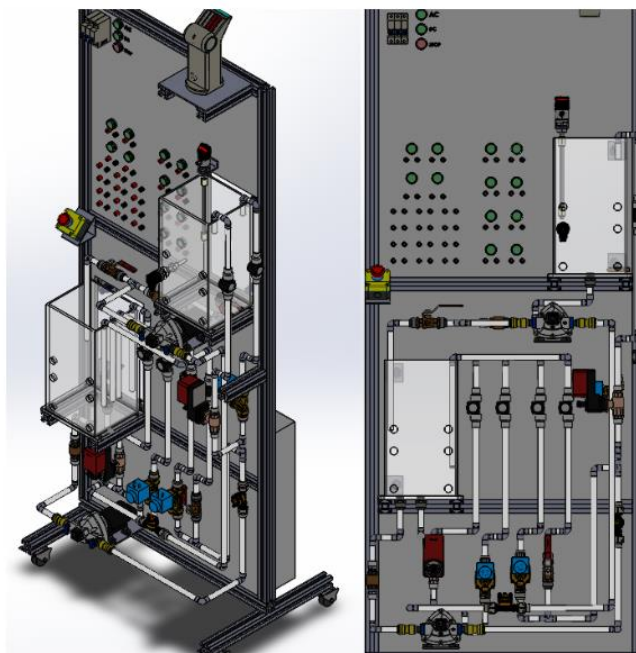


Figura 30. Diseño #3 de la planta de procesos. El Autor

4.4 Criterio de selección

Una vez se diseñaron los modelos CAD se procedió a realizar una encuesta por medio digital a expertos (docentes) y usuarios finales (estudiantes) que harían uso de la planta de procesos, con el fin de mediante preguntas relacionadas a características asociadas a estos, como: comodidad, seguridad, funcionalidad, entre otros, definir el modelo más adecuado de construir. Al obtener las respuestas y sugerencias, y al analizar cada una de estas, se determinó que el diseño definitivo sería el modelo tres, pues según los resultados cumplía con la mayoría de los criterios planteados por los encuestados. A su vez dado que cada diseño recibió varias recomendaciones de manera individual, lo tuvimos en cuenta para realizar unas últimas mejoras al modelo seleccionado.

*Los resultados completos de la encuesta se encuentran registrados en el apéndice F.

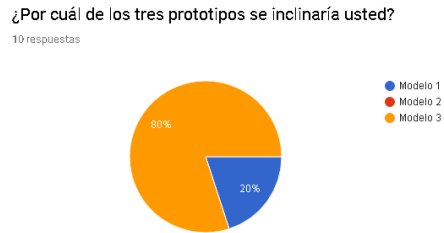


Figura 31. Resultado de la ultima pregunta de la encuesta a interesados. El Autor
Se presentan los criterios de selección decisivos al elegir el modelo final:

- Que los instrumentos no se solapen con otros, de esta forma todo se ve más ordenado.
- El botón de parada de emergencia debería ubicarse en un lugar cómodo y estable.
- Las borneras de los sensores y actuadores deberían quedar en el mismo lugar, sin ninguna interferencia por elementos externos.
- Fácil acceso para llenar el tanque de suministro.

4.5 Construcción

El proceso de construcción se inició, una vez fue dado a conocer el diseño elegido por los usuarios y expertos, el primer paso fue re diseñar el diagrama P&ID que se venía utilizando en las plantas anteriores, debido a que no correspondía con la norma ANSI/ISA-S5.4 en la cual se dan los parámetros a tener en cuenta cuando se realiza un diagrama de instrumentación, pues en estos, se tienen etiquetas y símbolos incorrectos que no hacen referencia a los instrumentos con los que se cuentan actualmente, aspecto que podía dar a lugar confusiones al usuario, en el momento en que este decidiera leerlo y usarlo como referencia para operar la planta. Por lo tanto, se modificaron

los símbolos y etiquetas, obteniendo como resultado el diagrama que se encuentra en el apéndice g.

