



UNIVERSIDAD DEL CAUCA

INGENIERIA EN AUTOMATICA INDUSTRIAL

FACULTAD DE INGENIERIA EN ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES

DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA, INSTRUMENTACION Y
CONTROL

**Método para diseño de bancos de pruebas en
ambientes de automatización**

MONOGRAFIA PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO EN AUTOMATICA INDUSTRIAL

Pablo Alejandro Perdomo Fernández

Fabián David Molano Pino

Director: Mg. Francisco Franco Obando.

Cauca, 2017



Universidad del Cauca



Universidad del Cauca
Ingeniería en Automática Industrial
Facultad de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control

Método para diseño de bancos de pruebas en ambientes de automatización

MONOGRAFIA PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO EN AUTOMATICA INDUSTRIAL

Pablo Alejandro Perdomo Fernández

Fabián David Molano Pino

Director: Mg. Francisco Franco Obando.

Nota:

Aprobado por:

Fecha:.....

.....
Mg. Francisco Franco Ovando

.....
Firma Jurado

.....
Firma Jurado

Gracias a nuestra universidad, por habernos permitido formarnos y en ella, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, fueron ustedes los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se vería reflejado en la culminación de nuestro paso por la universidad.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	5
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABLAS	10
INTRODUCCION	11
CAPITULO I.....	12
1.1 Descripción de banco de pruebas	12
1.2 Descripción de métodos usados en el diseño de bancos de pruebas.....	12
1.3 Normatividad.....	18
1.3.1 Norma técnico colombiana NTC-ISO/IEC 17025	19
1.3.2 Vocabulario internacional de metrología	19
1.4 Problemática en el diseño de bancos de pruebas	20
1.5 Diagnóstico técnico y funcional	20
1.5.1 Identificación de requerimientos básicos	20
CAPITULO II.....	25
2.1 Descripción general del banco de pruebas	28
2.2 Selección del método de calibración	28
2.3 Requerimientos de funcionalidad	29
2.4 Diagrama de flujo	29
2.5 Diagrama P&ID.....	30
2.6 Diagrama de lazo	30
2.7 Selección de instrumentación.....	30
2.8 Diagrama de mando y potencia.....	31
2.9 Selección del elemento patrón.....	31
2.10 Selección del controlador.....	32
2.11 Diseño de accesorios.....	32
2.12 Diseño de estructura física	32
2.13 Ensamble.....	32
CAPITULO III.....	34
3.1 Descripción general del banco de pruebas	35
3.2 Selección del método de calibración	36

3.3 Requerimientos de funcionalidad	36
3.4 Diagrama de flujo	37
3.5 Diagrama P&ID	37
3.6 Diagrama de lazo	38
3.7 Selección de instrumentación.....	43
3.8 Diagrama de mando y potencia	45
3.9 Selección del elemento patrón.....	46
3.10 Selección del controlador	46
3.11 Diseño de accesorios.....	50
3.12 Diseño de estructura física	51
3.13 Ensamble	52
CAPITULO IV	54
4.1 Resultados de implementación de guía propuesta.....	54
4.2 Resultados de las encuestas.....	67
4.2.1 Conceptualización	68
4.2.2 Diseño.....	69
4.2.3 Implementación.....	70
CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	72
GLOSARIO DE TERMINOS	73
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	74
ANEXOS	76
ANEXO A) Guía para diseño de bancos de pruebas en ambientes de automatización ...	76
ANEXO B) Aplicación de guía de método para diseño de un banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión	94
ANEXO C) Encuesta.....	140
ANEXO D) Resultados de encuestas	143
ANEXO E) Práctica de calibración del transmisor de presión diferencial.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO F) Práctica de calibración del sensor ultrasónico de nivel. ¡Error! Marcador no definido.	
ANEXO G) Práctica de reconocimiento y familiarización de planta de tanques en serie	156

ANEXO H) Práctica de identificación de planta de tanques en serie	222
ANEXO I) Práctica de control discreto de nivel.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO J) Práctica de control feedback de flujo.	253
ANEXO K) Práctica de control feedback de nivel.	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO L) Práctica de control cascada de nivel.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO M) Estimación de flujo a partir de un diferencial de presión.	305

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Metodología de diseño para el desarrollo de un producto	26
Figura 2 Diagrama de flujo del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión	39
Figura 3 Diagrama P&ID del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión.	40
Figura 4 Diagrama de lazo del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión	41
Figura 5 Instrumentos del diagrama de lazo del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión	42
Figura 6 Diagrama de mando y potencia – Bomba del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión.....	47
Figura 7 Tanque N°1 del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión	48
Figura 8 Panel de control del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión	51
Figura 9 Estructura física del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión	52
Figura 10 Estructura física del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión	53
Figura 11 Señal de nivel del sensor ultrasónico	55
Figura 12 Señal de nivel del sensor ultrasónico con disturbios.....	56
Figura 13 Señal de flujo del sensor de flujo	56
Figura 14 Señal de flujo del sensor de flujo con disturbios	57
Figura 15 Estados de los equipos del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión	57
Figura 16 Señal de flujo del transmisor de flujo por diferencia de presión.	58
Figura 17 Señal de flujo del transmisor de flujo por diferencia de presión con disturbios..	58
Figura 18 Señal escalón de bomba	59
Figura 19 Señal escalón de apertura de la servoválvula	59
Figura 20 Control feedback de nivel en tanque TK2.....	60
Figura 21 Supervisorio de práctica de control feedback de nivel.....	61
Figura 22 Control feedback de flujo	62
Figura 23 Supervisorio de práctica de control feedback de flujo.	63
Figura 24 Lazos de control discreto de nivel en los tanques TK1 y TK2	64
Figura 25 Supervisorio de práctica de control discreto de nivel.	65
Figura 26 Lazos de control en cascada	66
Figura 27 Supervisorio de práctica de control discreto de nivel.	67
Figura 28 Resultados a preguntas 1,2,3 y 4 de encuesta - Estudiantes	68
Figura 29 Resultados a preguntas 1,2,3 y 4 de encuesta - Profesionales	69
Figura 30 Resultados a preguntas 5,6,7,8 y 9 de encuesta - Estudiantes	69
Figura 31 Resultados a preguntas 5,6,7,8 y 9 de encuesta - Profesionales	70

Figura 32 Resultados a preguntas 10,11,12,13 y 14 de encuesta - Estudiantes	70
Figura 33 Resultados a preguntas 10,11,12,13 y 14 de encuesta - Profesionales	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Método de diseño de banco de pruebas N°1	12
Tabla 2 Método de diseño de banco de pruebas N°2.....	13
Tabla 3 Método de diseño de banco de pruebas N°3.....	14
Tabla 4 Método de diseño de banco de pruebas N°4.....	15
Tabla 5 Método de diseño de banco de pruebas N°5.....	15
Tabla 6 Método de diseño de banco de pruebas N°6.....	16
Tabla 7 Método de diseño de banco de pruebas N°7.....	17
Tabla 8 Método de diseño de banco de pruebas N°8.....	18
Tabla 9 Requerimientos básicos en el diseño de bancos de pruebas en ambientes de automatización.....	23
Tabla 10 Correspondencia entre metodología de desarrollo de productos y requerimientos de diseño de bancos de pruebas	27
Tabla 11 Orden jerárquico de los requerimientos de diseño de bancos de pruebas	27
Tabla 12 Técnica de selección de instrumentación utilizada en [24]	31
Tabla 13 Comparación entre planta de nivel actual y futura.....	34
Tabla 14 Requerimientos de diseño del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión	35
Tabla 15 Modelo físico del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión	37
Tabla 16 Instrumentos a seleccionar – Banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión.	43
Tabla 17 Válvula solenoide N°1 a seleccionar para el banco de pruebas	44
Tabla 18 Válvula solenoide N°2 a seleccionar para el banco de pruebas	44
Tabla 19 Válvula solenoide N°3 a seleccionar para el banco de pruebas	45
Tabla 20 Selección del instrumento – Válvula solenoide	45

INTRODUCCION

El presente trabajo indaga la problemática presente en los métodos utilizados para el diseño de bancos de pruebas, donde estos se encuentran limitados por las especificaciones de cada banco y pierden aplicabilidad en implementaciones diferentes. Lo cual evidencia la necesidad de contar con métodos que brinden los lineamientos básicos en el diseño de los bancos, que se adapten a las variadas necesidades de estos.

En este sentido, se realiza una descripción de los métodos y normatividad técnica utilizados en el diseño de bancos de pruebas, identificando en estos los requerimientos básicos de diseño que se adapten a las diferentes aplicaciones, y con base a estos se propone un método, brindándole un orden a tales requerimientos y aumentando el grado de detalle en cada uno de estos.

Una vez definido el método, se aplica este en el diseño de un banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión, en el laboratorio de control de procesos de la Universidad del Cauca. Donde se rediseñó la planta de nivel, agregándole nuevas funcionalidades en calibración de instrumentos, control de procesos y mejoras en su infraestructura física. Al finalizar este, se realizaron pruebas de funcionalidad a la instrumentación del banco, para detectar irregularidades en la operación de estos, y se realizó una encuesta a estudiantes y profesionales del campo de la instrumentación y control de procesos, con el objetivo de conocer sus puntos de vista, alrededor del método de diseño propuesto.

CAPITULO I

BANCOS DE PRUEBA

Resumen: *En el presente capítulo se da a conocer el concepto de bancos de pruebas, sus características, procedimientos, métodos y normas técnicas, utilizados en su diseño e implementación. Además, se da a conocer la problemática presente en el diseño de los bancos, y la identificación de los requerimientos básicos en el diseño de estos.*

1.1 Descripción de banco de pruebas

Los bancos de pruebas son plantas instrumentadas, que emulan condiciones de procesos industriales reales, como sistemas de control de nivel, flujo, temperatura, presión, velocidad y otros, con el fin de alcanzar un alto grado de similitud con las condiciones ambientales y de estrés al que estarían expuestos los instrumentos en una planta industrial de gran envergadura. Así mismo, los bancos de prueba permiten llevar a cabo procesos de calibración de instrumentos, con el fin de aumentar la confiabilidad, en los datos obtenidos por esta, disminuyendo la presencia de alteraciones y disturbios en los procesos de control, entre cuyos procesos de calibración se encuentran: medidores de flujo líquido [1] - [2], medidores de flujo gaseoso [3], medidores de presión [4], y otros tipos de instrumentación como transmisores y válvulas [5] - [6]. Por otra lado, los bancos permiten realizar control en procesos, como: bombeo de flujo [7] - [8], velocidad en motores [9], [10] y [11], nivel de líquidos [12] - [13], temperatura y presión entre otros.

1.2 Descripción de métodos usados en el diseño de bancos de pruebas

En el diseño de bancos de pruebas (BP), se utilizan métodos compuestos por una serie de etapas, donde cada etapa constituye procedimientos de diseño, partiendo desde la concepción e idealización del BP, hasta finalmente la aplicación de pruebas de funcionalidad. En algunos casos estos métodos de diseño son empíricos, en cuyo caso de su implementación, no se utiliza guías o manuales de diseño de bancos de pruebas, en cambio se parte de los requerimientos que el banco amerite. Aunque es claro, en el diseño de los BP se utiliza normatividad técnica solo en algunos procesos, como por ejemplo en la selección y diseño de tuberías, instalación y calibración de instrumentación.

Partiendo de la concepción de método como una técnica para realizar una operación [14] y un conjunto de procedimientos a seguir para un fin determinado, los métodos de diseño de bancos de prueba, presentan variaciones de acuerdo a las características del BP, preferencias del autor y grado de complejidad entre otros, los cuales definen tanto su estructura como su funcionalidad. Entre estos, se encuentran métodos de diseño específicos para un determinado caso de aplicación, como:

a) Método de diseño de banco de pruebas N°1

Método de diseño desarrollado e implementado en [1], el cual se encuentra compuesto por 7 etapas, y cada una de esta por funciones (ver Tabla 1) que permiten el diseño de un banco de pruebas para la calibración de medidores de flujo de líquidos por el método gravimétrico estático.

Tabla 1 Método de diseño de banco de pruebas N°1

Etapas	Funciones
1. Selección de método	Se selecciona el método de calibración a utilizar en el banco de pruebas.
2. Descripción del banco de pruebas	Se describe los componentes o unidades que tendrá el banco de pruebas.
3. Diseño del banco	Se realiza el diseño de la estructura física principal del banco, tuberías, y demás accesorios. Ello haciendo uso de herramientas CAD, y normas técnicas.
4. Determinación de las pérdidas del sistema	Se calculan las pérdidas totales en el sistema debido a la presencia de dispositivos a lo largo de tuberías como codos, válvulas, accesorios de entrada, accesorios de salida, y medidores entre otros. Con ello realizar el cálculo de algunas características en la selección de la instrumentación a utilizar en el banco.
5. Procedimiento de calibración de medidores	Se describe el procedimiento de calibración, y sus etapas paso por paso.
6. Incertidumbre del banco	Se estiman los factores que afectan la incertidumbre, y el cálculo de esta en los instrumentos necesarios.
7. Selección de equipos	Se realiza la selección de los equipos, teniendo como referencia las características de diseño del banco.

Fuente tomada de [1]

b) Método de diseño de banco de pruebas N°2

Método de diseño desarrollado e implementado en [3], el cual se encuentra compuesto por 15 etapas, y cada una de esta por funciones (ver Tabla 2) que permiten el diseño de un

banco de pruebas para la calibración de medidores de flujo de gas de alto caudal utilizando patrones tipo turbina y rotativo.

Tabla 2 Método de diseño de banco de pruebas N°2

Etapa	Funciones
1. Descripción general del banco	Se describe los componentes del banco de pruebas, la capacidad de este, el porcentaje de incertidumbre, el alcance de operación y la trazabilidad.
2. Selección de los patrones	Se selecciona los patrones a utilizar teniendo en cuenta el alcance de medición, zona de calibración, disponibilidad y costo.
3. Tubos de medición	Se selecciona las dimensiones de las tuberías, bajo recomendaciones de normas técnicas.
4. Tubos de trabajo	Se diseña los tubos de trabajo teniendo en cuenta los requerimientos, dimensiones del banco, y normas técnicas.
5. Elementos reguladores de flujo	Se selecciona los reguladores de flujo bajo características de funcionalidad, economía, y requerimientos del banco.
6. Cabezales principales	Se selecciona la mejor opción de distribución y conexión de tuberías y equipos, luego se procede a diseñar los cabezales. En las conexiones se deben tener presentes normas técnicas.
7. Diseño de los elementos de sujeción	Se selecciona y diseña los elementos de sujeción, con base a los requerimientos del banco, y normas técnicas.
8. Diseño de los acondicionadores de flujo	Si se desea garantizar un adecuado nivel de repetibilidad y reproducibilidad en los datos tomados por los patrones, se hace uso de acondicionadores de flujo, o el diseño de estos bajo normas técnicas.
9. Selección del sistema generador de flujo	Se selecciona los elementos generadores de flujo, teniendo en cuenta criterios como: el alcance del caudal, pérdidas en tuberías y accesorios, y el diseño preliminar del banco de pruebas.
10. Diseño de las estructuras y soportes	Se realiza el diseño de la estructura principal y los accesorios del banco de pruebas, de acuerdo a los requerimientos de este. Ello haciendo uso de herramientas CAD.
11. Diseño del cuarto de maquinas	Si surge la necesidad de proteger los equipos y dispositivos, se realiza el diseño del cuarto de máquinas bajo criterios como: <ul style="list-style-type: none"> • Albergar y proteger de las condiciones ambientales a los equipos y dispositivos presentes en el sistema. • Garantizar que el cuarto sea modular para su fácil manejo de traslado en el laboratorio. • Aislar acústicamente del ruido generado el ambiente de trabajo, teniendo en cuenta los niveles permitidos.
12. Diseño del ducto de descarga	Se diseña el ducto teniendo en cuenta criterios como la velocidad máxima del aire, y el costo de fabricación vs. área transversal del ducto.

13. Rediseño de la capacidad de enfriamiento del laboratorio	Si se desea minimizar las diferencias de temperatura entre presentes en los equipos, se rediseña la capacidad de enfriamiento del aire acondicionado instalado en el laboratorio. En el cual: <ul style="list-style-type: none"> • Se verifica el sistema de aire acondicionado. • Se calcula la carga térmica. • Se realiza las actividades de mejora.
14. Selección del sistema de adquisición de datos	Se realiza la selección del sistema de adquisición de datos e instrumentación básica, considerando las variables físicas presentes en los procesos a implementar en el banco de pruebas.
15. Evolución del diseño	Si en el proceso de diseño se obtuvieron varios conceptos sobre la configuración del banco de pruebas, se extraen características y se filtran hasta tener un diseño terminado.

Fuente tomada de [3]

c) Método de diseño de banco de pruebas N°3

Método de diseño desarrollado e implementado en [12], el cual se encuentra compuesto por 4 etapas, y cada una de esta por funciones (ver Tabla 3), que permiten el diseño de un banco de pruebas para el control de nivel, temperatura y flujo de agua en un tanque para uso en prácticas de laboratorio.

Tabla 3 Método de diseño de banco de pruebas N°3

Etapas	Funciones
1. Variables a controlar	Se selecciona las variables a controlar en el banco de pruebas bajo criterios como el equipo requerido, los servicios necesarios, el costo de operación, el tamaño, ámbitos de trabajo de las variables y la seguridad. Se selecciona el equipo a utilizar. Se desarrolla los diagramas de conexión P&ID bajo la norma ISA S5, y se identifican los lazos de control.
2. Diseño del transmisor	Se selecciona el controlador de acuerdo a los equipos seleccionados. Si es necesario se diseña los circuitos necesarios para el censado y transmisión de las señales presentes en el banco de pruebas.
3. Acondicionamiento de las señales	Se es necesario se diseñan circuitos para el acondicionamiento de las señales de los instrumentos.
4. Diseño del sistema de control	Se realiza la elección del lenguaje de programación. Se programa el controlador. Se programa la interfaz de usuario y el esquema de control.

Fuente tomada de [12]

d) Método de diseño de banco de pruebas N°4

Método de diseño desarrollado e implementado en [7], el cual se encuentra compuesto por 4 etapas, y cada una de esta por funciones (ver Tabla 4), que permiten el diseño de un banco de pruebas experimental de bombeo de flujo multifásico.

Tabla 4 Método de diseño de banco de pruebas N°4

Etapa	Funciones
1. Descripción general del banco experimental	Se especifican los requerimientos de diseño del banco. Se realiza una descripción del banco y de cada unidad que lo compone. Se realiza los diagramas P&ID del banco de pruebas.
2. Diseño hidráulico del banco experimental	Se selecciona los equipos del banco, teniendo como referencia niveles de operación, rangos de las variables y otros requerimientos del banco de pruebas.
3. Diseño de tuberías y selección de accesorios	Se realiza si es necesario el diseño de las tuberías, bajo normatividad técnica. Se seleccionan los actuadores, bajo requerimientos de diseño del banco. Se diseña los accesorios si es necesario.
4. Selección de instrumentos de medición	Se selecciona la instrumentación teniendo en cuenta la interconexión con el controlador, la finalidad de adquirir distintas medidas de manera simultánea, y la posibilidad de un procesamiento de estas.

Fuente tomada de [7]

e) Método de diseño de banco de pruebas N°5

Método de diseño desarrollado e implementado en [2], el cual se encuentra compuesto por 3 etapas, y cada una de esta por funciones (ver Tabla 5), que permiten el diseño de un banco de pruebas para calibración de caudalímetros líquidos.

Tabla 5 Método de diseño de banco de pruebas N°5

Etapa	Funciones
1. Requisitos de diseño	Se selecciona el método de calibración a utilizar. Se identifica la instrumentación a calibrar. Se establecen operaciones previas como las características, condiciones ambientales, y requerimientos del banco. Se describe el proceso y los pasos de calibración.
2. Análisis y	Se realizan los cálculos del proceso de calibración.

soluciones	<p>Se es necesario se hallan los cálculos del sistema de tuberías.</p> <p>Se calculan las incertidumbres del sistema de calibración e interpretación de los resultados bajo las recomendaciones de normas técnicas.</p> <p>Se selecciona el autómata programable teniendo en cuenta el número de entradas y salidas, el tipo de señales, y el tratamiento de las señales.</p>
3. Resultados finales	<p>Se realiza la selección de los elementos a instalar en el banco de pruebas.</p> <p>Se realiza una descripción de la lógica de programación a utilizar y la interfaz gráfica, y se realiza el diagrama de secuencias de cada etapa del proceso.</p>

Fuente tomada de [2]

f) Método de diseño de banco de pruebas N°6

Método de diseño desarrollado e implementado en [13], el cual se encuentra compuesto por 6 etapas, y cada una de esta por funciones (ver Tabla 6), que permiten el diseño de un banco de pruebas para control de nivel de líquidos.

Tabla 6 Método de diseño de banco de pruebas N°6

Etapa	Funciones
1. Análisis y definición del sistema	<p>Se realiza una descripción de los componentes o unidades del banco.</p> <p>Se realiza el diagrama de instrumentación y conexiones, de banco, bajo la norma ISA S5.</p>
2. Selección de instrumentos de medida y control	Se realiza la selección de los instrumentos, teniendo en cuenta los requerimientos del banco y los costos.
3. Selección del tipo de bomba	Se selecciona la bomba, bajo los criterios de voltaje de alimentación, dimensiones, peso, potencia, disponibilidad en el mercado, y costo.
4. Controlador	Se selecciona el controlador teniendo en cuenta la accesibilidad, variables, I/O, y tipo de señales.
5. Diseño eléctrico	Se realiza el diseño y selección de componentes eléctricos del banco de pruebas.
6. Estructura del banco	Se realiza el diseño de la estructura principal, accesorios y tuberías, de acuerdo a los requerimientos del banco de pruebas.

Fuente tomada de [13]

g) Método de diseño de banco de pruebas N°7

Método de diseño desarrollado e implementado en [4], el cual se encuentra compuesto por 6 etapas, y cada una de esta por funciones (ver Tabla 7), que permiten el diseño de un banco de pruebas neumático para la calibración de presión de manómetros en el rango de 0 a 6 bar y vacuómetros en el rango de 0 a 600 milibar.

Tabla 7 Método de diseño de banco de pruebas N°7

Etapa	Funciones
1. Síntesis	Se describen los componentes o unidades del banco de pruebas.
2. Estudio y elección de instrumentos de patrones	Se define la jerarquía de calibración. Se selecciona los elementos patrones.
3. Calculo y elección del elemento generador de presión	Se selecciona el equipo a partir de ciertos valores de presión de trabajo, caída de presión, potencia, tipo de conexión entre otras características. Se realiza el cálculo de tuberías.
4. Selección de los accesorios que forman la parte metrológica	Se seleccionan los accesorios del banco, de acuerdo a las necesidades que presente el banco.
5. Diseño estructural del banco de pruebas	Se diseña la estructura general por medio de una herramienta CAD.
6. Simulación	Se realiza los diagramas de instrumentación y conexiones del banco. Se realiza la simulación de los sistemas del banco de pruebas.

Fuente tomada de [4]

Por otro lado, existen métodos con un grado de mayor formalidad en el diseño de bancos de prueba, que definen detallada y jerárquicamente los procedimientos de diseño, como los siguientes métodos:

h) Método de diseño de banco de pruebas N°8

Método de diseño desarrollado e implementado en [15], el cual se encuentra compuesto por 3 etapas, y cada etapa por funciones descritas en detalle (Ver Tabla 8), que permiten paso por paso, el diseño y montaje de pequeños bancos de prueba de generadores eólicos.

Tabla 8 Método de diseño de banco de pruebas N°8

Etapa	Funciones
1. Diseño mecánico	<p>Se realiza la selección de la instrumentación, bajo las características de estos, como costo, tamaño, disponibilidad, entre otros.</p> <p>Se realiza el diseño estructural del banco, bajo criterios de soporte, volumen, durabilidad, costo, entre otros.</p> <p>Se realiza el diseño de accesorios.</p> <p>Se listan equipos, herramientas y materiales a utilizar en el diseño, fabricación y montaje de los bancos.</p>
2. Componentes eléctricos	<p>Se realizan el diseño de circuitos del banco.</p> <p>Se realizan los diagramas eléctricos del banco de pruebas.</p> <p>y la programación de los circuitos a utilizar en los bancos.</p> <p>Se realiza la programación de los controladores.</p>
3. Fabricación y ensamble	<p>Se siguen unas instrucciones básicas para la fabricación y el montaje para cada banco.</p> <p>Se realiza los debidos cortes y ensambles de la mesa de trabajo del banco.</p> <p>Se instalan los equipos e instrumentación.</p>

Fuente tomada de [15]

Se puede apreciar de esta manera, que existen gran variedad de métodos en el diseño de bancos de pruebas, cuya estructura parte de las necesidades propias de los bancos, y el grado de detalle en sus procedimientos depende cada autor.

1.3 Normatividad

En la implementación de métodos de diseño de bancos de prueba, como los mostrados en la sección 1.2 de presente capítulo, se utiliza normas técnicas, como la norma técnico colombiana NTC ISO / IEC 17025 [16], la cual se emplea con el fin de demostrar que los bancos de prueba son técnicamente competentes y que poseen un sistema de gestión. Sin embargo la NTC ISO / IEC 17025 no es el único apoyo en el diseño de BP, existe el vocabulario internacional de metrología [17], el cual brinda la terminología adecuada a usar en el diseño e implementación de los bancos, sin embargo la norma técnico colombiana NTC ISO / IEC 17025, acoge en su terminología al vocabulario internacional de metrología. A continuación, se da una breve descripción de la norma NTC ISO / IEC 17025 y el vocabulario internacional de metrología.

1.3.1 Norma técnico colombiana NTC-ISO/IEC 17025

La primera edición realizada en 1999 de esta norma internacional fue producto de la experiencia adquirida, en la implementación de la guía ISO/IEC 25 y de la norma EN 45001, a las que posteriormente reemplazo. Contiene los requisitos que deben cumplir los laboratorios de ensayo y calibración, que deseen demostrar que: poseen un sistema de gestión, son técnicamente competentes y capaces de generar resultados técnicamente válidos. Además, esta edición hacía referencia a las normas ISO 9001:1994 e ISO 9002:1994, que al ser reemplazadas por la norma ISO 9001:2000, hizo necesario alinear la norma ISO/IEC 17025 con esta, dándose de esta manera la segunda edición de la norma NTC – ISO/IEC 17025. En el capítulo 4 de la segunda edición, se establece los requisitos relativos a la gestión, y en el capítulo 5 se establece los requisitos técnicos en los tipos de ensayos y/o de calibración que el laboratorio llevara a cabo [16].

Por otro lado, al aumentar el uso de los sistemas de gestión, se ha producido un aumento en la necesidad de asegurar el funcionamiento de los laboratorios, de acuerdo con un sistema de gestión de la calidad, que se considere que cumpla con la norma ISO 9001, así como NTC – ISO/IEC 17025. Por tal, se incorporó aquellos requisitos de la norma ISO 9001 que son pertinentes para el alcance de los servicios de ensayo y de calibración, cubiertos por el sistema de gestión del laboratorio. Los laboratorios de ensayo y de calibración que cumplen esta norma internacional, funcionaran de acuerdo con la norma ISO 9001 [16].

En Colombia el instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), realizó una traducción al español de la ISO/IEC 17025, la cual se conoce como la NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC-ISO/IEC 17025 [16].

1.3.2 Vocabulario internacional de metrología

El vocabulario internacional de metrología corresponde a la terminología usada en metrología, donde abarca los principios relativos a las magnitudes y unidades. La primera sección de este se fundamenta en las diferentes partes de la norma ISO 31 (magnitudes y unidades), y en el folleto sobre el sistema internacional *The international system of units* [17].

La segunda edición del vocabulario internacional de términos fundamentales y generales de metrología fue publicada en 1993. Tras la necesidad de incluir por primera vez las mediciones en química y en medicina, e incluir los conceptos relativos a trazabilidad, incertidumbre de medida y propiedades cualitativas, se ha llegado a la tercera edición, conociéndose en la actualidad con el título de Vocabulario internacional de metrología – Conceptos fundamentales y generales y términos asociados (VIM) [17], cuya edición se encuentra acogida dentro de la terminología utilizada en la norma NTC – ISO/IEC 17025.

1.4 Problemática en el diseño de bancos de pruebas

En el diseño de bancos de pruebas para procesos de calibración de instrumentación y control, se utilizan métodos de diseño específicos para una determinada aplicación, que permiten paso por paso diseñar los bancos en un orden apropiado y bajo requerimientos técnicos. Sin embargo, los métodos de diseño son de uso específico para cada aplicación de un BP, por lo cual no ofrecen aplicabilidad en diseños que se encuentren por fuera de las características y funcionalidades que poseen estos métodos. Lo cual evidencia la necesidad de métodos de diseño generales, cuya estructura y funcionalidades se adapten a los requerimientos y características de gran variedad de aplicaciones en el diseño de bancos de pruebas, ya sea para calibración de medidores de flujo, presión, nivel, velocidad, entre otros, o para el control de variables en ambientes de automatización.

1.5 Diagnóstico técnico y funcional

Al conocer los métodos de diseño de bancos de pruebas (ver Sección 1.2), se procede a identificar los requerimientos básicos en el diseño de estos, con la finalidad de encontrar los requisitos básicos que se adapten al diseño de gran variedad de bancos de calibración y control en ambientes de automatización, y con ello proponer un método general de diseño, dándole de esta manera una solución al problema expuesto en la sección 1.4 del presente capítulo.

1.5.1 Identificación de requerimientos básicos

Con la finalidad de identificar los requerimientos básicos en el diseño de bancos de pruebas, se realiza una inspección en cada uno de los métodos de diseño encontrados en la sección 1.2 del presente capítulo, identificando los requerimientos más importantes y que presenten un patrón de repetibilidad en cada uno de los métodos encontrados, como se observa en la tabla 9. Donde se aprecia que para un mismo requerimiento de diseño en los métodos encontrados, se tienen diferentes terminologías, pero que presentan gran similitud en sus procedimientos, y con base a esta, se agrupan los requerimientos de diseño en un solo requerimiento, asignándole a este un nombre genérico, con base a las funcionalidades y procesos que involucre. En este sentido, se identificaron trece requerimientos básicos en el diseño de bancos de pruebas:

- **Selección de método de calibración**, este requerimiento se encuentra presente en los métodos de [1], [2], [3], [7] y [4] (ver Tabla 9), donde se lleva a cabo la selección del método de calibración e instrumentación a calibrar, además de establecer los parámetros y condiciones de los procesos de calibración.
- **Descripción general del banco de pruebas**, este requerimiento se encuentra presente en los métodos de [1], [2], [3], [7], [4], [12] y [13] (ver Tabla 9), donde se

dan a conocer los equipos básicos de operación del banco de pruebas y la finalidad de este. Además, de definir las condiciones básicas para la operación del banco.

- **Requerimientos de funcionalidad**, este requerimiento se encuentra presente en los métodos de [1], [2], [3], [7], [4], [12] y [13] (ver Tabla 9), donde se dan a conocer el rango de las condiciones ambientales que afectan la correcta operación del banco de pruebas, y el rango de funcionamiento de la instrumentación de este.
- **Diagrama P&ID**, este requerimiento se encuentra presente en los métodos de [1], [7], [12], y [13] (ver Tabla 9), donde se brinda una representación gráfica de la instrumentación y conexiones físicas del banco de pruebas.
- **Selección de instrumentación**, este requerimiento se encuentra presente en los métodos de [1], [2], [3], [7], [4], [12] y [13] (ver Tabla 9), donde se dan a conocer las características relevantes de la instrumentación del banco de pruebas, para su posterior selección y adquisición.
- **Selección de elementos patrones**, este requerimiento se encuentra presente en los métodos de [1], [2], [3], [7] y [4] (ver Tabla 9), donde se dan a conocer las características del dispositivo patrón y con ello seleccionar el que más se adapte a los requerimientos de diseño del banco y el dispositivo a calibrar.
- **Selección del controlador**, este requerimiento se encuentra presente en los métodos de [1], [2], [3], [12] y [13] (ver Tabla 9), donde se dan a conocer las características y cualidades técnicas relevantes de los controladores, con base a las necesidades presentes en el banco de pruebas, para su posterior selección y adquisición.
- **Diseño de accesorios**, este requerimiento se encuentra presente en los métodos de [1], [2], [3], [7], [4], [12] y [13] (ver Tabla 9), donde se diseña los accesorios necesarios para la instrumentación y estructura del banco de pruebas.
- **Diseño de estructura física**, este requerimiento se encuentra presente en los métodos de [1], [2], [3], [7], [4], [12] y [13] (ver Tabla 9), donde permite realizar el diseño de la estructura principal del banco de pruebas, con base a la instrumentación seleccionada y accesorios diseñados.
- **Ensamble**, este requerimiento se encuentra presente en los métodos [1], [2], [3], [7], [4], [12] y [13] (ver Tabla 9), donde se ensambla el banco pruebas por medio de una serie de pasos, ya sea la estructura física, instrumentación, accesorios y/o cableado, obteniéndose al final el banco completamente instalado y funcional.
- **Diagrama de flujo**, este requerimiento se encuentra presente en los métodos [1], [2], [3], [7], [4] y [12] (ver Tabla 9), donde se representa gráficamente las

conexiones físicas e instrumentación, involucradas en los procesos de conversión y manipulación de materias primas del banco de pruebas.

Además de identificarse los requerimientos básicos en el diseño de bancos de pruebas, con base a los métodos encontrados en la sección 1.2, se observa la carencia de algunos requisitos de diseño, que brindarían apoyo y soporte en el diseño de los bancos, como lo son:

- **Diagrama de lazo**, cuyo requerimiento permite visualizar el tipo de señales, conexiones físicas entre instrumentación, equipos, ubicación y lazos de control que se tendrán en el banco, con base al diagrama P&ID.
- **Diagrama de mando y potencia**, cuyo requerimiento facilita la interpretación de cableado, el diseño de la lógica de control y de redes de protección de los motores presentes en el banco de pruebas.

De esta manera se dan a conocer los requerimientos básicos en el diseño de bancos de pruebas, tanto los que presentaron cierto patrón de repetitividad en los métodos encontrados en la sección 1.2 del presente capítulo, como los requerimientos sin presencia alguna en los métodos encontrados, pero que brindan soporte en la realización del P&ID, conexiones físicas, lazos de control, protecciones y cableado lógico en motores de los bancos de pruebas.

Tabla 9 Requerimientos básicos en el diseño de bancos de pruebas en ambientes de automatización

Requerimientos básicos para el diseño de bancos de pruebas	Métodos de diseño de bancos de pruebas						
	Método 1, tomado de [1].	Método 2, tomado de [3].	Método 3, tomado de [12].	Método 4, tomado de [7].	Método 5, tomado de [2].	Método 6, tomado de [13].	Método 7, tomado de [4].
Selección del método de calibración	Selección de método	Descripción general del banco	No aplica	Descripción general del banco experimental	Requisitos de diseño	No aplica	Estudio y elección de elementos patrones
Descripción del banco de pruebas	Descripción del banco de calibración	Descripción general del banco	Variables a controlar	Descripción general del banco experimental	Requisitos de diseño	Análisis y definición del sistema	Estudio y elección de elementos patrones
Diagrama de flujo	Descripción del banco de calibración	Descripción general del banco	Variables a controlar	Descripción general del banco experimental	Planos	No aplica	Simulación neumática
Requerimientos de funcionalidad	Determinación de pérdidas del sistema	Descripción general del banco	Variables a controlar	Descripción general del banco experimental	Requisitos de diseño	Análisis y definición del sistema	Síntesis
Diagrama P&ID	Procedimiento de calibración de los medidores	No aplica	Variables a controlar	Descripción general del banco experimental	No aplica	Análisis y definición del sistema	No aplica
Selección de la instrumentación	Selección de equipos	Selección del sistema generador de flujo y regulador de flujo	Variables a controlar	Diseño hidráulico del banco experimental, selección de instrumentos de medición y de accesorios	Resultados finales	Selección de tipo de bomba e instrumentación de medición y control	Cálculo y elección del elemento generador de presión

Selección del elemento patrón	Selección de equipos	Selección de los patrones	No aplica	Selección de instrumentos de medición	Resultados finales	No aplica	Estudio y elección de elementos patrones
Selección del controlador	Selección de equipos	Selección del sistema de adquisición de datos	Diseño del transmisor	No aplica	Análisis y soluciones	Controlador	No aplica
Diseño de accesorios	Diseño del banco	Diseño de elementos de sujeción, ducto de descarga y cuarto de maquinas	Diseño del transmisor y el acondicionador de señales	Diseño de tuberías y selección de accesorios	Análisis y soluciones	Diseño eléctrico y estructural del banco	Diseño estructural del banco de pruebas
Diseño de estructura física	Diseño del banco	Diseño de las estructuras y soportes	Variables a controlar	Diseño de tuberías y selección de accesorios	Planos	Estructura del banco	Diseño estructural de banco de pruebas
Ensamble	Ensamble	Construcción del banco	Ensamble	Ensamble	Ensamble	Instalación y montaje del banco de pruebas	Ensamble
Requerimientos de diseño en los métodos							

Fuente autor

CAPITULO II

PROPUESTA DE METODO PARA DISEÑO DE BANCOS DE PRUEBA

Resumen: *En el presente capítulo se propone un método para el diseño de bancos de pruebas, con base a los requerimientos de diseño identificados en el capítulo anterior, a los cuales se les asigna un orden de realización, en relación con la dependencia presente entre los requerimientos de diseño y un método para el diseño de productos. En cada uno de los requerimientos, se proponen procedimientos que satisfagan las necesidades de estos, lo cual constituye el método para diseño de bancos de pruebas en ambientes de automatización.*

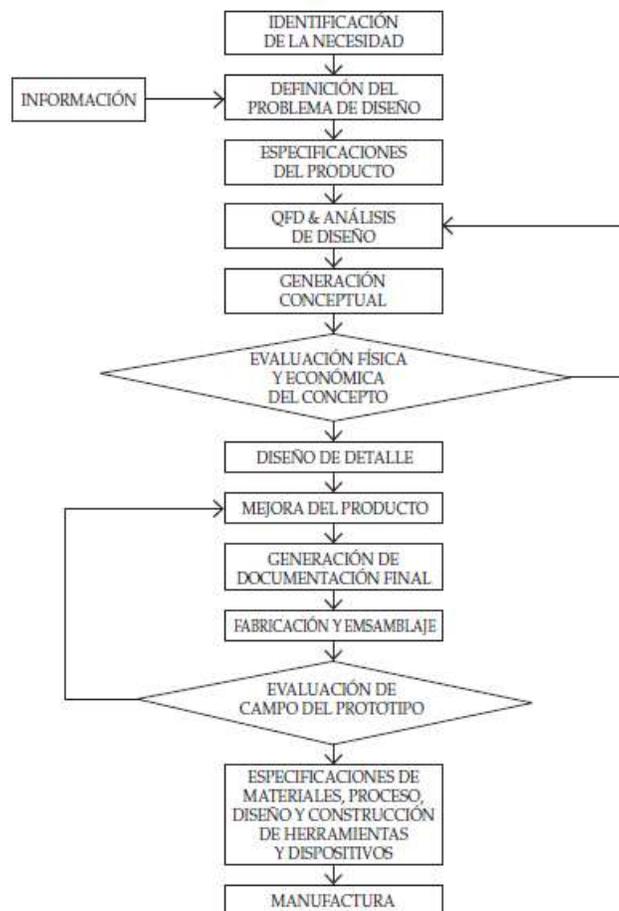
Al identificarse cada uno de los requerimientos, necesarios en el diseño de bancos de pruebas en ambientes de automatización, se les asigna un orden de realización a estos, llevando a cabo una correspondencia entre los requerimientos identificados y los procedimientos presentes en la metodología de diseño para el desarrollo de un producto [18] (ver Figura 1).

En primera instancia, se presenta a continuación una breve descripción de cada uno de los procedimientos de la metodología de diseño [18] vistos en la figura 1:

- **Identificación de la necesidad**, se realiza la identificación de las necesidades y requerimientos del producto.
- **Definición del problema de diseño**, se hace una síntesis de la información.
- **Especificaciones del producto**, se concretan las especificaciones técnicas del producto.
- **QFD y análisis de diseño**, se desarrolla la matriz del despliegue de la función de calidad, la cual permite conocer cuales características de diseño a las hay que prestárseles mayor atención.
- **Generación conceptual**, se presenta el diseño conceptual según todos y cada uno de los pasos que debe seguir la máquina para cumplir su propósito.
- **Evaluación física y económica del concepto**, se hace una consideración de los aspectos físicos y económicos, ya que son parte de las restricciones que tiene el equipo.
- **Diseño de detalle**, se desarrolla la ingeniería de detalle, que enfatiza en todos y cada uno de los componentes.

- **Mejora del producto**, se hace consideración de mejoras en las partes o en la operación de los componentes que permitan una mayor ergonomía y funcionamiento adecuado de los componentes.
- **Generación del documento final**, se documenta los procesos anteriormente nombrados.
- **Fabricación y ensamblaje**, se considera los procesos de fabricación y ensamblaje que permitan minimizar costos en materiales, desperdicios y procesos.
- **Evaluación de campo del prototipo**, corresponde a la evaluación del prototipo en el cual el diseño por ser un proceso cíclico está sujeto a ser considerado materiales, procesos u operación de componentes.
- **Especificaciones de materiales, proceso, diseño y construcción**, se listan las especificaciones para la posterior manufactura del producto.
- **Manufactura**, corresponde a manufactura, que realmente en los procesos de diseño está más enfocada al diseño de dispositivos.

Figura 1 Metodología de diseño para el desarrollo de un producto



Fuente autor

Con la descripción de los procedimientos de la metodología de desarrollo de productos, se plantea una correspondencia con base a la similitud entre estos procedimientos y los requerimientos de diseño de bancos de prueba previamente identificados, la cual se aprecia en la tabla 10. Ello tomando como ejemplo el trabajo realizado por Henao, en el desarrollo de una metodología para el diseño de un banco de pruebas para engranajes cilíndricos rectos [18].

Tabla 10 Correspondencia entre metodología de desarrollo de productos y requerimientos de diseño de bancos de pruebas

Metodología de diseño para el desarrollo de un producto	Correspondencia	Requerimientos para el diseño de bancos de pruebas
Identificación de la necesidad	Equivalente a	Descripción general del banco de pruebas
Definición del problema de diseño		
Especificaciones del producto	Equivalente a	Selección del método de calibración Requerimientos de funcionalidad
QFD y análisis de diseño		
Generación conceptual	Equivalente a	Diagrama de flujo Diagrama P&ID Diagrama de lazo Diagrama de mando y potencia
Evaluación física y económica del concepto	Equivalente a	Selección de la instrumentación Selección del elemento patrón Selección del controlador
Diseño de detalle	Equivalente a	Diseño de accesorios Diseño de estructura física
Mejora del producto		
Generación de documentación final		
Fabricación y ensamblaje	Equivalente a	Ensamble

Fuente autor

Debido a que se presenta el caso en la correspondencia, donde para un mismo procedimiento de la metodología de desarrollo de productos equivale a más de un requerimiento de diseño, se opta por jerarquizar tales requerimientos, de tal manera que al realizar uno facilite la realización de su predecesor, lo cual se muestra en la tabla 11.

Tabla 11 Orden jerárquico de los requerimientos de diseño de bancos de pruebas

Metodología de diseño para el desarrollo de un producto	Correspondencia	Requerimientos para el diseño de bancos de pruebas	Orden jerárquico de los requerimientos para el diseño de bancos de pruebas
Identificación de la necesidad	Equivalente a	Descripción general del banco de pruebas	1. Descripción del banco de pruebas
Definición del problema de diseño			
Especificaciones del	Equivalente a	Selección del método de	2. Selección del método

producto		calibración Requerimientos de funcionalidad	de calibración 3. Requerimientos de funcionalidad
QFD y análisis de diseño			
Generación conceptual	Equivalente a	Diagrama de flujo Diagrama P&ID Diagrama de lazo Diagrama de mando y potencia	4. Diagrama de flujo 5. Diagrama P&ID 6. Diagrama de lazo
Evaluación física y económica del concepto	Equivalente a	Selección de la instrumentación Selección del elemento patrón Selección del controlador	7. Selección de la instrumentación 8. Diagrama de mando y potencia 9. Selección del elemento patrón 10. Selección del controlador
Diseño de detalle	Equivalente a	Diseño de accesorios Diseño de estructura física	11. Diseño de accesorios 12. Diseño de estructura física
Mejora del producto			
Generación de documentación final			
Fabricación y ensamblaje	Equivalente a	Ensamble	13. Ensamble

Fuente autor

Una vez hecha la correspondencia y la jerarquización de los requerimientos para el diseño de bancos de pruebas, se tiene el orden de ejecución de los requerimientos de un método para el diseño de bancos de pruebas en ambientes de automatización. En este sentido se presenta a continuación una descripción de las funciones y características de cada uno de los requerimientos del método:

2.1 Descripción general del banco de pruebas

En la descripción general del banco de pruebas, se especifica qué tipo de banco de pruebas se quiere diseñar y/o implementar, si es para actividades de calibración, control, o si es de doble propósito. Si el banco es para control o mixto, se establece que el tipo de lazo de control se tendrán en él BP, ya sea lazo abierto, lazo cerrado, o ambos. Además, se especifica el esquema de control que tendrá el banco, que puede ser feedback, feedforward, cascada, multivariable u otros que conozca el usuario.

2.2 Selección del método de calibración

Si el banco de pruebas tiene como finalidad, el realizar procesos de calibración, se establece el tipo de instrumentación a calibrar, y se instauran los criterios de selección de esta, que permitan la elección más adecuada entre las diversas alternativas de la instrumentación. Al definir cada criterio de selección, se le asigna un rango ideal en referencia a los

requerimientos del banco de pruebas o preferencias del usuario, y con base a la diferencia entre el rango ideal y el rango real de cada instrumento, se descartan alternativas en el proceso de selección.

Luego se procede a identificar qué tipo de método de calibración se utilizará en los instrumentos seleccionados, que puede ser un método no normalizado, normalizado, o un método desarrollado por el laboratorio. A continuación, se describen cada uno de estos métodos.

Método normalizado: Aquel método de calibración publicado en normas internacionales, nacionales o regionales [16].

Método no normalizado: Aquel método de calibración desarrollado y validado antes de su uso, pero que aún no se encuentra publicado en normas internacionales, nacionales o regionales [16].

Método desarrollado por el laboratorio: Aquel método de calibración desarrollado por el laboratorio, para su propio uso [16].