Debido a este cambio, fue necesario modificar las etiquetas del panel de control asociándolas con la nueva nomenclatura utilizada tal como se muestra en la Fig. 32, a su vez se desplazó la posición de algunas de las salidas dejando en el caso de las borneras de los actuadores, todas las asociadas al lazo que provenía del tanque de control y las del tanque de suministro, a un extremo y otro respectivamente, con el fin de que al usuario tuviera facilidad para realizar las conexiones.

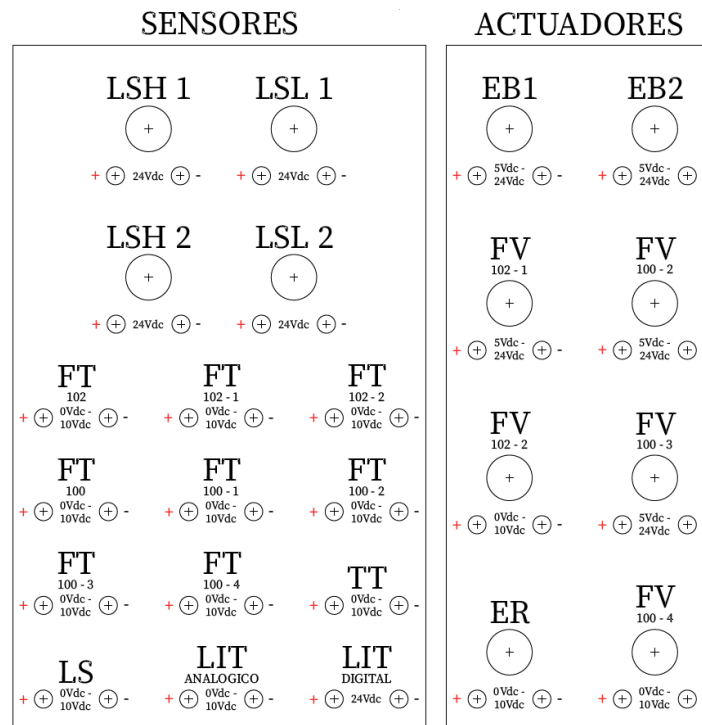


Figura 32. Diseño del tablero de control. El Autor

El modelo de la planta contemplaba la ubicación de todos los instrumentos en el aire, por lo que fue necesario diseñar un soporte que permitiera sujetar los tubos de forma distribuida, los cuales a su vez se unían a los demás componentes. Estos soportes mostrados en la Fig. 33, permiten una fácil instalación y desinstalación de las tuberías garantizando a su vez rigidez y seguridad, por lo tanto, se ideó una paleta con base para sujetar con tornillo al tablero y un agujero al inicio que

cumpliera una función similar a una pinza pero que a la vez no fuera necesario de apretar, de un tamaño similar al diámetro del tubo, dejando un pequeño espacio para que la pieza pudiera doblarse sin que pudiera romperse.

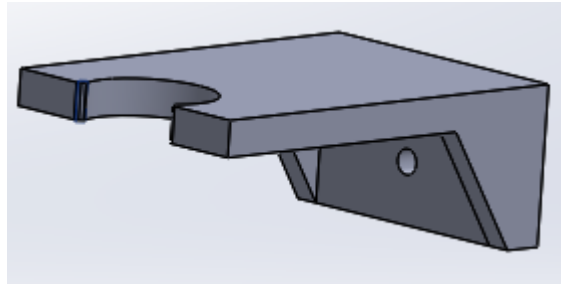


Figura 33. Soporte para los tubos. El Autor

Una vez realizado esto, se procedió a mandar a construir los tableros en madera MDF e imprimir los vinilos adhesivos que se iban a adherir a éstos, para así poder ensamblar el marco de aluminio de la planta junto con los soportes acorde al diseño. Para hacer más fácil la instalación y mantener las distancias estipuladas, en los vinilos adhesivos se colocó una guía para identificar donde iban colocados cada pieza de sujeción, reduciendo de esta manera el proceso a solamente el taladrado del tablero y atornillado de los soportes de los tubos.



Figura 34. Banco de procesos con la estructura ensamblada y los tableros de MDF acoplados dentro de esta. El Autor

El siguiente paso que se realizó fue la conexión de los instrumentos con la tubería y los tanques, para esto se usaron tubos, uniones y accesorios (codos, tees, tapones, etc..) y soldadura CPVC, recomendada para agua caliente; para la bomba superior se adaptó una base impresa en PLA sujeta por medio de escuadras al tablero, y a la bomba inferior se le adecuó un juego de acoples de PVC a mangueras, con el fin de no dañar la estructura de esta y permitir un fácil manipulación en caso de ser necesario su reemplazo y/o reparación. A continuación, se muestra el banco con todos los componentes en su correspondiente lugar.



Figura 35. a) Planta de procesos vista frontal. b) Planta de procesos vista posterior. El Autor

En la parte trasera del banco se situó la caja de circuitos y potencia, en donde se conectó cada uno de los instrumentos, borneras e indicadores, para esto se tuvo en cuenta los planos eléctricos realizados para las plantas anteriormente construidas.



Figura 36. Tablero de circuitos y potencia. El Autor

Por último, se realizaron los anexos a la planta, los cuales son: tres guías de laboratorio enfocadas en instrumentación (apéndice C), automatización (apéndice D) y control (apéndice E), con las que se busca que el usuario haga la primera toma de contacto con la planta y su posterior puesta en marcha, y de este modo aprenda a usar cada uno de los componentes, evitando así un uso inadecuado. A si mismo se diseñó un manual de usuario (apéndice A) y dossier técnico (apéndice B), en el cual se da información específica acerca de cada uno de los instrumentos, su uso adecuado y soluciones a problemas que al usuario se le pueden presentar.

La metodología que se adoptó para el desarrollo de las guías de laboratorio fue acorde a la plantilla usada por la facultad de ingeniería mecatrónica para este tipo de documentos, en donde se presenta un tema puntual relacionado con la temática tratada y se dispone el contenido de tal forma que el estudiante logre identificar el problema a resolver, aprenda mediante una explicación y pasos a seguir a darle solución y lo desarrolle en la práctica entregando resultados en función de

lo que solicite el docente y el tema trabajado. La estructura de las guías es la siguiente: información general, descripción de la práctica, competencia a formar, teorías o conceptos que se abordarán, problemas de investigación, equipos y materiales necesarios y procedimiento, cada una pensada para guiar al estudiante a través de esta y le dé el enfoque deseado.

5. Conclusiones

- Se diseñaron tres modelos CAD que satisficieron las condiciones iniciales y el alcance planteado, lo cual permitió por medio de una encuesta a docentes y estudiantes (apéndice F), determinar el diseño más apropiado para llevar a cabo la construcción de la planta.
- La construcción de la planta de procesos con guías de laboratorio, las cuales abordaron temáticas, tales como: adquisición de variables con una DAQ, caracterización de instrumentos de la planta para la medición de temperatura, caudal y nivel, y control P&ID de temperatura en el tanque de control, garantiza a la facultad de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Santo Tomás seccional Bucaramanga que el estudiante tenga las herramientas necesarias para complementar su desarrollo práctico en asignaturas tales como: instrumentación, automatización Industrial, control de Procesos y comunicaciones.
- El desarrollo de las guías de laboratorio enfocadas en el software LabVIEW amplía la información que ya se ha elaborado al respecto, complementando funciones que se venían realizando hasta el momento y permitiendo al usuario conocer más a fondo las características de la planta de procesos.

- El uso de instrumentos industriales permite que el estudiante o usuario se familiarice y aprenda a manipular este tipo de equipos antes de salir al campo laboral, de esta manera se logra aumentar las competencias profesionales, enfocando las actividades desarrolladas hacia el campo industrial.