2.3 Requerimientos de funcionalidad

En los requerimientos de funcionalidad, se establece los requerimientos básicos de operación del banco de pruebas, como:

- Condiciones ambientales, si estas afectan la transmisión, recepción o el valor de los datos de la instrumentación del banco de pruebas, se establecen los rangos permisibles de cada una de estas, como lo sugiere la norma técnica colombiana NTC ISO/IEC 17025 [16].
- Modelo físico, se identifica la célula de proceso, unidades, módulos de equipo y control que tendrá el banco de pruebas, con base al modelo físico del estándar ANSI/ISA 88 Parte 1 [19], que permita identificar y jerarquizar los equipos e instrumentación básica de operación del banco.

2.4 Diagrama de flujo

Se desarrolla el diagrama de flujo de proceso (PDF) con base al modelo físico del banco de pruebas, el cual debe representar gráficamente la instrumentación y equipos involucrados en la manipulación y conversión de materias primas en el BP, de tal manera de obtener un PDF sencillo para su fácil interpretación [20]. Cabe agregar que en el levantamiento del diagrama de flujo, se sugiere utilizar normas o estándares que permitan asignarle un código representación gráfica a la instrumentación y equipos presentes en el banco de pruebas, como el estándar internacional ANSI / ISA S5.1 [21].

En el proceso de desarrollo del PDF, primero se identifica instrumentación, se le asigna una *TAG* o código alfanumérico de identificación, y luego se procede con el levantamiento del diagrama de flujo de proceso.

2.5 Diagrama P&ID

Se realiza el diagrama de instrumentación y proceso (P&ID) del banco, donde se representa gráficamente la instrumentación involucrada en los procesos de control y sus conexiones básicas, donde se sugiere utilizar los estándares internacionales ANSI / ISA S5.3 [22] y ANSI / ISA S5.1 [21].

En el desarrollo del diagrama, primero se identifica las variables controladas y manipuladas, y se le asigna un rango a cada una de estas; se elige el escenario de automatización (PLC, controlador industrial, tarjeta de adquisición de datos u otros); se identifica la instrumentación y se le asigna una *TAG* o código alfanumérico de identificación; y finalmente se realiza el levantamiento del diagrama P&ID del banco de pruebas, con base a esta información.

2.6 Diagrama de lazo

Se realiza el diagrama de lazo, dando a conocer la información necesaria para la instalación, comprobación, puesta en marcha y mantenimiento de la instrumentación, lo que facilita la reducción de costos, la integridad del lazo, la exactitud y un mantenimiento más fácil del banco de pruebas [21]. En lo cual se sugiere utilizar la representación gráfica de los estándares internacionales ANSI / ISA S5.3 [22], ANSI / ISA S5.1 [21] y ANSI / ISA S5.4 [23].

Al tener presente la información del P&ID como la identificación alfanumérica, rango de entrada y salida de cada instrumento, se identifica la localización de estos (panel o campo), y sus borneras correspondientes. Luego se procede con el levantamiento del diagrama de lazo.

2.7 Selección de instrumentación

Al tener realizado los diagramas de lazo y P&ID del banco de pruebas, se procede a seleccionar la instrumentación requerida por el banco, para lo cual se tiene como referencia la técnica de selección de instrumentación utilizada en [24]. Cuya técnica de selección, consiste en definir unos criterios de selección, asignarle un puntaje a cada uno de estos y sumar todos los puntajes, seleccionando el instrumento que mayor puntaje presente, como se aprecia en la tabla 12.

Tabla 12 Técnica de selección de instrumentación utilizada en [24]

Criterio de selección 1	Puntaje	Criterio de selección 2	Puntaje	Criterio de selección 3	Puntaje
Características	Puntaje de las características del criterio de selección 1	Subcriterio de selección 1	Puntaje de subcriterio de selección	Características	Puntaje de las características del criterio de selección 3
		Subcriterio de selección 2	Puntaje de subcriterio de selección		
		Subcriterio de selección 3	Puntaje de subcriterio de selección		
Subtotal		Subtotal		Subtotal	
				Puntaje total	

Fuente [24]

El proceso de selección de la instrumentación del banco de pruebas, parte de unos cambios realizados a la técnica de [24], los cuales se aprecian en el Anexo A, donde primero se identifica los instrumentos a seleccionar, y se definen criterios de selección únicos para cada uno de estos. Al definir cada criterio de selección, se le asigna un rango ideal en referencia a los requerimientos del banco de pruebas o preferencias del usuario, y con base a la diferencia entre el rango real e ideal de cada instrumento, se descartan alternativas en el proceso de selección.

2.8 Diagrama de mando y potencia

Si en la selección de la instrumentación se encuentran motores, se procede a realizar el diagrama de mando y potencia, teniendo en cuenta las características del motor, lógica de control, protecciones y dispositivos de cambio de giro que se le prestaran a estos, como lo sugieren en [25].

En el desarrollo del diagrama primero se establece el tipo (monofásica o trifásica) y rango de alimentación (110 VAC, 220 VAC, etc.), dispositivos de cambio de giro, protecciones térmicas y contra sobretensión. Luego se procede con el levantamiento del diagrama de mando y potencia con base a esta información, y finalmente se selecciona los dispositivos de cambio de giro y/o protección con la técnica de selección, utilizada en la selección de la instrumentación del banco de pruebas.

2.9 Selección del elemento patrón

En caso de haber seleccionado instrumentación a calibrar, donde esta necesite de un elemento patrón para sus procesos de calibración, se realiza la selección de este con base en la técnica utilizada en la selección de la instrumentación.

En la selección del elemento patrón, primero se identifica la instrumentación a seleccionar, y se definen criterios de selección únicos para esta. Al definir cada criterio de selección, se le asigna un rango ideal en referencia a los requerimientos del banco de pruebas o preferencias del usuario, y con base a la diferencia entre el rango ideal y el rango real de cada instrumento, se descartan alternativas en el proceso de selección.

2.10 Selección del controlador

Al tener realizado el diagrama de lazo y la selección de la instrumentación necesaria para el banco de pruebas, se procede a seleccionar el controlador con base a esta información, utilizando en este proceso, la técnica presente en la selección de la instrumentación. Cabe aclarar, que la selección del controlador solo aplica si el banco de pruebas involucra procesos de control.

En el proceso de selección del controlador, se tiene en cuenta: el número de entradas y salidas tanto analógicas como discretas, mostradas en el diagrama de lazo; el uso de manuales de usuario; y características tanto cualitativas como cuantitativas del controlador que sean necesarias, por ejemplo: el tiempo de procesamiento del controlador y el modelo dinámico del sistema del banco de pruebas. Con cuya información se procede a optar por el controlador, que más se adapte a las necesidades presentes en el banco.

2.11 Diseño de accesorios

Con la selección total de la instrumentación del banco de pruebas, se determina si es necesario el uso de accesorios para algún instrumento. De ser así, se realiza el diseño de estos, en lo cual se sugiere hacer uso de herramientas profesionales de diseño CAD.

2.12 Diseño de estructura física

Al tener seleccionada la instrumentación del banco de pruebas, se diseña la estructura del banco, con base a los diagramas (flujo, P&ID, lazo, mando y potencia) e instrumentación de este, en lo cual se sugiere utilizar herramientas profesionales de diseño CAD.

2.13 Ensamble

Por último, se cotiza el banco de pruebas en su totalidad, para la posterior adquisición de los componentes de este, y con ello realizar el ensamble del banco de pruebas, en el cual se recomienda: primero realizar el ensamble de la estructura principal, luego instalar instrumentación, accesorios, y por último elaborar las conexiones entre los dispositivos, utilizando los diagramas de lazo realizados. Además, se recomienda efectuar pruebas de funcionalidad al tener completamente instalado el banco de pruebas, con el fin de detectar irregularidades en el funcionamiento de este, y realizar las correcciones pertinentes.

De esta manera se dan a conocer los requerimientos básicos en el diseño de bancos de pruebas, y el orden de realización de estos, los cuales constituyen un método para el diseño de banco de pruebas en ambientes de automatización (ver Anexo A), que se puede adaptar y moldear de acuerdo con las particularidades y necesidades de cada aplicación. El cual se procede a implementarlo en el diseño de un banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión en la Universidad del Cauca, como se aprecia en el próximo capítulo.

CAPITULO III

APLICACIÓN DE METODO PARA DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS DE MEDICION DE FLUJO POR DIFERENCIA DE PRESION

Resumen: En el presente capítulo, se implementa la guía de diseño (Anexo A) de bancos de pruebas en ambientes de automatización propuesta, en el diseño de un banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión, en el laboratorio de control de procesos de la Universidad del Cauca.

Al tener concluida la guía para diseño de bancos de pruebas en ambientes de automatización con base al método propuesto, se presenta el caso de aplicación de esta, en el rediseño de la planta de nivel del laboratorio de control de procesos de la Universidad del Cauca. La cual permite realizar procesos de control feedback de nivel, flujo, y un control en cascada, con un lazo interno de flujo y un externo de nivel. Sin embargo, se plantea el rediseño de la planta con el fin de agregar nuevas funcionalidades a esta como, control discreto e híbrido de nivel, calibración de instrumentos e integración con otras plantas, cuya comparación de características se muestran en la tabla 13.

Tabla 13 Comparación entre planta de nivel actual y futura

Características	Planta de nivel actual	Planta de nivel futura
Control feedback de nivel	Si (2 lazos)	Si (2 lazos)
Control feedback de flujo	Si (1 lazo)	Si (2 lazos)
Control en cascada de nivel	Si (1 lazo)	Si (2 lazos)
Control discreto de nivel	No	Si (2 lazos)
Control híbrido de nivel (discreto y feedback)	No	Si
Interfaz HMI de monitoreo	No	Si
Práctica de calibración de sensor ultrasónico de nivel	No	Si
Práctica de calibración de transmisor de flujo por diferencia de presión	No	Si
Integración con otras plantas del laboratorio	No	Si

Fuente autor

En el proceso de rediseño de la planta de nivel, con la finalidad de obtener un banco de pruebas de medición de flujo (ver Anexo B), se siguieron los parámetros de la guía de diseño propuesta (ver Anexo A) paso por paso, cumpliendo cada requerimiento de esta, a excepción de la selección del elemento patrón, puesto que se determinó en la instrumentación seleccionada para los procesos de calibración, la no relevancia del contar con un elemento patrón, dado que el fabricante propone realizar mantenimiento en los equipos en periodos de 10 años. Cabe agregar que se pueden realizar procesos de ajustes, asignación de parámetros y autocomprobación en la instrumentación a calibrar, sin la necesidad de contar con un elemento patrón.

En conclusión, el banco de pruebas de medición de flujo acoge casi en su totalidad los requerimientos de diseño de la guía propuesta (ver Tabla 14), dada la no inclusión de un elemento patrón para la calibración de la instrumentación del banco.

Tabla 14 Requerimientos de diseño del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión

Requerimientos de diseño	Acoge	No acoge
1. Descripción general del banco de pruebas	X	
2. Selección del método de calibración	X	
3. Requerimientos de funcionalidad	X	
4. Diagrama de flujo	X	
5. Diagrama P&ID	X	
6. Diagrama de lazo	X	
7. Diagrama de mando y potencia	X	
8. Selección de instrumentación	X	
9. Selección del elemento patrón		X
10. Selección del controlador	X	
11. Diseño de accesorios	X	
12. Diseño de estructura física	X	
13. Ensamble	X	

Fuente autor

En este sentido, se presenta a continuación una breve descripción de cada uno de los procesos que se llevaron a cabo en los requerimientos, en el proceso de implementación de la guía diseño del método propuesto (ver Anexo B), en el diseño del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión.

3.1 Descripción general del banco de pruebas

En primera instancia, en el diseño del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión, se realiza una descripción superficial del banco, dando a conocer las siguientes funcionalidades que permitirá este:

- Llevar a cabo prácticas de control continuo de nivel, flujo, y control discreto de nivel.
- Implementar técnicas de control feedback, cascada y ON/OFF.
- Realizar prácticas de calibración de transmisores de flujo por diferencia de presión y sensores ultrasónicos de nivel.

3.2 Selección del método de calibración

Luego se seleccionó como instrumentación a calibrar el transmisor de flujo por diferencia de presión DPHarp EJA-110 de Yokogawa Corporation, con la finalidad de medir flujo a través del diferencial de presión en una placa de orificio. En el proceso de selección del transmisor se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Exactitud
- Rango de operación
- Salida
- Alimentación

Posteriormente se selecciona el método de calibración del instrumento, optando por un método no normalizado brindado por el fabricante, el cual asegura una periodicidad de realización de este, en intervalos de 10 años.

3.3 Requerimientos de funcionalidad

Puesto que las variables en el control de nivel y flujo del banco de pruebas, no se ven afectadas drásticamente por la humedad y temperatura del laboratorio de control de procesos, de la facultad de ingeniería en electrónica y telecomunicaciones, no se tienen en cuenta estas en la implementación del banco. Dado que la norma técnica colombiana NTC ISO /IEC 17025 [16], sugiere tomar medidas de protección de presentarse el caso, donde las condiciones ambientales afectan el desempeño del banco de pruebas.

Por otro lado, se elaboró el modelo físico del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión (ver Tabla 15), con base al estándar ANSI/ISA 88 Parte 1 [19]. Ello con la finalidad de identificar y jerarquizar los equipos básicos del banco, identificando en este:

- Célula de proceso
- Unidad
- Módulos de equipo
- Módulos de control

Tabla 15 Modelo físico del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión

Modelo físico ISA 88			
Célula de proceso	Unidad	Módulo de equipo	Módulo de control
Laboratorio de control de procesos	Almacenamiento	Módulo de control de flujo	Servoválvula
			Válvula solenoide
			Transmisor de flujo por diferencia de presión
			Bomba
		Módulo de control de nivel	Servoválvula
			Sensor ultrasónico de nivel
			Válvula solenoide
			Bomba

3.4 Diagrama de flujo

Al tener definido el modelo físico y la descripción general del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión, se procede con la elaboración del diagrama de flujo del banco. Donde:

- Se identificó la instrumentación básica del banco, que interactuara directamente con el flujo de agua.
- Luego se le asignó una identificación alfanumérica a la instrumentación, con base al estándar internacional ANSI / ISA S5.1 [21].
- Finalmente, se elaboró el diagrama de flujo del banco de pruebas (ver Figura 2), basándose en la representación gráfica del estándar ANSI/ISA S5.1 [21].

En este sentido, se aprecia un tanque pulmón TK3 en el diagrama de flujo del banco (ver Figura 2), que provee de líquido a los tanques TK1 y TK2, para procesos de control de nivel en estos, en los cuales se pueden introducir disturbios de nivel, al activar las válvulas solenoides (SV1, SV2, y SV3), y manipular su flujo de alimentación por medio de una servoválvula (FCV). Además, se aprecia en el diagrama un tubo Venturi que permite medir el flujo de líquido, al estimar con el transmisor de flujo (FIT) el diferencial de presión creado en sus extremos.

3.5 Diagrama P&ID

Al identificar los requerimientos de funcionalidad y realizar el diagrama de flujo del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión, se facilita la identificación de las variables controladas, manipuladas, e instrumentación, con cuya información se procede al levantamiento del diagrama de P&ID (ver Figura 3) del banco, donde se representa

gráficamente las conexiones físicas e instrumentación involucrada en los procesos de control, con base al estándar internacional ANSI / ISA S5.3 [22].

En el diagrama P&ID del banco de pruebas (ver Figura 3), se aprecian las conexiones de la instrumentación involucrada en los procesos de control, y los esquemas de control que permite realizar el banco, como: control feedback (nivel y flujo), cascada (lazo interno de flujo y lazo externo de nivel), y un control discreto, al tener switches de nivel bajos y altos en los tanques de almacenamiento (tanque TK1 y tanque TK2).

3.6 Diagrama de lazo

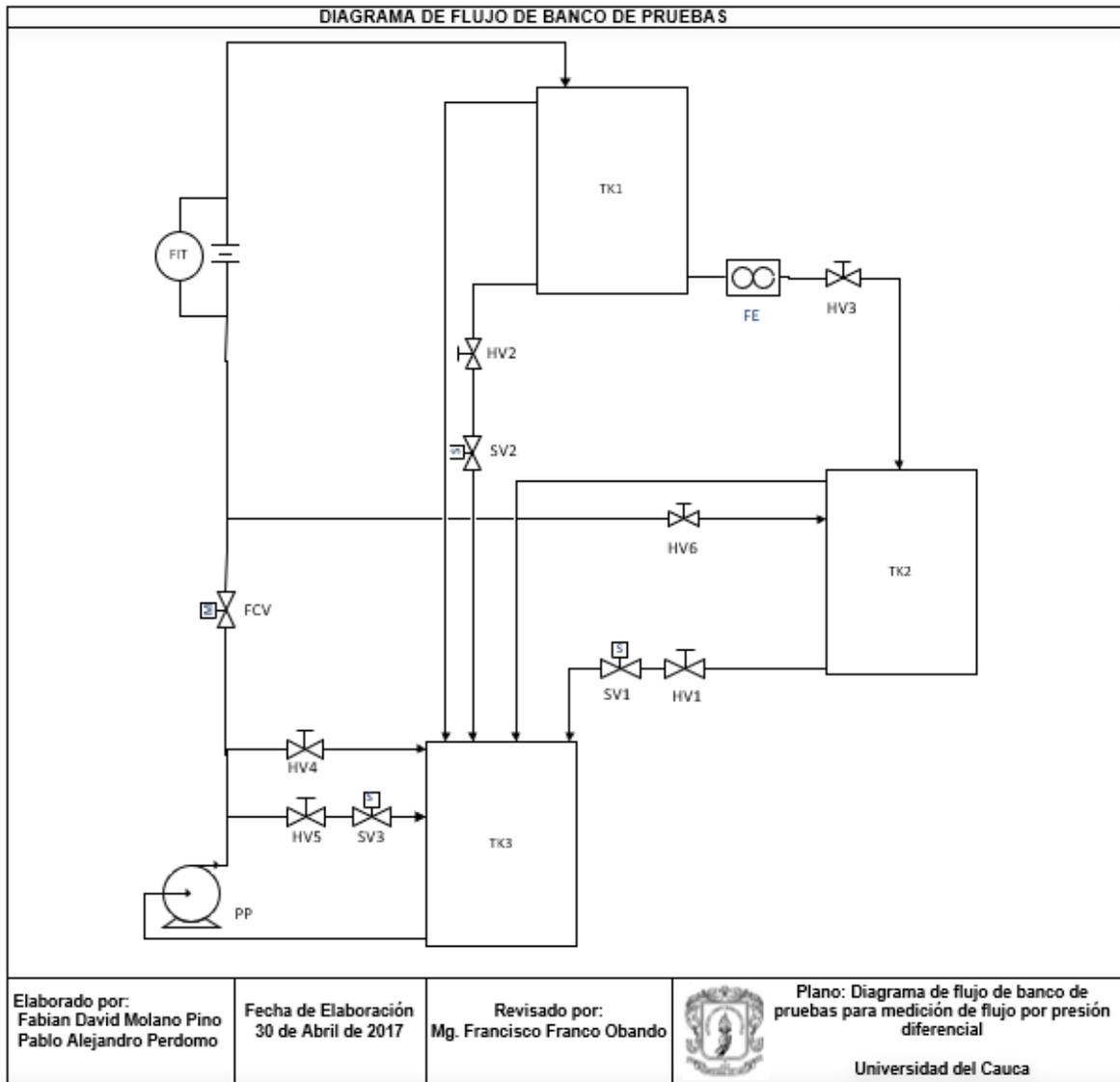
Se determina para cada instrumento del banco de pruebas, previo a la elaboración del diagrama de lazo, las siguientes características:

- Localización, panel o campo.
- TAG (identificación alfanumérica).
- Rango de señal de entrada.
- Rango de señal de salida.

Una vez definida las características anteriores en la instrumentación, se procedió con el levantamiento del diagrama de lazo del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión (ver Figura 4 - 5), dándose a conocer las conexiones en la instrumentación que se tendrá en el banco, con base a la representación gráfica del estándar internacional ANSI / ISA S5.4 [23].

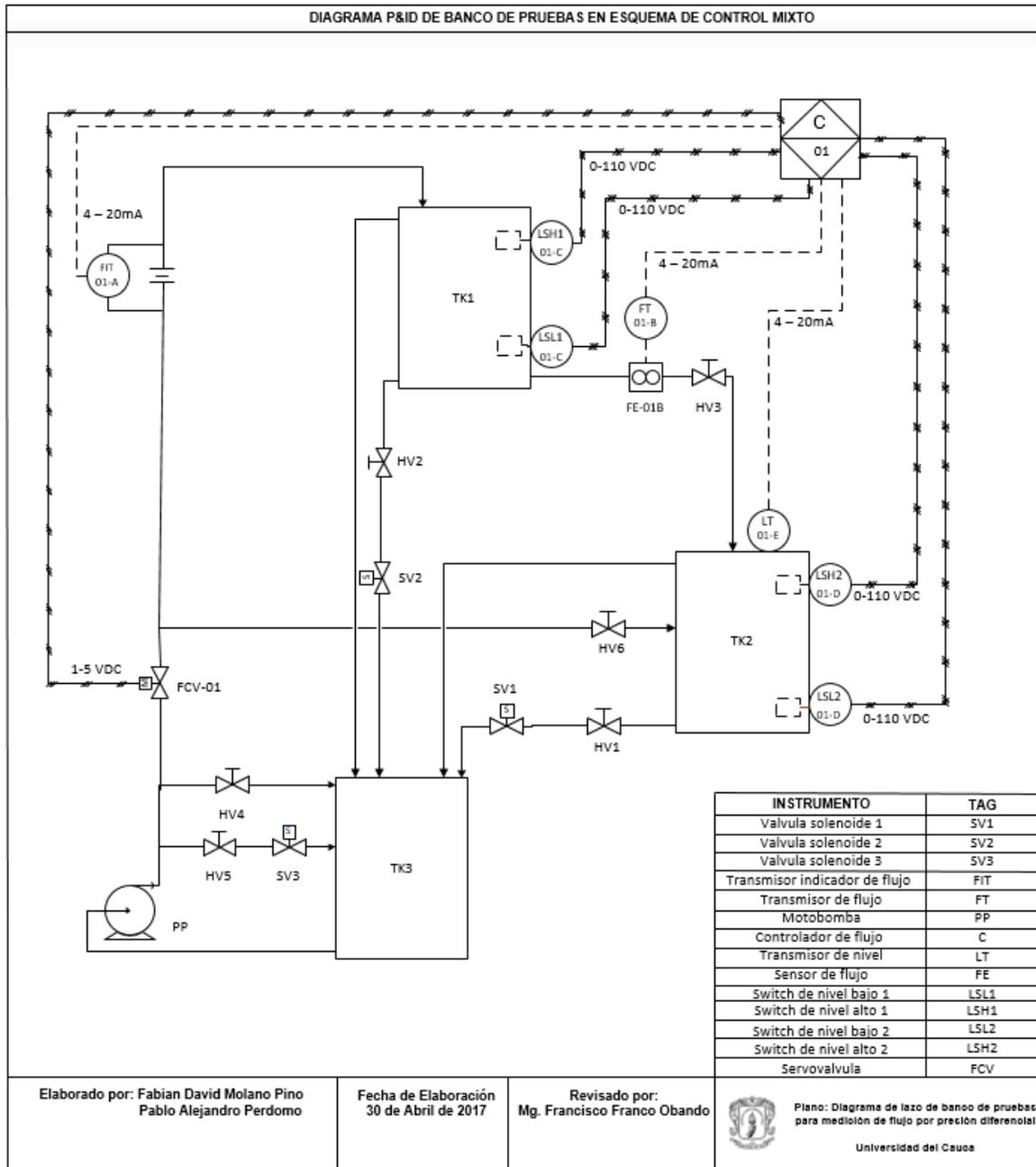
En el diagrama de lazo del banco de pruebas (ver Figura 4-5), se aprecian las conexiones, localización, borneras, rango y tipo de señales de la instrumentación, además de los esquemas de control feedback (nivel y flujo), cascada (nivel) y ON/OFF (nivel) que permite el banco.

Figura 2 Diagrama de flujo del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión



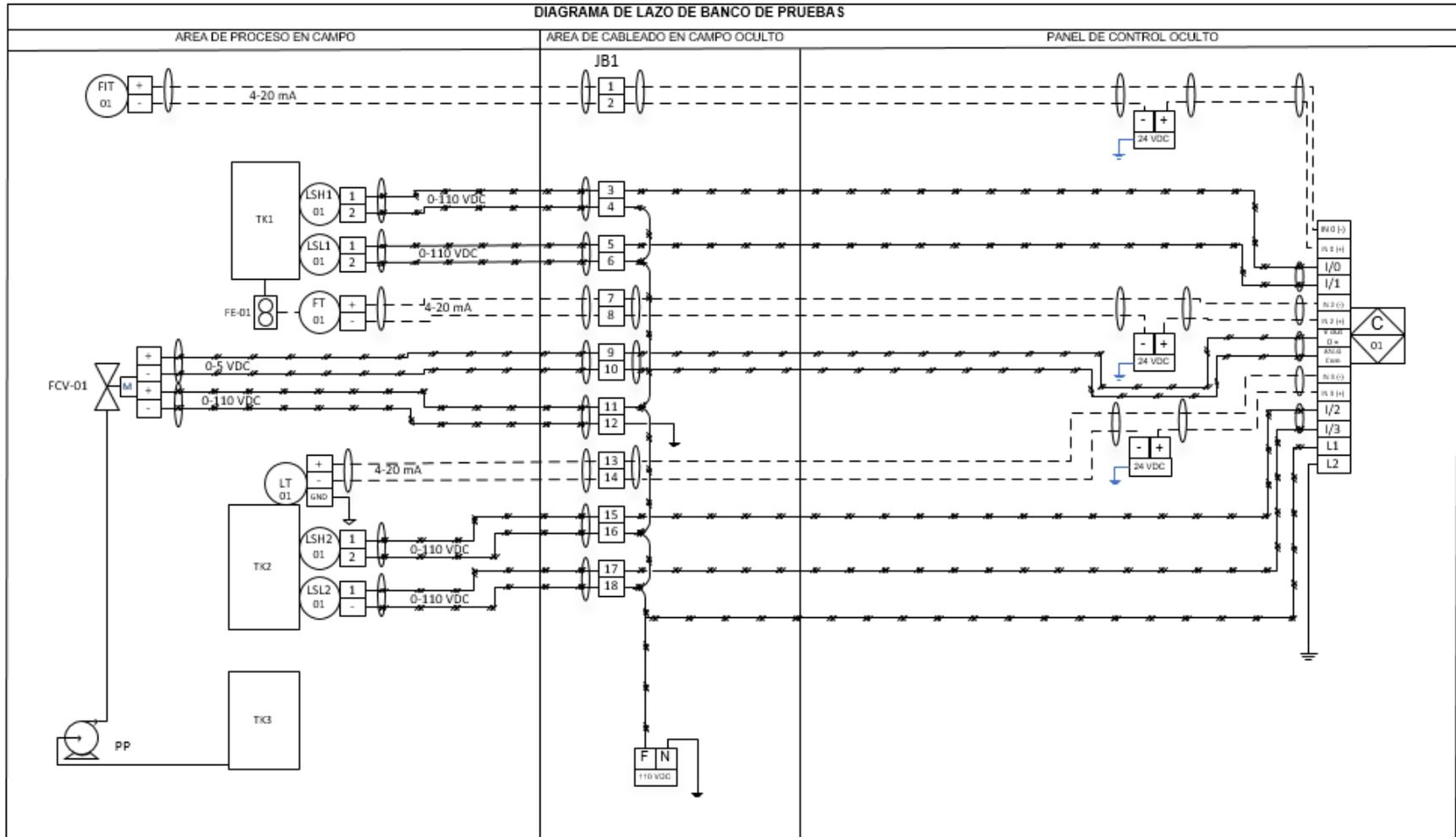
Fuente autor

Figura 3 Diagrama P&ID del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión.



Este diagrama P&ID, muestra las conexiones de cada uno de los elementos de control hacia el controlador, de manera que es posible decir que este diagrama resume los diferentes esquemas de control mencionados anteriormente, que permite realizar la planta de tanques en serie.

Figura 4 Diagrama de lazo del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión



Fuente autor

Figura 5 Instrumentos del diagrama de lazo del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión

INSTRUMENTO	TAG	SEÑAL DE ENTRADA	SEÑAL DE SALIDA	RANGO DE TRABAJO
Servovalvula	FCV	0-5 VDC	0 – 100%	4 – 20mA
Transmisor indicador de flujo	FIT	0-10 kPa	4 – 20mA	0-10 kPa
Transmisor de flujo	FT	4 – 20mA	4 – 20mA	4 – 20mA
Motobomba	PP	0 – 110 VDC	0 – 6.5 Gpm	0 – 110 VDC
Controlador	C	--	--	--
Transmisor de nivel	LT	10 – 300 cm	4 – 20mA	10 – 300 cm
Sensor de flujo	FE	0.5 – 6 m/s	4 – 20mA	0.5 – 6 m/s
Switch de nivel bajo 1	LSL1	Posición ON/OFF	0 – 110 VDC	Posición ON/OFF
Switch de nivel alto 1	LSH1	Posición ON/OFF	0 – 110 VDC	Posición ON/OFF
Switch de nivel bajo 2	LSL2	Posición ON/OFF	0 – 110 VDC	Posición ON/OFF
Switch de nivel alto 2	LSH2	Posición ON/OFF	0 – 110 VDC	Posición ON/OFF
Elaborado por: Fabian David Molano Pino Pablo Alejandro Perdomo		Fecha de Elaboración 27 de Mayo de 2017	Revisado por: Mg. Francisco Franco Obando	 Plano: Diagrama de lazo de banco de pruebas para medición de flujo por presión diferencial Universidad del Cauca

Fuente autor

3.7 Selección de instrumentación

Luego de identificar la instrumentación y sus rangos de operación, con la realización de los diagramas P&ID y lazo del banco de pruebas, se procede a realizar cálculos necesarios, para dimensionar los criterios de selección de la instrumentación. En el presente caso del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión, no es necesario el realizar tales cálculos, debido a que se tomaron las dimensiones de la tubería e instrumentación que poseía la anterior planta de nivel. Por tal se procede solo a listarla para su posterior selección, ingresando cada instrumento en la tabla 16.

Tabla 16 Instrumentos a seleccionar – Banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión.

Instrumentos a seleccionar
Motobomba
Válvula solenoide
Servoválvula
Tanques de almacenamiento TK1 y TK2
Tanque de almacenamiento TK3
Sensor de ultrasónido de nivel
Sensor de flujo
Indicador transmisor de flujo

El proceso de selección de la instrumentación identificada (ver Tabla 16) en el banco de pruebas, se llevó a cabo bajo el siguiente procedimiento (llenando la Tabla 17), tomando como ejemplo el proceso de selección de una válvula solenoide:

- I. Se definen los criterios de selección de la válvula, siendo estos el voltaje de operación, dimensiones, función, y precio.
- II. Se asigna a cada criterio de selección un rango ideal.
- III. Se asigna un peso entre 1 y 5 a cada criterio de selección, de acuerdo con el grado de importancia (siendo 1 menor importancia y 5 mayor importancia).
- IV. Al tener identificados los criterios de selección y de asignarles un rango ideal y un peso, se realiza un sondeo de las alternativas de la válvula.
- V. Se define el rango real para cada criterio de selección de la válvula.
- VI. Se define un porcentaje de aceptación, con base a la diferencia entre el rango real e ideal de los criterios de selección de la válvula, siendo 100% una diferencia de cero entre estos rangos, y 0% una diferencia muy grande.
- VII. Se asigna la referencia y proveedor de la válvula.
- VIII. Se ingresa una imagen de la válvula, lo cual es opcional.
- IX. Se repiten los anteriores ocho pasos con las tres válvulas solenoides que representan una alternativa de selección (ver tablas 17, 18 y 19).

Tabla 17 Válvula solenoide N°1 a seleccionar para el banco de pruebas

Crterios de seleccin	Rango ideal	Rango real	% de aceptacin	Peso	% * Peso
Voltaje de operacin	120 VDC	12-24VDC	70%	4	2,8
Dimensiones	20*20*20 cm	9*7*5 cm	70%	3	2,1
Funcin	NC	NC	100%	5	5
Precio	50.000,00 COP	70.446,75 COP	90%	3	2,7
				Peso total	12,6
Referencia	Válvula solenoide CEME 5531-04				
Proveedor	Yong Chuang				
N°	1				
					

Fuente autor

Tabla 18 Válvula solenoide N°2 a seleccionar para el banco de pruebas

Crterios de seleccin	Rango ideal	Rango real	% de aceptacin	Peso	% * Peso
Voltaje de operacin	120 VDC	10-40 VDC	82%	4	3,28
Dimensiones	20*20*20 cm	8*8*5 cm	80%	3	2,4
Funcin	NC	NC	100%	5	5
Precio	50.000,00 COP	86.781,32 COP	80%	3	2,4
				Peso total	13,08
Referencia	Válvula solenoide				
Proveedor	Haodong				
N°	2				
					

Tabla 19 Válvula solenoide N°3 a seleccionar para el banco de pruebas

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Voltaje de operación	120 VDC	110 VAC	100%	4	4
Dimensiones	20*20*20 cm	7*5,3*8,2 cm	100%	3	3
Función	NC	NC	100%	5	5
Precio	50.000,00 COP	86.927,56 COP	80%	3	2,4
Peso total					14,4
Referencia	Solenoid valve 2W160-15				
Proveedor	Pneumission				
N°	3				



Fuente autor

- X. Finalmente, se marca con una X en la tabla 20 la válvula solenoide que mayor peso total presente.

Tabla 20 Selección del instrumento – Válvula solenoide

Selección del instrumento		
N° Instrumento	Peso total	Marque con una X
1	12,6	
2	13,08	
3	14,4	X

Este proceso de selección se lleva a cabo con cada instrumento definido en la tabla 16, el cual se puede apreciar en mayor detalle en el Anexo B.

3.8 Diagrama de mando y potencia

Al seleccionar la instrumentación del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión, se aprecia que se cuenta con una bomba, que presenta una alimentación a 110 VAC y una potencia de 0,5 hp. Por lo cual se indaga si es necesario dispositivos de protección y cambio de giro para la bomba, de acuerdo con los requerimientos del banco de pruebas, por lo cual se definió que:

- I. No se requiere cambio de giro en la bomba, puesto que no es necesario en el bombeo de líquido del banco de pruebas.
- II. Se requiere de protección contra sobrecargas mayores a 5.5 A, la cual es la corriente de servicio de la bomba.

Con las definiciones anteriores, se procedió a seleccionar un contactor para protección contra sobrecargas mayores a 5.5 A, con base a la técnica utilizada en la selección de la instrumentación, gracias a la cual se obtuvo como elemento de protección un contactor CJX2 Series 09 de *AC Magnetic Contactor* (ver Anexo B), al cual se le acopló un relé térmico regulable CHNT NR2 6.0 con un rango de regulación de sobrecarga de 4 a 6 A.

Una vez seleccionada la bomba y los elementos de protección, se llevó a cabo el levantamiento del diagrama de mando y potencia de la bomba (ver Figura 6), definiendo en este:

- Lógica de encendido y apagado.
- Protección contra sobrecargas y sobretensión.

3.9 Selección del elemento patrón

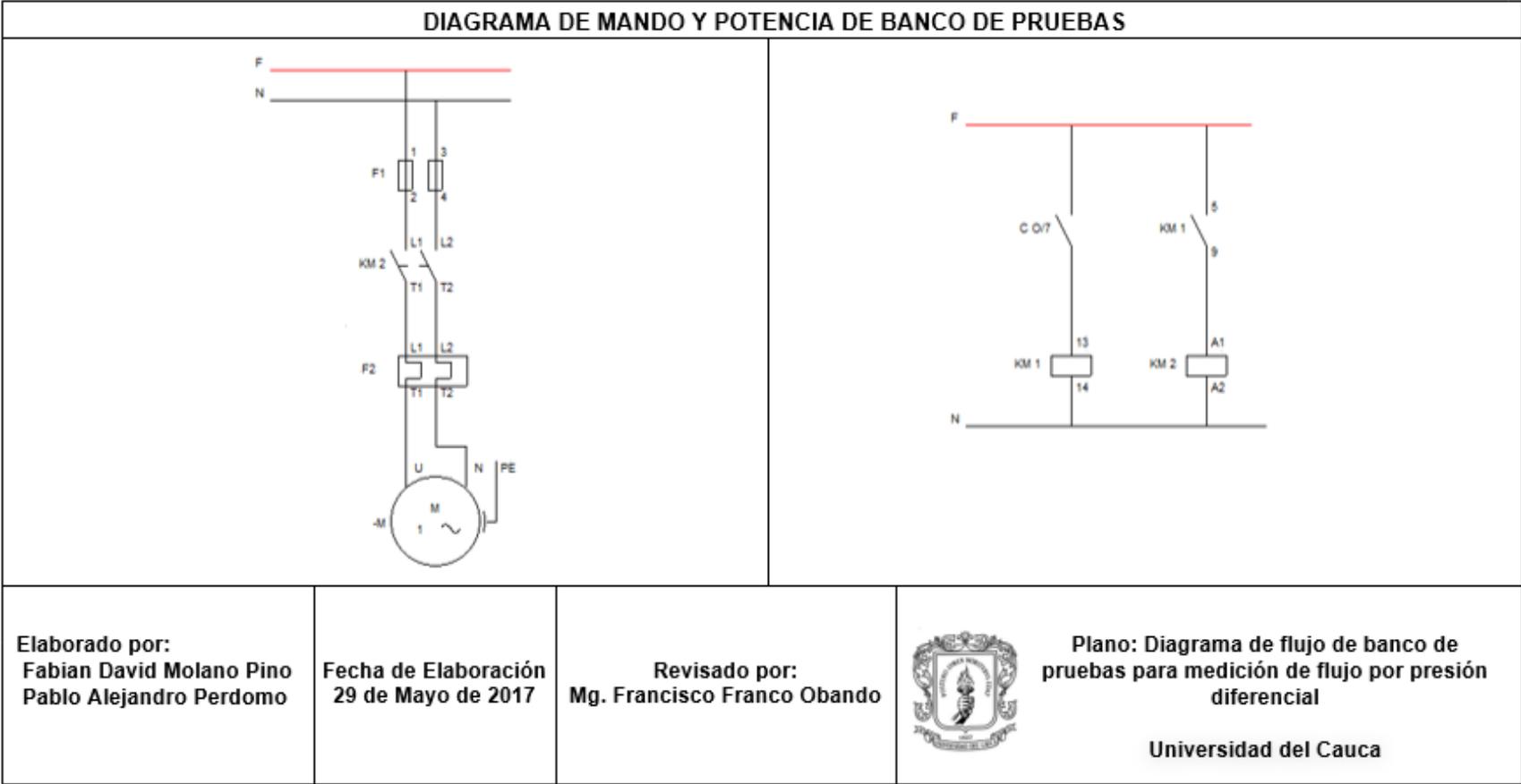
No se cuenta con un elemento patrón para realizar las calibraciones del transmisor de flujo por diferencia de presión DP Harp EJA 110 A de Yokogawa, puesto que el fabricante sugiere el mantenimiento de este en periodos a intervalos de 10 años, asegurando una estabilidad a largo plazo del 0.1% en las mediciones [27]. Sin embargo, se pueden realizar ajustes, cambios de parámetros, supervisión y autocomprobación en el transmisor de flujo sin la necesidad de un elemento patrón, por medio de una terminal portátil BT200 *Brain Terminal*, que utiliza líneas DC de 4 a 20 mA para conectarse a instrumentos que soporten comunicación *Brain*. La línea de comunicación entre el transmisor y el BT200, puede ser superpuesta por una señal de comunicación, con el fin de lograr una comunicación bidireccional [28], en el sistema de comunicación maestro esclavo, siendo la BT200 el maestro.

3.10 Selección del controlador

Una vez realizado el diagrama de lazo y la selección de instrumentación del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión, se pueden conocer los siguientes requerimientos del banco:

- Número de entradas y salidas discretas.
- Número de entradas y salidas analógicas.
- Velocidad del procesador.

Figura 6 Diagrama de mando y potencia – Bomba del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión



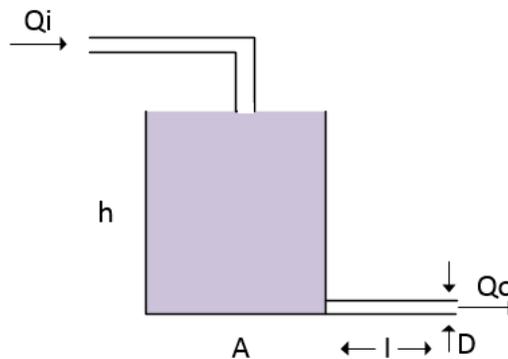
Fuente autor

Para determinar la velocidad del procesador del controlador, se elabora el balance de masa y energía del tanque N°1 del banco de pruebas (ver Figura 7), con la finalidad de determinar el τ del sistema.

Para hallar el balance de masa del tanque, primero se identifican entradas y salidas de este, como se aprecia en la figura 7. Donde:

- Qi: flujo volumétrico de entrada
- Qo: flujo volumétrico de salida
- h: Nivel del líquido del tanque
- D: Diámetro del tubo de salida
- S: área de la sección del tubo de salida
- p: densidad del líquido
- A: área de la sección del tanque
- l: longitud del tubo en la salida

Figura 7 Tanque N°1 del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión



Fuente autor

Como el balance de masa, expresa la acumulación de masa en el sistema, en términos del flujo de entrada y salida de este, el balance del tanque se define como:

$$\frac{dm}{dt} = p_1 q_i - p_2 q_o \quad (1)$$

Dado que no hay un cambio en la densidad del líquido durante el proceso, $p_1 = p_2 = p$. La masa acumulada en el tanque se puede expresar como $m = pV$, siendo $V = Ah(t)$ el volumen de líquido almacenado. Por tanto, se tiene:

$$\frac{dm}{dt} = A \frac{dh(t)}{dt} = q_i(t) - q_o(t) \quad (2)$$

La ecuación (2) describe la dinámica del nivel $h(t)$, puesto que qi es conocido y es la entrada del sistema. Falta conocer la relación para qo , la cual se puede hallar mediante un balance de energía.

Puesto que el sistema de nivel del tanque comprende energía cinética ($\frac{1}{2}mv$) y potencial (mgz), el balance de energía queda expresado de la siguiente manera:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{d(\frac{1}{2}mv_1^2 + mgz_1)}{dt} - \frac{d(\frac{1}{2}mv_2^2 + mgz_2)}{dt} \quad (3)$$

En el sistema en régimen permanente se cumple $\frac{dE}{dt} = 0$, y dado que $v_1 = 0$, la ecuación (3) se expresa como:

$$\frac{1}{2}v_2^2 = g(z_2 - z_1); \rightarrow v_2 = \sqrt{2gh} \quad (4)$$

Teniendo en cuenta que:

$$qo = \frac{dV_2}{dt} = \frac{S * dl}{dt} = Sv_2 \quad (5)$$

Reemplazando (2) en (5) se obtiene que la ecuación dinámica del sistema es:

$$A \frac{dh(t)}{dt} = qi(t) - \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gh(t)} \quad (6)$$

Como no es un sistema lineal por la presencia de una raíz, se procede a linealizar la expresión (6).

$$AsH(s) = Qi(s) - \frac{\pi D^2}{4} \frac{1}{\sqrt{2gh}} H(s) \quad (7)$$

$$AsH(s) + \frac{\pi D^2}{4} \frac{1}{\sqrt{2gh}} H(s) = Qi(s) \quad (8)$$

$$\frac{4A\sqrt{2gh}}{\pi D^2} sH(s) + H(s) = Qi(s) \quad (9)$$

$$\left(\frac{4A\sqrt{2gh}}{\pi D^2} s + 1\right)H(s) = Qi(s) \quad (10)$$

Se despeja H(s):

$$H(s) = \frac{Q_i(s)}{\frac{4A\sqrt{2gh}}{\pi D^2} s + 1} \quad (11)$$

Donde τ es:

$$\tau = \frac{4A\sqrt{2gh}}{\pi D^2} \quad (12)$$

Reemplazando los valores (12):

$$D = 0.127 \text{ metros}$$

$$g = 9.8 \frac{\text{metros}}{\text{segundos}^2}$$

$$h = 0.3 \text{ metros}$$

$$A = \pi 0.15^2 = 0.07 \text{ metros}$$

Se tiene que τ es igual a 13.4 segundos. Por lo cual, se determina que la velocidad de procesamiento del controlador no es relevante, al presentarse un τ de 13.4 segundos en el sistema, en comparación con la velocidad de los controladores actuales, que superan los 70 ciclos por segundo en el muestreo de las señales.

Teniendo en cuenta los requerimientos anteriores y la utilidad de contar con manual de usuario, se incluyen estos en los criterios de selección del controlador. Así, al tener definidos los criterios de selección, se les asigna un peso y un rango ideal para el proceso de selección del controlador, con la misma técnica utilizada en la selección de la instrumentación. Obteniendo en este proceso un controlador PLC Micrologix 1500 de Allen Bradley.

3.11 Diseño de accesorios

En vista que es necesario un panel de control, para la visualización y control del estado de los procesos e instrumentación del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión, se identifica los siguientes dispositivos que se encontraran en el panel:

- Luz piloto, ver 1 en la figura 8 (12 unidades).
- Pulsador, ver 2 en la figura 8 (3 unidades).
- Interruptor, ver 3 en la figura 8 (7 unidades).
- Llave selectora, ver 4 en la figura 8 (2 unidades).
- Indicador transmisor de flujo, ver 5 en la figura 8 (1 unidad).
- Panel View, ver 6 en la figura 8 (1 unidad).

Al tener identificados los dispositivos que se encontraran presentes en el panel, se procede a la elaboración 3D de este (ver Figura 8), por medio de la herramienta de diseño CAD *SolidWorks*.

Figura 8 Panel de control del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión

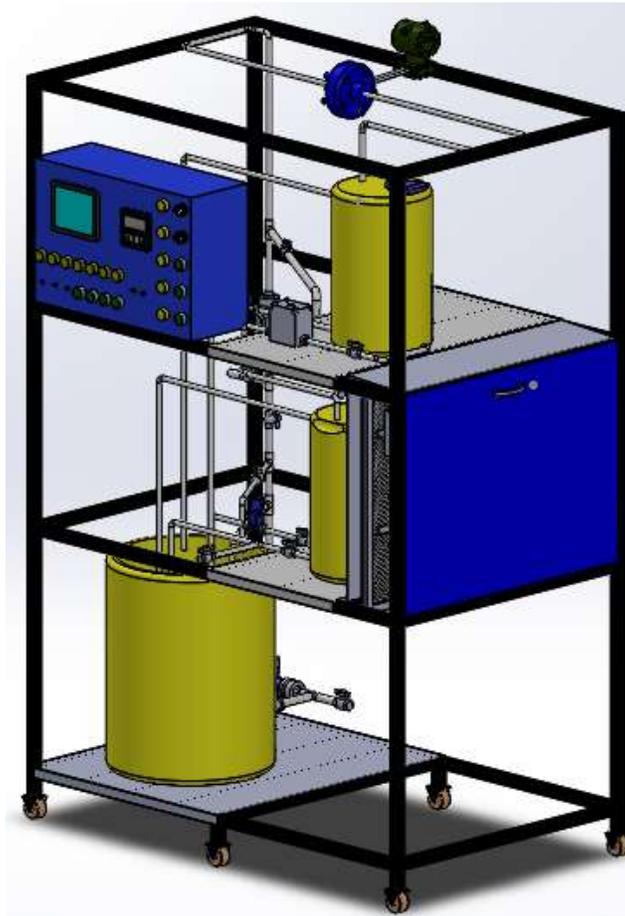


Fuente autor.