Bibliografía

- [1] A. Romero Escobar, E. Sarmiento Hernández y L. C. Marronquín Castilla, Optimización y mejora de una planta didáctica de instrumentacion y control de procesos, Cartagena, Bolivar: Universidad Tecnologica de Bolívar, 2016.
- [2] N. L. Posada Restrepo y J. A. Ramírez Urrego, «Construccion de una planta de presión didáctica y portable para implementacion de algoritmos de control,» COLIM 2014 Memorias, p. 7, 2014.
- [3] L. F. García Sánchez y W. F. Vallejo, Diseño de una planta piloto didáctica de intercambio térmico, Cali, Valle del cauca: Universidad del Valle, 2012.
- [4] J. G. Peñaranda Méndez y C. A. López Cardozo, Diseño, habilitacion y ensamble de cinco plantas de procesos con guías de laboratorio, manual de usuario y dossier técnico, Bucaramanga, Santander: Universidad Santo Tomas, 2015.
- [5] SACOME, «Plantas de Proceso para Zumos y Bebidas,» [En línea]. Available: <https://www.sacome.com/plantas-proceso-zumos/>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [6] Didacontrol SAS, «Plantas piloto y modulos de enseñanza,» 2018. [En línea]. Available: www.didacontrolsas.com/plantas-piloto-y-modulos-de-ensenanza/. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [7] SGS SA, «Fabricacion Industrial, Plantas Piloto,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.sgs.co/es-es/industrial-manufacturing/services-related-to-production-and-products/metallurgy-and-process-design/pilot-plants..> [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [8] Lana Sarrate, «Caudal,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.lanasarrate.es/productos/Caudal-3943-0-0-1>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [9] YOKOWAGA, «Medidores de Flujo Vortex - Principio de Operacion,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.yokogawa.com/mx/solutions/products-platforms/field-instruments/flow-meters/vortex-flow-meters/#Details>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [10] E. Mandado Pérez y A. Murillo Roldan, «Sensores y Acondicionadores, Sensores Electromagneticos,» 2014. [En línea]. Available: http://libroweb.alfaomega.com.mx/book/487/free/ovas_statics/sensores/temas/SA_TEMA_08-ELECTROMAGNETISMO.pdf. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [11] NAYLAMP MECHATRONICS, «Sensor de Flujo de Agua 1/2" YF-S201,» [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/108-sensor-de-flujo-de-agua-12-yf-s201.html>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [12] SEAS, «Hidraulica Proporcional,» 5 Agosto 2016. [En línea]. Available: <https://www.seas.es/blog/automatizacion/hidraulica-proporcional/>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].

- [13] ASAHI/AMERICA, «Válvulas de Retencion,» 2018. [En línea]. Available: <https://spanish.asahi-america.com/valves-and-actuation/manual-valves/check-valves>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [14] KANALIZACYJNE, «INSTALACJE WODNO,» [En línea]. Available: <https://docplayer.pl/19441749-Instalacje-wodno-kanalizacyjne-schemat-instalacji.html>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [15] J. C. Villajulca, «Diagramas de Flujo de Procesos (PFD) y Diagramas de Proceso e Instrumentación (P&ID) : Interpretación,» 15 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <http://instrumentacionycontrol.net/diagramas-de-flujo-de-procesos-pfd-y-diagramas-de-proceso-e-instrumentacion-pid-interpretacion/>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [16] B. J. Guevara A y Y. Y. Velasquez M, Terminologia de Instrumentacion, Maturin, Monagas: Universidad del Oriente, 2014.
- [17] A. Creus Sole, Instrumentacion Industrial, 8va ed., Mexico: Alfaomega Grupo Editor, 2011, p. 792.
- [18] International Electrical Commission, «International Standards and Conformity Assessment for all electrical, electronic and related technologies,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.iec.ch/>. [Último acceso: 20 Marzo 2019].
- [19] J. G. Peñaranda Méndez y C. A. López Cardozo, Manual de usuario Planta de Procesos USTA, Bucaramanga, Santander: Universidad Santo Tomas, 2016.
- [20] SLP Industrial Systems S.A de C.V, «Componentes Universales,» 2018. [En línea]. Available: http://www.aluminioperfilestructural.com/componentes-universales_elementos/. [Último acceso: 28 Marzo 2019].
- [21] CRONOS, Soluciones de Integracion, «Elementos de Union,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.perfilaluminioestructural.com/productos/perfiles/big-projects-2/>. [Último acceso: 30 Marzo 2019].
- [22] FLOWMEET, «Guia de instalacion y mantenimiento de una turbina,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.flowmeet.com/articulos-de-interes/instalacion-caudalimetros-a-turbina>. [Último acceso: 30 Marzo 2019].

Apéndices

Ver carpeta de apéndices.