3.12 Diseño de estructura física

Al tener seleccionada la instrumentación del banco de pruebas en su totalidad, se conocen las medidas de cada instrumento, con cuyas medidas y la distribución de la instrumentación en los diagramas P&ID y lazo, se elabora el diseño CAD de la estructura física del banco de pruebas (ver Figura 10), por medio de la herramienta de diseño CAD *SolidWorks*.

Figura 9 Estructura física del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión



Fuente autor.

3.13 Ensamble

Con la selección de la instrumentación y el diseño de los accesorios y la estructura física, se procede a realizar la cotización total de banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión, para su posterior adquisición, cuyo valor total para junio de 2017 es de \$ 6'231.627,37 COP.

Al adquirir la instrumentación, accesorios y estructura física, se instala los tanques y tuberías en la estructura, luego se instala las válvulas y los medidores de flujo, se realiza el cableado del banco de pruebas (ver Figura 10), y finalmente se realizan pruebas de operación. Cabe resaltar, que en la etapa de ensamble se realizó el diagrama eléctrico de la planta de tanques en serie (ver Anexo M), con la finalidad de facilitar la conexión e instalación de los equipos e instrumentación.

Figura 10 Estructura física del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión



Fuente autor.

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS

Resumen: *En el presente capítulo se dan a conocer los resultados obtenidos en la implementación de la guía propuesta, en el diseño de un banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión. Además, se presentan los resultados obtenidos en una encuesta realizada a profesionales y estudiantes en el campo de la instrumentación y control, con el objetivo de conocer sus opiniones, respecto a la guía propuesta para el diseño de bancos de pruebas en ambientes de automatización.*

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en pruebas de operación de la instrumentación, presente en el banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión, con la finalidad de dar a conocer el funcionamiento de estos. Además, se presentan los resultados arrojados por las encuestas, previamente realizadas a estudiantes y profesionales en el campo de la instrumentación y control.

4.1 Resultados de implementación de guía propuesta

Al implementar la guía de diseño propuesta (Anexo B), en el diseño de un banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión en el laboratorio de control de procesos de la Universidad del Cauca, se aprecia que este permite realizar procesos de:

- Control feedback de nivel, permitiendo controlar el nivel en los tanques TK1 y TK2, mediante la manipulación de la apertura de la servoválvula FCV, y una realimentación del nivel por medio del transmisor de nivel ultrasónico LT.
- Control discreto de nivel, permitiendo controlar el nivel de los tanques TK1 y TK2 en estados todo o nada, mediante la manipulación de la apertura de la servoválvula FCV, y una realimentación de los estados del nivel por medio de switches de nivel altos y bajos.
- Control feedback de flujo, permitiendo controlar el flujo de los tanques TK1 y TK2, mediante la manipulación de la apertura de la servoválvula FCV, y una realimentación del flujo por medio del sensor de flujo FE y el transmisor de flujo por diferencia de presión FIT.
- Control en cascada, permitiendo controlar tanto el flujo como el nivel en los tanques TK1 y TK2, mediante la manipulación de la apertura de la servoválvula, realimentación del flujo por medio de los sensores de flujo FE y FIT, y realimentación del nivel a través del transmisor de nivel ultrasónico LT.

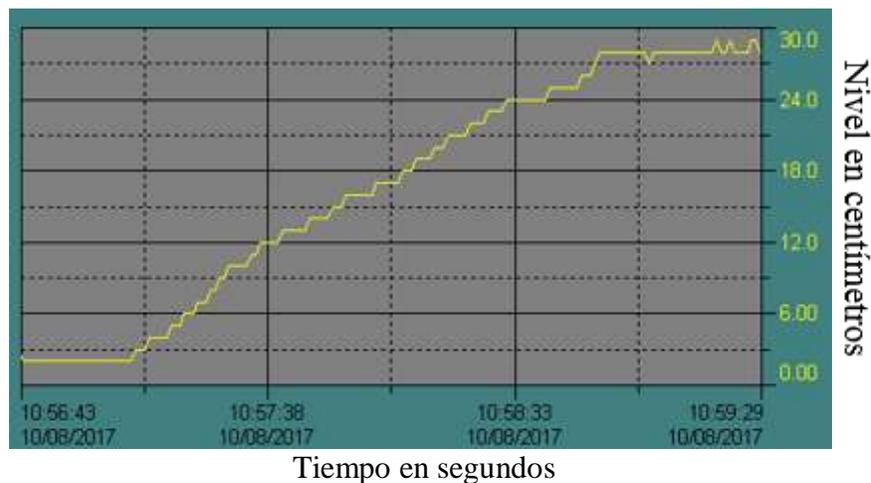
- Práctica de calibración, configurando y ajustando parámetros en el transmisor de flujo por diferencia de presión (ver Anexo E). Cabe agregar, que para la realización de la práctica de calibración, se sugiere en un futuro cambiar la tubería aguas arriba y aguas abajo de la placa de orificio (las cuales tienen actualmente un diámetro de 2 cm) por una tubería que posea un diámetro mayor o igual a 5 cm, puesto que la norma internacional ISO 5167 lo sugiere así, para un cálculo del flujo por diferencial de presión.
- Práctica de calibración del sensor ultrasónico de nivel, configurando y ajustando parámetros del sensor (ver Anexo F).

Por tal motivo, es relevante el realizar pruebas de operación en la instrumentación del banco, con el fin de detectar condiciones irregulares en la instrumentación y sus conexiones, que pueda afectar las prácticas de control y calibración.

A continuación, se presentan por medio de una interfaz gráfica las pruebas de operación realizadas en:

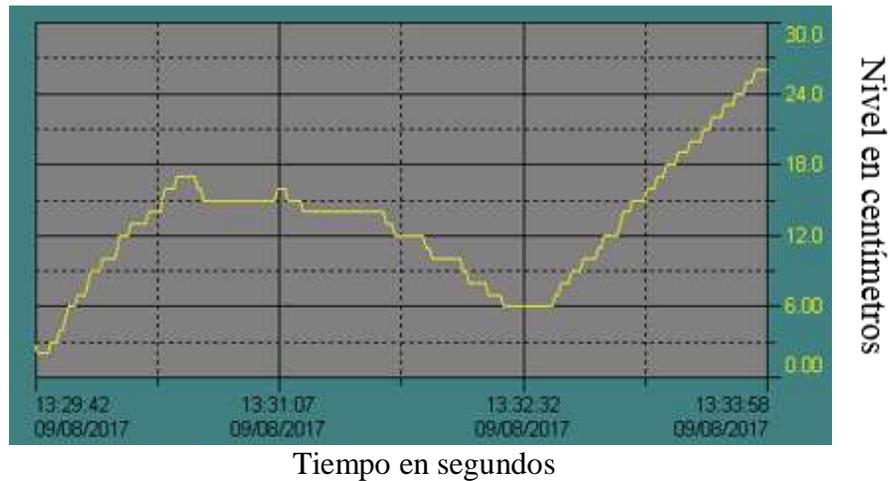
- Transmisor de nivel ultrasónico, donde se aprecia en la figura 11 la medida de nivel de este en un rango de 0 a 30 cm, al aplicarle una señal escalón en el estado de la bomba (ver Figura 18) y apertura de la servoválvula (ver Figura 19). Además, se incorpora disturbios en el nivel por medio de la apertura de válvulas solenoides que afectan el flujo de alimentación, como se aprecia en la figura 12.

Figura 11 Transmisor de nivel ultrasónico



Fuente autor

Figura 12 Señal de nivel del sensor ultrasónico con disturbios



Fuente autor

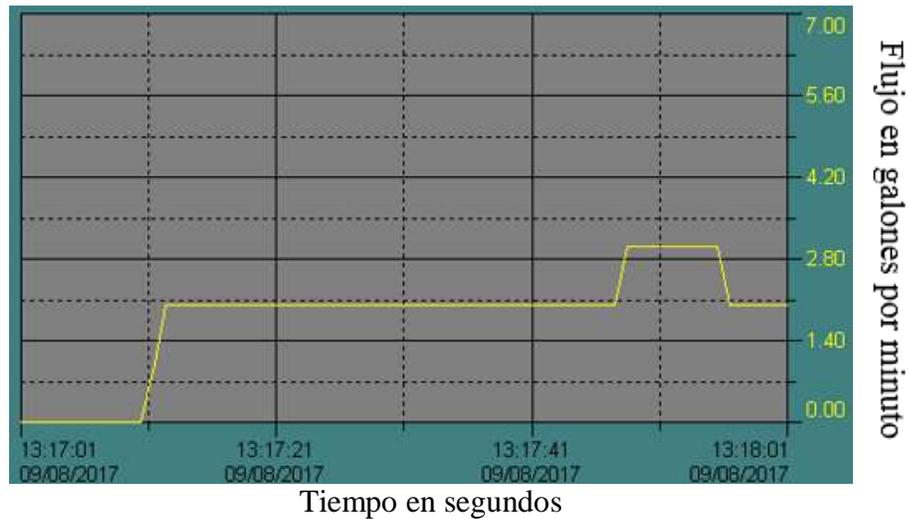
- Transmisor indicador de flujo, donde se aprecia en la figura 13 la medida de flujo de este en un rango de 0 a 6.5 galones por minuto, al aplicarle una señal escalón en el estado de la bomba (ver Figura 18) y apertura de la servoválvula (ver Figura 19). Además, se aplica disturbios por medio del accionamiento de válvulas solenoides que afectan el flujo, como se aprecia en la figura 14.

Figura 13 Señal de flujo del sensor de flujo



Fuente autor

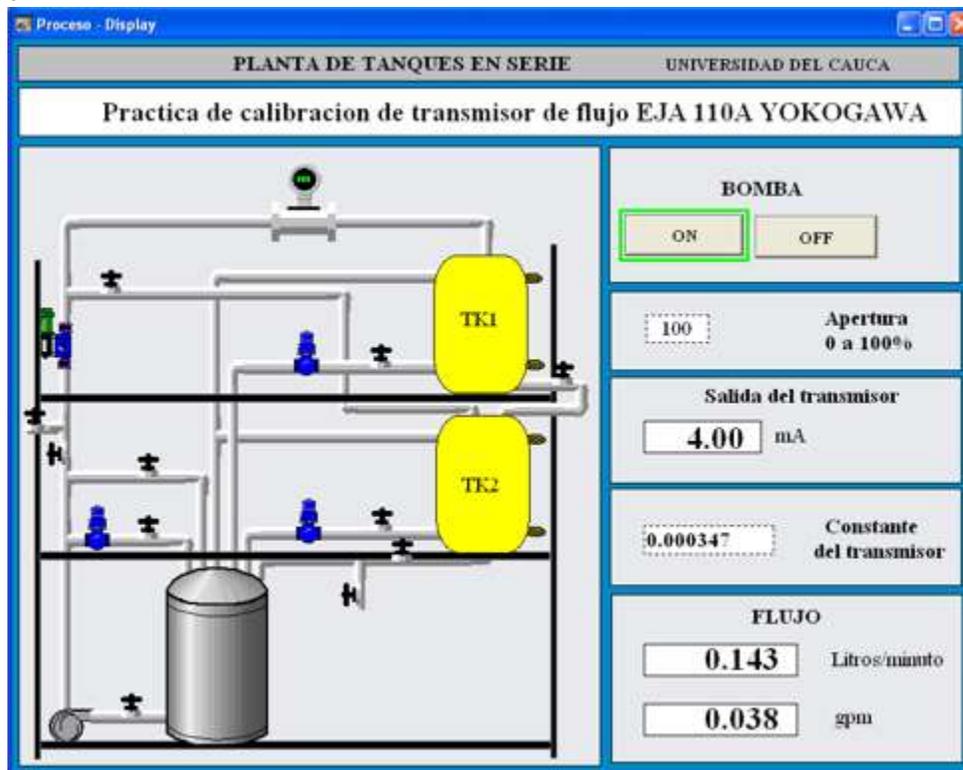
Figura 14 Señal de flujo del sensor de flujo con disturbios



Fuente autor

- Switches de nivel y motobomba, donde se aprecia en la figura 15 los estados de estos, siendo el color verde claro la representación de encendido y verde oscuro de apagado.

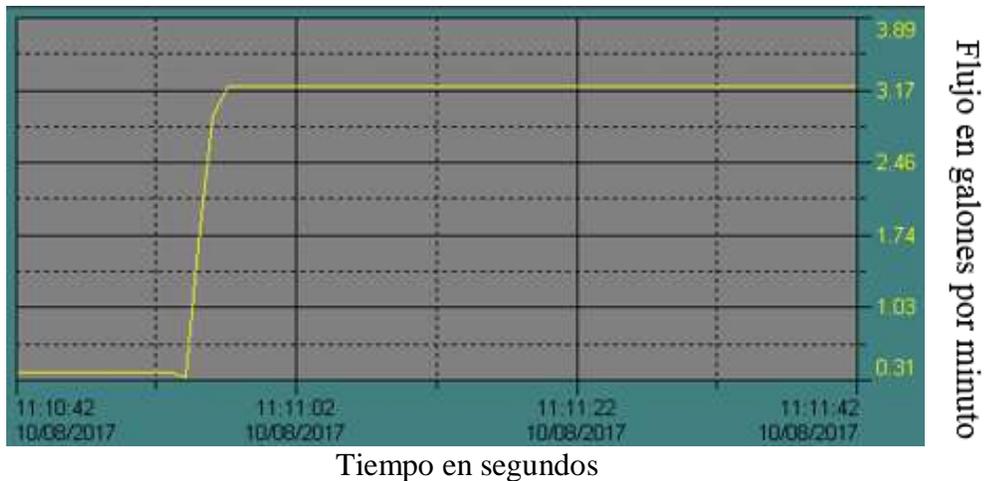
Figura 15 Estados de los equipos del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión



Fuente autor

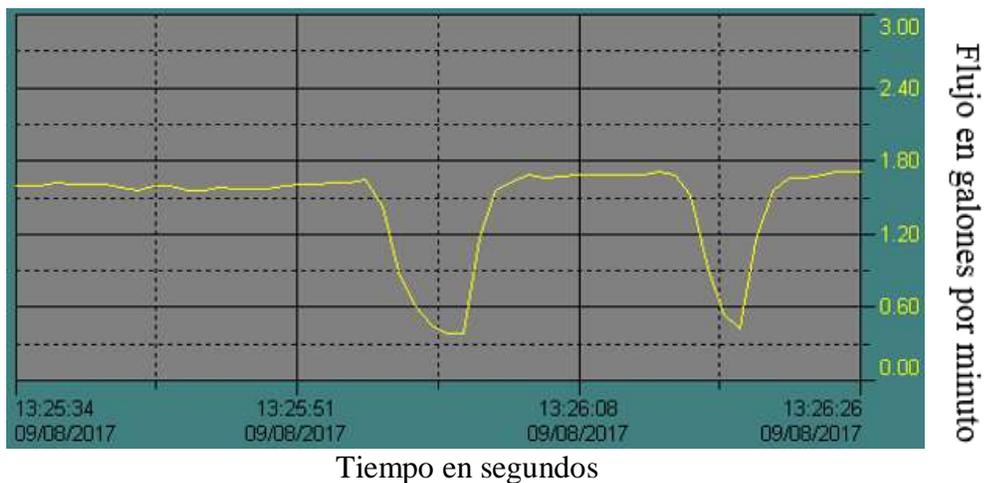
- Transmisor de flujo por diferencia de presión, donde se aprecia en la figura 16 la medida de flujo en un rango de 0 a 3.4 Galones/minuto, al aplicarle una señal escalón en el estado de la bomba (ver Figura 18) y apertura de la servoválvula (ver Figura 19). Dado que el transmisor mide diferencias de presión, se calcula el flujo con base a esta (ver Anexo F) utilizando la norma ISO 5167. Además, se aplica disturbios en el flujo con el accionamiento de válvulas solenoides, como se aprecia en la figura 17.

Figura 16 Señal de flujo del transmisor de flujo por diferencia de presión.



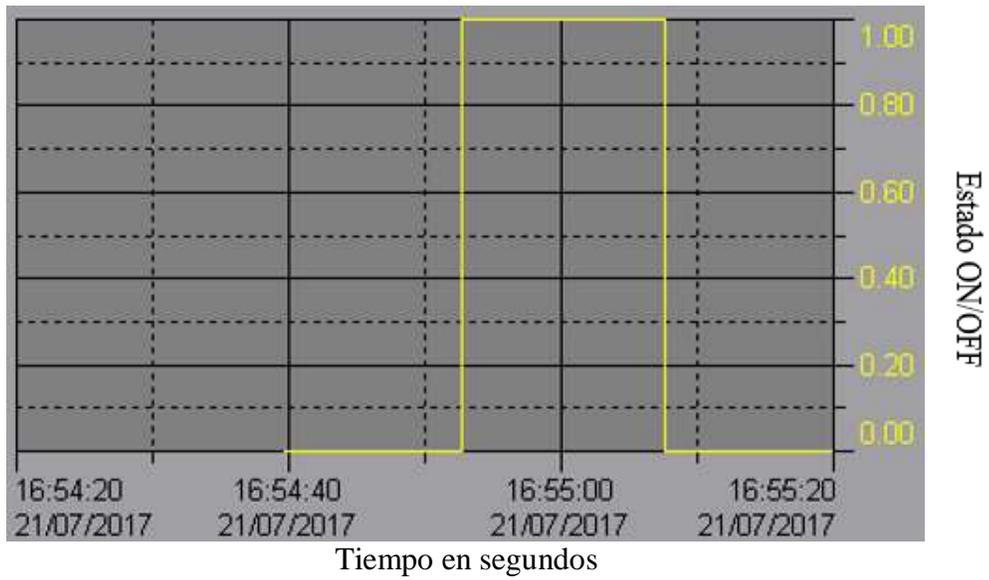
Fuente autor

Figura 17 Señal de flujo del transmisor de flujo por diferencia de presión con disturbios.



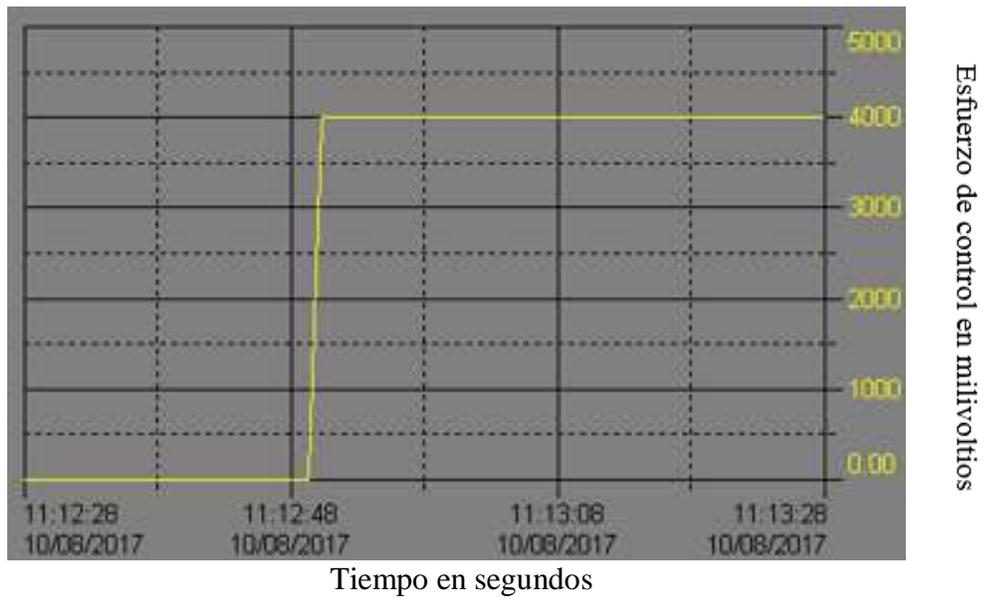
Fuente autor

Figura 18 Señal escalón de bomba



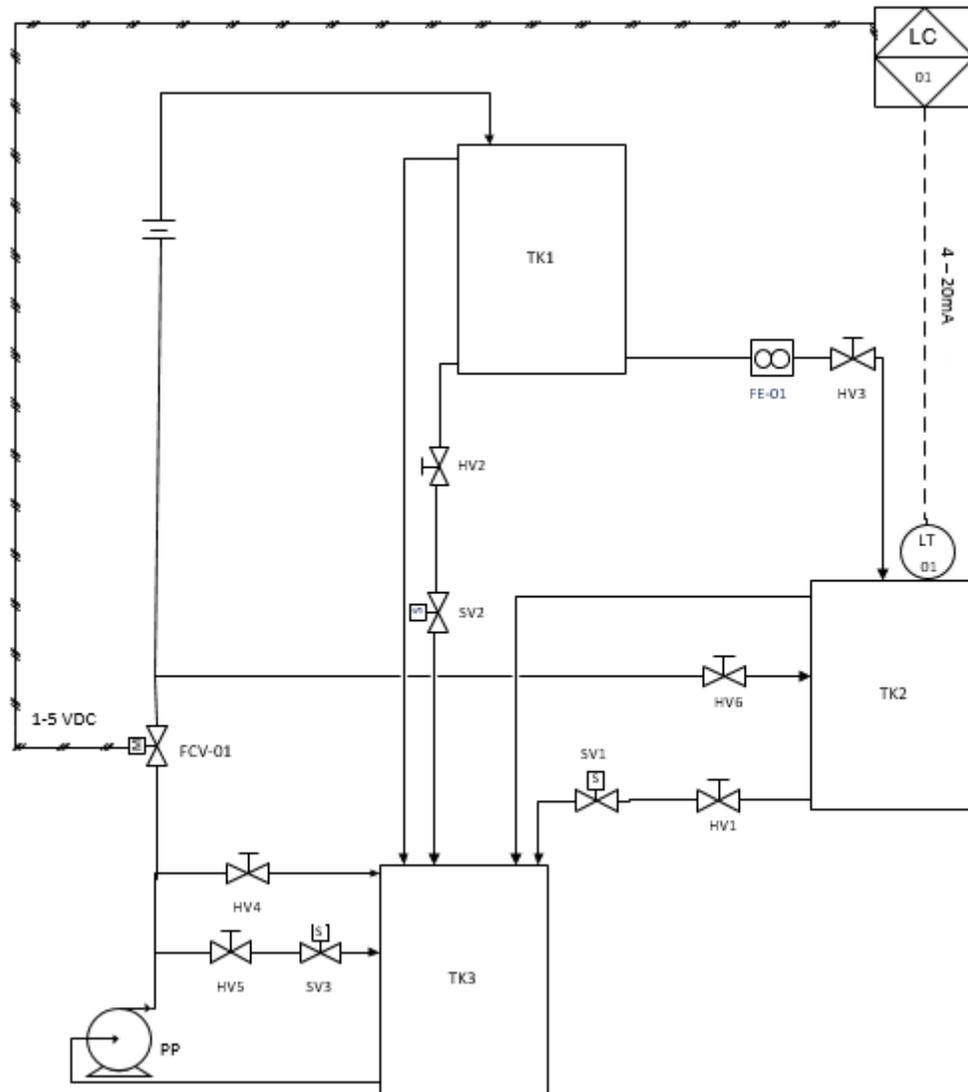
Fuente autor

Figura 19 Señal escalón de apertura de la servoválvula



Fuente autor

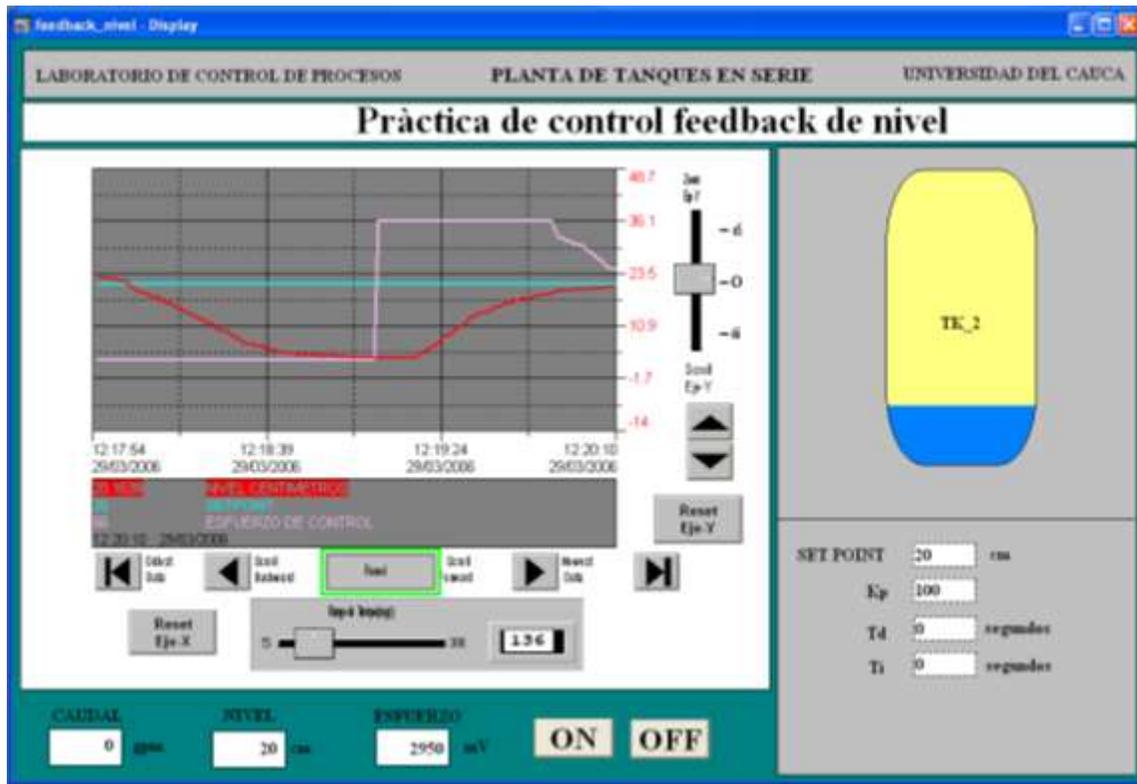
Figura 20 Control feedback de nivel en tanque TK2



Fuente autor

La actual planta de tanques en serie permite realizar el control feedback de nivel sobre el tanque **TK2**. Esto se hace en cuanto se mide el nivel alcanzado en el tanque por medio del transmisor ultrasónico de nivel **LT** ubicado en la parte superior del tanque en mención. Se hace la comparación de la señal de referencia o setpoint de nivel con la señal de error y se manipula el flujo de alimentación hacia el tanque con la servoválvula **LCV**, ello por medio de la acción de un controlador **PID** (ver Figura 21).

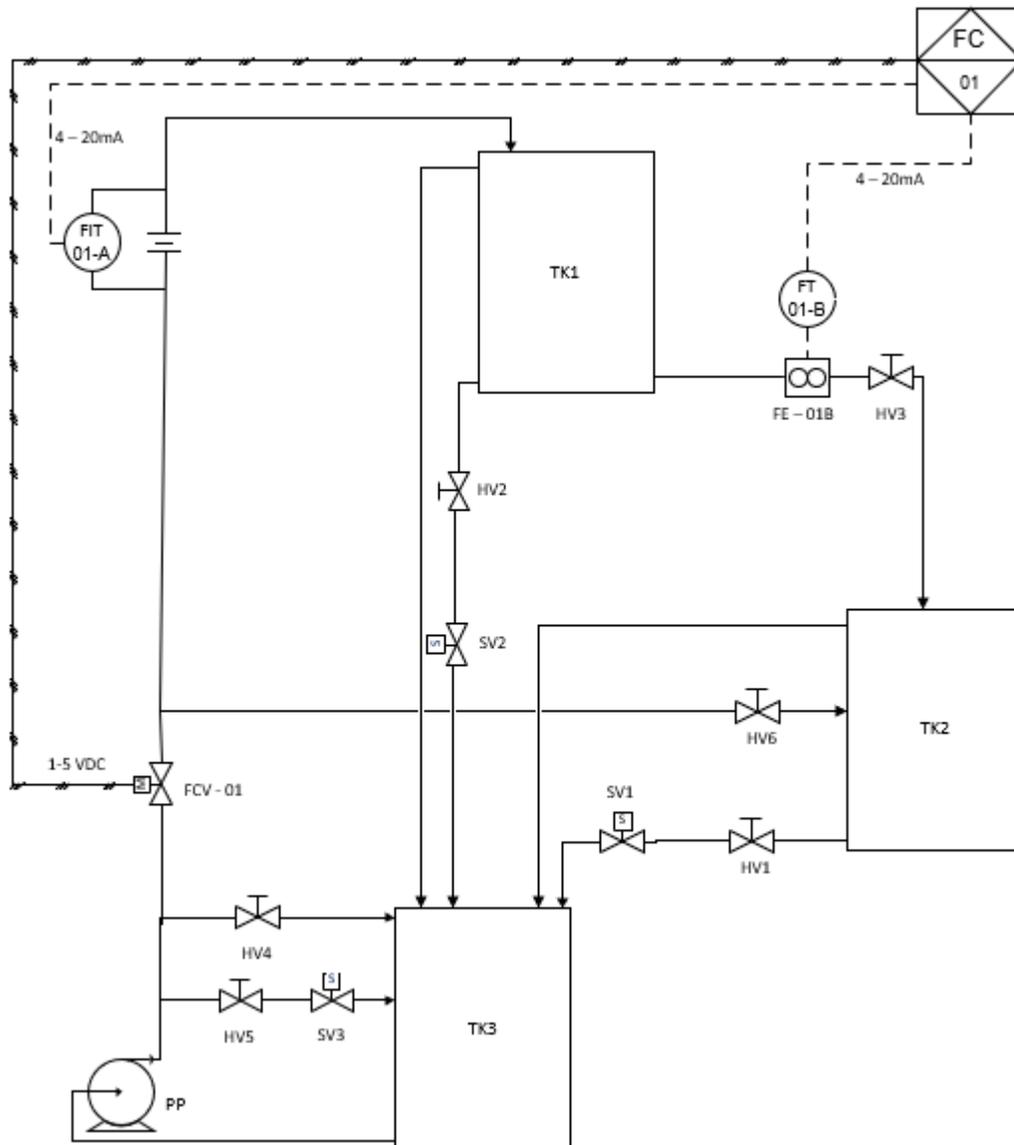
Figura 21 Supervisor de práctica de control feedback de nivel.



Fuente autor

En la figura 21, es posible evidenciar el comportamiento de las variables físicas una vez se implementó el esquema de control feedback de nivel en la planta de tanques en serie.

Figura 22 Control feedback de flujo

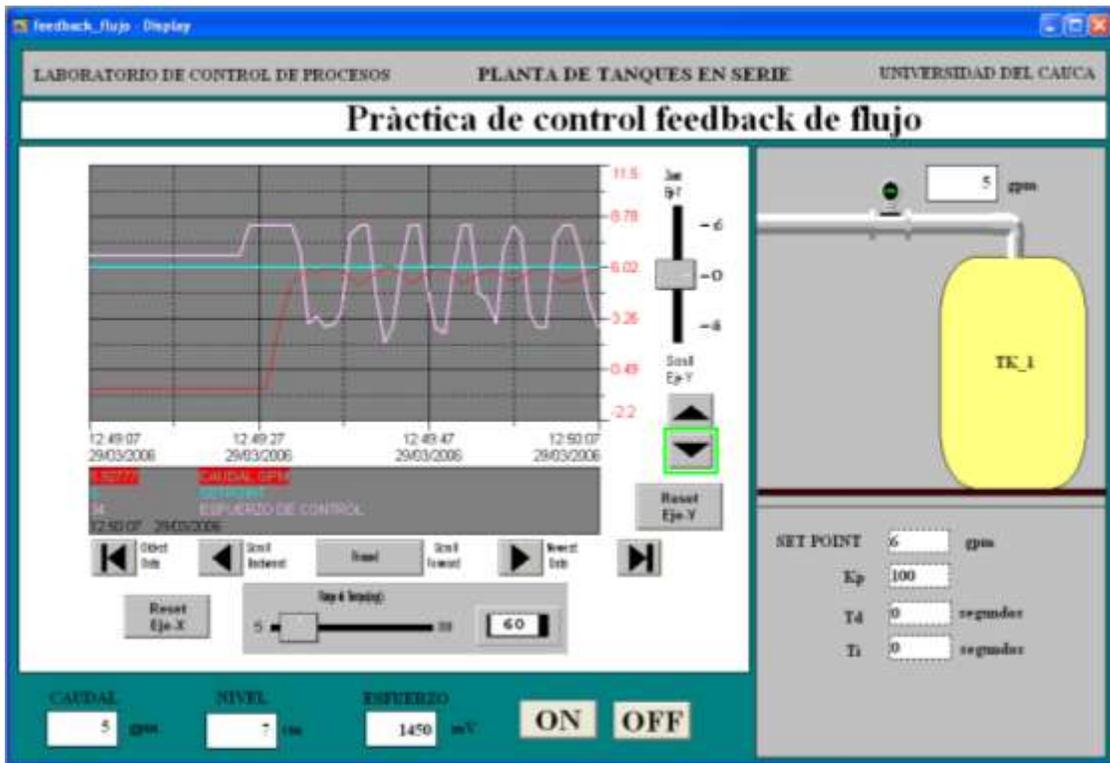


Fuente autor

La planta de tanques en serie permite realizar control feedback de flujo de alimentación en el tanque *TK1* y *TK2*. Se mide el flujo por medio del transmisor de flujo por diferencia de presión *FIT* y el sensor transmisor de flujo *FE-FT*, donde se controla el flujo de alimentación con la servoválvula *LCV*, a través de la acción de un controlador *PID*.

En el diagrama es posible visualizar que se tiene en cuenta la medición de flujo de ingreso hacia el tanque *TK1* (mediante *FIT*), así como la medición de flujo de salida del mismo tanque (mediante *FT*). Cabe decir que es posible realizar el control indirecto de nivel en el tanque *TK1*, haciendo que se igualen los flujos en mención; es decir que por acción de la apertura de la servoválvula, la válvula de retorno *HV4* y la válvula manual *HV3*, podría darse que en un momento dado el flujo de líquido que ingresa sea aproximadamente igual al flujo de líquido a la salida del tanque *TK1* (ver Figura 24).

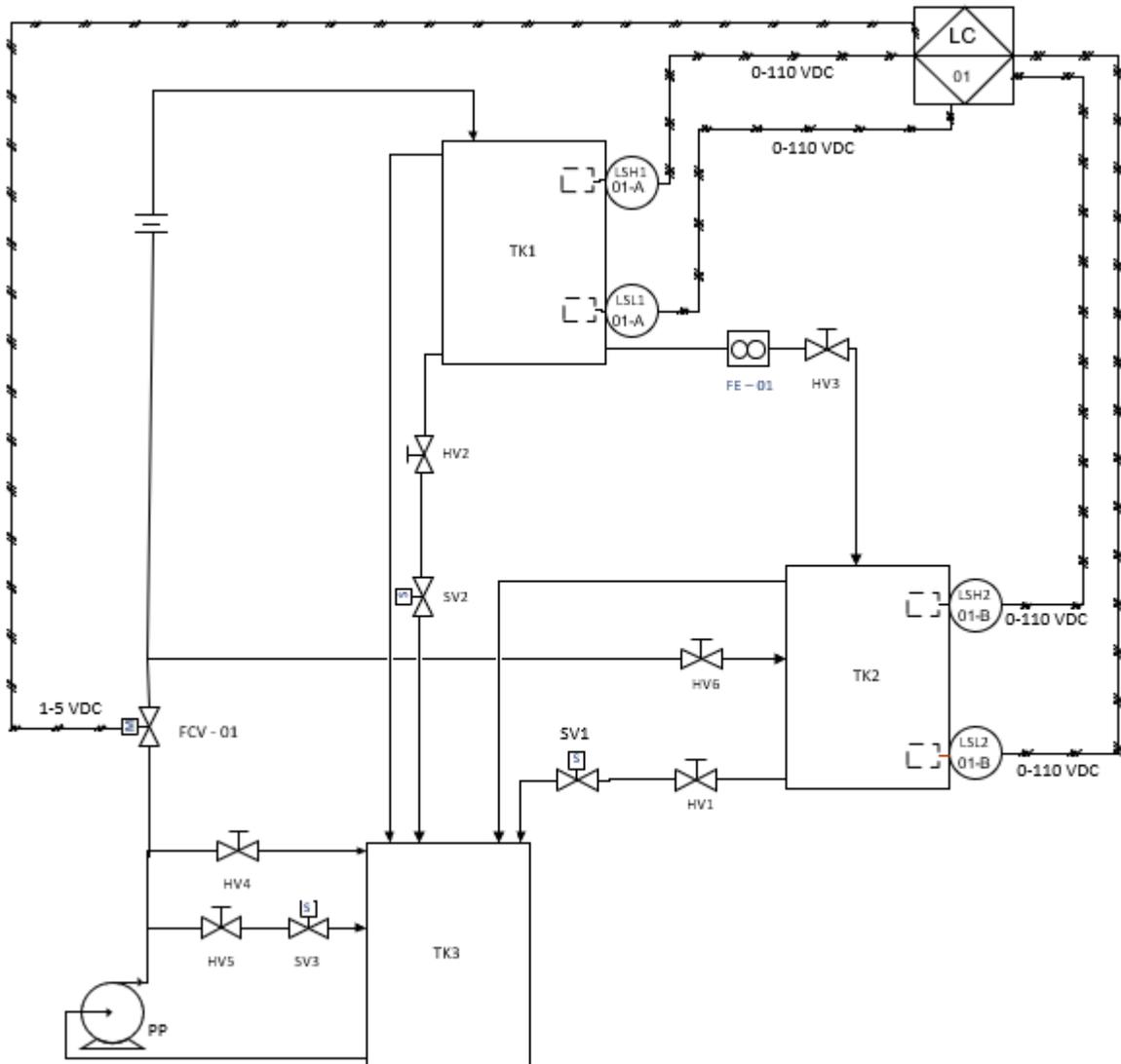
Figura 23 Supervisor de práctica de control feedback de flujo.



Fuente autor

En la figura anterior, es posible evidenciar el comportamiento de las variables físicas una vez se implementó el esquema de control feedback de flujo en la planta de tanques en serie.

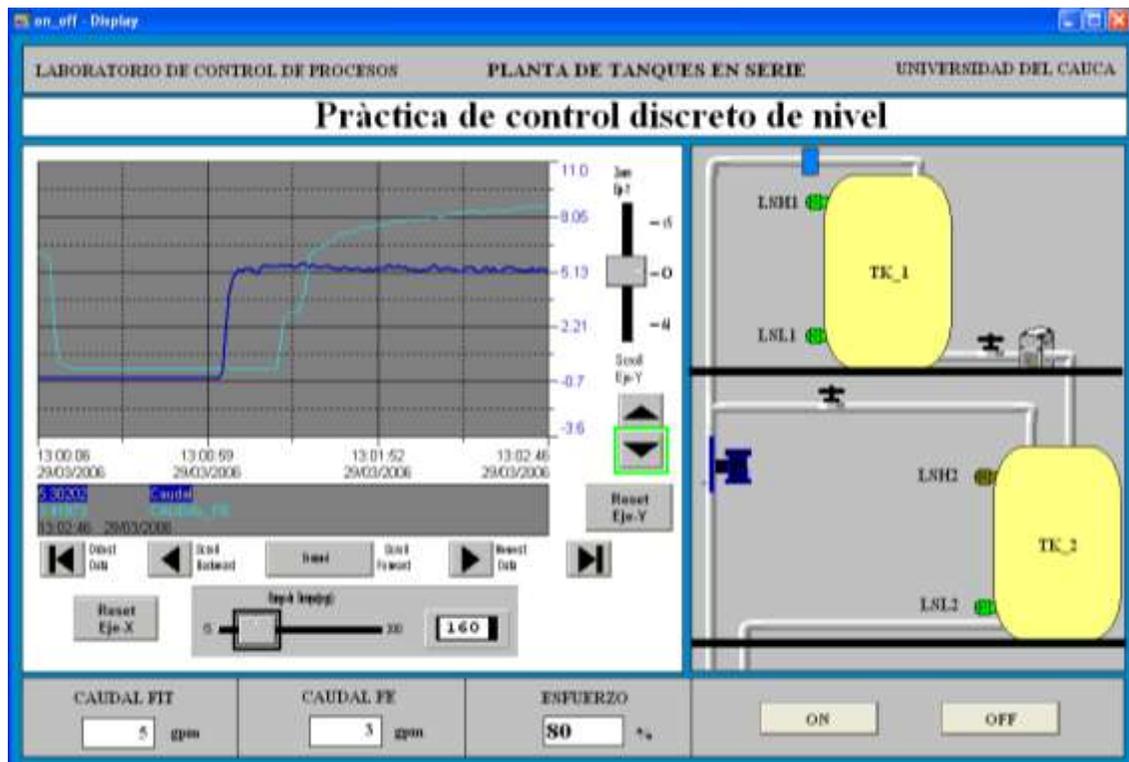
Figura 24 Lazos de control discreto de nivel en los tanques TK1 y TK2



Fuente autor

Para el control discreto de nivel sobre los tanques *TK1* y *TK2*, se mide los estados full y vacío del nivel alcanzado en cada uno de ellos, por medio de switches o sensores finales de carrera de estado alto (*LSH1* y *LSH2* para lleno) y bajo (*LSL1* y *LSL2* para vacío). De manera que al activarse los switches de estado alto, se cortará a través del estado de la bomba, el flujo de alimentación de los tanques *TK1* y *TK2*, y se reactivará el paso de líquido al desactivarse los switches de estado bajo.

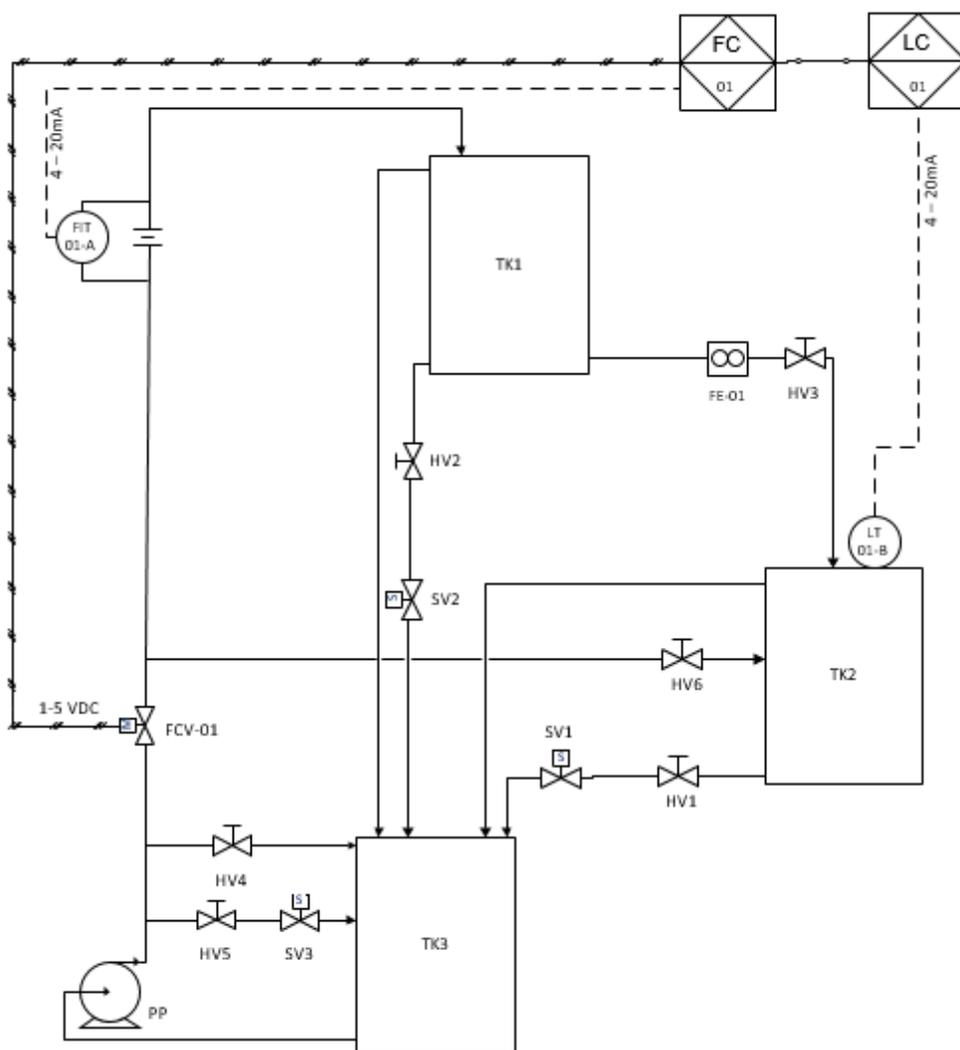
Figura 25 Supervisorio de práctica de control discreto de nivel.



Fuente autor

En la figura anterior, es posible evidenciar el comportamiento de las variables físicas una vez se implementó el esquema de control discreto de nivel en la planta de tanques en serie.

Figura 26 Lazos de control en cascada



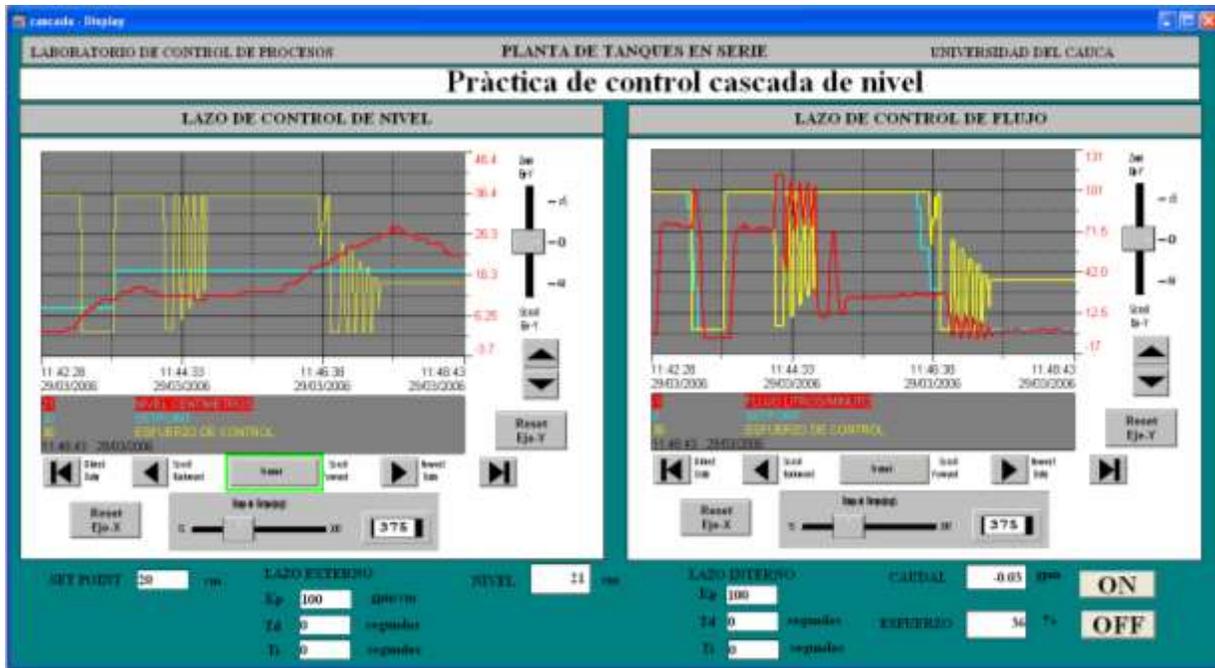
Fuente autor

Una de las funcionalidades más importantes de la actual planta de tanques en serie, es que permite realizar control cascada de nivel en el tanque TK2. Para esto, se mide el nivel alcanzado en el tanque TK2 por medio del transmisor de nivel ultrasónico LT y se mide el flujo de ingreso hacia el tanque TK1 con el transmisor de flujo por diferencia de presión FIT.

Se hace una primera comparación para el lazo interno (control de flujo) entre el flujo medido por FIT y el valor de referencia o set point de flujo; de manera que la señal de salida en unidades de flujo se convierte en la variable manipulada para el lazo externo (control de nivel), así que se hace una segunda comparación entre el valor de referencia o set point de nivel con el valor de nivel alcanzado en el tanque sentido por LT. Por acción del controlador PID (tanto para el lazo interno como externo), se manipula el flujo de

alimentación hacia el tanque TK1 mediante el porcentaje de apertura de la servoválvula LCV, esto para hacer control de flujo y posteriormente de nivel.

Figura 27 Supervisor de práctica de control discreto de nivel.



Fuente autor

En la figura anterior, es posible evidenciar el comportamiento de las variables físicas una vez se implementó el esquema de control cascada de nivel en la planta de tanques en serie.

4.2 Resultados de las encuestas

Con la finalidad de constatar el grado de utilidad del método de diseño propuesto, se lleva a cabo una encuesta a estudiantes matriculados en el Laboratorio de control de procesos, y a profesionales en el campo de la instrumentación y control, dando a conocer sus opiniones respecto a la guía de diseño propuesta.

La encuesta tiene como objetivo conocer los puntos de vista acerca de la guía de diseño, en tres ámbitos específicos:

- **Conceptualización**, permitiendo conocer el grado de aporte de la guía en la identificación de: requerimientos básicos de operación de los bancos de pruebas, métodos e instrumentación a calibrar, escenarios y tipos de técnicas de control a utilizar.
- **Diseño**, permitiendo conocer el grado de aporte de la guía, en el diseño de los diagramas de flujo, lazo, P&ID, mando y potencia de los bancos de pruebas.

- **Implementación**, permitiendo conocer el grado de aporte de la guía en: proceso de selección de la instrumentación, diseño de accesorios, estructuras, y ensamble.

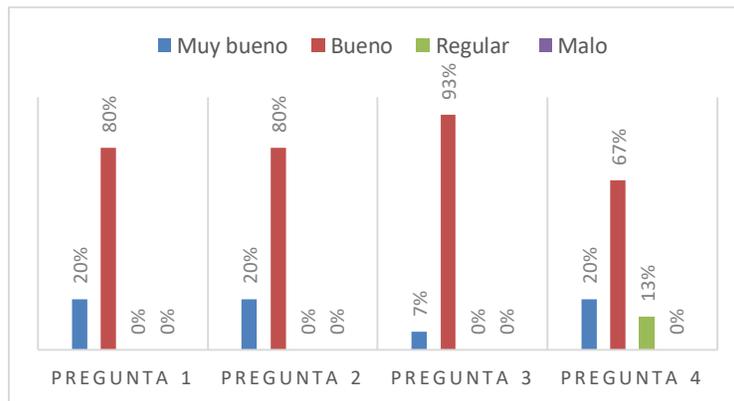
Cabe agregar que la encuesta permite conocer el grado de complejidad, en el uso de la guía de diseño propuesta.

La estructura de la encuesta (Anexo C), está compuesta por catorce preguntas, donde: cuatro pretenden determinar el grado de conceptualización de la guía; cinco para aspectos de diseño; y cinco para los procesos de implementación. Cuyos resultados (ver Anexo D) se presentan brevemente a continuación:

4.2.1 Conceptualización

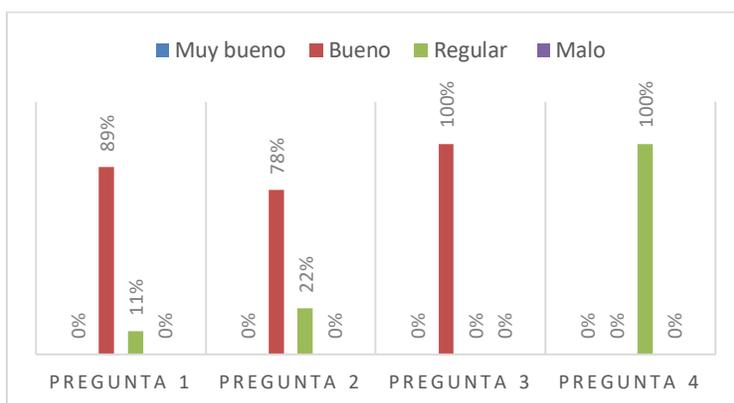
En cuanto a la conceptualización que permite la guía propuesta para el diseño de bancos de prueba (ver Anexo D), se aprecia que en su mayoría tanto profesionales (ver Figura 19) como estudiantes (ver Figura 18) la consideran buena. Aunque se presenta cierta no conformidad, en cuanto a la identificación de las condiciones ideales del ambiente para la correcta operación del banco de pruebas (Pregunta N°4 de la encuesta), lo cual puede deberse a una percepción diferente, de la que se esperaría del usuario al leer la guía. Puesto que se refiere la guía en cuanto a las condiciones ambientales, como aquellas que pueden afectar la correcta operación de la instrumentación y el estado físico químico de las materias primas, que se espera el usuario debería conocer.

Figura 28 Resultados a preguntas 1,2,3 y 4 de encuesta - Estudiantes



Fuente autor

Figura 29 Resultados a preguntas 1,2,3 y 4 de encuesta - Profesionales

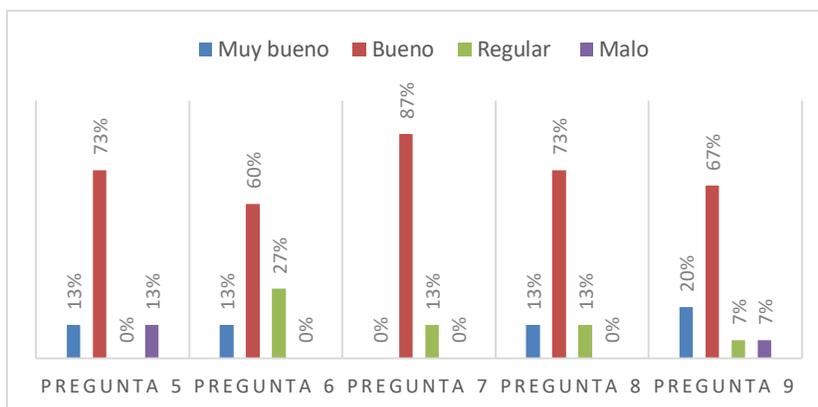


Fuente autor

4.2.2 Diseño

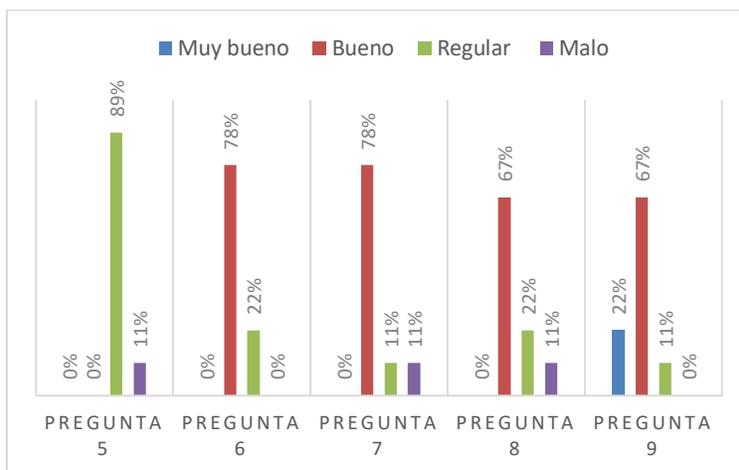
Por otra parte, en aspectos de diseño que ofrece la guía propuesta (ver Anexo D), se aprecia que en su mayoría tanto profesionales (ver Figura 23) como estudiantes (ver Figura 22) la consideran buena. Aunque se presenta cierta no conformidad, en el aporte en la elaboración de diagramas de los bancos de pruebas (Pregunta N°5 de la encuesta). Ello puede deberse, al desconocimiento por parte de los encuestados, de que se deben poseer unos conocimientos previos de automatización, para el diseño de bancos de prueba. Dado que la guía solo brinda el espacio, de tal manera que el usuario, lleve a cabo el proceso de elaboración de los diagramas de instrumentación y conexión, acorde a sus conocimientos básicos en automatización.

Figura 30 Resultados a preguntas 5,6,7,8 y 9 de encuesta - Estudiantes



Fuente autor

Figura 31 Resultados a preguntas 5,6,7,8 y 9 de encuesta - Profesionales

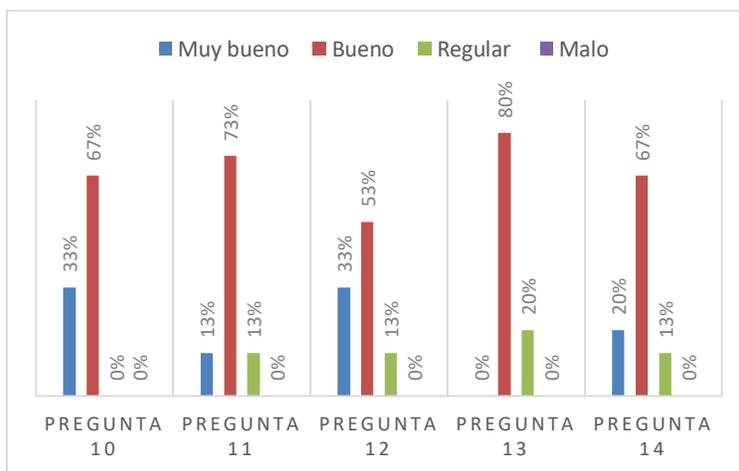


Fuente autor

4.2.3 Implementación

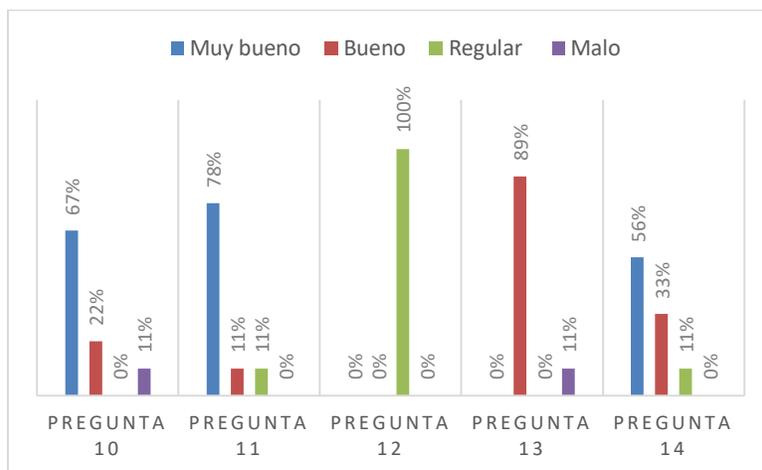
Finalmente, en aspectos de implementación que ofrece la guía (ver Anexo D), se obtuvo que en su mayoría tanto profesionales (ver Figura 25) como estudiantes (ver Figura 24) la consideran buena. Aunque se presenta cierta no conformidad, en los procesos de conexión y montaje de los bancos de pruebas (Pregunta N°12 de la encuesta). Quizás se deba a la falta de información por parte de los encuestados, de que la guía asume conocimientos previos de automatización en los usuarios de la guía propuesta, que le permitan realizar procesos de conexión y montaje.

Figura 32 Resultados a preguntas 10,11,12,13 y 14 de encuesta - Estudiantes



Fuente autor

Figura 33 Resultados a preguntas 10,11,12,13 y 14 de encuesta - Profesionales



Fuente autor

De esta manera se dan a conocer los resultados obtenidos en las encuestas realizadas, cuyo fin último es dar a conocer las diferentes perspectivas, acerca de la guía propuesta para el diseño de bancos de pruebas. En este sentido, se determina que para los encuestados es viable la implementación de la guía en el diseño de bancos de pruebas, pese al desconocimiento en algunas preguntas de la encuesta, las cuales no se aclararon en su debido momento, por ejemplo, que los usuarios de la guía propuesta deben poseer un determinado perfil de conocimientos básicos en automatización.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- El método propuesto tiene en cuenta aquellos procesos de la norma NTC ISO/IEC 17025, que involucren aspectos de diseño de bancos de pruebas, como lo son la documentación de equipos, definición de condiciones ambientales, métodos de calibración y el control de documentos.
- Si bien el método propuesto para el diseño de bancos de pruebas no cumple con la norma NTC ISO/IEC 17025, este sí garantiza tanto el diseño como la implementación de los bancos de pruebas en un ambiente de automatización.
- Queda abierto como temas futuros de trabajo, añadir procesos de documentación de la información de los bancos de pruebas al método de diseño propuesto, con base a la norma Técnico-Colombiana NTC ISO/IEC 17025. Con la finalidad de facilitar los procesos de cumplimiento de la norma NTC ISO/IEC 17025, a laboratorios que deseen acreditarse en tal norma.

GLOSARIO DE TERMINOS

Calibración, operación que bajo condiciones específicas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación.

Diagrama de flujo, representación gráfica de una sucesión de hechos u operaciones en un sistema, como el que refleja una cadena de montaje de automóviles.

Incertidumbre de medida, parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurado, a partir de la información que se utiliza.

Instrumento de medida, dispositivo utilizado para realizar mediciones, solo o asociado a uno o varios dispositivos suplementarios.

Medición, proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud.

Método, modo de decir o hacer uno orden, procedimiento que se sigue en las ciencias para hallar la verdad y enseñarla.

Metrología, ciencia de las mediciones y sus aplicaciones.

Patrón de medida, realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medida asociada, tomada como referencia.

Procedimiento, acción de proceder, método de ejecutar algunas cosas.

Sensor, elemento de un sistema de medida directamente afectado por la acción del fenómeno, cuerpo o sustancia portador de la magnitud a medir.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] E. Tapias, “Diseño de un banco patrón para la calibración de medidores de flujo de líquidos por el método gravimétrico estático,” Universidad Industrial de Santander, 2004.
- [2] C. Bermudez, “Diseño de un Banco de Calibración de Caudalímetros Líquidos,” Universidad Rovira I Virgili, 2012.
- [3] H. Cardenas and G. Covelli, “Diseño y construcción de un banco para la calibración de medidores de flujo de gas de alto caudal utilizando patrones tipo turbina y rotativo,” Universidad Industrial de Santander, 2008.
- [4] B. Carriel and O. Villacis, “Diseño e implementación de un banco de pruebas neumático para la calibración de presión de manómetros en el rango de 0 a 6 bar y vacuómetros en el rango de 0 a 600 milibar, en la universidad Politécnica Salesiana en la sede Guayaquil,” Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
- [5] S. M. J. Janssens, “Design of a micro propulsion test bench,” *Delf Univ. Technol.*, pp. 1–8, 2009.
- [6] S. S. Khodwe and S. S. Prabhune, “Design and Analysis of Gear Box Test Bench to Test Shift Performance and Leakage,” *IJARIE*, pp. 270–280, 2015.
- [7] Y. Gonzalez, L. Patiño, and H. Espinoza, “Diseño de un banco de prueba experimental de bombeo de flujo multifásico,” *Ing. UC*, vol. 16, pp. 7–13, 2009.
- [8] Z. Makabenta and E. Portero, “Automatización de la adquisición de datos para el banco de pruebas de la bomba axial del laboratorio de turbomaquinaria hidráulica de la facultad de mecánica,” Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, 2015.
- [9] A. Oldenkamp, B. Omid, C. Skene, and K. Egilson, “Design of an engine test stand,” University of Manitoba, 2010.
- [10] A. Tuysuz, D. Koller, A. Looser, J. W. Kolar, and C. Zwysig, “Design of a test bench for a lateral stator electrical machine,” *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, no. Iecon, pp. 1801–1806, 2011.
- [11] J. Lasa, J. C. Antolin, C. Angulo, P. Estensoro, M. Santos, and P. Ricci, “Design, construction and testing of a hydraulic power take-off for wave energy converters,” *Energies*, vol. 5, no. 6, pp. 2030–2052, 2012.
- [12] E. Salazar, “Diseño y construcción de una interfaz de control de nivel, temperatura y flujo de agua en un tanque para uso en prácticas de laboratorio,” Universidad de Costa Rica, 2009.
- [13] M. Mendez and P. Erazo, “Implementación de un banco de pruebas para el control de nivel de líquidos en el laboratorio de instrumentación industrial de la facultad de mecánica,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2014.
- [14] B. Niebel and A. Freivalds, *Ingeniería industrial - Métodos, estándares y diseño en el trabajo*, Duodécima. Pennsylvania: Mc Graw Hill, 2009.
- [15] D. Blash and B. Rogowitz, “Design, fabrication, and assembly of small wind generator test benches,” Northern Arizona University.
- [16] Icontec, “Norma Técnica Colombiana Ntc-Iso / Iec 17025.” Colombia, p. 49, 2005.
- [17] C. español de Metrología, “Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM),” *Int. Organ. Stand. Geneva*, vol. 3^a

Edición, p. 104, 2012.

- [18] P. Martinez Henao, “Propuesta metodológica para el diseño de un banco de pruebas para engranajes cilíndricos rectos,” *Prospect Usb.*, vol. Volumen 10, pp. 64–73, 2012.
- [19] A. N. Standard, “ANSI/ISA 88 Batch Control Part 1 : Models and Terminology,” *ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society*. ISA, p. 21, 1995.
- [20] F. Meier and C. Meier, *Instrumentation and Control Systems Documentation*, Second Edi. ISA, 2011.
- [21] A. Creus, *Instrumentacion industrial*, Octava. Ciudad de Mexico, 2010.
- [22] ANSI/ISA, “Graphic Symbols for Distributed Control/Shared Display Instrumentacion, Logic and Computer Systems ANSI/ISA S5.3,” *Am. Natl. Stand.*, 1983.
- [23] ANSI/ISA, “Instrument Loop Diagrams ANSI/ISA S5.4,” *Am. Natl. Stand.*, no. September, 1991.
- [24] C. A. Erazo Pino and C. A. Sanchez Belalcazar, “Diseño de un proceso de obtencion de alimento para peces a nivel industrial en el marco del proyecto de regalías ID VRI 3883 - SGR,” Universidad del Cauca, 2015.
- [25] J. Roldan, *Automatismos y cuadros eléctricos*, Primera Ed. 2002.
- [26] R. de colombia Ministerio de minas y energia, “Reglamento tecnico de instalaciones electricas,” p. 38, 2013.
- [27] Y. E. Corporation, *User ' s Manual Model EJA110A , EJA120A and Differential Pressure Transmitters*, 5th Editio. 2000.
- [28] Y. E. Corporation, *User ' s Manual BT 200 BRAIN TERMINAL*, 7th Editio. 2016.

ANEXOS

ANEXO A) Guía para diseño de bancos de pruebas en ambientes de automatización

Previo al inicio del diseño de bancos de pruebas con base a la guía presente, debe leer el perfil de usuario, y de cumplir con los conocimientos básicos en automatización que allí se muestran, prosiga al diseño del banco de pruebas.

Perfil de usuario

El usuario de la presente guía debe poseer conocimientos básicos, que le permitan sacar provecho de esta en el diseño de los bancos de pruebas, y no le represente dificultad en el uso de la misma. Entre tales conocimientos se tiene:

- Tipos de protecciones y elementos de cambio giro utilizados en motores. Además, de la lógica cableada y de control, involucrada en la realización de diagramas de mando y potencia.
- Equipos involucrados en el flujo de materias primas que tendrá el banco de pruebas, para el posterior levantamiento de los diagramas de flujo.
- Equipos involucrados en los procesos de control, y sus tipos de señales, previo al levantamiento de los diagramas P&ID. En cuyo caso, el usuario debe contar con conocimiento y experiencia en el desarrollo de tales diagramas.
- Conexiones de los equipos, su alimentación y distribución física, previo al levantamiento de los diagramas de lazo. En cuyo caso, el usuario debe contar con conocimiento y experiencia en el desarrollo de tales diagramas.
- Normas y estándares que permitan asignarle una representación gráfica y un código alfanumérico de identificación a equipos e instrumentación, en el levantamiento de los diagramas de los bancos de pruebas.
- Condiciones ambientales que puedan afectar la correcta operación de los bancos de pruebas.

1. Descripción general del banco de pruebas

Se especificará qué tipo de banco de pruebas se requiere diseñar y/o implementar, si es para actividades de calibración, control, o si es de doble propósito. Si el banco es para control o mixto, se establece que tipo de lazo de control se tendrán en el banco, ya sea lazo abierto, cerrado, o ambos. Además, se especifica el esquema de control que tendrá el banco, que puede ser feedback, feedforward, cascada, multivariable u otros que conozca el usuario.

- Seleccione con una X en la tabla 1 el tipo de banco de pruebas que se implementará.

Tabla 1. Selección tipo de banco.

Tipos de banco de pruebas	
<input type="checkbox"/>	Control
<input type="checkbox"/>	Calibración
<input type="checkbox"/>	Mixto

- Si el banco de pruebas es de control o mixto, seleccione con una X en la tabla 2, el o los tipos lazos de control que se tendrán en el banco.

Tabla 2. Lazos de control.

Lazos de control	
<input type="checkbox"/>	Lazo abierto
<input type="checkbox"/>	Lazo cerrado

- Si el banco de pruebas tiene lazos de control en lazo cerrado, seleccione con una X en la tabla 3 el o los esquemas de control.

Tabla 3. Esquemas de control.

Esquemas de control	
<input type="checkbox"/>	Feedback
<input type="checkbox"/>	Feedforward
<input type="checkbox"/>	Cascada
<input type="checkbox"/>	Multivariable
<input type="checkbox"/>	Otros

2. Selección del método de calibración

Si el banco de pruebas es de calibración o mixto, seleccione la instrumentación a calibrar y el método de calibración de esta. En la selección del método de calibración, se debe tener en cuenta la utilidad y el soporte técnico del método de calibración.

- Nombre en la tabla 4 la instrumentación a calibrar, y dé a conocer algunas características técnicas de este.

Tabla 4. Instrumentación a calibrar.

Instrumento N° 1	
Características técnicas	
Instrumento N° 2	
Características técnicas	

- Seleccione un instrumento a calibrar

En el proceso de selección, del instrumento a calibrar en el banco de pruebas, se parte llevando a cabo el siguiente procedimiento (llenando la tabla 5 en el archivo Excel *Tablas Banco de pruebas*, para cada instrumento a calibrar):

- I. Defina criterios de selección del instrumento a calibrar.
- II. Asigne a cada criterio de selección, un rango que usted considere ideal.
- III. Asigne un peso entre 1 y 5, a cada criterio de selección, de acuerdo con el nivel de importancia que represente para usted (siendo 1 menor importancia y 5 mayor importancia).

Al tener identificados los criterios de selección y de asignarles un rango ideal y un peso, posteriormente realice un sondeo, de las alternativas del instrumento, continuando con el siguiente procedimiento:

- IV. Defina el rango real de la alternativa de selección, para cada criterio de selección del instrumento a calibrar.
- V. Defina un porcentaje de aceptación, con base a la diferencia entre el rango ideal y el rango real del instrumento, siendo 100% una diferencia de cero entre el rango real e ideal, y 0% una diferencia entre el rango real e ideal muy grande.
- VI. Asigne la referencia y proveedor del instrumento.
- VII. Ingrese una imagen del instrumento (opcional).
- VIII. Repita estos procedimientos con cada alternativa de selección del instrumento a calibrar, se sugieren tres alternativas.

Tabla 5. Alternativas de selección de instrumento a calibrar.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Peso total					
Referencia					
Proveedor					
N°					
<i>Imagen del instrumento</i>					

- IX. Marque con una X en la tabla 6 en el archivo Excel *Tablas Banco de Pruebas*, el instrumento que mayor peso total presente. Puesto que el peso total de cada instrumento es calculado automáticamente en Excel, multiplicando el porcentaje de aceptación por el peso de cada criterio de selección, y sumando la totalidad de los productos, obteniendo de esta manera el peso total.

Tabla 6. Selección de instrumento a calibrar .

Selección del instrumento a calibrar		
N° Instrumento	Peso total	Marque con una X
1		
2		
3		

- Seleccione con una X en la tabla 7, el método de calibración a utilizar en el instrumento a calibrar seleccionado, teniendo en consideración las siguientes definiciones:

Método normalizado: Aquel método de calibración publicado en normas internacionales, nacionales o regionales.

Método no normalizado: Aquel método de calibración desarrollado y validado antes de su uso, pero que aún no se encuentra publicado en normas internacionales, nacionales o regionales.

Método desarrollado por el laboratorio: Aquel método de calibración desarrollado por el laboratorio, para su propio uso.

Tabla 7. Tipos de métodos de calibración.

Método de calibración	
<input type="checkbox"/>	Método normalizado
<input type="checkbox"/>	Método no normalizado
<input type="checkbox"/>	Método desarrollado por el laboratorio

3. Requerimientos de funcionalidad

Establezca los requerimientos básicos de funcionamiento del banco de pruebas, los cuales brindan un marco de referencia en la selección de la instrumentación, el diseño de la estructura y accesorios del banco de pruebas.

- Si las condiciones ambientales afectan el banco de pruebas, seleccione en la tabla 8 los rangos permisibles, por ejemplo: temperatura ambiente, humedad, presión, entre otros.

Tabla 8. Rango de condiciones ambientales.

Condiciones ambientales			
Variable			
Mínimo			
Máximo			

- Defina en la tabla 9 el modelo físico del banco de pruebas, con el fin de brindar un diagnóstico, dando a conocer los equipos básicos para el funcionamiento del banco de pruebas. Para ello siga el procedimiento a continuación, llenando la tabla 9:
 - I. Defina la célula de proceso del banco de pruebas, entendiendo por célula de proceso, el agrupamiento de unidades para la producción de uno más lotes, por ejemplo: laboratorio de control de procesos.
 - II. Defina las unidades que componen cada célula de proceso, entendiendo por unidad, agrupación de módulos para llevar a cabo tareas específicas, por ejemplo: mezclado y cocción.
 - III. Defina los módulos de equipo que componen cada unidad, entendiendo por módulo de equipo, agrupación de equipos que realizan un número finito de actividades de procesamiento, por ejemplo: unidad de control de temperatura.
 - IV. Defina los módulos de control que componen cada módulo de equipo, entendiendo por módulo de control, aquel componente de procesamiento que, desde el punto de vista de control, funciona como una entidad, por ejemplo: válvula y sensor de nivel.

Tabla 9. Modelo físico del banco de pruebas.

Modelo físico			
Célula de proceso	Unidad	Módulo de equipo	Módulo de control

4. Diagrama de flujo

Realice el diagrama de flujo (PDF) del banco de pruebas, que represente gráficamente la conversión y manipulación de materias primas a lo largo del banco, de tal manera de obtener un PDF sencillo y con un mínimo de detalle para su fácil interpretación. Por lo cual, lleve a cabo el siguiente procedimiento:

- I. Ingrese en la tabla 10, la instrumentación básica que interactuara con el flujo del proceso, que tendrá el banco de pruebas.
- II. Asigne en la tabla 10, una TAG o un código alfanumérico de identificación a la instrumentación ingresada anteriormente.
- III. Realice el diagrama de flujo en el formato mostrado en la figura 1.

Tabla 10. Equipos del diagrama de flujo.

Instrumentos o equipo	TAG

Figura 1. Formato de diagrama de flujo.

Nombre del diagrama			
<i>Espacio reservado para el diagrama</i>			
Elaborado por:	Fecha de elaboracion Fecha de revision	Revisado por:	Nombre del diagrama

5. Diagrama P&ID

Realice el diagrama P&ID del banco de pruebas, donde se represente gráficamente las conexiones físicas e instrumentación involucrada en los procesos de control, el cual facilitara la identificación de posibles lazos de control. Por lo cual, lleve a cabo el siguiente procedimiento:

- I. Ingrese en la tabla 11 las variables controladas y manipuladas del banco de pruebas.
- II. Defina en la tabla 11 los rangos de las variables anteriores.
- III. Seleccione en la tabla 11 el escenario de automatización que se tendrá en el banco de pruebas.
- IV. Posteriormente ingrese en la tabla 12 la instrumentación que interactuara en los procesos de control, y que no ha sido identificada en el diagrama de flujo.
- V. Asígnele a la instrumentación ingresada anteriormente, su correspondiente TAG o código de identificación, basándose en la identificación de la instrumentación básica, previamente realizada en el diagrama de flujo.
- VI. Con la información obtenida anteriormente, proceda con el levantamiento del diagrama P&ID del banco de pruebas, en el formato mostrado en la figura 2.

Figura 2. Formato de diagrama P&ID.

Nombre del diagrama													
<i>Espacio reservado para el diagrama</i>													
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Instrumento</th> <th style="text-align: center;">TAG</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Nombre instrumento 1</i></td> <td style="text-align: center;"><i>TAG 1</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Nombre instrumento 2</i></td> <td style="text-align: center;"><i>TAG 2</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Nombre instrumento 3</i></td> <td style="text-align: center;"><i>TAG 3</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Nombre instrumento 4</i></td> <td style="text-align: center;"><i>TAG 4</i></td> </tr> </tbody> </table>		Instrumento	TAG	<i>Nombre instrumento 1</i>	<i>TAG 1</i>	<i>Nombre instrumento 2</i>	<i>TAG 2</i>	<i>Nombre instrumento 3</i>	<i>TAG 3</i>	<i>Nombre instrumento 4</i>	<i>TAG 4</i>
Instrumento	TAG												
<i>Nombre instrumento 1</i>	<i>TAG 1</i>												
<i>Nombre instrumento 2</i>	<i>TAG 2</i>												
<i>Nombre instrumento 3</i>	<i>TAG 3</i>												
<i>Nombre instrumento 4</i>	<i>TAG 4</i>												
Elaborado por:	Fecha de elaboracion Fecha de revision	Revisado por:	Nombre del diagrama										

Tabla 11. Variables y escenario del banco de pruebas.

	Variable	Rango
VARIABLES CONTROLADAS		
VARIABLES MANIPULADAS		
Escenario de automatización (marque con una X)	<input type="checkbox"/>	Escenario PLC
	<input type="checkbox"/>	Escenario tarjeta de adquisición de datos
	<input type="checkbox"/>	Escenario microcontrolador
	<input type="checkbox"/>	Otro. Cual:

Tabla 12. Instrumentos y TAG del banco de pruebas.

Instrumento o equipo	TAG

6. Diagrama de lazo

Teniendo en cuenta las variables manipuladas y controladas, sus rangos, conexiones y lazos de control mostrados en el diagrama P&ID, proceda a realizar el diagrama de lazo, dando a conocer las conexiones físicas en la instrumentación, y los lazos de control que se tendrán en el banco. Por lo cual, lleve a cabo el siguiente procedimiento, llenando la tabla 13:

- I. Ingrese el nombre de un instrumento y asígnele a este su TAG o código alfanumérico de identificación.
- II. Seleccione con un X la localización del instrumento, ya sea en campo o en panel.
- III. Defina el tipo de señal de entrada.
- IV. Defina el rango de la señal de entrada.
- V. Asigne las borneras a la señal de entrada del instrumento (si es necesario).
- VI. Defina el tipo de señal de salida.
- VII. Defina el rango de la señal de salida.
- VIII. Asigne las borneras a la señal de salida del instrumento (si es necesario).
- IX. Repita los procedimientos anteriores para cada instrumento, involucrado en los procesos de control. Al finalizar, proceda con el levantamiento del diagrama de lazo del banco de pruebas bajo el formato mostrado en la figura 3.

Figura 3. Formato de diagrama de lazo.

Nombre del diagrama				
Área de cableado y/o equipos 1		Área de cableado y/o equipos 2		Área de cableado y/o equipos 3
<i>Espacio reservado para el diagrama</i>		<i>Espacio reservado para el diagrama</i>		<i>Espacio reservado para el diagrama</i>
Instrumento	TAG	Señal de entrada	Señal de salida	Rango de trabajo
<i>Nombre instrumento 1</i>	<i>TAG 1</i>	<i>Señal de entrada 1</i>	<i>Señal de salida 1</i>	<i>Rango de trabajo 1</i>
<i>Nombre instrumento 2</i>	<i>TAG 2</i>	<i>Señal de entrada 2</i>	<i>Señal de salida 2</i>	<i>Rango de trabajo 2</i>
<i>Nombre instrumento 3</i>	<i>TAG 3</i>	<i>Señal de entrada 3</i>	<i>Señal de salida 3</i>	<i>Rango de trabajo 3</i>
Elaborado por:		Fecha de elaboracion Fecha de revision	Revisado por:	Nombre del diagrama

Tabla 13. Datos diagrama de lazo.

Instrumento – TAG (Nombre)					
(Seleccione con una X)			Campo		Panel
	Tipo de señal	Rango		Bornera	
		Min.	Max.		
Entrada					
Salida					
Instrumento – TAG (Nombre)					
(Seleccione con una X)			Campo		Panel
	Tipo de señal	Rango		Bornera	
		Min.	Max.		
Entrada					
Salida					

7. Selección de instrumentación

Con la identificación de los requerimientos de funcionalidad, y realización de los diagramas de lazo y P&ID, se tiene una base para seleccionar la instrumentación requerida por el banco de pruebas. Por lo cual debe llevar a cabo el siguiente procedimiento:

- I. Defina en la tabla 14 la instrumentación a seleccionar, a excepción de la instrumentación a calibrar previamente seleccionada.

Tabla 14. Instrumentos a seleccionar.

Instrumentos a seleccionar

Continúe con el siguiente procedimiento, llenando la tabla 15 en el archivo Excel *Tablas Banco de Pruebas*:

- II. Defina los criterios de selección del instrumento, por ejemplo: rangos de trabajo, sensibilidad, exactitud.
- III. Asigne a cada criterio de selección, un rango que usted considera ideal.

- IV. Asigne un peso entre 1 y 5, a cada criterio de selección, de acuerdo con el nivel de importancia que represente para usted (siendo 1 menor importancia y 5 mayor importancia).
- V. Al tener identificados los criterios de selección y de asignarles un rango ideal y un peso, posteriormente realice un sondeo, de las alternativas del instrumento.
- VI. Defina el rango real para cada criterio de selección del instrumento, que representa una alternativa de selección.
- VII. Defina un porcentaje de aceptación, con base a la diferencia entre el rango ideal y el rango real de cada criterio de selección del instrumento, siendo 100% una diferencia de cero entre el rango real e ideal, y 0% una diferencia entre el rango real e ideal muy grande.
- VIII. Asigne la referencia y el proveedor del instrumento.
- IX. Ingrese una imagen del instrumento (opcional).

Tabla 15. Alternativa de selección del instrumento para el banco de pruebas.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Peso total					
Referencia					
Proveedor					
N°					
<i>Imagen del instrumento</i>					

- X. Finalmente marque con una X en la tabla 16 en el archivo Excel *Tablas Banco de Pruebas*, el instrumento que mayor peso total presente. Puesto que el peso total de cada instrumento es calculado automáticamente en Excel, multiplicando el porcentaje de aceptación por el peso de cada criterio de selección, y sumando la totalidad de los productos, obteniendo de esta manera el peso total.
- XI. Repita el mismo procedimiento para cada instrumento presente en la tabla 14

Tabla 16. Selección del instrumento .

Selección del instrumento		
N° Instrumento	Peso total	Marque con una X

8. Diagrama de mando y potencia

Si se encuentra presente motores en la selección de la instrumentación, llene la tabla 17 con las siguientes características de estos:

- Defina el voltaje de alimentación.
- Defina la potencia.
- Marque con un X el tipo de alimentación, ya sea monofásica o trifásica.
- Marque si el motor necesita o no, de cambio de giro.
- Si el motor necesita de elementos de cambio de giro, indíquelos.
- Si el motor necesita de elementos de protección, indíquelos.

Tabla 17. Características del motor para diagrama de mando y potencia.

Características del motor				
Voltaje de alimentación				
Potencia				
Marque con una X el tipo de alimentación y el cambio de giro				
Tipo de alimentación	<input type="checkbox"/>	Monofásica	<input type="checkbox"/>	Trifásica
Cambio de giro	<input type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
Elementos de cambio de giro				
Protecciones				

Luego de definir las características del motor, proceda con el levantamiento del diagrama de mando y potencia, teniendo en cuenta la lógica de control que utilizaran estos, y las protecciones que se le prestaran.

Posteriormente llene la tabla 18 con la instrumentación de protección y/o cambio de giro, que se encuentre en el diagrama de mando y potencia.

Tabla 18. Instrumentos de protección y cambio de giro a seleccionar.

Instrumentos a seleccionar

Realice el siguiente proceso de selección de la instrumentación, llenado la tabla 19 en el archivo Excel Tablas *Banco de Pruebas*:

- I. Defina los criterios de selección del instrumento a seleccionar, por ejemplo, rangos de trabajos y exactitud.
- II. Asigne a cada criterio de selección un rango que usted considere ideal.
- III. Asigne un peso entre 1 y 5, a cada criterio de selección, de acuerdo con el nivel de importancia que represente para usted (siendo 1 menor importancia y 5 mayor importancia).
- IV. Al tener identificados los criterios de selección y de asignarles un rango ideal y un peso, posteriormente realice un sondeo de las alternativas del instrumento.
- V. Defina el rango real para cada criterio de selección de la alternativa de selección del instrumento.
- VI. Defina un porcentaje de aceptación, con base a la diferencia entre el rango ideal y el rango real de cada criterio de selección del instrumento, siendo 100% una diferencia de cero entre el rango real e ideal, y 0% una diferencia entre el rango real e ideal muy grande.
- VII. Asigne la referencia y el proveedor del instrumento.
- VIII. Ingrese una imagen del instrumento (opcional).

Tabla 19. Elemento de cambio de giro o protección a seleccionar para el banco de pruebas.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Peso total					
Referencia					
Proveedor					
N°					
<i>Imagen del instrumento</i>					

- IX. Finalmente marque con una X en la tabla 20 en el archivo Excel *Banco de Pruebas*, el instrumento que mayor peso total presente. Puesto que el peso total de cada instrumento es calculado automáticamente en Excel, multiplicando el porcentaje de aceptación por el peso de cada criterio de selección, y sumando la totalidad de los productos, obteniendo de esta manera el peso total.
- X. Repita el mismo procedimiento, para cada instrumento presente en la tabla 18.

Tabla 20. Selección del elemento de protección o cambio de giro.

Selección del instrumento		
N° Elemento	Peso	Marque con una X
1		
2		
3		

9. Selección del elemento patrón

Con la selección del método de calibración y el instrumento a calibrar, se puede inferir si el instrumento a calibrar necesita de un elemento patrón en el proceso de calibración. De ser así se selecciona el elemento patrón requerido por el banco de pruebas, bajo el siguiente procedimiento:

- I. Defina en la tabla 21 la instrumentación patrón a seleccionar.

Tabla 21. Instrumentos patrones a seleccionar.

Instrumentos patrones a seleccionar

Continúe con el siguiente procedimiento, llenando la tabla 22 en el archivo Excel *Tablas Banco de Pruebas*:

- II. Defina los criterios de selección del instrumento, por ejemplo, rangos de trabajo y exactitud.
- III. Asigne a cada criterio de selección un rango que usted considere ideal.
- IV. Asigne un peso entre 1 y 5, a cada criterio de selección, de acuerdo con el nivel de importancia que represente para usted (siendo 1 menor importancia y 5 mayor importancia).
- V. Al tener identificados los criterios de selección y de asignarles un rango ideal y un peso, posteriormente realice un sondeo, de las alternativas del instrumento.
- VI. Defina el rango real para cada criterio de selección de la alternativa de selección del instrumento.
- VII. Defina un porcentaje de aceptación, con base a la diferencia entre el rango ideal y el rango real de cada criterio de selección del instrumento, siendo 100% una diferencia de cero entre el rango real e ideal, y 0% una diferencia entre el rango real e ideal muy grande.
- VIII. Asigne la referencia y el proveedor del instrumento.
- IX. Ingrese una imagen del instrumento (opcional).

Tabla 22. Alternativa de selección del instrumento patrón para el banco de pruebas.

Crterios de seleccin	Rango ideal	Rango real	% de aceptacin	Peso	% * Peso
Peso total					
Referencia					
Proveedor					
N°					
<i>Imagen del instrumento</i>					

- X. Finalmente marque con una X en la tabla 23 en el archivo Excel *Banco de Pruebas*, el instrumento que mayor peso total presente. Puesto que el peso total de cada instrumento es calculado automticamente en Excel, multiplicando el porcentaje de aceptacin por el peso de cada criterio de seleccin, y sumando la totalidad de los productos, obteniendo de esta manera el peso total.

Tabla 23. Seleccin del instrumento.

Seleccin del instrumento patrón		
N° Instrumento	Peso total	Marque con una X

10. Seleccin del controlador

Seleccione el controlador, de acuerdo con los lazos de control, y el tipo de seales presentes en el diagrama de lazo del banco de pruebas, bajo el siguiente procedimiento:

- I. Defina en la tabla 24, el nmero de entradas discretas que demande el banco de pruebas.
- II. Defina el nmero de salidas discretas que demande el banco de pruebas.
- III. Defina el nmero de entradas analgicas que demande el banco de pruebas.
- IV. Defina el nmero de salidas analgicas que demande el banco de pruebas.
- V. Defina otro requerimiento cuantitativo del controlador que demande el banco de pruebas.
- VI. Seleccione con una X, si es necesario el uso de manuales del controlador.
- VII. Seleccione con una X, si es necesario otro tipo de caracterstica cualitativa, y de ser as, menciónela.
- VIII. Asigne a cada uno de los requerimientos anteriores, un peso de acuerdo con el grado de importancia que represente para el usted, siendo 1 de menor importancia, y 5 de mayor importancia.

Tabla 24. Requerimientos del controlador del banco de pruebas.

Requerimientos cuantitativos	Cantidad ideal				Peso
Entradas discretas					
Salidas discretas					
Entradas analógicas					
Salidas analógicas					
Otro. Cual:					
Requerimientos cualitativos	Marque con una X				
Manual de usuario	Si		No		
Otro. Cual:	Si		No		

- IX. Al tener concretados los criterios de selección y de asignarles una cantidad ideal, y un peso, posteriormente realice un sondeo, de las alternativas del controlador a seleccionar.
- X. Defina en la tabla 25 del archivo Excel *Tablas Banco de Pruebas*, la cantidad real para cada característica cuantitativa, y la existencia o no de características cualitativas, presentes en la alternativa de controlador.
- XI. Defina en la tabla 25 un porcentaje de aceptación, con base a la diferencia entre los requerimientos definidos en la tabla 24 y las características definidas en la tabla 25, siendo 100% una diferencia de cero entre requerimientos y características, y 0% una diferencia entre requerimientos y características muy grande.
- XII. Asigne en la tabla 25 a cada criterio de selección, los pesos anteriormente definidos en la tabla 24.
- XIII. Asigne en la tabla 25 la referencia y el proveedor del controlador.

Tabla 25. Alternativas de controlador a seleccionar.

Características cuantitativas	Cantidad real				% de aceptación	Peso	% * Peso
Entradas discretas							
Salidas discretas							
Entradas analógicas							
Salidas analógicas							
Otro. Cual:							
Características cualitativas	Marque con una X						
Manual de usuario	Si		No				
Otro. Cual:	Si		No				
Peso total							
Referencia							
Proveedor							
N° Controlador							

- XIV. Finalmente marque con una X en la tabla 26 en el archivo Excel *Banco de Pruebas*, el controlador que mayor peso total presente. Puesto que el peso total de cada instrumento es calculado automáticamente en Excel, multiplicando el porcentaje de aceptación por el peso de cada criterio de selección, y sumando la totalidad de los productos, obteniendo de esta manera el peso total.

Tabla 26. Selección del controlador.

Selección del controlador		
N° Instrumento	Peso total	Marque con una X
1		
2		
3		

11. Diseño de accesorios

Realice el diseño de los accesorios del banco de pruebas, si este lo requiere, y adjunte estos en el presente documento. Se sugiere utilizar herramientas de diseño CAD.

12. Diseño de estructura física

Realice el diseño de la estructura física del banco de pruebas, y adjunte este en el presente documento. Se sugiere utilizar herramientas de diseño CAD.

13. Ensamble

Previo al ensamble del banco de pruebas, cotice toda instrumentación, elementos y estructura de este en la tabla 27 en el archivo Excel *Tablas Banco de Pruebas*, con la finalidad de conocer el costo total del banco, y proceder con la adquisición de los componentes. Para ello, prosiga bajo el siguiente procedimiento:

- I. Identifique el nombre del equipo (instrumento, material), e ingréselo en la casilla de producto, en la tabla 27.
- II. Ingrese la referencia y marca del equipo, en las casillas destinadas para tal.
- III. Defina las unidades que requiere el banco de pruebas del equipo.
- IV. Asigne un precio unitario al equipo.
- V. Repita los procedimientos anteriores para cada equipo del banco de pruebas, en cada sección, como en la selección del método de calibración, selección de instrumentación, diagrama de mando y potencia, selección del elemento patrón, selección del controlador, diseño de accesorios, diseño de estructura física, y ensamble.

Tabla 27. Cotización de total del banco de pruebas.

Producto	Referencia	Marca	Unidades	Precio unitario	Precio total
Selección del método de calibración					
Selección de instrumentación					
Diagrama de mando y potencia					
Selección de elemento patrón					
Selección del controlador					
Diseño de accesorios					
Diseño de estructura física					
Ensamble					
Total					

Una vez adquirido los equipos y materiales necesarios, para la implementación del banco de pruebas, proceda a realizar el ensamble, para lo cual se sugiere:

- Instalar instrumentación y accesorios en la estructura principal del banco.
- Luego llevar a cabo las conexiones físicas.
- Finalmente realice pruebas de funcionalidad en la instrumentación.

ANEXO B) Aplicación de guía de método para diseño de un banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión

1. Descripción general del banco de pruebas

Se especificará qué tipo de banco de pruebas se requiere diseñar y/o implementar, si es para actividades de calibración, control, o si es de doble propósito. Si el banco es para control o mixto, se establece que tipo de lazo de control se tendrán en él banco, ya sea lazo abierto, cerrado, o ambos. Además, se especifica el esquema de control que tendrá el banco, que puede ser feedback, feedforward, cascada, multivariable u otros que conozca el usuario.

- Seleccione con una X en la tabla 1 el tipo de banco de pruebas que se implementará.

Tabla 1. Selección tipo de banco.

Tipos de banco de pruebas	
	Control
	Calibración
X	Mixto

- Si el banco de pruebas es de control o mixto, seleccione con una X en la tabla 2, el o los tipos lazos de control que se tendrán en el banco.

Tabla 2. Lazos de control.

Lazos de control	
X	Lazo abierto
X	Lazo cerrado

- Si el banco de pruebas tiene lazos de control en lazo cerrado, seleccione con una X en la tabla 3 el o los esquemas de control.

Tabla 3. Esquemas de control.

Esquemas de control	
X	Feedback
	Feedforward
X	Cascada
	Multivariable
X	Otros

2. Selección del método de calibración

Si el banco de pruebas es de calibración o mixto, seleccione la instrumentación a calibrar y el método de calibración de esta. En la selección del método de calibración, se debe tener en cuenta la utilidad y el soporte técnico del método de calibración.

- Nombre en la tabla 4 la instrumentación a calibrar, y dé a conocer algunas características técnicas de este.

Tabla 4. Instrumentación a calibrar.

Instrumento	Transmisor de flujo por diferencia de presión
Características técnicas	Este instrumento mide la presión diferencial aguas arriba y aguas abajo de un tubo Venturi en una tubería, donde convierte este diferencial en flujo.

- Seleccione un instrumento a calibrar

En el proceso de selección, del instrumento a calibrar en el banco de pruebas, se parte llevando a cabo el siguiente procedimiento (llenando la tabla 5 en el archivo Excel *Tablas Banco de Pruebas*, para cada instrumento a calibrar):

- I. Defina criterios de selección del instrumento a calibrar, por ejemplo, rangos de trabajo y exactitud.
- II. Asigne a cada criterio de selección, un rango que usted considere ideal.
- III. Asigne un peso entre 1 y 5, a cada criterio de selección, de acuerdo con el nivel de importancia que represente para usted (siendo 1 menor importancia y 5 mayor importancia).

Al tener identificados los criterios de selección y de asignarles un rango ideal y un peso, posteriormente realice un sondeo, de las alternativas del instrumento, continuando con el siguiente procedimiento:

- IV. Defina el rango real de la alternativa de selección, para cada criterio de selección del instrumento a calibrar.
- V. Defina un porcentaje de aceptación, con base a la diferencia entre el rango ideal y el rango real del instrumento, siendo 100% una diferencia de cero entre el rango real e ideal, y 0% una diferencia entre el rango real e ideal muy grande.
- VI. Asigne la referencia y proveedor del instrumento.
- VII. Ingrese una imagen del instrumento (opcional).
- VIII. Repita estos procedimientos con cada alternativa de selección del instrumento a calibrar, se sugieren tres alternativas.

Tabla 5. Alternativas de selección de instrumento a calibrar – Transmisor de flujo por diferencia de presión N° 1.

Crterios de seleccin	Rango ideal	Rango real	% de aceptacin	Peso	% * Peso
Rango	0 a 10kPa	-10 a 10 kPa	100%	4	4
Exactitud	0.075%	0.075%	100%	4	4
Salida	4 – 20Ma	4 – 20Ma	100%	5	5
Alimentacin	24 VDC	Brain y Hart, 10.5 a 42 VDC	100%	5	
Precio	2'000.000,00 COP	2'629.262,66 COP	100%	3	3
				Peso total	23
Referencia	EJA 110 A				
Proveedor	Yokogawa Corporation				
N°	1				
					

Tabla 6. Alternativa de seleccin de instrumento a calibrar – Transmisor de flujo por diferencia de presi3n N° 2.

Crterios de seleccin	Rango ideal	Rango real	% de aceptacin	Peso	% * Peso
Rango	0 a 10kPa	-0.1 A 100MPa	100%	4	4
Exactitud	0.075%	0.1%	70%	4	2.8
Salida	4 – 20Ma	4 – 20Ma	100%	5	5
Alimentacin	24 VDC	12 – 45 VDC	100%	5	5
Precio	2'000.000,00 COP	2'921.402,96 COP	90%	3	2.7
				Peso total	19,5
Referencia	HC3000 Series				
Proveedor	Rosemount				
N°	2				



Tabla 7. Alternativa de selección de instrumento a calibrar – Transmisor de flujo por diferencia de presión N° 3.

Crterios de seleccin	Rango ideal	Rango real	% de aceptacin	Peso	% * Peso
Rango	0 a 10kPa	10mbar a 40bar	70%	4	2.8
Exactitud	0.075%	0.075%	100%	4	4
Salida	4 – 20Ma	4 – 20Ma	100%	5	5
Alimentacin	24 VDC	10.5 – 40 VDC	100%	5	5
Precio	2'000.000,00 COP	3'505.683,55 COP	70%	3	2.1
				Peso total	18,9
Referencia	PDM75 Series				
Proveedor	Endress Hauser				
N°	3				



IX. Marque con una X en la tabla 8, el instrumento que mayor peso total presente. Puesto que el peso total de cada instrumento es calculado automticamente en Excel, multiplicando el porcentaje de aceptacin por el peso de cada criterio de seleccin, y sumando la totalidad de los productos, obteniendo de esta manera el peso total.

Tabla 8. Selección de instrumento a calibrar.

Selección del instrumento a calibrar		
N° Instrumento	Peso total	Marque con una X
1	23	X
2	19,5	
3	18,9	

- Seleccione con una X en la tabla 9, el método de calibración a utilizar en el instrumento a calibrar seleccionado, teniendo en consideración las siguientes definiciones:

Método normalizado: Aquel método de calibración publicado en normas internacionales, nacionales o regionales.

Método no normalizado: Aquel método de calibración desarrollado y validado antes de su uso, pero que aún no se encuentra publicado en normas internacionales, nacionales o regionales.

Método desarrollado por el laboratorio: Aquel método de calibración desarrollado por el laboratorio, para su propio uso.

Tabla 9. Tipo de método de calibración.

Método de calibración	
	Método normalizado Basado en normas técnicas internacionales.
X	Método desarrollado por el laboratorio Desarrollado y validado por el laboratorio.
	Método no normalizado Desarrollado por el propio usuario sin soporte e normas técnicas internacionales.

3. Requerimientos de funcionalidad

Establezca los requerimientos básicos de funcionamiento del banco de pruebas, los cuales brindan un marco de referencia en la selección de la instrumentación, el diseño de la estructura y accesorios del banco de pruebas.

- Si las condiciones ambientales afectan el banco de pruebas, seleccione en la tabla 10 los rangos permisibles de estas, por ejemplo: temperatura ambiente, humedad, presión, entre otros.

Tabla 10. Rango de condiciones ambientales.

Condiciones ambientales			
Variable	--	--	--
Mínimo	--	--	--
Máximo	--	--	--

- Defina en la tabla 11 el modelo físico del banco de pruebas, con el fin de brindar un diagnóstico, dando a conocer los equipos básicos para el funcionamiento del banco de pruebas. Para ello, siga el procedimiento a continuación, llenando la tabla 11:
 - I. Defina la célula de proceso del banco de pruebas, entendiendo por célula de proceso, el agrupamiento de unidades para la producción de uno o más lotes, por ejemplo: laboratorio de control de procesos.
 - II. Defina las unidades que componen cada célula de proceso, entendiendo por unidad, la agrupación de módulos para llevar a cabo tareas específicas, por ejemplo: mezclado y cocción.
 - III. Defina los módulos de equipo que componen cada unidad, entendiendo por módulo de equipo, agrupación de equipos que realizan un número finito de actividades de procesamiento, por ejemplo: unidad de control de temperatura.
 - IV. Defina los módulos de control que componen cada módulo de equipo, entendiendo por módulo de control, aquel componente de procesamiento que, desde el punto de vista de control, funciona como una entidad, por ejemplo: válvula y sensor de nivel.

Tabla 11. Modelo físico del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión.

Modelo físico ISA 88			
Célula de proceso	Unidad	Módulo de equipo	Módulo de control
Laboratorio de control de procesos	Almacenamiento	Módulo de control de flujo	Servoválvula
			Válvula solenoide
			Transmisor de flujo por diferencia de presión
			Bomba
		Módulo de control de nivel	Servoválvula
			Sensor ultrasónico de nivel
			Válvula solenoide
			Bomba

4. Diagrama de flujo

Realice el diagrama de flujo (PDF) del banco de pruebas, que represente gráficamente la conversión y manipulación de materias primas a lo largo del banco de pruebas, de tal manera de obtener un PDF sencillo y con un mínimo de detalle para su fácil interpretación. Por lo cual, lleve a cabo el siguiente procedimiento:

- I. Ingrese en la tabla 12, la instrumentación básica que interactuara con el flujo del proceso, que tendrá el banco de pruebas.
- II. Asigne en la tabla 12, una TAG o código alfanumérico de identificación, a la instrumentación ingresada anteriormente.
- III. Realice el diagrama de flujo.

Tabla 12. Equipos del diagrama de flujo.

Instrumentos o equipo	TAG
Transmisor de flujo por diferencia de presión	FTI – 02
Transmisor de flujo	FT – 02
Sensor de flujo	FE – 02
Transmisor de nivel ultrasónico	LT – 01
Servoválvula	FCV
Electroválvula 1	V1
Electroválvula 2	V2
Electroválvula 3	V3
Válvula manual 1	HV1
Válvula manual 2	HV2
Válvula manual 3	HV3
Válvula manual 4	HV4
Válvula manual 5	HV5
Motobomba	P
Tanque de almacenamiento 1	TK1
Tanque de almacenamiento 2	TK2
Tanque de almacenamiento 3	TK3

5. Diagrama P&ID

Realice el diagrama P&ID del banco de pruebas, donde se represente gráficamente las conexiones físicas e instrumentación involucrada en los procesos de control. El cual facilitara la identificación de posibles lazos de control. Por lo cual, lleve a cabo el siguiente procedimiento:

- I. Ingrese en la tabla 13 las variables controladas y manipuladas del banco de pruebas.
- II. Defina en la tabla 13 los rangos de las variables anteriores.
- III. Seleccione en la tabla 13 el escenario de automatización que se tendrá en el banco de pruebas.
- IV. Posteriormente ingrese en la tabla 14 la instrumentación que interactuara en los procesos de control.
- V. Asígnele a la instrumentación ingresada anteriormente, su correspondiente TAG o código alfanumérico de identificación, basándose en la identificación de la instrumentación básica, previamente realizada en el diagrama de flujo.
- VI. Con la información obtenida anteriormente, proceda con el levantamiento del diagrama P&ID del banco de pruebas.

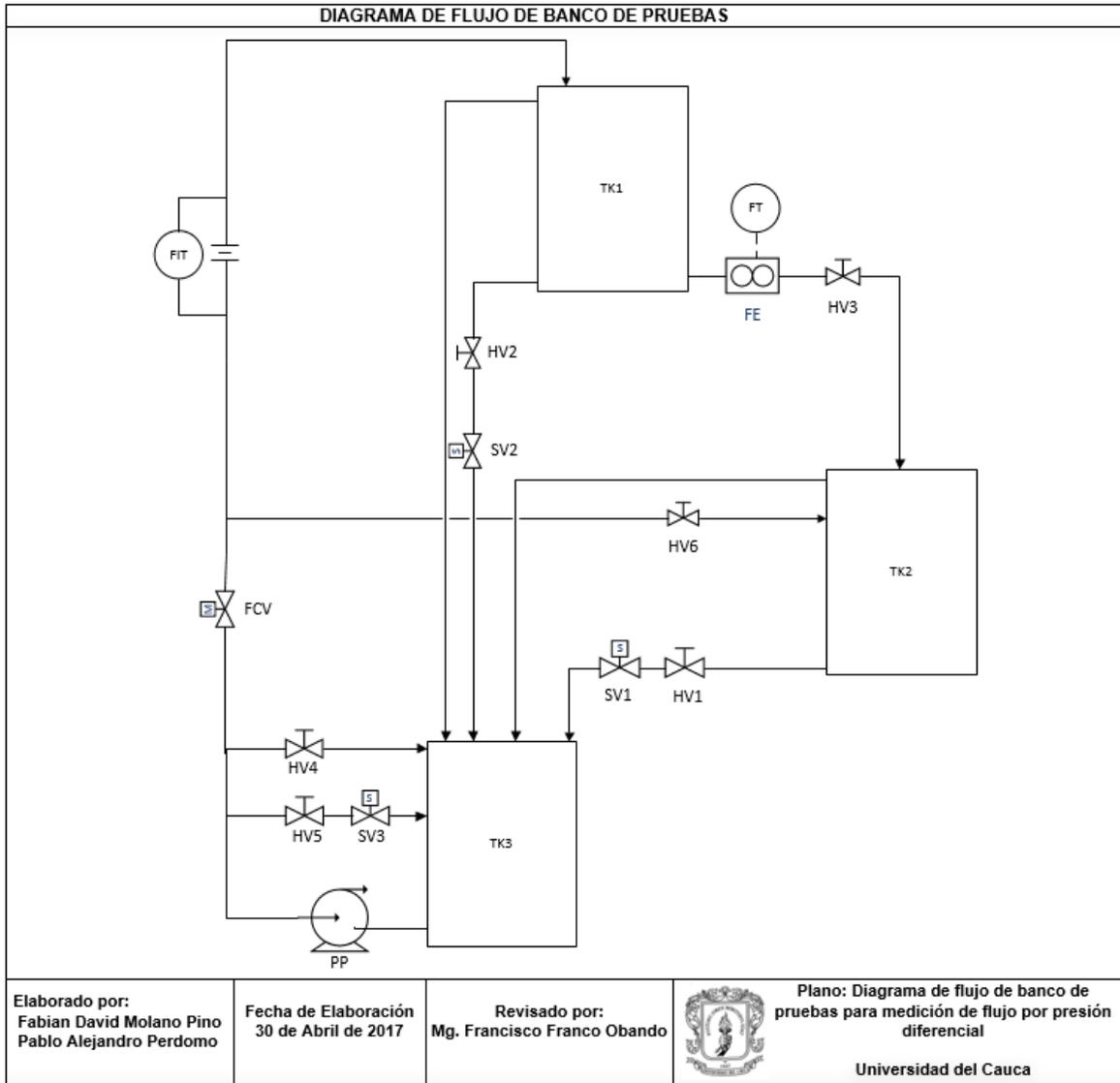
Tabla 13. Variables y escenario del banco de pruebas.

	Variable	Rango
VARIABLES CONTROLADAS	Nivel	0 – 30 cm
VARIABLES MANIPULADAS	Flujo	0 – 6.5 Gpm
Escenario de automatización (marque con una X)	X	Escenario PLC
		Escenario tarjeta de adquisición de datos
		Escenario microcontrolador
		Otro. Cual:

Tabla 14. Instrumentos y TAG del banco de pruebas.

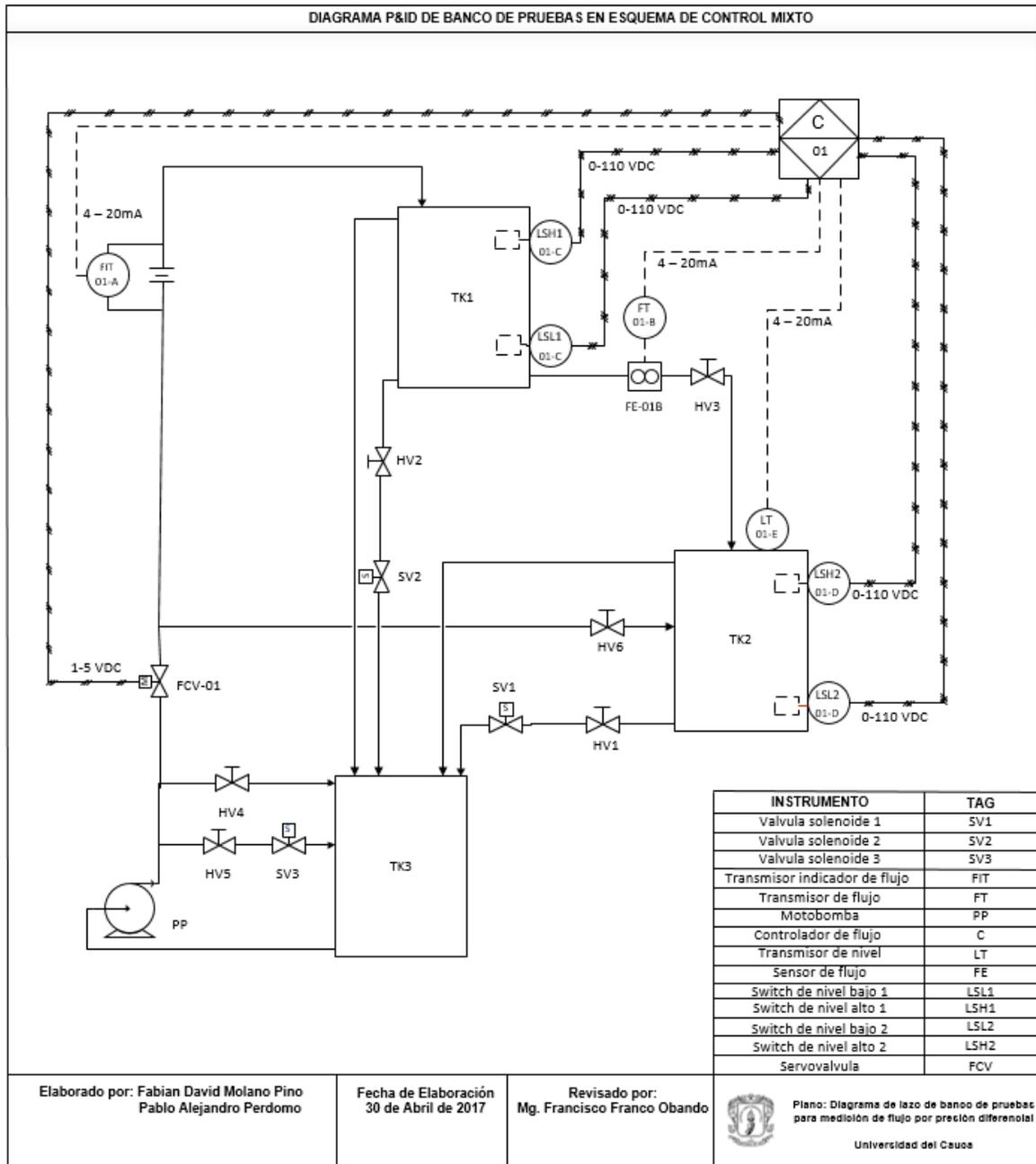
Instrumento o equipo	TAG
Transmisor de flujo por diferencia de presión	FTI – 02
Controlador de flujo	FC – 02
Controlador de nivel	LC – 01
Transmisor de flujo	FT – 02
Sensor de flujo	FE – 02
Transmisor de nivel ultrasónico	LT – 01
Servoválvula de control de flujo	FCV – 02
Electroválvula 1	V1 – 01
Electroválvula 2	V2 – 02
Electroválvula 3	V3 – 03
Válvula manual 1	HV1
Válvula manual 2	HV2
Válvula manual 3	HV3
Válvula manual 4	HV4
Válvula manual 5	HV5
Tanque de almacenamiento 1	TK1
Tanque de almacenamiento 2	TK2
Tanque de almacenamiento 3	TK3

Figura 1. Diagrama de flujo de banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión



Fuente autor

Figura 2. P&ID de banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión.



Fuente autor

6. Diagrama de lazo

Teniendo en cuenta las variables manipuladas y controladas, sus rangos, conexiones y lazos de control mostrados en el diagrama P&ID, proceda a realizar el diagrama de lazo, dando a conocer las conexiones físicas en la instrumentación, y los lazos de control que se tendrán en el banco. Por lo cual, lleve a cabo el siguiente procedimiento:

- I. Ingrese en la tabla 15 al 26, el nombre del instrumento y asígnele a este su TAG o código alfanumérico de identificación.
- II. Seleccione con un X la localización del instrumento, ya sea en campo o el panel.
- III. Defina el tipo de señal de entrada.
- IV. Defina el rango de la señal de entrada.
- V. Asigne las borneras a la señal de entrada del instrumento (si es necesario).
- VI. Defina el tipo de señal de salida.
- VII. Defina el rango de la señal de salida.
- VIII. Asigne las borneras a la señal de salida del instrumento (si es necesario).
- IX. Repita los procedimientos anteriores para cada instrumento, involucrado en los procesos de control.
- X. Con la información obtenida anteriormente, proceda con el levantamiento del diagrama de lazo del banco de pruebas.

Tabla 15. Datos diagrama de lazo – Motobomba.

Instrumento – TAG (Nombre)	Motobomba – P			
(Seleccione con una X)	X	Campo		Panel
	Tipo de señal	Rango		Bornera
		Min.	Max.	
Entrada	Voltaje AC	0	220 VAC	--
Salida	Caudal	0	6,5 Gpm	--

Tabla 16. Datos diagrama de lazo – Servoválvula.

Instrumento – TAG (Nombre)	Servoválvula – FCV			
(Seleccione con una X)	X	Campo		Panel
	Tipo de señal	Rango		Bornera
		Min.	Max.	
Entrada	Corriente	0	15 mA	--
Salida	Apertura	0	100%	--

Tabla 17. Datos diagrama de lazo – Válvula solenoide N°1.

Instrumento – TAG (Nombre)	Válvula solenoide N°1 – V1-01			
(Seleccione con una X)	X	Campo		Panel
	Tipo de señal	Rango		Bornera
		Min.	Max.	
Entrada	Voltaje DC	0	110	--
Salida	Apertura	0	100%	--

Tabla 18. Datos diagrama de lazo – Válvula solenoide N° 2.

Instrumento – TAG (Nombre)	Válvula solenoide N°2 – V2-02			
(Seleccione con una X)	X	Campo		Panel
	Tipo de señal	Rango		Bornera
		Min.	Max.	
Entrada	Voltaje DC	0	110	--
Salida	Apertura	0	100%	--

Tabla 19. Datos diagrama de lazo – Válvula solenoide N°3.

Instrumento – TAG (Nombre)	Válvula solenoide N°3 – V3-03			
(Seleccione con una X)	X	Campo		Panel
	Tipo de señal	Rango		Bornera
		Min.	Max.	
Entrada	Voltaje DC	0	110	--
Salida	Apertura	0	100	--

Tabla 20. Datos diagrama de lazo – Transmisor de nivel ultrasónico N°1.

Instrumento – TAG (Nombre)	Transmisor de nivel ultrasónico N°1			
(Seleccione con una X)	X	Campo		Panel
	Tipo de señal	Rango		Bornera
		Min.	Max.	
Entrada	Longitud (metros)	0	5	--
Salida	Corriente (mA)	4	20	--

Tabla 21. Datos diagrama de lazo – Transmisor de nivel ultrasónico N°2.

Instrumento – TAG (Nombre)	Transmisor de nivel ultrasónico N°2			
(Seleccione con una X)	X	Campo		Panel
	Tipo de señal	Rango		Bornera
		Min.	Max.	
Entrada	Longitud (metros)	0	5	--
Salida	Corriente (mA)	4	20	--

Tabla 22. Datos diagrama de lazo – Transmisor de flujo por diferencia de presión.

Instrumento – TAG (Nombre)	Transmisor de flujo por diferencia de presión			
(Seleccione con una X)	X	Campo		Panel
	Tipo de señal	Rango		Bornera
		Min.	Max.	
Entrada	Flujo (gpm)	0	6	--
Salida	Corriente (mA)	4	20	--

Tabla 23. Datos diagrama de lazo – Switch de nivel alto 1.

Instrumento – TAG (Nombre)	Switch de nivel alto 1 – LSH1-01			
(Seleccione con una X)	X	Campo		Panel
	Tipo de señal	Rango		Bornera
		Min.	Max.	
Entrada	Nivel	ON	OFF	--
Salida	Voltaje	0	110 VDC	--

Tabla 24. Datos diagrama de lazo – Switch de nivel alto 2.

Instrumento – TAG (Nombre)	Switch de nivel alto 2 – LSH2-01			
(Seleccione con una X)	X	Campo		Panel
	Tipo de señal	Rango		Bornera
		Min.	Max.	
Entrada	Nivel	ON	OFF	--
Salida	Voltaje	0	110 VDC	--

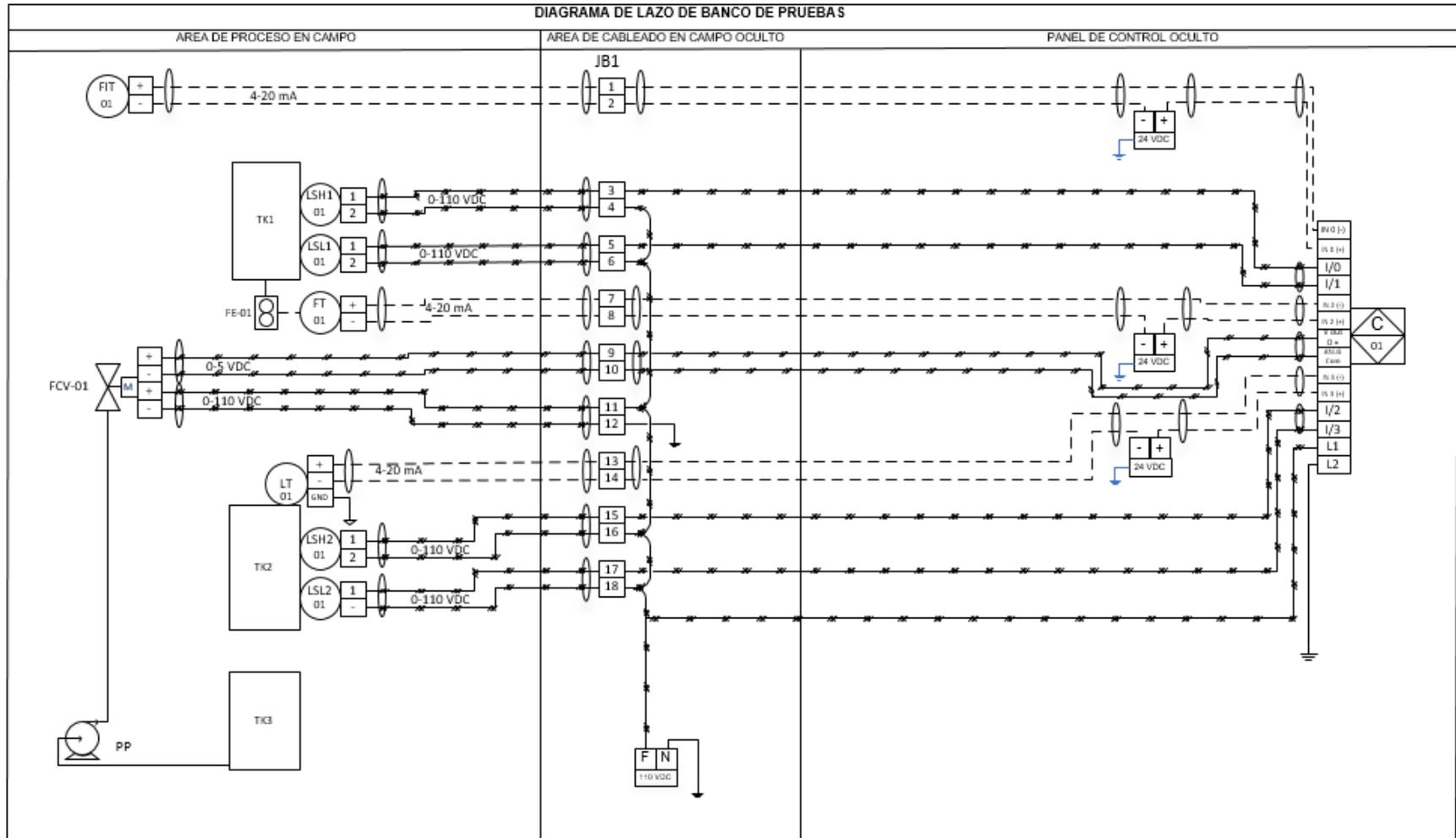
Tabla 25. Datos diagrama de lazo – Switch de nivel bajo 1.

Instrumento – TAG (Nombre)	Switch de nivel bajo 1 – LSL1-01			
(Seleccione con una X)	X	Campo		Panel
	Tipo de señal	Rango		Bornera
		Min.	Max.	
Entrada	Nivel	ON	OFF	--
Salida	Voltaje	0	110 VDC	--

Tabla 26. Datos diagrama de lazo – Switch de nivel bajo 2.

Instrumento – TAG (Nombre)	Switch de nivel bajo 2 – LSL2-01			
(Seleccione con una X)	X	Campo		Panel
	Tipo de señal	Rango		Bornera
		Min.	Max.	
Entrada	Nivel	ON	OFF	--
Salida	Voltaje	0	110 VDC	--

Figura 3. Diagrama de lazo del banco de pruebas para medición de flujo por diferencia de presión.



Fuente autor

Figura 4. Instrumentos del diagrama de lazo del banco de pruebas para medición de flujo por diferencia de presión.

INSTRUMENTO	TAG	SEÑAL DE ENTRADA	SEÑAL DE SALIDA	RANGO DE TRABAJO
Servovalvula	FCV	0-5 VDC	0 – 100%	4 – 20mA
Transmisor indicador de flujo	FIT	0-10 kPa	4 – 20mA	0-10 kPa
Transmisor de flujo	FT	4 – 20mA	4 – 20mA	4 – 20mA
Motobomba	PP	0 – 110 VDC	0 – 6.5 Gcm	0 – 110 VDC
Controlador	C	--	--	--
Transmisor de nivel	LT	10 – 300 cm	4 – 20mA	10 – 300 cm
Sensor de flujo	FE	0.5 – 6 m/s	4 – 20mA	0.5 – 6 m/s
Switch de nivel bajo 1	LSL1	Posición ON/OFF	0 – 110 VDC	Posición ON/OFF
Switch de nivel alto 1	LSH1	Posición ON/OFF	0 – 110 VDC	Posición ON/OFF
Switch de nivel bajo 2	LSL2	Posición ON/OFF	0 – 110 VDC	Posición ON/OFF
Switch de nivel alto 2	LSH2	Posición ON/OFF	0 – 110 VDC	Posición ON/OFF
Elaborado por: Fabian David Molano Pino Pablo Alejandro Perdomo		Fecha de Elaboración 27 de Mayo de 2017	Revisado por: Mg. Francisco Franco Obando	 Plano: Diagrama de lazo de banco de pruebas para medición de flujo por presión diferencial Universidad del Cauca

Fuente autor

7. Selección de instrumentación

Con la identificación de los requerimientos de funcionalidad, y realización de los diagramas de lazo y P&ID, se tiene una base para seleccionar la instrumentación requerida por el banco de pruebas. Por lo cual debe llevar a cabo el siguiente procedimiento:

- I. Defina en la tabla 27 la instrumentación a seleccionar, a excepción de la instrumentación a calibrar previamente seleccionada.

Tabla 27. Instrumentos a seleccionar.

Instrumentos a seleccionar
Motobomba
Válvula solenoide
Servoválvula
Transmisor de nivel ultrasónico
Sensor de flujo
Indicador transmisor de flujo

Continúe con el siguiente procedimiento, llenando la tabla 28 en el archivo Excel *Tablas Banco de Pruebas*:

- II. Defina los criterios de selección para cada instrumento, por ejemplo, rangos de trabajo y exactitud.
- III. Asigne a cada criterio de selección, un rango que usted considera ideal.
- IV. Asigne un peso entre 1 y 5, a cada criterio de selección, de acuerdo con el nivel de importancia que represente para el usuario (siendo 1 menor importancia y 5 mayor importancia).
- V. Al tener identificados los criterios de selección y de asignarles un rango ideal y un peso, posteriormente realice un sondeo, de las alternativas del instrumento.
- VI. Defina el rango real para cada criterio de selección del instrumento, que representa una alternativa de selección.
- VII. Defina un porcentaje de aceptación, con base a la diferencia entre el rango ideal y el rango real de cada criterio de selección del instrumento, siendo 100% una diferencia de cero entre el rango real e ideal, y 0% una diferencia entre el rango real e ideal muy grande.
- VIII. Asigne la referencia y el proveedor del instrumento.
- IX. Ingrese una imagen del instrumento (opcional).
- X. Finalmente marque con una X en la tabla 31 en el archivo Excel *Banco de pruebas*, el instrumento que mayor peso total presente. Puesto que el peso total de cada instrumento es calculado automáticamente en Excel, multiplicando el porcentaje de aceptación por el peso de cada criterio de selección, y sumando la totalidad de los productos, obteniendo de esta manera el peso total.
- XI. Repita el mismo procedimiento para cada instrumento presente en la tabla 27.

- **Válvula solenoide**

Tabla 28. Válvula solenoide a seleccionar para el banco de pruebas – Electroválvula N°1.

Crterios de seleccin	Rango ideal	Rango real	% de aceptacin	Peso	% * Peso
Voltaje de operacin	120 VDC	12-24VDC	70%	4	2,8
Dimensiones	20*20*20 cm	9*7*5 cm	70%	3	2,1
Funcin	NC	NC	100%	5	5
Precio	50.000,00 COP	70.446,75 COP	90%	3	2,7
				Peso total	12,6
Referencia	Válvula solenoide CEME 5531-04				
Proveedor	Yong Chuang				
N°	1				
					

Tabla 29. Válvula solenoide a seleccionar para el banco de pruebas – Electroválvula N°2.

Crterios de seleccin	Rango ideal	Rango real	% de aceptacin	Peso	% * Peso
Voltaje de operacin	120 VDC	10-40 VDC	82%	4	3,28
Dimensiones	20*20*20 cm	8*8*5 cm	80%	3	2,4
Funcin	NC	NC	100%	5	5
Precio	50.000,00 COP	86.781,32 COP	80%	3	2,4
				Peso total	13,08
Referencia	Válvula solenoide				
Proveedor	Haodong				
N°	2				
					

Tabla 30. Válvula solenoide a seleccionar para el banco de pruebas – Electroválvula N°3.

Crterios de seleccin	Rango ideal	Rango real	% de aceptacin	Peso	% * Peso
Voltaje de operacin	120 VDC	110 VAC	100%	4	4
Dimensiones	20*20*20 cm	7*5,3*8,2 cm	100%	3	3
Funcin	NC	NC	100%	5	5
Precio	50.000,00 COP	86.927,56 COP	80%	3	2,4
Peso total					14,4
Referencia	Solenoid valve 2W160-15				
Proveedor	Pneumission				
N°	3				



Tabla 31. Seleccin del instrumento – Válvula solenoide.

Seleccin del instrumento		
N° Instrumento	Peso total	Marque con una X
1	12,6	
2	13,08	
3	14,4	X

- **Servoválvula**

Tabla 32. Servoválvula a seleccionar para el banco de pruebas – Servoválvula N° 1.

Crterios de seleccin	Rango ideal	Rango real	% de aceptacin	Peso	% * Peso
Voltaje de operacin	100 VDC	24 VDC	80%	4	3,2
Presin	15 psi	150 psi	90%	3	2,7
Precio	150.000 COP	147.512 COP	97%	3	2,9
Tamao puerto	1/2"	1/2"	100%	5	5
Peso total					13,8
Referencia	CWX15N				
Proveedor	CWX				
N°	1				



Tabla 33. Servoválvula a seleccionar para el banco de pruebas – Servoválvula N° 2.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Voltaje de operación	100 VDC	14 VAC	70%	4	2,8
Presión	15 psi	3.5 psi	70%	3	2,1
Precio	150.000 COP	296.803 COP	70%	3	2,1
Tamaño puerto	1/2"	1/2"	100%	5	5
				Peso total	12
Referencia	KL5231020				
Proveedor	KLQD				
N°	2				



Tabla 34. Servoválvula a seleccionar para el banco de pruebas – Servoválvula N° 3.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Voltaje de operación	100 VDC	110 VDC	100%	4	4
Presión	15 psi	15 psi	100%	3	3
Precio	150.000 COP	150.000 COP	100%	3	3
Tamaño puerto	1/2"	1/2"	100%	5	5
				Peso total	15
Referencia	Servoválvula ABV 111				
Proveedor	Anderson				
N°	3				

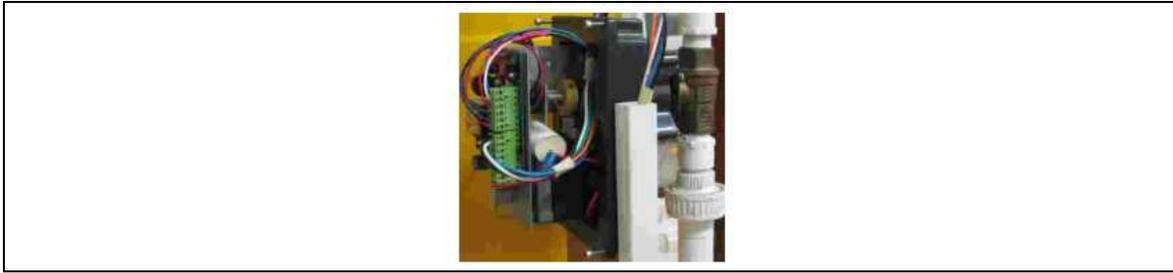


Tabla 35. Selección del instrumento – Servoválvula.

Selección del instrumento		
N° Instrumento	Peso total	Marque con una X
1	13,8	
2	12	
3	15	X

- **Transmisor de nivel ultrasónico**

Tabla 36. Transmisor de nivel ultrasónico a seleccionar para el banco de pruebas – N°1.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Exactitud	0.2%	0.2%	100%	4	4
Rango	0 – 50 cm	10 cm - 3 m	90%	5	4,5
Alimentación	110 VDC	24 VDC	80%	4	3,2
Salida	4-20 mA	4-20 mA	100%	5	5
Precio	200.000 COP	289.627,13 COP	97%	3	4,85
				Peso total	21,57
Referencia	Echosonic LU27				
Proveedor	Flowline				
N°	1				

Tabla 37. Transmisor de nivel ultrasónico a seleccionar para el banco de pruebas – N°2.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Exactitud	0.2%	0.2%	100%	4	4
Rango	0 – 50 cm	3-10 m	70%	5	3,5
Alimentación	110 VDC	30 VDC	85%	4	3,4
Salida	4-20 mA	4-10 mA	100%	5	5
Precio	200.000 COP	434.440,70 COP	80%	3	2,4

Peso total		18,3
Referencia	Ultrasonic level sensor KDMH-R5A	
Proveedor	KAIDI	
N°	2	
		

Tabla 38. Transmisor de nivel ultrasónico a seleccionar para el banco de pruebas – N°3.

Crterios de seleccin	Rango ideal	Rango real	% de aceptacin	Peso	% * Peso
Exactitud	0.2%	0,2%	100%	4	4
Rango	0 – 50 cm	6,5 cm – 50 cm	100%	5	5
Alimentacin	110 VDC	24 VDC	80%	4	3,2
Salida	4-20 mA	4-20 mA	100%	5	5
Precio	200.000 COP	1'448.135,67 COP	40%	3	1,2
Peso total				18,4	
Referencia	Ultrasonic liquid level meter water				
Proveedor	BCST GROUP				
N°	3				
					

Tabla 39. Seleccin del instrumento – Transmisor de nivel ultrasnico.

Seleccin del instrumento		
N° Instrumento	Peso total	Marque con una X
1	21,57	X
2	18,3	
3	18,4	

- **Sensor de flujo**

Tabla 40. Sensor de flujo a seleccionar para el banco de pruebas – N°1.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Rango	0 – 60 L/min	0.5 – 60 L/min	100%	5	5
Dimensión tubería	½"	1/2"	100%	4	4
Salida	4-20 mA	5 – 8 Mv	95%	5	4,7
Alimentación	24 VDC	24 VDC	100%	3	3
Precio	50.000 COP	50.000 COP	100%	3	3
				Peso total	19,7
Referencia	Sensor de flujo +GF+SIGNET Metalex 525				
Proveedor	ProcessPro				
N°	1				
					

Tabla 41. Sensor de flujo a seleccionar para el banco de pruebas – N°2.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Rango	0 – 60 L/min	1-60 L/min	100%	5	5
Dimensión tubería	½"	¾"	80%	4	3,2
Salida	4-20 mA	0-15 mA	96%	5	4,8
Alimentación	24 VDC	5-18 VDC	80%	3	2,4
Precio	50.000 COP	57.925,43 COP	80%	3	2,4
				Peso total	17,8
Referencia	Flow sensor AC 35797092590				
Proveedor	ZVE POWER				
N°	2				



Tabla 42. Sensor de flujo a seleccionar para el banco de pruebas – N°3.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Rango	0 – 60 L/min	0-100 L/min	60%	5	3,0
Dimensión tubería	½”	¾”	80%	4	3,2
Salida	4-20 mA	4-20 mA	100%	5	5
Alimentación	24 VDC	24 VDC	100%	3	3
Precio	50.000 COP	144.813,57 COP	60%	3	1,8
				Peso total	16
Referencia	Flow sensor KTW 15				
Proveedor	FOTEK				
N°	3				



Tabla 43. Selección del instrumento – Sensor de flujo.

Selección de instrumento		
N° Instrumento	Peso	Marque con una X
1	19,7	X
2	17,8	
3	16	

- **Indicador transmisor de flujo**

Tabla 44. Indicador transmisor de flujo a seleccionar para el banco de pruebas – N°1.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Salida	4 a 20 Ma	4 a 20 Ma	100%	5	5
Entrada	4 a 20 Ma	4 a 20 Ma	100%	5	5
Exactitud	0.2%	0.5%	100%	4	4
Alimentación	24 VDC	24 VDC	100%	3	3
Precio	100.000 COP	129.627,13 COP	97%	3	2,91
				Peso total	19,91
Referencia	+GF+SIGNET 8550				
Proveedor	ProcessPro				
N°	1				
					

Tabla 45. Indicador transmisor de flujo a seleccionar para el banco de pruebas – N°2.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Salida	4 a 20 Ma	4 a 20 Ma	100%	5	5
Entrada	4 a 20 Ma	4 a 20 Ma	100%	5	5
Exactitud	0.2%	0.2%	100%	4	4
Alimentación	24 VDC	24 VDC	100%	3	3
Precio	100.000 COP	228.805,44 COP	40%	3	1,2
				Peso total	18,2
Referencia	AI-708H Intelligent flow totalizer				
Proveedor	Yudian				
N°	2				
					

Tabla 46. Indicador transmisor de flujo a seleccionar para el banco de pruebas – N°3.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Salida	4 a 20 Ma	4 a 20 Ma	100%	5	5
Entrada	4 a 20 Ma	4 a 20 Ma	100%	5	5
Exactitud	0.2%	0.2%	100%	4	4
Alimentación	24 VDC	5 VDC	70%	3	2,1
Precio	100.000 COP	289.627,13 COP	40%	3	1,2
				Peso total	17,3
Referencia	Flow indicator SB2100				
Proveedor	Yantiauto				
N°	3				



Tabla 47. Selección del instrumento – Indicador transmisor de flujo.

Selección del instrumento		
N° Instrumento	Peso	Marque con una X
1	19,91	X
2	18,2	
3	17,3	

- **Motobomba**

Tabla 48. Motobomba a seleccionar para el banco de pruebas – N°1.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Potencia	0.5 Hp	0.5 Hp	100%	4	4
Caudal máximo	0.35 L/min	0.35 L/min	100%	5	5
Alimentación	120 VAC	120 VAC	100%	4	4
Precio	150.000 COP	144.813,57 COP	98%	3	2,94
				Peso total	15,94
Referencia	Bomba periférica Pkm 60-1				
Proveedor	Czerweny				
N°	1				



Tabla 49. Motobomba a seleccionar para el banco de pruebas – N°2.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Potencia	0.5 Hp	1 Hp	90%	4	3,6
Caudal máximo	0.35 L/min	50 L/min	70%	5	3,5
Alimentación	120 VAC	220 VAC	90%	4	3,6
Precio	150.000 COP	289.627,13 COP	80%	3	2,4
Peso total					13,1
Referencia	Pump QB 80				
Proveedor	Zjminyuan				
N°	2				

Tabla 50. Motobomba a seleccionar para el banco de pruebas – N°3.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Potencia	0.5 Hp	1,2 Hp	80%	4	3,2
Caudal máximo	0.35 L/min	80 L/min	40%	5	2
Alimentación	120 VAC	220 VAC	90%	4	3,6
Precio	150.000 COP	486.573,59 COP	60%	3	1,8
Peso total					10,6
Referencia	Pump DYB 80				
Proveedor	Yuanheng				
N°	3				

Tabla 51. Selección del instrumento – Motobomba.

Selección del instrumento		
N° Instrumento	Peso	Marque con una X
1	15,94	X
2	13,1	
3	10,6	

8. Diagrama de mando y potencia

Si se encuentra presente motores en la selección de la instrumentación, llene la tabla 52 con las siguientes características de estos:

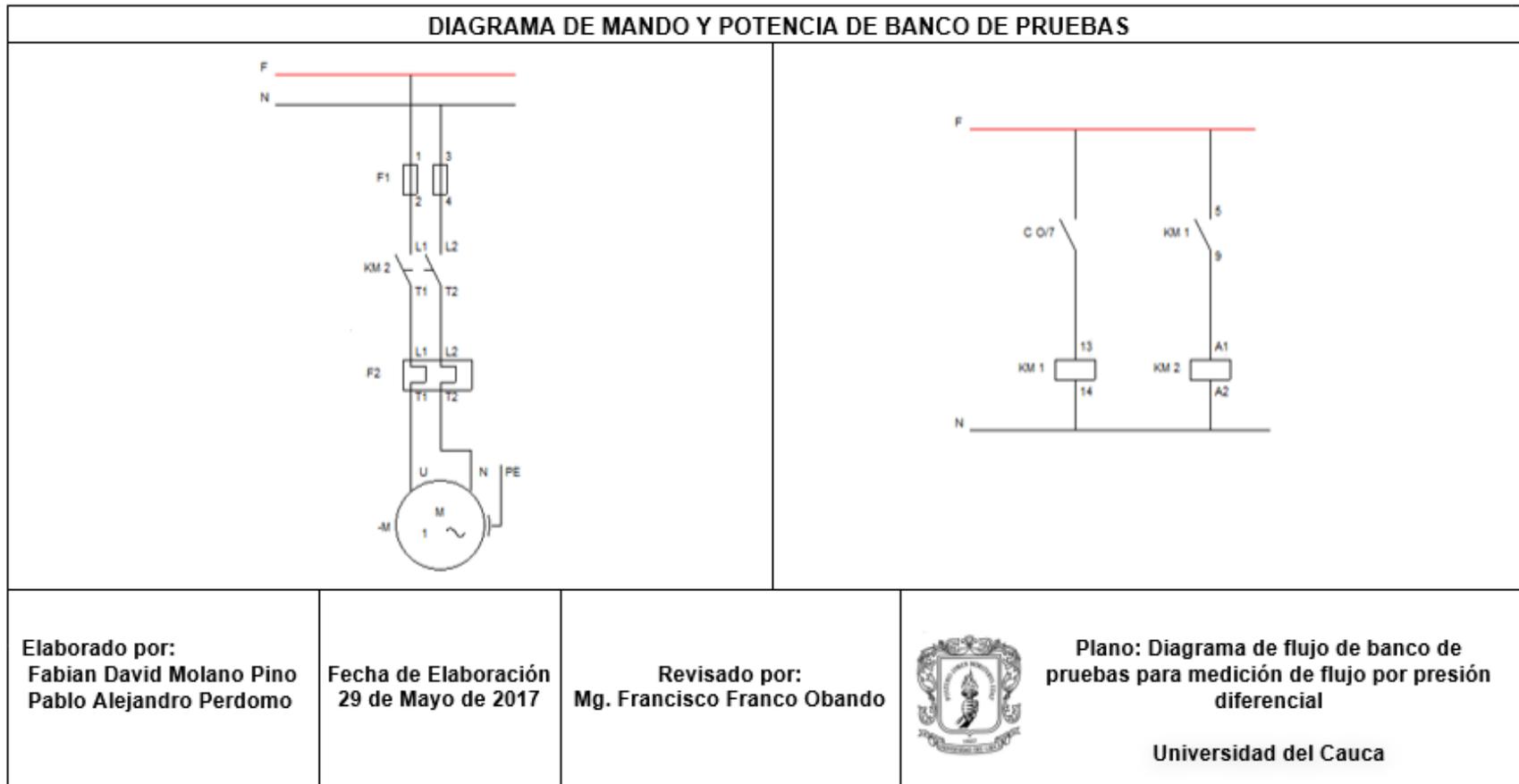
- Defina el voltaje de alimentación.
- Defina la potencia.
- Marque con un X el tipo de alimentación, ya sea monofásica o trifásica.
- Marque si el motor necesita o no, de cambio de giro.
- Si el motor necesita de elementos de cambio de giro, indíquelos.
- Si el motor necesita de elementos de protección, indíquelos.

Tabla 52. Características del motor para diagrama de mando y potencia.

Características del motor				
Voltaje de alimentación	120 VAC			
Potencia	0.5 Hp			
Marque con una X el tipo de alimentación y el cambio de giro				
Tipo de alimentación	X	Monofásica		Trifásica
Cambio de giro		Si	X	No
Elementos de cambio de giro	Ninguno			
Protecciones	Contactor			

Luego de definir las características del motor, proceda con el levantamiento del diagrama de mando y potencia, teniendo en cuenta la lógica de control que utilizaran estos, y las protecciones que se le prestaran.

Figura 5. Diagrama de mando y potencia – Bomba del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión.



Fuente autor

Posteriormente llene la tabla 53 con la instrumentación de protección y/o cambio de giro, que se encuentre en el diagrama de mando y potencia.

Tabla 53. Instrumentos de protección y cambio de giro a seleccionar.

Instrumentos a seleccionar
Contactador

Realice el siguiente proceso de selección de la instrumentación, llenando la tabla 54 en el archivo Excel *Tabla Banco de Pruebas*:

- I. Defina los criterios de selección del instrumento, por ejemplo, rangos de trabajo y exactitud.
- II. Asigne a cada criterio de selección un rango que usted considere ideal.
- III. Asigne un peso entre 1 y 5, a cada criterio de selección, de acuerdo con el nivel de importancia que represente para el usuario (siendo 1 menor importancia y 5 mayor importancia).
- IV. Al tener identificados los criterios de selección y de asignarles un rango ideal y un peso, posteriormente realice un sondeo, de las alternativas del instrumento.
- V. Defina el rango real para cada criterio de selección de la alternativa de selección del instrumento.
- VI. Defina un porcentaje de aceptación, con base a la diferencia entre el rango ideal y el rango real de cada criterio de selección del instrumento, siendo 100% una diferencia de cero entre el rango real e ideal, y 0% una diferencia entre el rango real e ideal muy grande.
- VII. Asigne la referencia y el proveedor del instrumento.
- VIII. Ingrese una imagen del instrumento (opcional).

Tabla 54. Instrumento a seleccionar para el banco de pruebas.

Criterios de selección	Rango ideal	Rango real	% de aceptación	Peso	% * Peso
Entradas	3	3	100%	5	5
Amperaje	5.5 A	9-94 A	100%	4	4
Voltaje	120 V	24-660 V	100%	5	5
Precio	50.0 P	43.444,07 COP	100%	3	3
Peso total					17
Referencia	CJX2 Series 09				
Proveedor	AC Magnetic contactor				
N°	1				
					

Tabla 55. Instrumento a seleccionar para el banco de pruebas.

Crterios de seleccin	Rango ideal	Rango real	% de aceptacin	Peso	% * Peso
Entradas	3	3	100%	5	5
Amperaje	5.5 A	9 A	70%	4	2,8
Voltaje	120 V	230 – 380 V	60%	5	3
Precio	51.0 P	57.925,43 COP	95%	3	2,85
				Peso total	13,65
Referencia	EBS1C				
Proveedor	Ebasse				
N°	2				
					

Tabla 56. Instrumento a seleccionar para el banco de pruebas.

Crterios de seleccin	Rango ideal	Rango real	% de aceptacin	Peso	% * Peso
Entradas	3	3	100%	5	5
Amperaje	5.5 A	32 A	70%	4	2,8
Voltaje	120 V	0 – 660 V	100%	5	5
Precio	52.0 P	46.340,34 COP	100%	3	3
				Peso total	15,8
Referencia	IC1 -D Series				
Proveedor	Gwiec				
N°	3				
					

IX. Finalmente marque con una X en la tabla 57 en el archivo Excel *Tablas Bancos de Pruebas*, el instrumento que mayor peso total presente. Puesto que el peso total de cada instrumento es calculado automticamente en Excel, multiplicando el porcentaje de aceptacin por el peso de cada criterio de seleccin, y sumando la totalidad de los productos, obteniendo de esta manera el peso total.

X. Repita el mismo procedimiento, para cada instrumento presente en la tabla 53.

Tabla 57. Selección del elemento de protección o cambio de giro.

Selección del instrumento		
N° Instrumento	Peso total	Marque con una X
1	17	X
2	13,65	
3	15,8	

9. Selección del elemento patrón

No se cuenta con un elemento patrón.

10. Selección del controlador

Seleccione el controlador, de acuerdo con los lazos de control y el tipo de señales presentes en el diagrama de lazo del banco de pruebas, bajo el siguiente procedimiento:

- I. Defina en la tabla 58, el número de entradas discretas que demande el banco de pruebas.
- II. Defina el número de salidas discretas que demande el banco de pruebas.
- III. Defina el número de entradas analógicas que demande el banco de pruebas.
- IV. Defina el número de salidas analógicas que demande el banco de pruebas.
- V. Defina otro requerimiento cuantitativo del controlador que demande el banco de pruebas.
- VI. Seleccione con una X, si es necesario el uso de manuales del controlador.
- VII. Seleccione con una X, si es necesario otro tipo de característica cualitativa, y de ser así, méncionela.
- VIII. Asigne a cada uno de los requerimientos anteriores, un peso de acuerdo con el grado de importancia que represente para el usuario, siendo 1 de menor importancia, y 5 de mayor importancia.

Tabla 58. Requerimientos del controlador del banco de pruebas.

Requerimientos cuantitativos	Cantidad ideal	Peso		
Entradas discretas	4 a 120 VDC	5		
Salidas discretas	3 a 120 VDC	5		
Entradas analógicas	4	5		
Salidas analógicas	1	5		
Otro. Cual: Precio	787.878,79 COP	2		
Requerimientos cualitativos	Marque con una X			
Manual de usuario	Si	X	No	3
Otro. Cual	Si		No	

- IX. Al tener concretados los criterios de selección y de asignarles un valor ideal, cantidad y un peso, posteriormente realice un sondeo, de las alternativas del instrumento.
- X. Defina en la tabla 59 en el archivo Excel *Tablas Banco de Pruebas*, la cantidad real para cada característica cuantitativa, y la existencia o no de características cualitativas, presentes en la alternativa de controlador.
- XI. Defina en la tabla 59 un porcentaje de aceptación, con base a la diferencia entre los requerimientos definidos en la tabla 59 y las características definidas en la tabla 58, siendo 100% una diferencia de cero entre requerimientos y características, y 0% una diferencia entre requerimientos y características muy grande.
- XII. Asigne en la tabla 59 a cada criterio de selección, los pesos anteriormente definidos en la tabla 58.
- XIII. Asigne en la tabla 59 la referencia y el proveedor del controlador.

Tabla 59. Alternativas de controlador a seleccionar – PLC N°1.

Características cuantitativas	Cantidad real			% de aceptación	Peso	% * Peso
Entradas discretas	12 a 120 VDC			80%	5	4
Salidas discretas	12 a 120 VDC			80%	5	4
Entradas analógicas	--			0%	5	0
Salidas analógicas	--			0%	5	0
Otro. Cual: Precio	787.878,79 COP			100%	2	2
Otro. Cual: Modulo analógico 1762 (4 Input)	1			90%	3	2.7
Otro. Cual: Modulo analógico 1762 (4 Output)	1			90%	3	2.7
Características cualitativas						
	Marque con una X					
Manual de usuario	Si	X	No		100%	3
Otro. Cual:	Si		No			
Peso total						26,4
Referencia	Micrologix 1500					
Proveedor	Allen Bradley					
N° PLC	1					

Tabla 60. Alternativas de controlador a seleccionar – PLC N°2.

Características cuantitativas	Cantidad real			% de aceptación	Peso	% * Peso
Entradas discretas	8 a 24 VDC			90%	5	4
Salidas discretas	8 a 24 VDC			90%	5	4
Entradas analógicas	4			90%	5	4
Salidas analógicas	2			90%	5	4
Otro. Cual: Precio	1'700.000 COP			82%	2	1,64

Características cualitativas								Marque con una X			
Manual de usuario	Si	X	No		100%	3	3				
Otro. Cual:	Si		No								
						Peso total		28,24			
Referencia						Simatic S7 1200					
Proveedor						Siemens					
N° PLC						2					

Tabla 61. Alternativas de controlador a seleccionar – PLC N°3.

Características cuantitativas	Cantidad	% de Aceptación	Peso	% * Peso						
Entradas discretas	16		5							
Salidas discretas	16		5							
Entradas analógicas	X	0%	5	0						
Salidas analógicas	X	0%	5	0						
Otro. Cual: Precio	2~7000.000 COP	50%	2							
Otro. Cual: Modicom TM (4 Input analog)	1	100%	3	3						
Otro. Cual: Modicom TM (4 Output analog)	1	100%	3	3						
Características cualitativas					Marque con una X					
Manual de usuario	Si	X	No		100%	3	3			
Otro. Cual:	Si		No							
						Peso total		20		
Referencia						Modicom Quantum				
Proveedor						Schneider electric				
N° PLC						3				

XIV. Finalmente marque con una X en la tabla 62 en el archivo Excel *Tablas Banco de Pruebas*, el controlador que mayor peso total presente. Puesto que el peso total de cada instrumento es calculado automáticamente en Excel, multiplicando el porcentaje de aceptación por el peso de cada criterio de selección, y sumando la totalidad de los productos, obteniendo de esta manera el peso total.

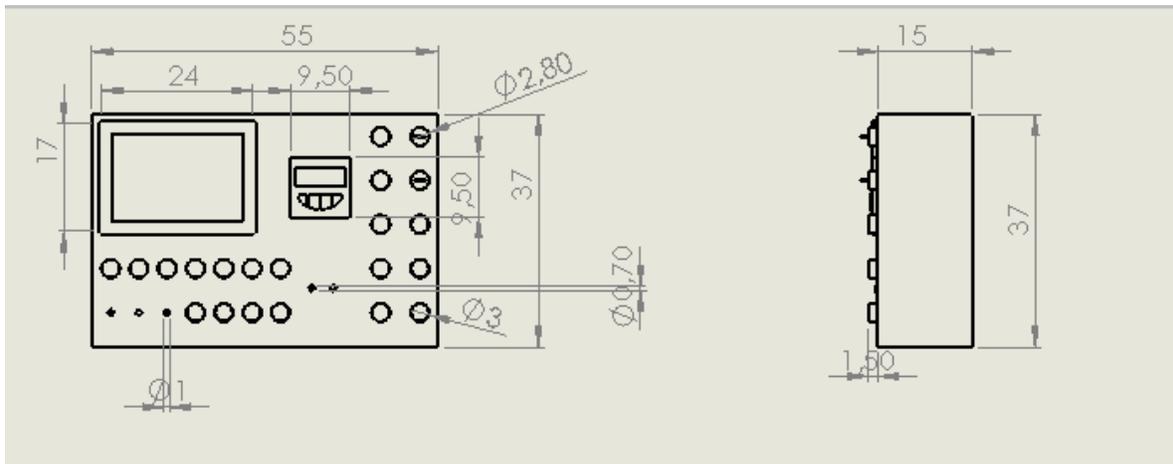
Tabla 62. Selección del controlador.

Selección del controlador		
N° Instrumento	Peso	Marque con una X
1	26,4	X
2	28,24	
3	20	

11. Diseño de accesorios

Realice el diseño de accesorios del banco de pruebas, si este lo requiere, y adjunte estos en el presente documento. Se sugiere utilizar herramientas de diseño CAD.

Figura 6. Medidas del panel de control del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión.



Fuente autor

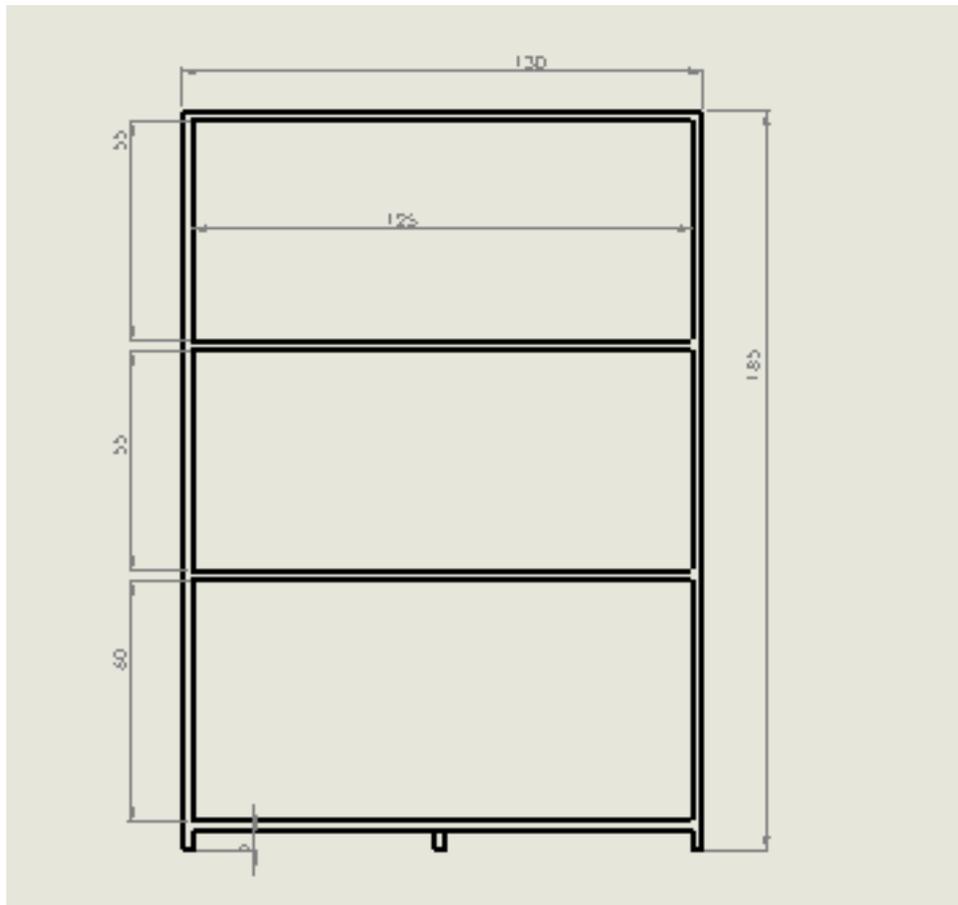
Figura 7. Panel de control del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión.



12. Diseño de estructura física

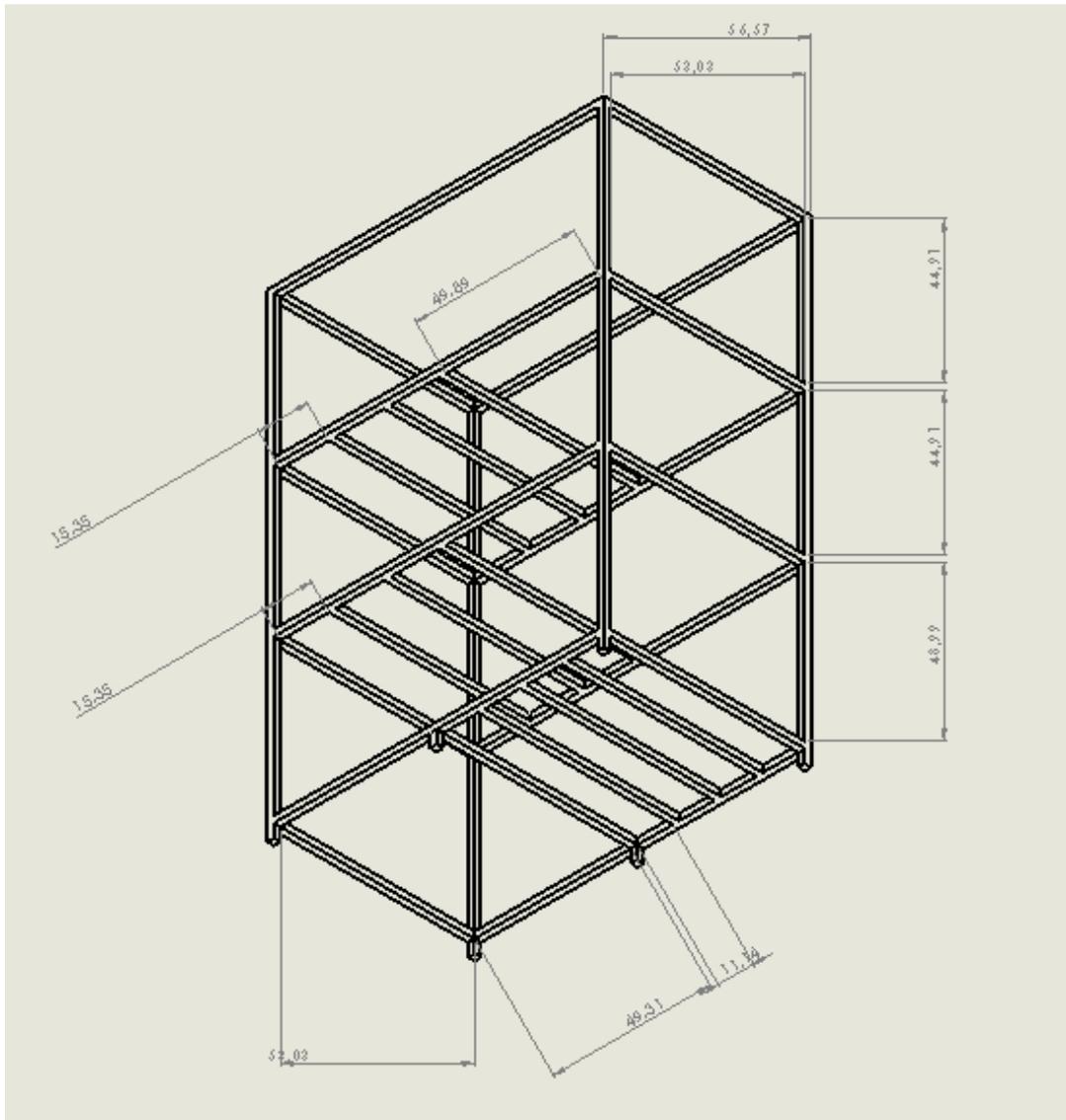
Realice el diseño de la estructura física del banco de pruebas, y adjunte este en el presente documento. Se sugiere utilizar herramientas de diseño CAD.

Figura 8. Estructura principal del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión – Vista lateral.



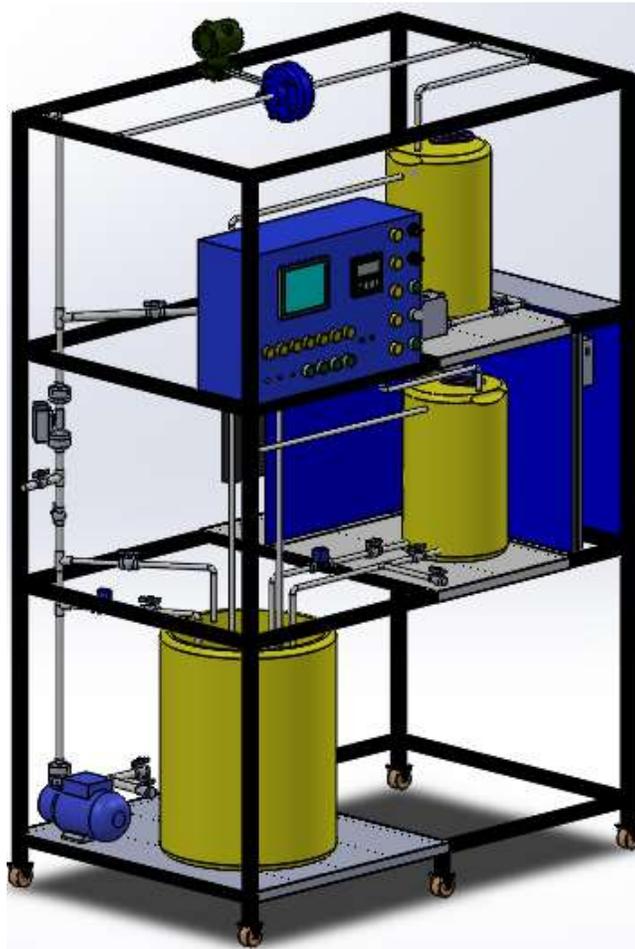
Fuente autor

Figura 9. Estructura principal del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión – Vista Frontal.



Fuente autor

Figura 10. Diseño y distribución del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión.



Fuente autor

13. Ensamble

Previo al ensamble del banco de pruebas, cotice toda instrumentación, elementos y estructura de este en la tabla 63 en el archivo Excel *Tablas Banco de Pruebas*, con la finalidad de conocer el costo total del banco, y proceder con la adquisición de los componentes. Para ello, prosiga bajo el siguiente procedimiento:

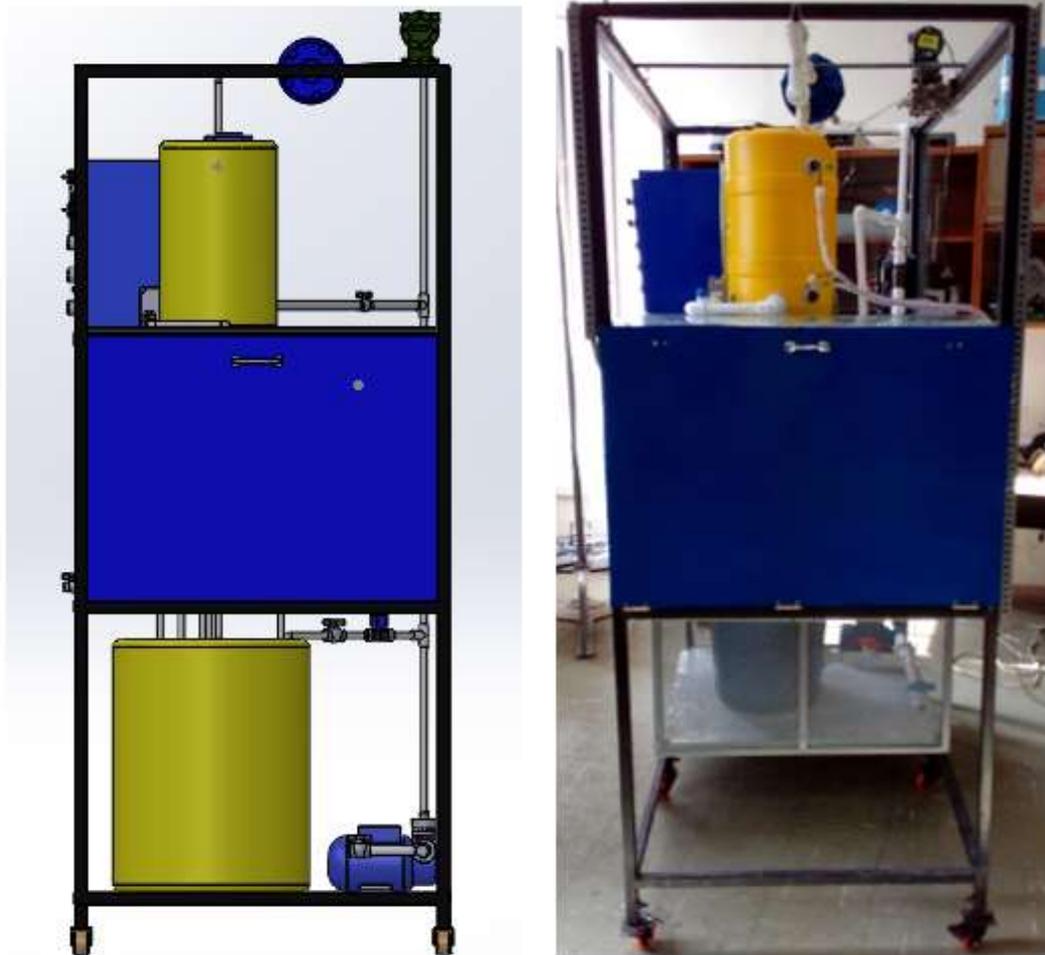
- I. Identifique el nombre del equipo (instrumento, material), e ingréselo en la casilla de producto, en la tabla 63.
- II. Ingrese la referencia y marca del equipo, en las casillas destinadas para tal.
- III. Defina las unidades que requiere el banco de pruebas del equipo.
- IV. Asigne un precio unitario al equipo.
- V. Repita los procedimientos anteriores para cada equipo del banco de pruebas, en cada sección, como en la selección del método de calibración, selección de

instrumentación, diagrama de mando y potencia, selección del elemento patrón, selección del controlador, diseño de accesorios, diseño de estructura física, y ensamble.

Una vez adquirido los equipos y materiales necesarios, para la implementación del banco de pruebas, proceda a realizar el ensamble, para lo cual se sugiere:

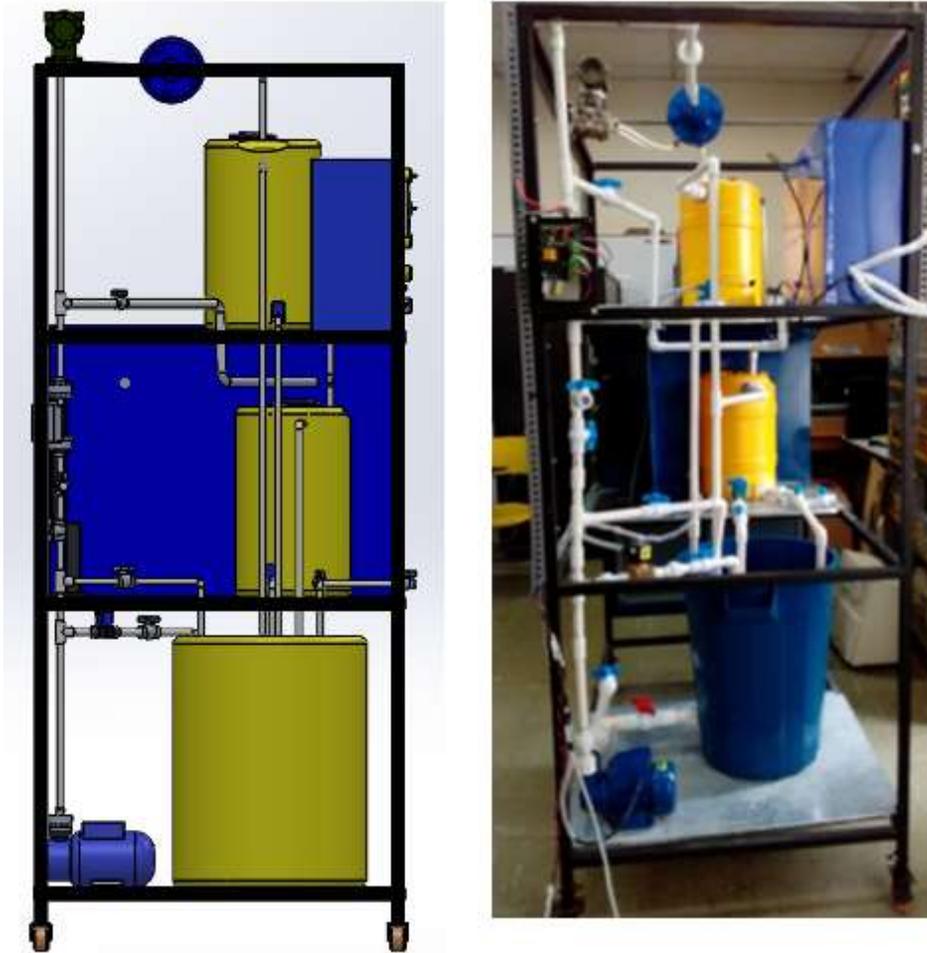
- Instalar instrumentación y accesorios en la estructura principal del banco.
- Luego llevar a cabo las conexiones físicas.
- Finalmente realice pruebas de funcionalidad en la instrumentación.

Figura 11. Ensamble del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión – Vista 1.



Fuente autor

Figura 12 Ensamble del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión – Vista 2.



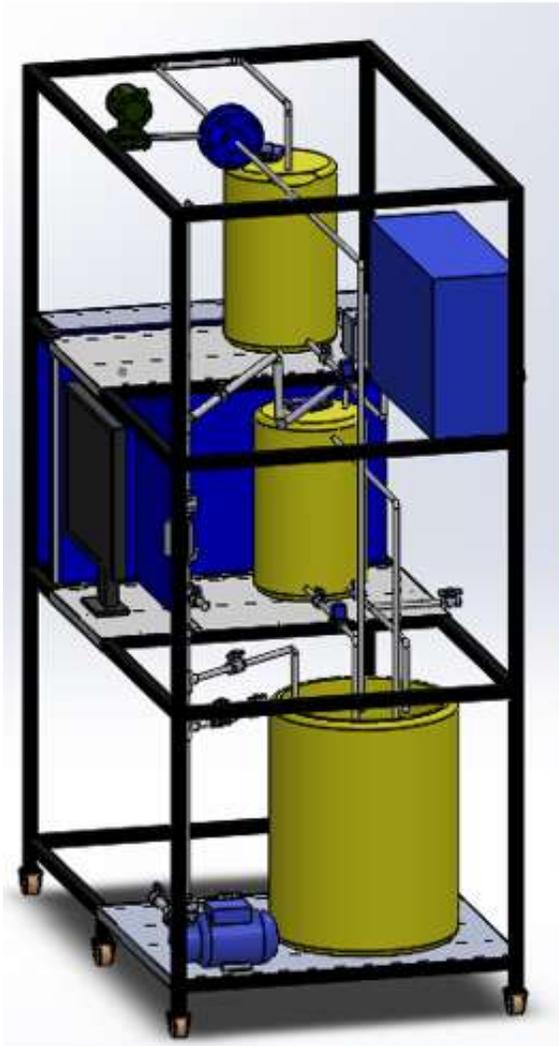
Fuente autor

Figura 13. Ensamble del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión – Vista 3.



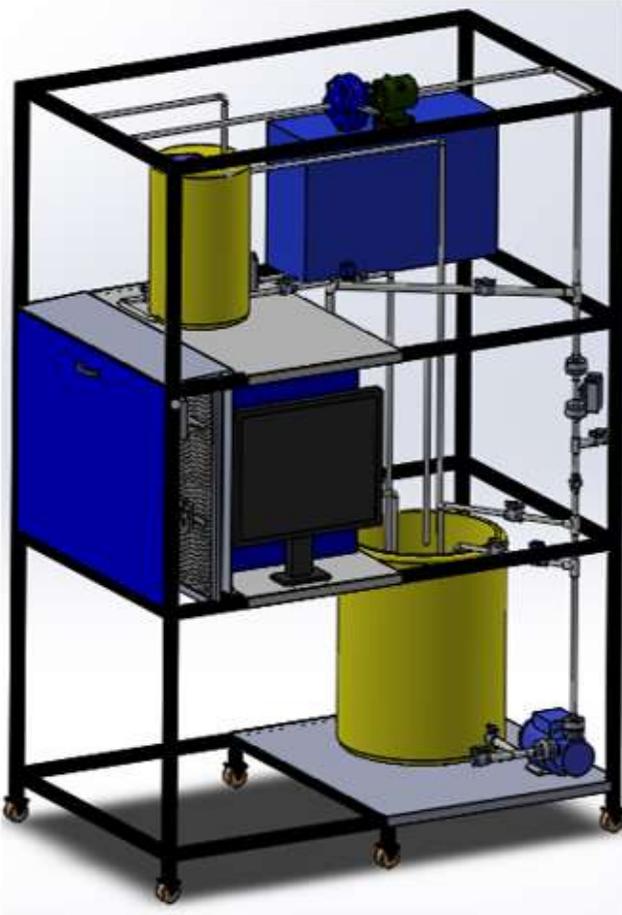
Fuente autor

Figura 14. Ensamble del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión – Vista 4.



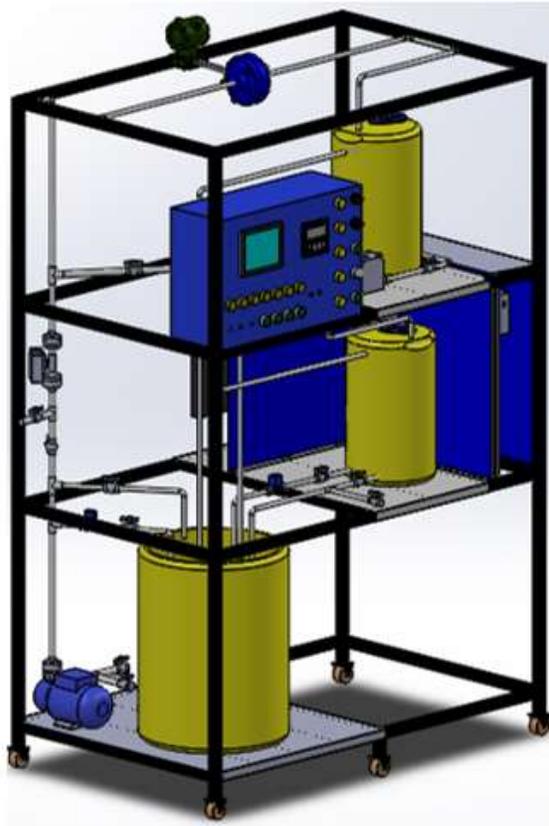
Fuente autor

Figura 15. Ensamble del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión – Vista 5.



Fuente autor

Figura 16. Ensamble del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión – Vista 6.



Fuente autor

Tabla 63. Cotización de componentes, equipos e instrumentación del banco de pruebas de medición de flujo por diferencia de presión

Producto	Referencia	Marca	Unidades	Precio unitario	Precio total
Selección del método de calibración					
Transmisor de flujo por diferencia de presión	EJA 110 A	Yokogawa Corporation	1	2'629.262,66 COP	2'629.262,66 COP
Selección de instrumentación					
Válvula solenoide	Solenoid valve 2w160-15	Pneumission	3	86.927,56 COP	260.782,68 COP
Servoválvula	Servoválvula ABV 111	Anderson	1	150.000 COP	150.000 COP
Transmisor de nivel ultrasónico	Echosonic LU 27	Flowline	2	289.627,13 COP	579.254,26 COP
Sensor de flujo	Sensor de flujo +GF+SIGNET Metalex 525	ProcessPro	1	50.000 COP	50.000 COP
Indicador transmisor de flujo	+GF+SIGNET 8550	ProcessPro	1	129.627,13 COP	129.627,13 COP
Bomba	Bomba periférica Pkm 60-1	Czerweny	1	144.813,57 COP	144.813,57 COP
Diagrama de mando y potencia					
Contactador	CJX2 Serie 09	AC Magnetic contactor	1	43.444,07 COP	43.444,07 COP
Selección de elemento patrón					
--	--	--	--	--	--
Selección del controlador					
PLC	Micrologix 1500	Allen Bradley	1	1'155.643 COP	1'155.643 COP
Modulo analógico	IN 1769	Allen Bradley	1	180.000 COP	180.000 COP
Modulo analógico	OUT 1769 0F2	Allen Bradley	1	180.000 COP	180.000 COP
Diseño de accesorios					
Panel de control	--	--	1	50.000 COP	50.000 COP
Pulsador	--	--	9	10.000 COP	90.000 COP
Interruptor	--	--	3	2.400 COP	7.200 COP

Luz piloto	--	--	12	12.000 COP	144.000 COP
Diseño de estructura física					
Estructura principal en hierro	--	--	1	160.000 COP	160.000 COP
Tubo PVC ½"	--	PAVCO	12 metros	1.000 COP	12.000 COP
Tubo PVC 1"	--	PAVCO	2 metros	2.500 COP	5.000 COP
Codo PVC ½" 45%	--	PAVCO	2	400 COP	800 COP
Codo PVC ½" 90%	--	PAVCO	20	400 COP	8000 COP
Buje de 1" a ½"	--	--	2	600 COP	1.200 COP
Buje de ¾" a ½"	--	--	2	400 COP	800 COP
Unión ½"	--	--	2	300 COP	600 COP
Unión 1"	--	--	1	400 COP	400 COP
Unión universal ½"	--	Tigre	17	2.800 COP	47.600 COP
Unión universal 1"	--	PAVCO	3	6.800 COP	20.400 COP
Válvula plástica ½"	--	Aqua	8	5.300 COP	42.400 COP
Válvula plástica 1"	--	PAVCO	2	8.700COP	17.400 COP
Tanque plástico xx Litros	--	--	1	50.000 COP	50.000 COP
Tanque plástico xx Litros	--	--	2	20.000 COP	40.000 COP
Ensamble					
Cable	--	--	40 metros	300 COP	12000 COP
Pegante PVC	Soldacol PVC	Soldacol	1	6.500 COP	6.500 COP
Masilla	Lider epoxi	Sintesolda	3	3.500 COP	10.500 COP
Cinta teflon	Cinta teflón premium	PAVCO	2	1.000 COP	2.000 COP
Total					6'231.627,37 COP

ANEXO C) Encuesta

Cuestionario de evaluación de método para el diseño de bancos de pruebas en ambientes de automatización

<i>Nombre:</i>	
<i>Profesión:</i>	
<i>Área de desempeño:</i>	
<i>Organización:</i>	
<i>Correo:</i>	<i>Teléfono:</i>

El presente cuestionario, tiene como finalidad el evaluar objetivamente un método para el diseño de bancos de prueba en ambientes de automatización, partiendo desde el conocimiento y experiencia de los entrevistados en este campo de la ingeniería. Para lo cual, primero debe remitirse a la guía del método de diseño de bancos de pruebas, y posteriormente inicie el desarrollo del cuestionario, marcando con una X, en cada ítem de acuerdo con su opinión profesional.

Conceptualización

1. ¿Permite la guía una descripción concisa del banco de pruebas?

Muy malo (1)	Malo (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Muy bueno (5)

2. ¿Permite la guía identificar los requerimientos básicos de operación del banco de pruebas?

Muy malo (1)	Malo (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Muy bueno (5)

3. ¿Permite la guía identificar los equipos básicos de operación del banco de pruebas?

Muy malo (1)	Malo (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Muy bueno (5)

4. ¿Permite la guía identificar las condiciones ideales del ambiente para la correcta operación del banco de pruebas?

Muy malo (1)	Malo (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Muy bueno (5)

Diseño

5. ¿Facilita la guía el proceso de elaboración de los diagramas de instrumentación y conexión del banco de pruebas?

Muy malo (1)	Malo (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Muy bueno (5)

6. ¿Facilita la guía la identificación de los lazos de control del banco de pruebas?

Muy malo (1)	Malo (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Muy bueno (5)

7. ¿Contiene la guía todos los aspectos de diseño de bancos de pruebas?

Muy malo (1)	Malo (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Muy bueno (5)

8. ¿Considera que al utilizar la guía disminuye el tiempo de diseño de los bancos de prueba?

Muy malo (1)	Malo (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Muy bueno (5)

9. ¿En qué grado considera el aporte de la guía al diseño de bancos de prueba?

Muy malo (1)	Malo (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Muy bueno (5)

Implementación

10. ¿Facilita el proceso de selección de la instrumentación del banco de pruebas?

Muy malo (1)	Malo (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Muy bueno (5)

11. ¿Facilita la cotización total del banco de pruebas?

Muy malo (1)	Malo (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Muy bueno (5)

12. ¿Facilita el proceso de conexión y montaje del banco de pruebas?

Muy malo (1)	Malo (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Muy bueno (5)

13. ¿Considera flexible la guía en el diseño de bancos de pruebas?

Muy malo (1)	Malo (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Muy bueno (5)

14. ¿Considera que disminuye el tiempo de implementación del banco de pruebas al utilizar la presente guía?

Muy malo (1)	Malo (2)	Regular (3)	Bueno (4)	Muy bueno (5)

ANEXO D) Resultados de encuestas

Se presenta en la tabla 1 y 2 el personal entrevistado, de los cuales se obtuvieron puntos de vista, acerca de la guía de diseño de bancos de pruebas en ambientes de automatización, en tres aspectos clave: conceptualización, diseño e implementación.

Tabla 1. Personal profesional encuestado.

Personal profesional encuestado			
Entrevistado N°	1	Entrevistado N°	6
Nombre	Hermes Fabián Vargas	Nombre	Ary Fernando Pisso
Profesión	Docente universitario	Profesión	Docente universitario
Entrevistado N°	2	Entrevistado N°	7
Nombre	Andrés Mosquera	Nombre	Oscar Avila
Profesión	Docente universitario	Profesión	Ingeniero de proyectos de automatización
Entrevistado N°	3	Entrevistado N°	8
Nombre	Juan Fernando Florez	Nombre	Fabian Vergara
Profesión	Docente universitario	Profesión	Ingeniero de proyectos de automatización
Entrevistado N°	4	Entrevistado N°	9
Nombre	Ermilso Diaz	Nombre	Edgar Liz
Profesión	Docente universitario	Profesión	Ingeniero de proyectos
Entrevistado N°	5		
Nombre	Mariela Muñoz		
Profesión	Docente universitario		

Fuente autor

Tabla 2. Estudiantes encuestados.

Estudiantes del programa de Ingeniería en Automática Industrial encuestados			
Encuestado N° 1	Juan Manuel Nañez	Encuestado N° 9	Juan Pablo Santiago
Encuestado N° 2	Oscar Hernan Muñoz	Encuestado N° 10	Yilmar Hoyos
Encuestado N° 3	James Zambrano	Encuestado N° 11	Juliana Montilla
Encuestado N° 4	Maria Camila Varona	Encuestado N° 12	Manuel Rivera
Encuestado N° 5	Christian Vallejo	Encuestado N° 13	Fernando Aguirre
Encuestado N° 6	Juan David Romero	Encuestado N° 14	Yamith Piamba
Encuestado N° 7	Kevin Andres Muñoz	Encuestado N° 15	Estefanny Giraldo
Encuestado N° 8	Manuel Torres		

Fuente autor

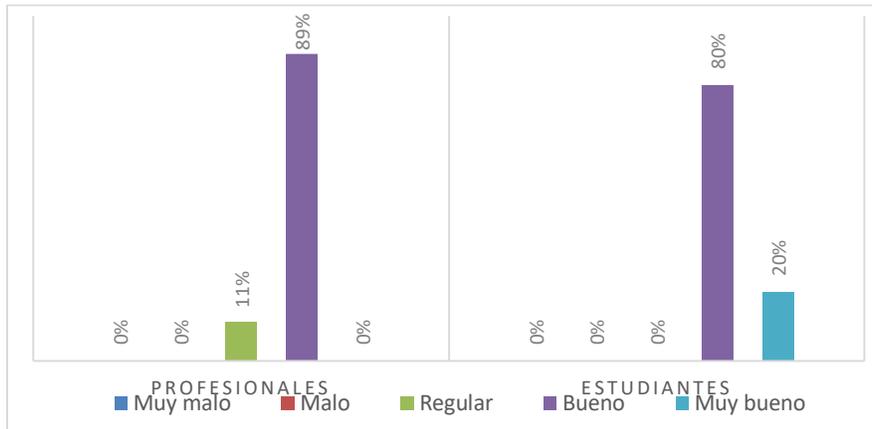
A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las preguntas de la encuesta de análisis del método de diseño, dando a conocer la puntuación por pregunta. Cabe aclarar que la calificación se presenta como muy buena, buena, regular, mala y muy mala.

1. ¿Permite la guía una descripción concisa del banco de pruebas?

En la figura 1 se observan los resultados, acerca del grado de descripción de los bancos de prueba que permite realizar la guía de diseño propuesta. Donde se aprecia que, en los estudiantes el 80% consideran como buena a la guía de diseño propuesta, y un 20% la consideran muy buena. Mientras que, en los profesionales el 89% la consideraron buena y un 11% la consideraron regular.

Con los resultados obtenidos en la pregunta 1 se aprecia que, en su mayoría tanto estudiantes como profesionales, consideran bueno el grado de descripción de los bancos de pruebas que permite la guía propuesta.

Figura 1. Resultados de pregunta N°1.



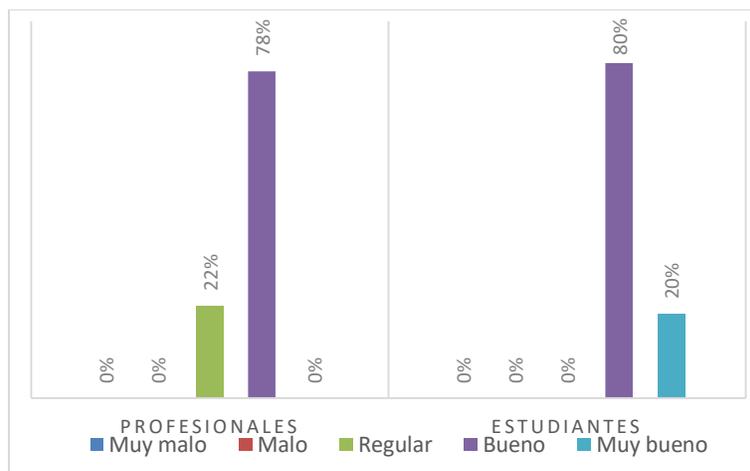
Fuente autor

2. ¿Permite la guía identificar los requerimientos básicos de operación del banco de pruebas?

En la figura 2 se observa los resultados, acerca del grado de identificación de los requerimientos básicos de operación que permite la guía de diseño propuesta. Donde se aprecia que, en los estudiantes el 80% consideran buena a la guía propuesta, y un 20% la consideran muy buena. Mientras que en los profesionales el 78% la consideran buena y el 22% la consideran regular.

Con los resultados obtenidos en la pregunta 2 se aprecia que, en su mayoría tanto estudiantes como profesionales, consideran bueno el grado de identificación de los requerimientos básicos de operación que permite la guía propuesta.

Figura 2. Resultados de pregunta N°2.



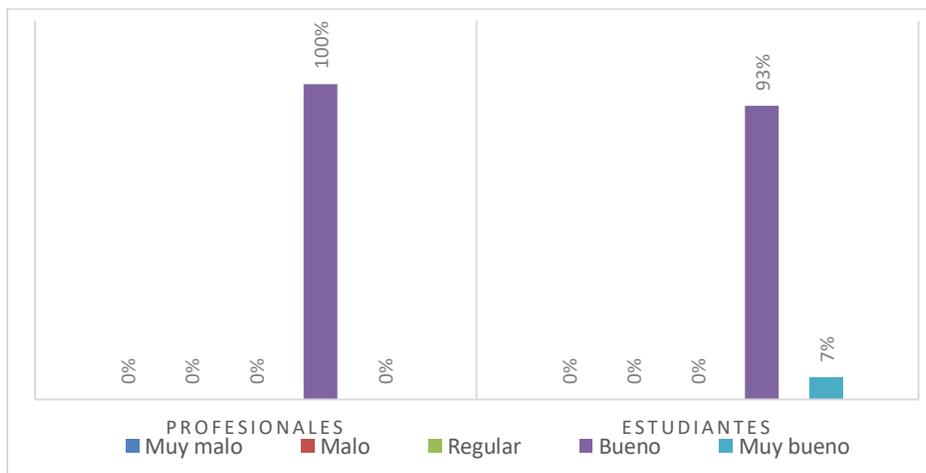
Fuente autor

3. ¿Permite la guía identificar los equipos básicos de operación del banco de pruebas?

En la figura 3 se observa los resultados, acerca del grado de identificación de los equipos básicos de operación que permite la guía de diseño propuesta. Donde se aprecia que, en los estudiantes el 93% consideran buena a la guía de diseño propuesta, y un 7% la consideran muy buena. Mientras que, en los profesionales el 100% la consideran buena.

Con los resultados obtenidos en la pregunta 3 se aprecia que, en su mayoría tanto estudiantes como profesionales, consideran bueno el grado de identificación de los equipos básicos de operación que permite la guía propuesta.

Figura 3. Resultados de pregunta N°3.



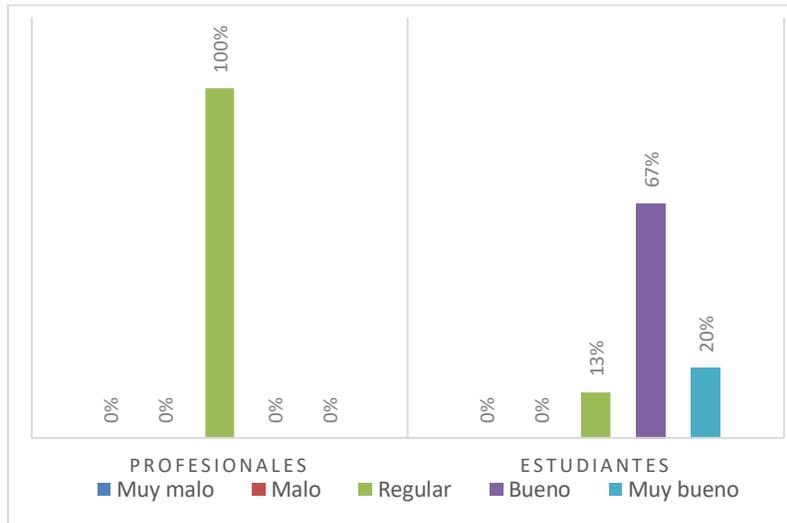
Fuente autor

4. ¿Permite la guía identificar las condiciones ideales del ambiente para la correcta operación del banco de pruebas?

En la figura 4 se observa los resultados, acerca del grado de identificación de las condiciones ideales del ambiente para la correcta operación de los bancos de pruebas, que permite la guía de diseño propuesta. Donde se aprecia que, en los estudiantes el 13% consideran regular a la guía de diseño propuesta, el 67% la consideran buena, y el 20% la considera muy buena. Mientras que, en los profesionales el 100% la consideran regular.

Con los resultados obtenidos en la pregunta 4 se aprecia que, en su mayoría los estudiantes consideran bueno el grado de identificación de las condiciones ideales del ambiente para la operación de los equipos, mientras que la mayoría de los profesionales lo consideran regular.

Figura 4. Resultados de pregunta N°4.



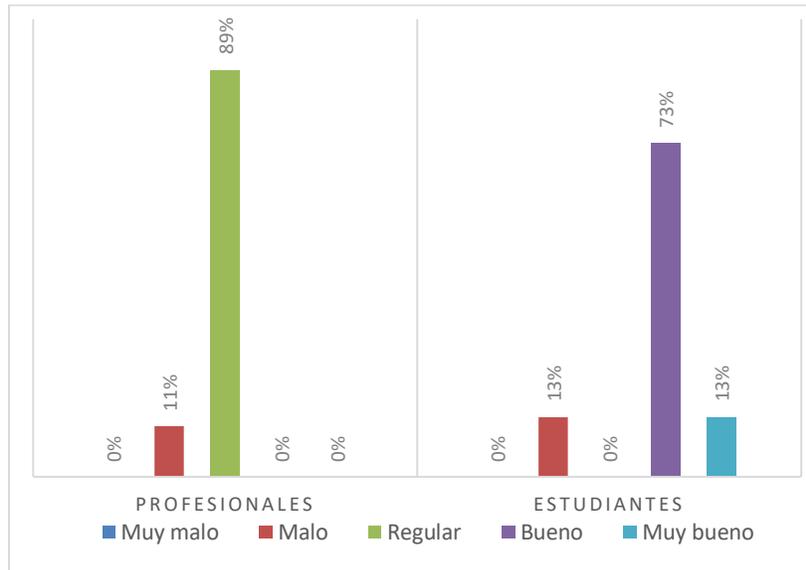
Fuente autor

5. ¿Facilita la guía el proceso de elaboración de los diagramas de instrumentación y conexión del banco de pruebas?

En la figura 5 se observa los resultados, acerca del grado de apoyo que ofrece la guía propuesta, en el proceso de elaboración de los diagramas de instrumentación y conexión de los bancos de pruebas. Donde se aprecia que, en los estudiantes el 13% consideran mala a la guía de diseño propuesta, el 73% la consideran buena, y el 13% la consideran muy buena. Mientras que, en los profesionales el 11% la consideran mala y un 89% la consideran regular.

Con los resultados obtenidos en la pregunta 5 se aprecia que, en su mayoría los estudiantes consideran bueno el grado de apoyo que ofrece la guía, en el proceso de elaboración de los diagramas, mientras que la mayoría de los profesionales la consideran regular.

Figura 5. Resultados de pregunta N°5.



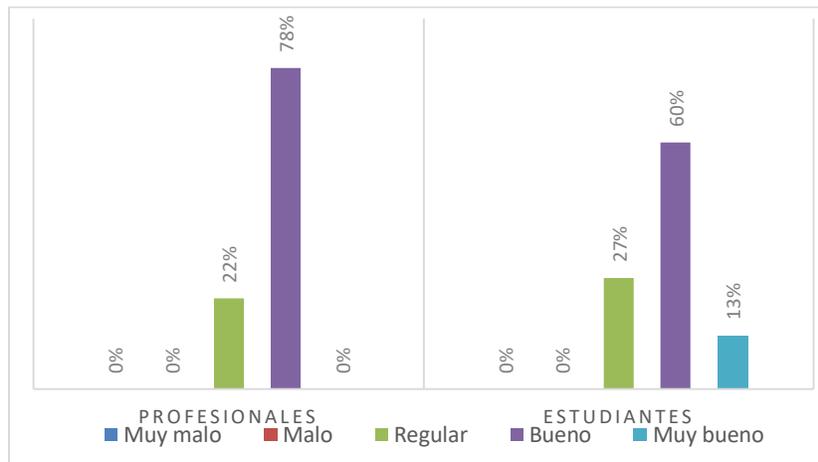
Fuente autor

6. ¿Facilita la guía la identificación de los lazos de control del banco de pruebas?

En la figura 6 se observa los resultados, acerca del grado de apoyo que ofrece la guía propuesta, en el proceso de identificación de los lazos de control de los bancos de pruebas. Donde se aprecia que, en los estudiantes el 27% consideran regular a la guía de diseño propuesta, el 60% la considera buena, y el 13% la considera muy buena. Mientras que, en los profesionales el 22% la consideran regular y un 78% la consideran buena.

Con los resultados obtenidos en la pregunta 6 se aprecia que, en su mayoría tanto profesionales como estudiantes, consideran bueno el grado de apoyo que ofrece la guía en el proceso de identificación de los lazos de control.

Figura 6. Resultados de pregunta N°6.



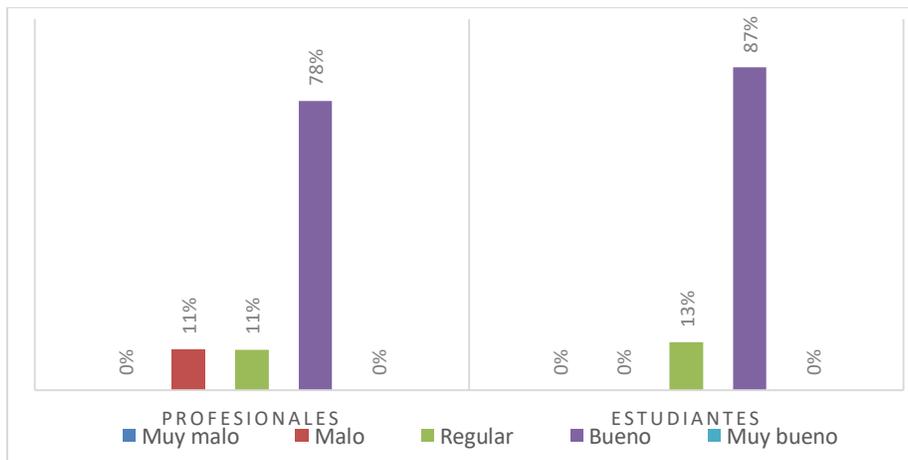
Fuente autor

7. ¿Contiene la guía todos los aspectos de diseño de bancos de pruebas?

En la figura 7 se observa los resultados, acerca de los aspectos de diseño de bancos de pruebas que contiene la guía propuesta. Donde se aprecia que, en los estudiantes el 13% consideran regular a la guía de diseño propuesta, y un 87% la consideran buena. Mientras que, en los profesionales el 11% la consideran mala, otro 11% la consideran regular, y el 78% la consideran buena.

Con los resultados obtenidos en la pregunta 7 se aprecia que, en su mayoría tanto estudiantes como profesionales, consideran bueno el grado de aspectos de diseño de bancos de pruebas que contiene la guía.

Figura 7. Resultados de pregunta N°7.



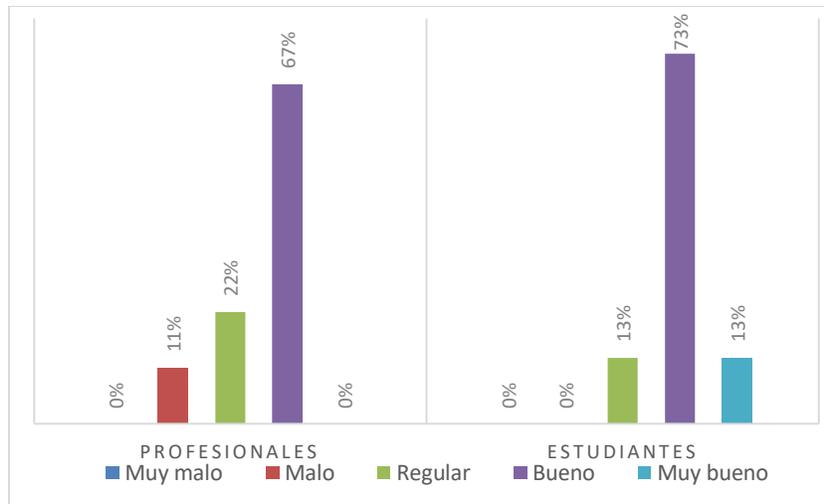
Fuente autor

8. ¿Considera que al utilizar la guía disminuye el tiempo de diseño de los bancos de prueba?

En la figura 8 se observa los resultados, acerca de la disminución del tiempo en el diseño de los bancos de pruebas brindado por la guía propuesta. Donde se aprecia que, en los estudiantes el 13% consideran regular a la guía de diseño propuesta, el 73% la consideran buena, y el 13% la consideran muy buena. Mientras que, en los profesionales el 11% la consideran mala, el 22% la consideran buena, y el 67% la consideran buena.

Con los resultados obtenidos en la pregunta 8 se aprecia que, en su mayoría tanto estudiantes como profesionales, consideran bueno el aporte en la disminución del tiempo en el diseño de bancos de pruebas brindado por la guía.

Figura 8. Resultados de pregunta N°8.



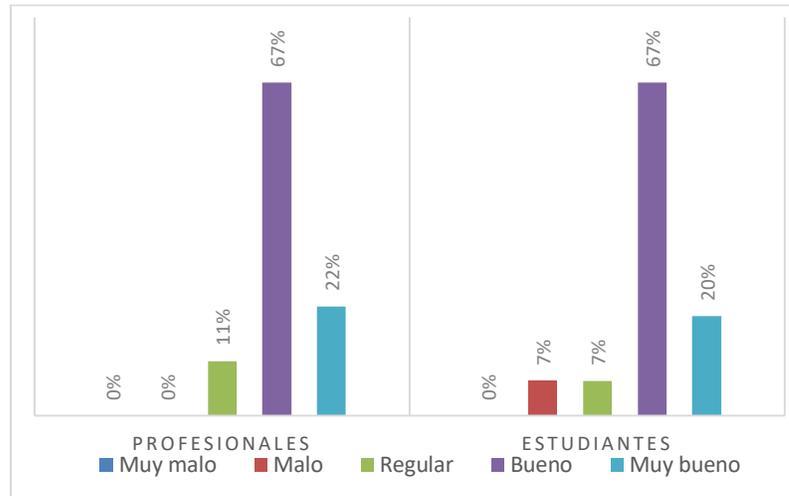
Fuente autor

9. ¿En qué grado considera el aporte de la guía al diseño de bancos de prueba?

En la figura 9 se observa los resultados, acerca del grado de aporte de la guía de diseño propuesta en el diseño de los bancos de pruebas. Donde se aprecia que, en los estudiantes el 7% consideran mala a la guía de diseño propuesta, otro 7% la consideran regular, el 67% la considera buena y el 20% la considera muy buena. Mientras que, en los profesionales el 11% la consideran regular, el 67% la consideran buena, y el 22% la consideran muy buena.

Con los resultados obtenidos en la pregunta 9 se aprecia que, en su mayoría tanto estudiantes como profesionales, consideran buena el grado de aporte de la guía en el diseño de bancos de pruebas.

Figura 9. Resultados de pregunta N°9.



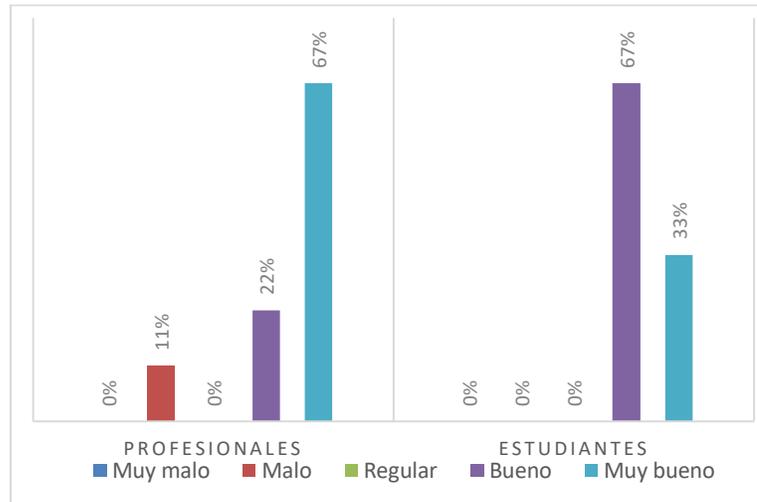
Fuente autor

10. ¿Facilita el proceso de selección de la instrumentación del banco de pruebas?

En la figura 10 se observa los resultados, acerca del grado de apoyo que ofrece la guía de diseño propuesta en el proceso de selección de la instrumentación de los bancos de pruebas. Donde se aprecia que, en los estudiantes el 67% consideran buena a la guía de diseño propuesta, y un 33% la consideran muy buena. Mientras que, en los profesionales el 11% la consideran mala, el 22% la consideran buena y el 67% la consideran muy buena.

Con los resultados obtenidos en la pregunta 10 se aprecia que, en su mayoría los estudiantes consideran bueno el grado de apoyo que ofrece la guía propuesta en la selección de la instrumentación de los bancos de pruebas. Mientras que la mayoría de los profesionales, lo consideran muy bueno.

Figura 10. Resultados de pregunta N°10.



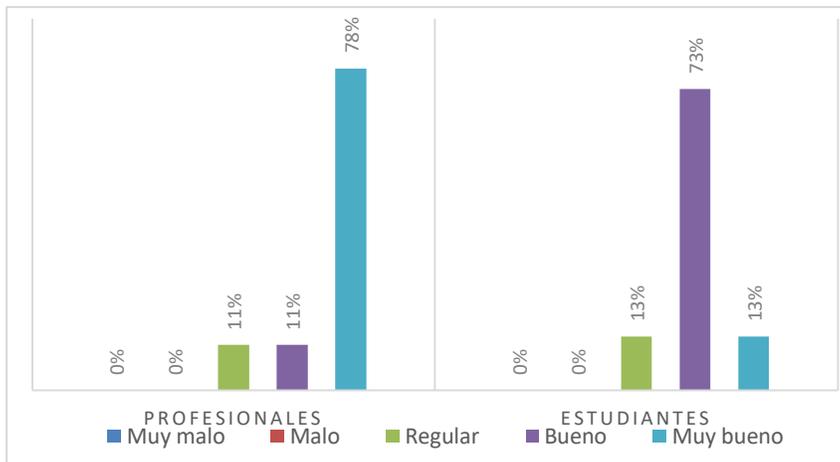
Fuente autor

11. ¿Facilita la cotización total del banco de pruebas?

En la figura 11 se observa los resultados, acerca del grado de apoyo que ofrece la guía de diseño propuesta en el proceso de la cotización de los bancos de pruebas. Donde se aprecia que, en los profesionales el 13% consideran regular a la guía de diseño propuesta, el 73% la consideran buena, y otro 13% la consideran muy buena. Mientras que, en los profesionales el 11% la consideran regular, otro 11% la consideran buena y el 78% la consideran muy buena.

Con los resultados obtenidos en la pregunta 11 se aprecia que, en su mayoría los estudiantes consideran bueno el grado de apoyo que ofrece la guía propuesta, en el proceso de cotización del banco de pruebas. Mientras que la mayoría de los profesionales lo consideran muy bueno.

Figura 11. Resultados de pregunta N°11.



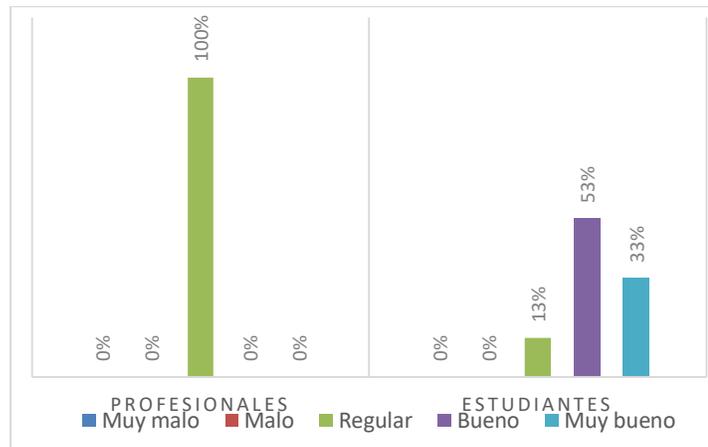
Fuente autor

12. ¿Facilita el proceso de conexión y montaje del banco de pruebas?

En la figura 12 se observa los resultados, acerca del grado de apoyo que ofrece la guía de diseño propuesta en el proceso de conexión y montaje de los bancos de pruebas. Donde se aprecia que, en los estudiantes el 13% consideran regular a la guía de diseño propuesta, el 53% la consideran buena, y el 33% la consideran muy buena. Mientras que, en los profesionales el 100% la consideran regular.

Con los resultados obtenidos en la pregunta 12 se aprecia que, en su mayoría los estudiantes consideran bueno el grado de apoyo que ofrece la guía propuesta, en los procesos de conexión y montaje de los bancos de pruebas, mientras que la mayoría de los profesionales lo consideran regular.

Figura 12. Resultados de pregunta N°12.



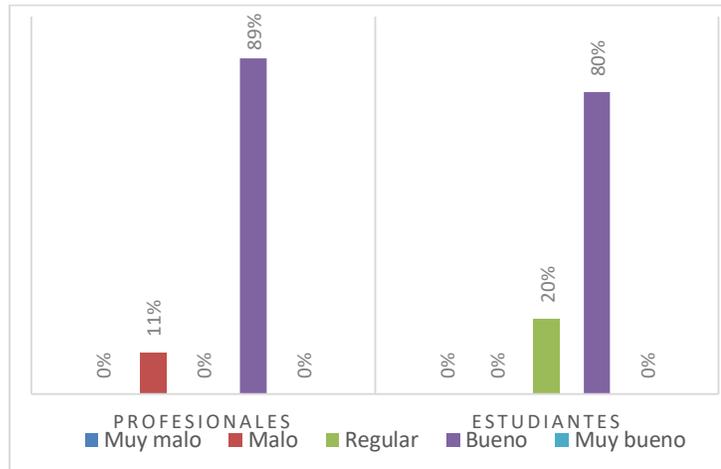
Fuente autor

13. ¿Considera flexible la guía en el diseño de bancos de pruebas?

En la figura 13 se observa los resultados, acerca del grado de flexibilidad de la guía de diseño propuesta en el proceso de diseño de los bancos de pruebas. Donde se aprecia que, en los estudiantes el 20% consideran regular a la guía de diseño propuesta, y un 80% la consideran buena. Mientras que, en los profesionales el 11% la considera mala y un 89% la considera buena.

Con los resultados obtenidos en la pregunta 13 se aprecia que, en su mayoría tanto estudiantes como profesionales, consideran bueno el grado de flexibilidad de la guía propuesta, en el proceso de diseño de bancos de pruebas.

Figura 13. Resultados de pregunta N°13.



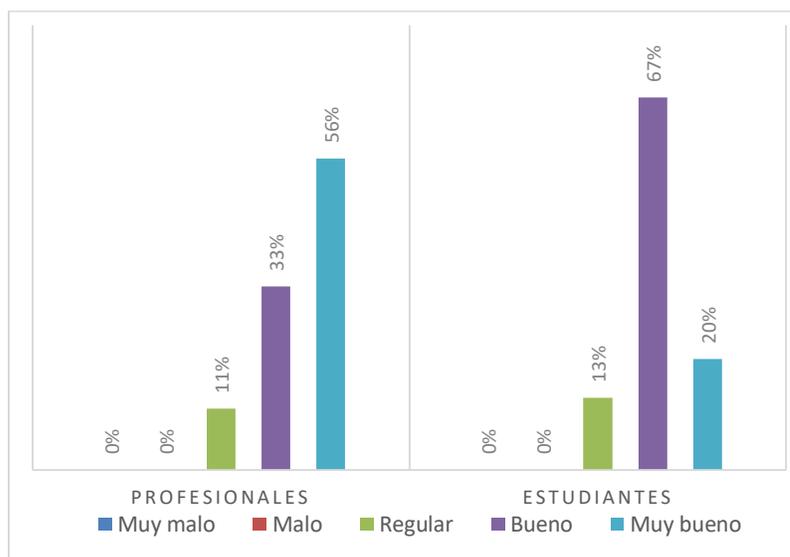
Fuente autor

14. ¿Considera que disminuye el tiempo de implementación del banco de pruebas al utilizar la presente guía?

En la figura 14 se observa los resultados, acerca de la disminución del tiempo en el proceso de implementación de los bancos de pruebas brindado por la guía propuesta. Donde se aprecia que, en los estudiantes el 13% consideran regular a la guía de diseño propuesta, el 67% la consideran buena y el 20% la consideran muy buena. Mientras que, en los profesionales el 11% la consideran regular, el 33% la consideran buena y el 56% la consideran muy buena.

Con los resultados obtenidos en la pregunta 14 se aprecia que, en su mayoría los estudiantes consideran bueno el aporte de la guía propuesta, en la disminución del tiempo en el proceso de implementación de los bancos de pruebas. Mientras que, la mayoría de los profesionales lo consideran muy bueno.

Figura 14. Resultados de pregunta N°14.



Fuente autor

ANEXO E) Práctica de reconocimiento y familiarización de planta de tanques en serie

Práctica de reconocimiento y familiarización

Planta de tanques en serie - Laboratorio de control de procesos
Programa de Ingeniería en Automática Industrial
Universidad del Cauca
VERSION 1.0 2017

Revisado y corregido por ing. Francisco Franco web: mgfranciscofranco.blogspot.com.co/



Introducción

El presente documento es una guía para un primer acercamiento a la planta de tanques en serie, la cual emula un proceso industrial de transferencia de fluidos desde un tanque a otro permitiendo el control de variables de flujo y nivel con la instrumentación con la que ésta cuenta. La guía estipula los pasos para obtener los diagramas técnicos de la planta, y conocer las variables asociadas al proceso.

Objetivo

Comprender el proceso que ocurre en la planta de tanques en serie, las variables, equipos y señales que intervienen en el proceso.

Procedimiento

Para esta práctica **NO se debe encender o energizar la planta.**

- Diríjase a la planta de tanques en serie del laboratorio y realice una inspección visual de todo el sistema, la planta se compone de un campo donde se encuentran los tanques, medidores y actuadores. Además, tiene dos paneles uno oculto y el de interfaz de usuario.
- Solicite al laboratorista la carpeta con la información técnica de la planta para obtener los datos técnicos del sistema y sus señales.

Reconocimiento en campo

- Observe los equipos que componen el campo de la planta y obtenga la información técnica requerida en la **Tabla 1**.
- No considere los tanques ni la tubería en el listado.
- (Si el equipo no presenta TAG asígnele una ciñéndose al estándar ISA).

Tabla 1. Equipos asociados al campo de la planta.

Equipo	TAG	Función	Señal de entrada (Rango)	Señal de salida (Rango)

Reconocimiento en panel

- Diríjase al panel oculto bajando la tapa de cobertura en el lado lateral de la planta y ubique la instrumentación que conforma el panel, con base en la información de la carpeta registre los datos en la **Tabla 2**.
- En esta tabla ubique la instrumentación del panel central. (si algún equipo no tiene TAG asígnele según estándar ISA).

Tabla 2. Equipos asociados a los paneles de la planta.

Equipo	TAG	Función	Señal de entrada (Rango)	Señal de salida (Rango)

Documentación técnica

- Revise la distribución física de la planta, los tanques, la tubería, válvulas, bomba y demás elementos que afectan el flujo de materia prima en el sistema y levante a mano alzada un diagrama PFD, con base a lo establecido en el estándar ISA S5.1.
- De acuerdo a la información registrada en las tablas 1 y 2 levante el diagrama P&ID de la planta haciendo uso de los estándares ISA S5.1 y S5.3. El diagrama debe ir a mano alzada indicando las señales y las TAG de los instrumentos.
- Con base a los documentos de la carpeta y siguiendo las marquillas del cableado de la planta, levante a mano alzada el diagrama de lazo parcial de la conexión entre el PLC y los sensores de nivel. Al tiempo que la conexión entre el PLC y el actuador.
- De los datos técnicos de la bomba, indique si el relé térmico del circuito de potencia está bien calculado.

Prueba de conocimientos

1. ¿Con base a la información recolectada explique en qué consiste el proceso de la planta?
2. Explique como hace el proceso la planta.
3. Desde su diagrama P&ID genere los esquemas de control posibles en la planta relacionando variables controladas y manipuladas. Es decir para cada esquema de control posible genere un P&ID y su respectiva explicación.
4. A partir de un balance de masa genere una función de transferencia, donde la salida sea el nivel del tanque 2 y la señal de entrada sea el caudal de entrada. (Para la función debe indicar que es cada término y sus respectivas unidades de ingeniería).
5. Del modelo encontrado en el punto 4 obtenga el τ del sistema y la ganancia, aproximando el modelo a uno de primer orden (*Linealizar si es necesario*).

ANEXO F) Práctica de calibración del transmisor de flujo por diferencia de presión DPHarp EJA 110 A

Práctica de calibración del transmisor de flujo por diferencia de presión DPHarp EJA 110 A

**Planta de tanques en serie – Instrumentación
Programa de Ingeniería en Automática Industrial**

Universidad del Cauca

VERSION 1.0 2017

Revisado y corregido por ing. Francisco Franco web: mgfranciscofranco.blogspot.com.co/



Introducción

La práctica de calibración consiste en conocer el funcionamiento del transmisor de flujo por diferencia de presión DPHarp EJA 110A ubicado en la planta de tanques en serie, realizando ajuste del punto cero y el span del transmisor. Además de realizar ajustes en la Tag de transmisor, cambios de parámetros, supervisión de valores, y autocomprobación.

Materiales

- BT200 Brain Terminal
- Tapón
- Destornillador de pala
- Planta de tanques en serie
- Cronometro

Conocimientos teóricos

Los elementos de presión diferencial funcionan con base en la reducción de la presión que se presenta entre dos puntos del aparato, la cual es directamente proporcional al caudal. Para lograr una mayor sensibilidad, se construyen de tal forma que la diferencia de presiones sea grande. La diferencia de presión se obtiene con la reducción de la sección de flujo, que puede ser brusca o gradual, tal que aumente notoriamente la velocidad.

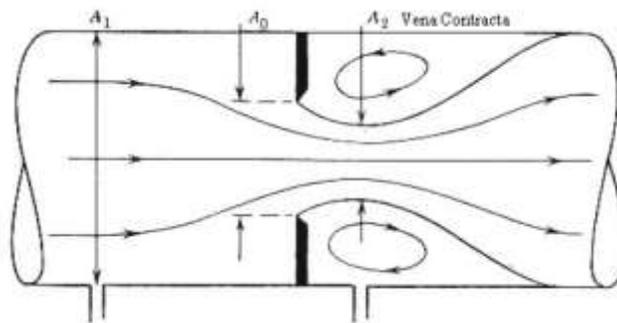
Los tipos más usados en tuberías son los diafragmas, las toberas y los tubos Venturi. Su diferencia radica en la forma de la reducción de la sección de flujo.

- En tubos Venturi la contracción es gradual formada por conos convergentes y divergentes, con distancia mayor que en las toberas por lo que la pérdida de energía es menor.

- Las toberas son orificios de pared gruesa de construcción espacial tal que la reducción de la sección de flujo es gradual, en una distancia comparativamente corta.
- Los diafragmas son placas con un orificio en su cuerpo que se insertan dentro de la tubería ocasionando una contracción brusca del área de flujo. En los diafragmas la máxima reducción del área de flujo se presenta aguas abajo de la contracción y se denomina vena contracta.

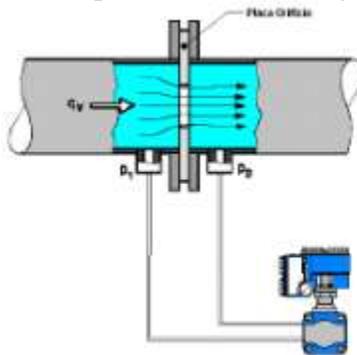
Para la presente práctica se tiene una placa de orificio, la cual es una placa con un orificio en su centro que se insertan dentro de la tubería. Se diferencian de una tobera porque la sección de área mínima no se presenta en el tubo, sino aguas debajo de la contracción, debido a la formación de una vena contracta en la sección A_2 como se observa en la figura 1.

Figura 1. Formación de vena contracta.



Las tomas de baja y alta presión de la brida se conectan a un transmisor de presión diferencial (ver figura 2), con la finalidad de estimar el flujo a través de la placa de orificio, con base al diferencial de presión provocado por esta.

Figura 2. Conexión entre transmisor de presión diferencial y tomas de presión de la brida.



Una vez conectado el transmisor, se halla el flujo teniendo en cuenta la norma internacional ISO 5167, bajo el siguiente procedimiento:

- Se define la temperatura del ambiente (T) y la viscosidad cinemática del agua (ν),
- La relación entre el diámetro del orificio de la placa (d) y el diámetro interno de la tubería (D) se conoce como β . Donde la norma ISO 5167, sugiere para un cálculo correcto el cumplir con dos condiciones: que $d \geq 12,5 \text{ mm}$ y $0,10 \leq \beta \leq 0,75$.

$$\beta = \frac{d}{D}$$

- El caudal a través de la placa se orificio, se describe mediante la siguiente ecuación.

$$q = CdA\sqrt{2g\Delta P}$$

Siendo:

q el caudal en $\frac{m^3}{s}$

Cd el coeficiente de descarga, el cual es adimensional.

A el área del orificio.

g la gravedad.

ΔP la caída de presión en el orificio.

- Se halla el coeficiente de descarga, bajo la ecuación de Stolz.

$$Cd = 0,5961 + 0,0261 * \beta^2 - 0,216 * \beta^8 + 0,000521 * \left(\frac{10^6 * \beta}{Re}\right)^{0,7} +$$

$$(0,0188 + 0,0063 * A) * \beta^{3,5} * \left(\frac{10^6}{Re}\right)^{0,3} +$$

$$\left(0,043 + 0,08 * e^{-10*L1} - 0,123 * e^{-7*L2} * (1 - 0,114) * \left(\frac{\beta^4}{1 - \beta^4}\right) - 0,031 * M2 - 0,8 * M2^{1,1}\right)$$

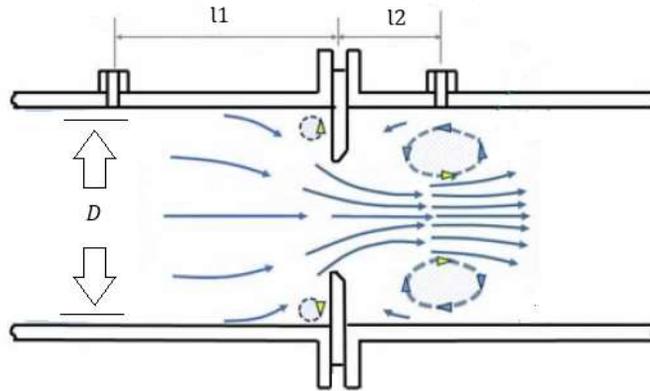
$$* \beta^{1,3}$$

Donde $L1$ es la relación entre el diámetro de la tubería aguas arriba (siendo esta D) con la distancia del plano horizontal de la toma de alta presión con la cara de la placa de orificio (siendo esta $l1$), y $L2$ es la relación entre el diámetro de la tubería aguas arriba (siendo esta D) con la distancia del plano horizontal de la toma de baja presión con la cara de la placa de orificio (siendo esta $l2$), como se aprecia en la figura 3. Se consideran cero $L1$ y $L2$ puesto que se pretende determinar la pérdida que se produce en la placa de orificio.

$$L1 = \frac{l1}{D}$$

$$L2 = \frac{l2}{D}$$

Figura 3. Tomas de presión.



M2 viene definida por la siguiente ecuación, donde se aprecia que es proporcional a L2 y dado que esta se considera cero, M2 es cero.

$$M2 = \left[\frac{2 * L2}{1 - \beta} \right]$$

Por otra parte, el número de Reynolds se expresa:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Donde:

ρ es la densidad del agua.

V es la velocidad de paso.

D es el diámetro de la tubería.

μ Viscosidad del agua.

- Finalmente, al tener el coeficiente de descarga se procede a calcular el flujo con la expresión:

$$q = C_d A \sqrt{2g\Delta P} = K \sqrt{g\Delta P}$$

Donde $K = C_d A \sqrt{2}$

Procedimiento

En la presente práctica se realizará un proceso de calibración y configuración de parámetros del transmisor de presión diferencial, ubicado en la planta de tanques en serie. Donde se medirá y se asignará una escala al flujo del tanque TK3 al tanque TK1.

Configuración de la planta y encendido:

1. **En primera instancia, configure los mandos en el panel de control, atendiendo las siguientes especificaciones:**
 - a. Cerciórese que la planta se encuentra conectada a la línea de alimentación a 110 VAC.
 - b. Abra la tapa del panel oculto, y confirme que el cable de conexión serial del PLC, se encuentra conectado al ordenador (ver figura 4).

Figura 4 Conexión ordenador – PLC.



- c. Accione el **breaker F1** en posición **ON**, en el panel de control oculto (ver figura 5 A).
- d. Para energizar la planta, ubique en **ON** la llave selectora **S 110 VAC** presente en el panel de control frontal (ver figura 5).
- e. Para energizar la instrumentación de la planta, ubique en **ON** la llave selectora **S 24 VDC** presente en el panel de control frontal (ver figura 6).

Figura 5. Posición ON del breaker F1.



Figura 6. Posición de llaves selectoras en panel frontal.



2. Para realizar la instalación del driver que permite la comunicación del ordenador con el PLC, siga los pasos:

- a. Inicie el ordenador de la planta con el sistema operativo *Windows*.
- b. Verifique que la llave selectora del PLC esté en modo remoto “*REM*” (ver figura 7).
- c. Busque RSLinx Classic en la lista de programas e inícielo (ver figura 8).

Figura 7. Posición de llave selectora de PLC en panel oculto.



Figura 8. RSLinx Clasic en ejecución.



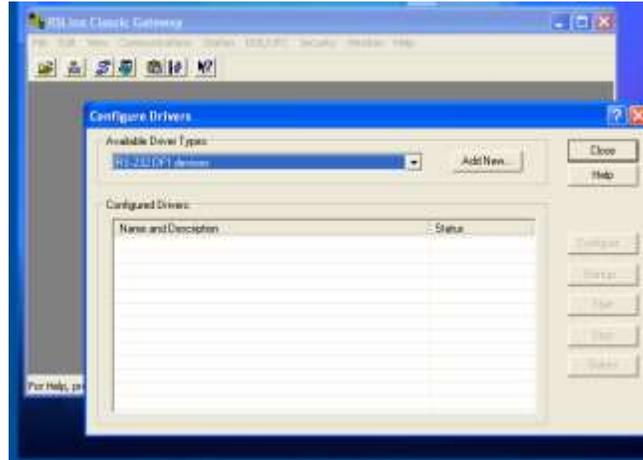
- d. Pulse en el icono *Configure Drivers* de la barra de herramientas del programa (ver figura 9).

Figura 9. Opción *Configure Drivers*.



- e. En la ventana emergente seleccione *RS-232DF1device* de las opciones que se despliegan en *Available Driver Types*, luego presionar *Add New* (ver figura 10).

Figura 10. Creación del driver.



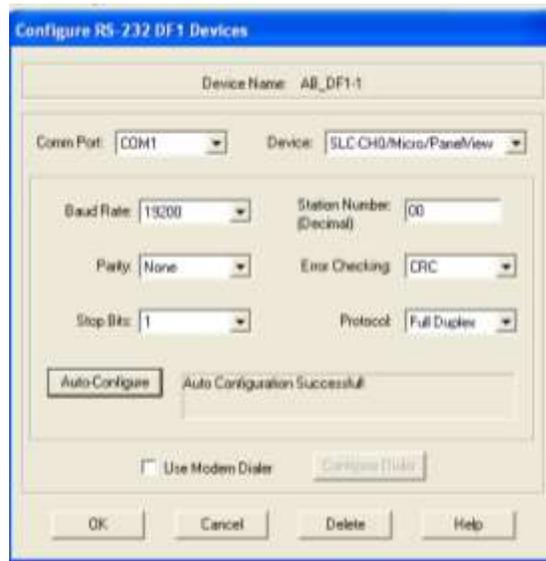
- f. En la ventana desplegada asígnele un nombre al *driver*, o deje el nombre por defecto dando clic en **OK** (ver figura 11).

Figura 11. Nombre de driver creado, en este ejemplo se deja por defecto.



2.7 En la siguiente ventana presione **Autoconfigure**, si la conexión entre el ordenador y el PLC es correcta, aparecerá el mensaje **Auto Configuration Successfully**. Luego dar **OK** (ver figura 12).

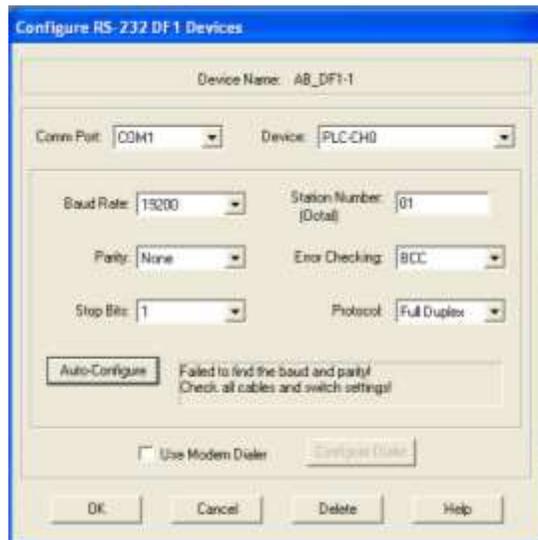
Figura 12. Nombre de driver creado, en este ejemplo se deja por defecto.



- Cierre la ventana *Configure drivers*.
- Minimice *RSLinx Classic*.
- De esta manera, se crea el driver de comunicación.

“NOTA: En caso contrario en que no aparezca el mensaje Auto Configure Successful, ver figura 13”.

Figura 13. Falla en procedimiento anterior.

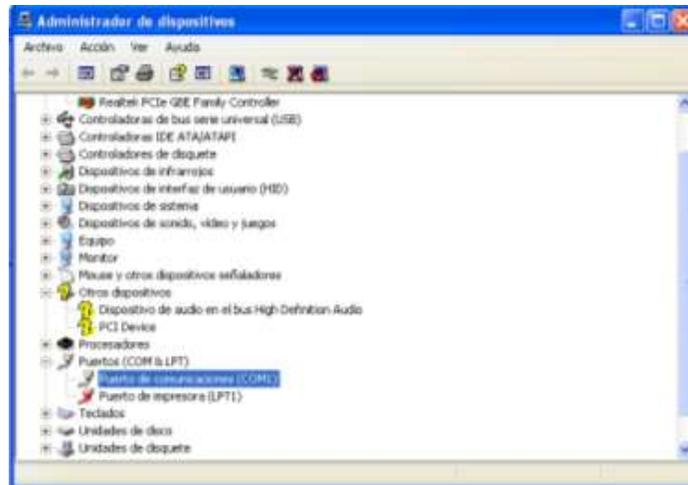


La falla podría deberse a que el PC aún no reconoce el puerto de comunicaciones COM1 (*por defecto*), o a que el cable serial no está bien conectado. Para solucionar esto deberá realizar el siguiente procedimiento:

- Verifique que el cable serial este bien conectado entre el **PLC** y el **PC**.
- Ingrese a **Panel de control**.
- Dé clic en **Mi PC**, luego **clic derecho** y elija **propiedades**.
- Ingresa a la opción **Hardware**.
- Presiona el botón **Administrador de dispositivos**.

Luego de esto aparecerá una ventana emergente (ver figura 14).

Figura 14. Administrador de dispositivos.



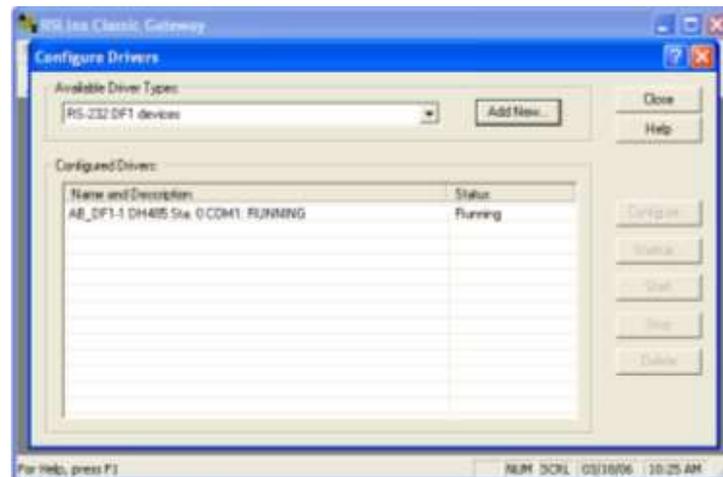
- Se verifica en la opción **Puertos (COM & LPT)**, que aparece habilitado el puerto de comunicaciones por defecto **“COM1”**. (A menos que su conexión no sea serial, no debería aparecer otro puerto de comunicaciones diferente).
- Cerrar esta ventana y dirigirse nuevamente a la ventana emergente **Configure RS-232 DF1 Devices**.
- Elija el puerto **COM1**, y presione **Auto Configure**.
- Aparecerá la ventana emergente con el mensaje **Auto Configure Successful** (ver figura 15).

Figura 15. Creación exitosa de driver.



- Dé clic en **OK**, y aparecerá una ventana emergente con la información del driver creado. (Ver figura 16).

Figura 16. Nombre y descripción del driver creado.

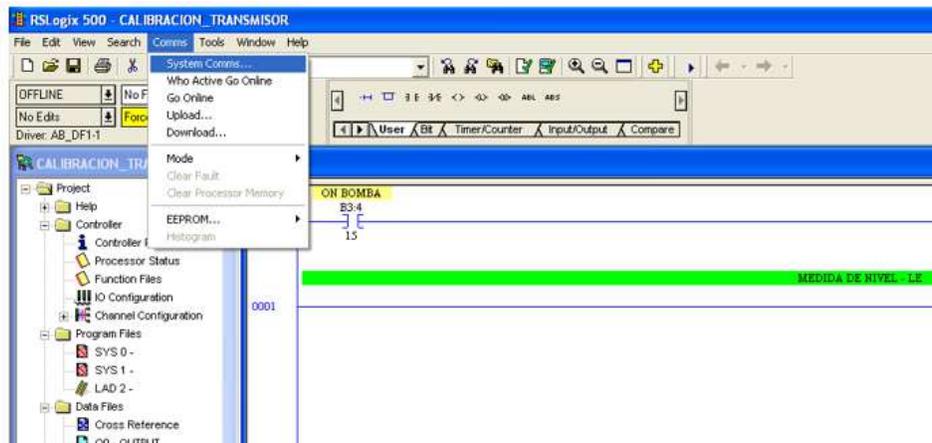


En la Figura 16 es posible ver que en la ventana emergente *Configure Drivers* de *“RS Linx Classic Gateway”* está en ejecución el driver que acabo de crear. Puede dar clic en cerrar y puede cerrar o minimizar las ventanas emergentes.

3. Enseguida se procede a cargar un programa en el PLC:

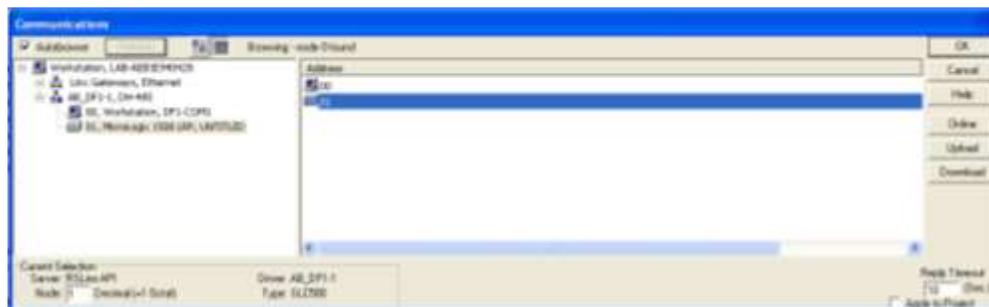
- Diríjase al escritorio del ordenador y busque la carpeta **Practica Calibración DPHARP EJA 110**, allí encontrará los archivos ladder y la subcarpeta **CALIBRACION_TRASNMISOR**, la cual contiene el supervisor propuesto.
- Abra el archivo **CALIBRACION_TRASNMISOR**. De inmediato se inicia el programa **RSLogix 500** y podrá ver el Ladder propuesto para hacer la calibración del transmisor de presión diferencial.
- Diríjase a la opción **Comms** de la barra de herramientas del programa, luego elija **System Comms** (ver figura 17).

Figura 17. System Comms.



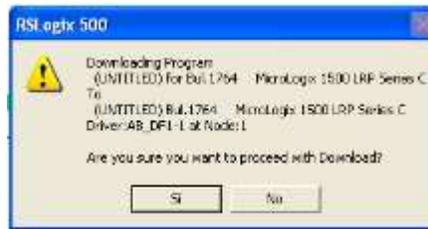
- En la ventana emergente **Communications** dé clic en **AB_DF-1,DH485** y selecciona la estación **01** (por defecto) que indica la ubicación del PLC creado con el driver de **RSLink Classic** (ver figura 18).

Figura 18. Communications.



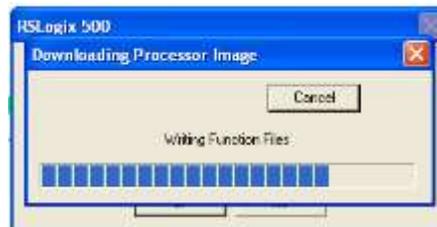
- Dé clic en la opción **Apply to Project** en seguida del botón **Download**, entonces se desplegará una ventana (ver figura 19).

Figura 19, Aceptación para proceso de descarga de ladder.



- f. Dé clic en el botón **SI**, aparecerá una ventana emergente con la información de descarga del ladder (ver figura 20).

Figura 20. Proceso de descarga de ladder a PLC.



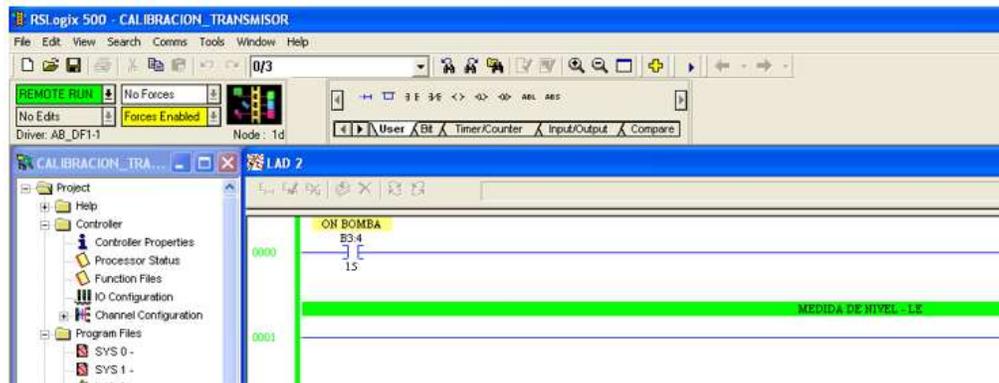
- g. Una vez terminado el proceso de descarga del ladder al **PLC**, se mostrará una ventana emergente preguntándole si desea poner en ejecución la lógica de programación del ladder en el PLC. Usted debe dar clic en el botón **SI** (ver figura 21).

Figura 21. Aceptación para ejecutar el ladder en PLC.



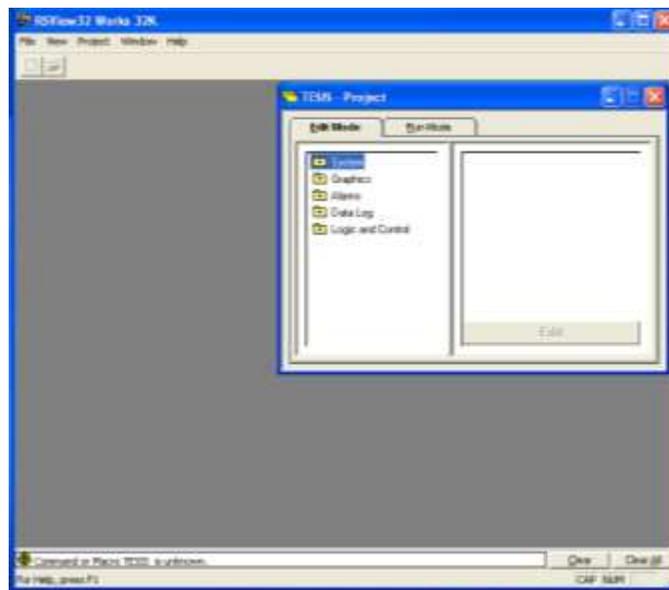
- h. Luego de esto, se mostrará una ventana del programa **RSLogix 500**, en el ícono **REMOTE PROGRAM** le permite opciones para ejecutarlo, sacarlo de línea, descargar uno nuevo, entre otras. Usted deberá pulsar en **Run** (Ver figura 22).

Figura 22. Aceptación para ejecutar el ladder en PLC.



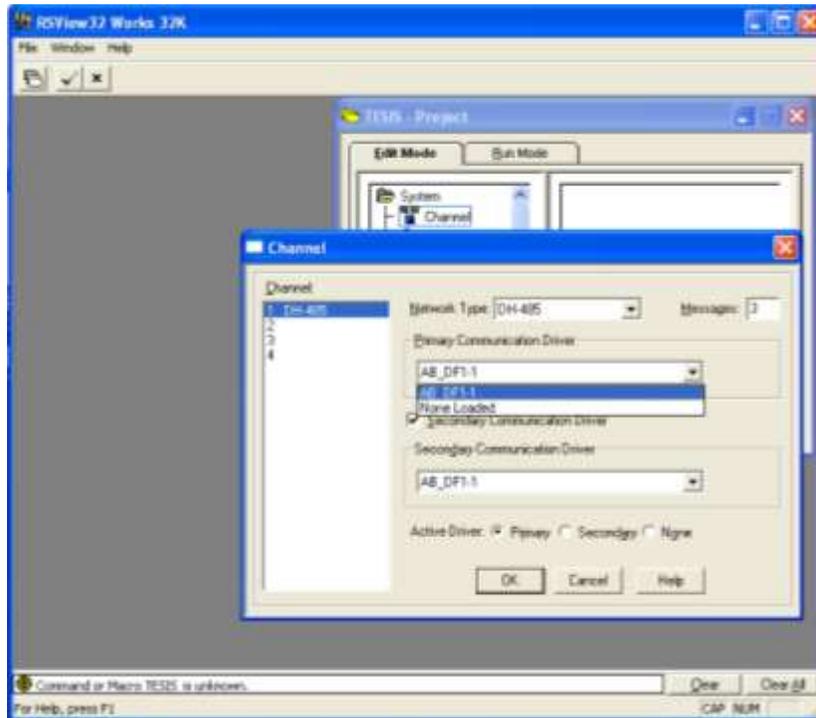
4. Ahora debe cargar el supervisorio de la planta de tanques en serie, por tanto, siga el siguiente procedimiento:
 - a. Ir a la carpeta **Practica Calibración DPHARP EJA 110** que se encuentra en el escritorio, entre a la carpeta **CALIBRACION_TRANSMISOR**, y cargue el supervisorio llamado **CALIBRACION_TRANSMISOR** o mejor dé clic en el icono 
 - b. De inmediato se inicia el programa **RSView 32 Works 32K**. En la ventana emergente **TESIS**, dé clic en la carpeta **System** para ver las opciones del sistema a ser configuradas (Ver figura 23).

Figura 23. Run Mode del archivo TESIS.



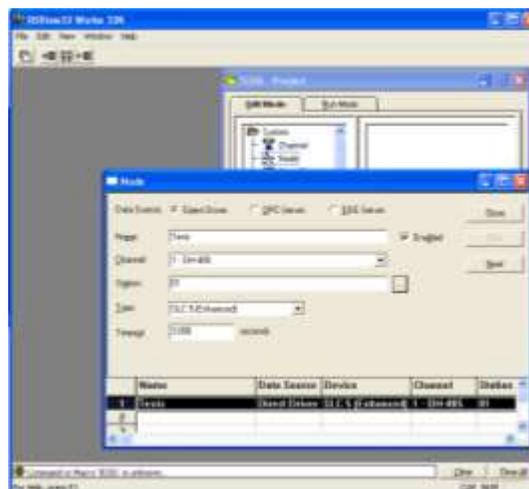
- c. Diríjase al icono **Channel**, allí le mostrará información acerca del canal de comunicaciones creado como una red **tipo DH485** con el nombre que le dio al driver creado, recordemos que en este ejemplo se dejó el nombre que aparece por defecto, **AB_DF1-1**. Dé clic en el botón **OK** (ver figura 24).

Figura 24. Configuración de canal.



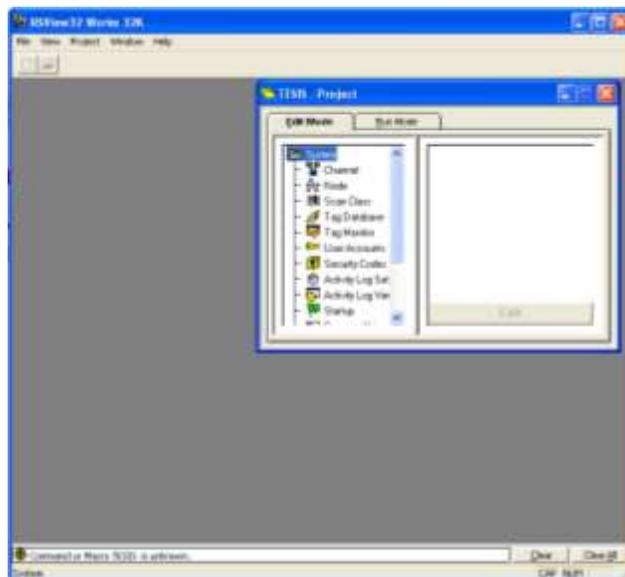
- d. Ahora se debe verificar el nodo, para esto dé doble clic sobre el icono **Node**, allí encontrará información acerca del tipo de fuente de datos, tipo de canal, nombre del nodo y estación en la cual se encuentra el **PLC**, además se especifica el tipo de PLC en ejecución. En este ejemplo al nodo se le asignó el nombre “*micrologix*”. Dé clic en el botón **Close** (ver figura 25).

Figura 25. Configuración de nodo.



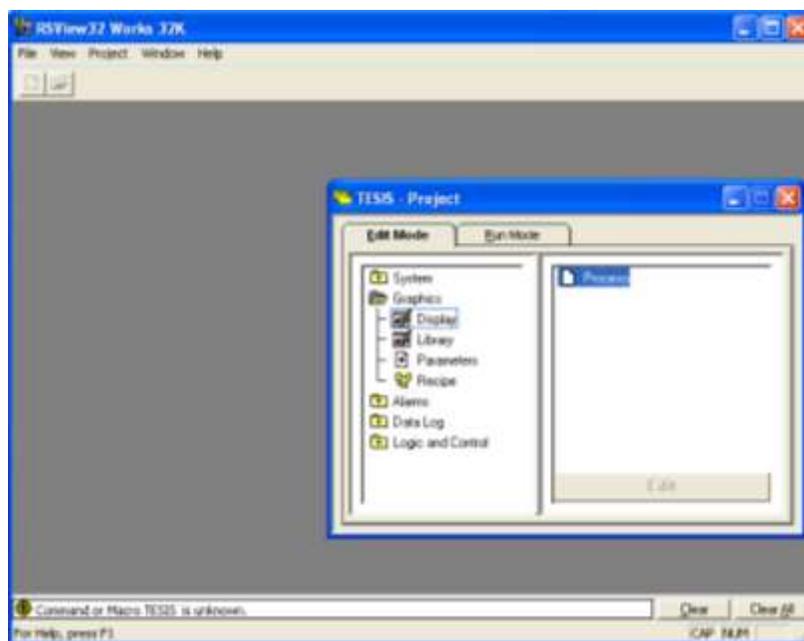
“NOTA: En la carpeta System además podrá encontrar información acerca de la base de datos de etiquetas, monitor de etiquetas, creación de cuentas para acceso al supervisorio, etc (ver figura 24)”.

Figura 26. Opciones de configuración de la carpeta System.



- e. Ahora minimice la carpeta **“System”** y abra la carpeta **“Graphics”**, allí encontrará información acerca del supervisorio propuesto, opciones de configuración para librería, parámetros y ventanas de supervisión. Seleccione el icono **Display**, enseguida del archivo **Proceso** (ver figura 27).

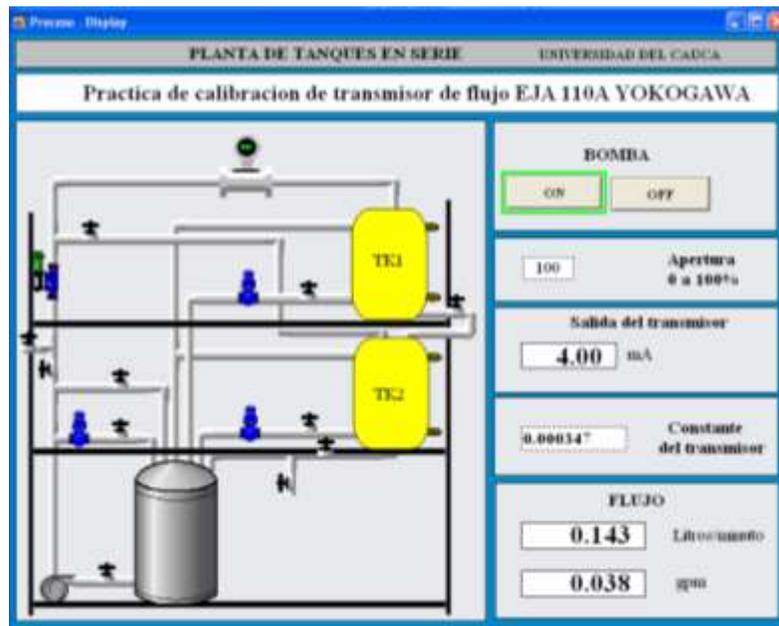
Figura 27. Archivo de supervisorio propuesto.



- f. Aparecerá ventana emergente, la cual contiene un gráfico de tendencias para el seguimiento de variables, un esquema de la planta de tanques en serie con instrumentación y elementos de control, además una entrada numérica y botones para el encendido o apagado de la bomba. Usted deberá ingresar un porcentaje de apertura de servoválvula (0-100) en la entrada numérica identificada como **% Apertura**.

Ahora podrá visualizar como cambia el valor del flujo que ingresa al tanque **TK1** ante valores cambiantes en la apertura de la servoválvula, además se observa el cambio de estado de los sensores finales de carrera que indican el llenado o vaciado de los tanques en serie (ver figura 28).

Figura 28 Archivo de supervisorio propuesto.



Conexión y calibración de transmisor

5. Diríjase al transmisor de presión diferencial (ver figura 29 A) y retire la tapa de este, como se muestra en la figura 29 B.

Figura 29. Transmisor de presión diferencial.



A



B

6. Conecte el terminal rojo del **BT200 Brain Terminal** a la bornera positiva del transmisor de flujo por diferencia de presión **DPHarp EJA 110 A** (ver figura 30 A), y el terminal negro del BT200 a la bornera negativa del transmisor (ver figura 30 B). En la figura 31 se aprecia como debe ser la conexión.

Figura 30. Conexión de terminales de BT200 al DPHARP

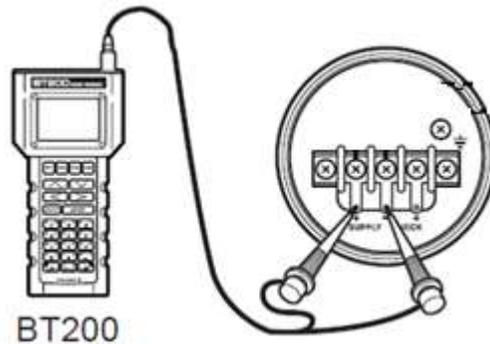
A Conexión terminal positivo



B Conexión terminal negativo



Figura 31. Conexión DPHarp a BT200



7. Ahora se procederá a conectar la toma de alta presión del transmisor a la toma aguas arriba de la placa de orificio, como se observa en la figura 32. Para ello desconecte con el destornillador la manguera de la toma de baja presión en la brida (ver figura 33), y colóquele el tapón a la toma de baja presión de la brida (ver figura 34 A), para evitar de esta manera fugas de agua. El tapón debe pedírselo al laboratorista (ver figura 34 B).

Figura 32. Conexión de tomas de alta y baja presión.



Figura 33. Toma de baja presión de la brida.



Figura 34. Tapón para toma de presión.



A Tapón en la toma de baja presión de la brida

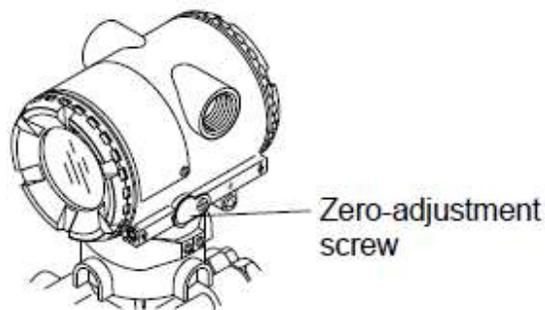


B Tapón

8. Ahora se establece el ajuste del cero a través de la presión mínima que medirá el transmisor en la toma de alta de la placa de orificio, la cual es cuando hay ausencia de flujo. Dado que el transmisor tiene un rango de medición de presión de -1000 a 1000 mmH₂O con un span de 50 a 1000 mmH₂O, esta presión mínima está dentro de su rango, puesto que, al haber ausencia de flujo en la tubería esta tendrá una presión equivalente a la atmosférica. En este sentido:

- Proceda a exponer la toma de alta del sensor a la presión mínima en la tubería sin flujo alguno.
- Utilice un destornillador ranurado para girar el tornillo de ajuste de cero (ver figura 35).
- Gire el tornillo en el sentido de las agujas del reloj para aumentar la salida o hacia la izquierda para disminuir la salida. El ajuste del punto cero se puede realizar con una resolución del $0,01\%$ del rango de ajuste. Puesto que el grado de ajuste de cero varía con la velocidad de giro del tornillo, gire el tornillo lentamente para un ajuste fino y rápidamente para un ajuste grueso. De esta manera el punto cero se ajustará a 0% (4mA).

Figura 35. Perilla de ajuste de cero.



9. Configuración de válvulas de la planta de tanques en serie.

- Cierre la válvula HV6.
- Cierre la válvula HV4.
- Abra la válvula HV3.
- Abra la válvula HV1.

10. Luego de ajustar el punto cero, se procede a ajustar el rango mediante el interruptor de rango (ver figura 36), donde mostrara el indicador LSET. Para ajustar el valor mínimo de presión LRV:

- Retire la tapa floral del transmisor (ver figura 37 A).
- Pulse el interruptor de rango (ver figura 37 B), e inmediatamente aparecerá LSET.
- Ahora ajuste la señal de salida al 0% (1 V CC) girando el tornillo de ajuste de cero externo (figura 35). Al hacerlo, se completa el ajuste LRV.

Figura 36. Interruptor de rango.

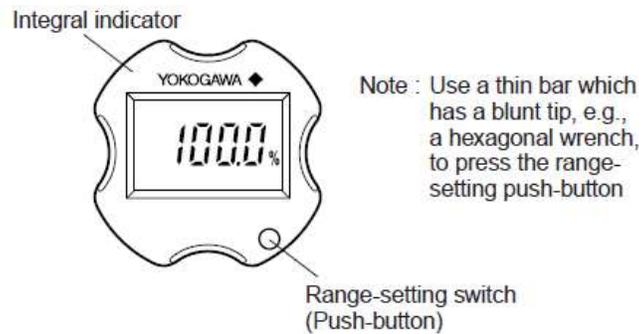


Figura 37. Transmisor sin tapa frontal..



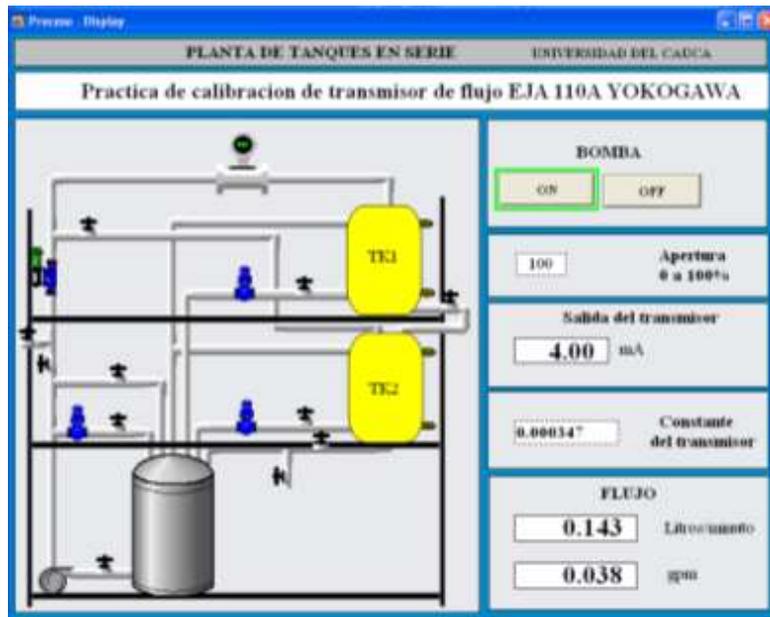
A



B

11. Diríjase al supervisorio y fije un porcentaje del 100% en la apertura de la servoválvula, luego encienda la motobomba pulsando **ON** (ver figura 38), de tal manera de alcanzar el flujo máximo otorgado por la bomba al transmisor de presión diferencial.
12. Manteniendo el flujo máximo estable:
 - Pulse nuevamente el interruptor de rango, donde el indicador mostrara HSET.
 - Ahora ajuste la señal de salida al 100% (5 V CC) girando el tornillo externo de ajuste de cero. Al hacerlo, se completa el ajuste de HRV.
13. Pulse el botón **OFF** del estado de la bomba.

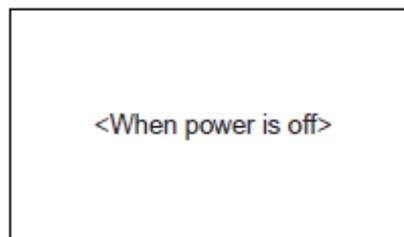
Figura 38. Supervisorio.



De esta manera el transmisor tendrá como rango mínimo la presión de ausencia de flujo, y como rango máximo la presión ejercida por el flujo máximo en la tubería.

14. Ahora se procede a ajustar de lineal a raíz cuadrada la señal de la presión diferencial del transmisor, para la posterior estimación del flujo:
 - Diríjase al BT200 y presione la tecla **ON/OFF** para encenderlo, aparecerá la figura 41.

Figura 39. Encendido del BT200.



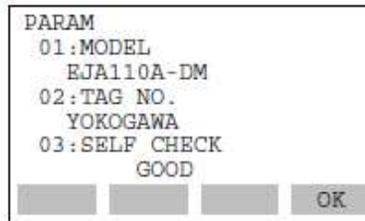
- Manteniendo la conexión entre el transmisor DPHarp EJA 110 A y el BT200 presione la tecla **ENTER**, aparecerá la figura 40.

Figura 40. Conexión entre transmisor DPHarp EJA 110 A y BT200.



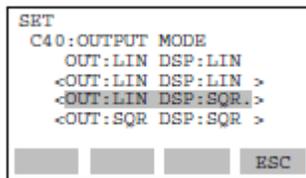
- Ahora, el transmisor muestra el nombre del DPHarp conectado, su etiqueta o TAG, y la información de diagnóstico. Luego pulse la tecla **F4** para confirmar.

Figura 41. Información de diagnóstico.

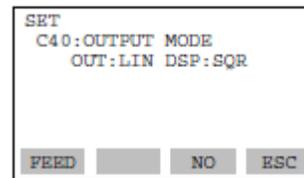


- Use las teclas  o  del brain terminal, y seleccione “OUT:LIN,DPS:SQR” (ver figura 38 A). Luego presione la tecla ENTER dos veces para la configuración. Finalmente presione F4 para confirmar el cambio (ver figura 38 B). De esta manera se saca la raíz cuadrada del diferencial de presión.

Figura 42. Raíz cuadrada de la señal de salida del transmisor DPHarp EJA 110 A.



A



B

15. Ahora, conecte la toma de baja presión del transmisor con la toma de baja de la brida, como se muestra en la figura 43.

Figura 43. Conexión de las tomas de alta y baja presión.



Constante del transmisor de flujo

16. Una vez conectado el transmisor a las tomas de alta y baja presión de la brida, se halla el flujo con base a la norma internacional ISO 5167 bajo el procedimiento descrito en los conocimientos teóricos de la presente guía.

Actividad propuesta para el cálculo de la constante del transmisor de flujo.

A. En primera instancia se definen el valor de las siguientes variables:

- Temperatura del ambiente (T):

$$T = 20^{\circ}\text{C}$$

- Viscosidad cinemática del agua (μ):

$$\mu = 1,1 \times 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- La relación entre el diámetro del orificio de la placa (d) y el diámetro interno de la tubería (D) definida como β :

$$\beta = \frac{d}{D}$$

B. Ahora el caudal a través de la placa de orificio, se describe mediante la siguiente ecuación.

$$q = CdA\sqrt{2g\Delta P}$$

Siendo:

- q el caudal en $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.
- Cd el coeficiente de descarga, el cual es adimensional.
- A el área del orificio:

$$A = 1.266 * 10^{-4} \text{m}^2.$$

- g la gravedad:

$$g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

- ΔP la caída de presión en el orificio.

C. Luego se halla el coeficiente de descarga, bajo la ecuación de Stolz.

$$Cd = 0,5961 + 0,0261 * \beta^2 - 0,216 * \beta^8 + 0,000521 * \left(\frac{10^6 * \beta}{Re}\right)^{0,7} +$$

$$(0,0188 + 0,0063 * A) * \beta^{3,5} * \left(\frac{10^6}{Re}\right)^{0,3} +$$

$$\left(0,043 + 0,08 * e^{-10*L1} - 0,123 * e^{-7*L2} * (1 - 0,114) * \left(\frac{\beta^4}{1 - \beta^4}\right) - 0,031 * M2 - 0,8 * M2^{1,1}\right) * \beta^{1,3}$$

Donde el número de Reynolds se expresa:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

- ρ es la densidad del agua:

$$\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

- D diámetro interno de la tubería:

$$D = 0.0127 \text{ m}$$

- V es la velocidad de paso:

$$V = \frac{Q}{A}$$

“Nota: Donde Q , es el caudal promedio, y A es el área transversal de la tubería aguas arriba de la placa de orificio”.

Para el cálculo de esta velocidad de paso, se hizo una medición por aforo de la velocidad del fluido con base al llenado del tanque TK1 de la planta de tanques en serie, así:

- Con la puesta en marcha del sistema, se aplicó el máximo flujo otorgado por la bomba y se midió la altura que alcanza el líquido en el tanque hasta el rebose. $h = 32,5 \text{ cm}$.
- Se tomó el tiempo que tardó en llenarse el tanque TK1 hasta su nivel de rebose, $t = 42,27 \text{ seg}$
- Tenga en cuenta que el radio del tanque cilíndrico es $r = 13 \text{ cm}$.
- Al calcular el área transversal del tubo aguas arriba de la placa de orificio, se tiene que $A = 5,0670 \text{ cm}^2$.

Ahora se procede a calcular el volumen de líquido en el tanque: $Volumen = h * \pi * r^2$

$$Volumen = 17255,20 \text{ cm}^3 \rightarrow 0,0172552 \text{ m}^3$$

Luego se halla el flujo que se expresa como: $Q = \frac{Volumen}{t} \rightarrow \frac{0,0172552 \text{ m}^3}{42,27 \text{ seg}}$, luego:

$$Q = 3,6503 * 10^{-4} \frac{m^3}{seg}$$

Por otro lado, se sabe que $Q = A * V$, se procede a despejar V:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{3,6503 * 10^{-4} m^3/seg}{0,00050670m^2}$$

$$V = 0,720 m/seg$$

D. Finalmente, al tener el coeficiente de descarga, el área del orificio y el valor de la gravedad se puede calcular el flujo con la expresión:

$$q = CdA\sqrt{2g\Delta P}$$

De acuerdo con las ecuaciones mostradas anteriormente, tenga en cuenta los valores de las variables que han sido fijados, y proceda a realizar los cálculos pertinentes para solucionar dichas ecuaciones y consigne los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 1. Variables de calibración.

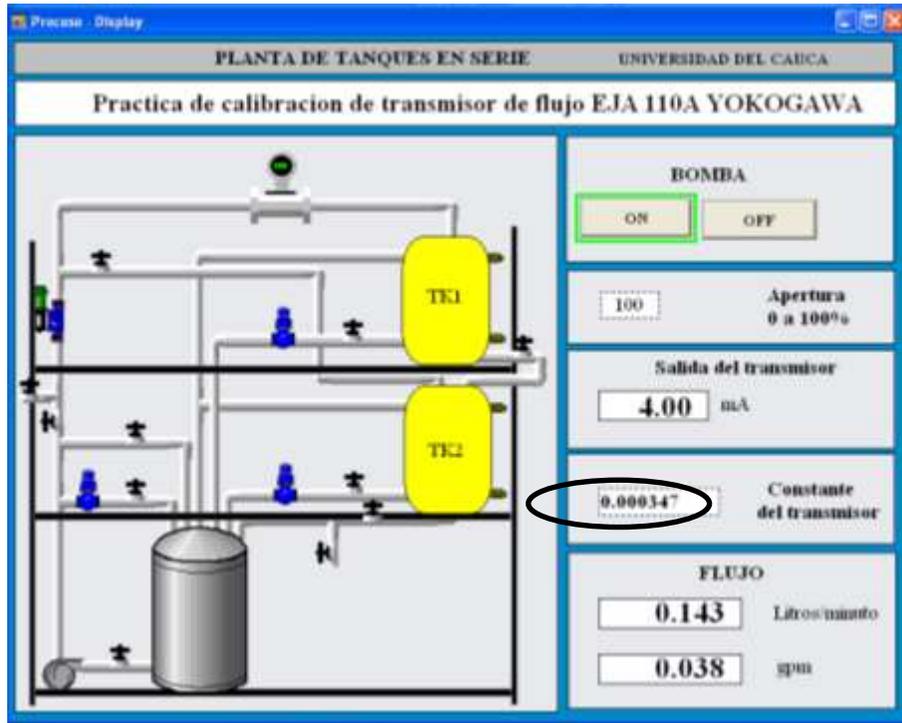
Calculo de β	
Diámetro del orificio de la placa de orificio	$d = 0.0127 m$
Diámetro de la tubería aguas arriba de la placa de orificio	$D = 0.0508 m$
Calcule $\beta = \frac{d}{D}$	$\beta =$
Calculo del número de Reynolds	
Viscosidad del agua	$\mu = 1,1 \times 10^{-6} \frac{m}{s^2}$
Densidad del agua	$\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$
Velocidad media Para calcular la velocidad media del fluido, se hace la medición aforo de esta.	
1. Cerciórese que el tanque TK1 se encuentre vacío.	
2. Cierre las válvulas HV4, HV6 y HV.	
3. Mida la altura desde la base del tanque TK1 a la tubería de rebose.	$h =$
4. Diríjase al supervisorio (ver figura 42), defina un 100% en la apertura de la servoválvula y pulse ON en el estado de la bomba.	
5. Al llegar el fluido al tanque TK1 comience a tomar el tiempo hasta que	$t =$

el nivel del tanque alcance la tubería de rebose.	
6. Luego diríjase al supervisorio y pulse OFF en el estado de la bomba.	
7. Halle el radio del tanque TK1.	$r =$
8. Calcule el área transversal de la tubería aguas arriba de la placa de orificio, puesto que se conoce el diámetro de esta ($D = 0.0508 m$).	$A =$
9. Ahora se procede al calcular el volumen del líquido en el tanque TK1, reemplazando los valores de r y h.	$Volumen = h * \pi * r^2 =$
10. Luego se halla el flujo, teniendo en cuenta el volumen del líquido y el tiempo que tardo en llenarse el tanque.	$Q = \frac{Volumen}{t} =$
11. El flujo puede expresarse como: $Q = A * V$ Donde se despeja V y con ello calcule la velocidad del fluido.	$V = \frac{Q}{A} =$
Una vez hallada la velocidad del fluido, se procede a calcular el número de Reynolds: $Re = \frac{\rho V D}{\mu}$	$Re =$
Calculo del coeficiente de descarga	
Diámetro de la tubería aguas arriba de la placa de orificio	$D = 0.0508 m$
Distancia del plano horizontal de la toma de alta presión con la cara de la placa de orificio	$l1 = 0.02m$
Distancia del plano horizontal de la toma de baja presión con la cara de la placa de orificio	$l2 = 0.02m$
Calcule $L1 = \frac{l1}{D}$	$L1 =$
Calcule $L2 = \frac{l2}{D}$	$L2 =$
Calcule $M2 = \left[\frac{2 * L2}{1 - \beta} \right]$	$M2 =$
Calculo de coeficiente de descarga	$Cd =$

$Cd = 0,5961 + 0,0261 * \beta^2 - 0,216 * \beta^8$ $+ 0,000521 * \left(\frac{10^6 * \beta}{Re}\right)^{0,7} +$ $(0,0188 + 0,0063 * A) * \beta^{3,5} * \left(\frac{10^6}{Re}\right)^{0,3} +$ $\left(0,043 + 0,08 * e^{-10*L1} - 0,123 * e^{-7*L2}\right.$ $* (1 - 0,114) * \left(\frac{\beta^4}{1 - \beta^4}\right)$ $- 0,031 * M2 - 0,8 * M2^{1,1}$ $\left. * \beta^{1,3}\right)$	
Calculo del flujo	
Gravedad	$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$
Área del orificio de la placa $A = \frac{\pi(\frac{d}{2})^2}{2}$	$A =$
Calcule $K = CdA\sqrt{2g}$	$K =$
Raíz cuadrada del diferencial de presión	$\sqrt{\Delta P}$ diríjase la tabla 2 y tome los valores del diferencial de presión mostrado.
Calcule $q = K\sqrt{\Delta P}$	$q =$

A continuación, se muestra el supervisorio propuesto, en el cual se permite visualizar el estado de la bomba, además de algunas variables físicas pertinentes para la calibración del transmisor (ver figura 44).

Figura 44. Supervisorio de calibración.



E. Ahora, teniendo en cuenta el supervisorio configure los parámetros para la estimación del flujo presente en la tubería del tanque madre al tanque **TK1** bajo el siguiente procedimiento:

- Diríjase a la entrada numérica identificada como **constante del transmisor**, e ingrese el valor calculado de la constante del transmisor.
- Ingrese el valor de **100%** para el porcentaje de apertura de la servoválvula.
- Pulse el botón **ON**, para encender la bomba.
- Varíe el porcentaje de apertura de la servoválvula y tome el valor del diferencial de presión mostrado en el transmisor **FIT**. Luego ingrese los datos obtenidos en la tabla 2 que se muestra a continuación:

Tabla 2. Flujo teórico.

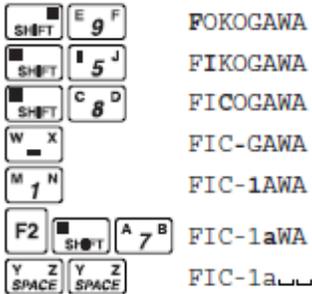
Dato	% apertura FCV	$\sqrt{\Delta P}$	Flujo
1	0%		
2	25%		
3	50%		
4	75%		
5	100%		

- De acuerdo con los valores tomados del diferencial de presión anotados en la tabla 2, proceda a hallar el flujo por medio de la tabla 1, e ingrese el valor del flujo para cada diferencial de presión $\sqrt{\Delta P}$ en la tabla 2.

17. Cuando tome los 5 datos y haya encontrado los flujos, pulse el botón **OFF** en el estado de la bomba en el supervisorio, y pulse **stop** en la barra superior de **RxView32**.
18. Saque de línea el **PLC** en **RxLogix500**.
19. Una vez hallado el caudal mínimo y máximo que medirá el transmisor de flujo por diferencia de presión, se realizará un ajuste de parámetros cambiando la TAG o etiqueta del **DPHarp EJA 110 A** con el **BT200**, bajo el procedimiento presente en la tabla 3:

Tabla 3. Cambio de etiqueta o TAG.

Cambio de etiqueta o TAG	
	1. Presione la tecla ON/OFF para encender el BT200.
	2. Conecte el DPHarp y el BT200, utilizando un cable de comunicación y presione la tecla ENTER .
	3. Muestra el nombre del DPHarp conectado, su etiqueta o TAG, y la información de diagnóstico. Luego pulse la tecla F4 para confirmar.
	4. Presione la tecla F2 (SET) para visualizar el panel del menú.
	5. Seleccione C: SETTING y presione la tecla ENTER .

<pre> MENU C10:TAG NO. YOKOGAWA C20:PRESS UNIT kPa C21:LOW RANGE 0 kPa DATA DIAG PRNT ESC </pre>	<p>6. Seleccione C10: TAN NO y presione la tecla ENTER.</p>
<pre> SET C10:TAG NO. YOKOGAWA YOKOGAWA CODE CAPS CLR ESC </pre>	<p>7. Establezca la nueva TAG o etiqueta (FIC-1a), como se muestra a continuación.</p> 
<pre> SET C10:TAG NO. YOKOGAWA FIC-1a CODE caps CLE ESC </pre>	<p>8. Establezca la TAG, y presione ENTER. Si comente algún error regrese el cursor con la tecla , y vuelva a entrar.</p>
<pre> SET C10:TAG NO. YOKOGAWA FIC-1a PRINTER OFF F2:PRINTER ON FEED POFF NO </pre>	<p>9. Este es el panel para confirmar los datos de ajuste. Donde los elementos de datos ajustados parpadean. Cuando se hayan confirmado todos los elementos, vuelva a presionar ENTER. Para volver al panel de configuración, presione la tecla F3.</p>
<pre> SET C10:TAG NO. FIC-1a FEED NO OK </pre>	<p>10. De esta manera la TAG se sobrescribió. Pulse la tecla F4, para volver al panel de parámetros.</p>
<pre> PARAM C10:TAG NO. FIC-1a C20:PRESS UNIT kPa C21:LOW RANGE 0 kPa DATA DIAG PRNT ESC </pre>	<p>11. Pulse la tecla F3, para volver al panel de configuración.</p>

20. Continuando con la práctica, se llevará a cabo una configuración de los rangos de calibración en el *DPHarp*, para ello siga el procedimiento presente en la tabla 4:

Tabla 4. Cambio de unidades y ajuste de rangos.

Primero se llevará a cabo un cambio en las unidades	
<pre>SET C20:PRESS UNIT mmH2O < mmWG > < mmHG > < Torr > -> < kPa > [] [] [] [ESC]</pre>	<p>Use la tecla  o , para seleccionar kPa. Luego presione la tecla ENTER dos veces para ingresar el ajuste.</p>
<pre>SET C20:PRESS UNIT kPa [FEED] [] [NO] [OK]</pre>	<p>Luego presione la tecla F4.</p>
A continuación, se realizará un ajuste al rango bajo y al alto.	
<pre>SET C21:LOW RANGE 0 kPa + 0.5 [] [DEL] [CLR] [ESC]</pre>	<p>Cabe resaltar que el <i>span</i> se mantiene, de este modo al aumentar el rango bajo, se aumenta el rango alto, manteniéndose de esta manera el <i>span</i>. En este sentido, establezca 0.5 y presione dos veces ENTER, para ingresar el ajuste. Tenga en cuenta que el rango actual es de 0 a 30 kPa.</p>
<pre>SET C21:LOW RANGE 0.5 kPa [FEED] [] [NO] [OK]</pre>	<p>Luego presione la tecla F4.</p>
<pre>SET C20:PRESS UNIT kPa C21:LOW RANGE 0.5 kPa C22:HIGHIGH RANGE 30.5 kPa [DATA] [DIAG] [PRNT] [ESC]</pre>	<p>El valor del rango alto se cambia, mientras el <i>span</i> permanece constante.</p>

<pre> SET C22:HIGH RANGE 30 kPa + 10 </pre> <p>DEL CLR ESC</p>	<p>Cabe resaltar que, al cambiar el rango alto, no cambia el rango bajo, pero si cambia el <i>span</i>.</p> <p>Establezca en 10 el rango superior, y presione la tecla ENTER dos veces para ingresar el ajuste.</p>
<pre> SET C22:HIGH RANGE 10 kPa </pre> <p>FEED NO OK</p>	<p>Luego presione la tecla F4.</p>
<pre> PARAM C20:PRESS UNIT kPa C21:LOW RANGE 0 kPa C22:HIGH RANGE 10 kPa </pre> <p>DATA DIAG PRNT ESC</p>	<p>Se observa que el rango bajo no cambio, por lo que se presenta un cambio en el <i>span</i>.</p>

21. Luego se realiza una visualización de los datos del *DPHarp*, bajo el procedimiento mostrado en la tabla 5.

Tabla 5. Visualización de características del transmisor de flujo *DPHarp*.

<p>Primero se realiza una visualización de los datos medidos.</p>	
<pre> MENU A:DISPLAY B:SENSOR TYPE </pre> <p>HOME SET ADJ ESC</p>	<p>Presione la tecla ENTER en DISPLAY.</p>

```

PARAM
A10:OUTPUT (%)
  XX.X % ←
A11:ENGR.OUTPUT
  YY.Y % ←
A20:AMP TEMP
  ZZ deg C ←
DATA  DIAG  PRNT  ESC

```

```

PARAM
A10:OUTPUT (%)
A11:ENGR.OUTPUT
A20:AMP TEMP

```

Los datos medidos se actualizan cada 7 segundos, sin embargo, si se presiona la tecla **FI**, se pueden visualizar al instante.

Luego se visualiza las especificaciones del transmisor.

```

MENU
A:DISPLAY
B:SENSOR TYPE

```

HOME SET ADJ ESC

Presione **ENTER** en **SENSOR TYPE**.

```

PARAM
B10:MODEL
  EJA110A-DM
B11:STYLE NO.
  S1.01
B20:LRL
  - 98.07 kPa
DATA  DIAG  PRNT  ESC

```

De esta manera se visualiza las especificaciones del transmisor.

22. Finalmente, se ingresan los datos referentes a la calibración del transmisor, en la tabla 6.

Tabla 6. Ficha de seguimiento del proceso de calibración del transmisor de presión diferencial.

Ficha de seguimiento del proceso de calibración del transmisor de presión diferencia DPHarp EJA 110 A		
	Anterior	Actual
Fecha de calibración		
Encargado de calibrar		
Etiqueta del transmisor (TAG)		

Unidad de medida		
Rango de medida bajo		
Rango de medida alto		
Span		

Calibración del transmisor por software

- Abra el Ladder denominado **CALIBRACION_TRANSMISOR**.
- Repita el paso del 3.1 al 4.6 de la presente guía.
- Diríjase a **RxView32** y pulse el botón inicio.
- Diríjase a **RxLogix500** y observe la línea número 3. En esta, apunte en la tabla 7, el valor mínimo de I.1.2 cuando ahí ausencia de flujo en la tubería que alberga la placa de orificio. Cabe aclarar que los valores que tome I.1.2 no poseen unidades, puesto que son valores que representan la salida del transmisor de 4 a 20 miliamperios.
- Diríjase al transmisor de presión diferencial FIT y anote en la tabla 7 en ΔP mínimo el valor del diferencial de presión que muestra el transmisor. Cabe aclarar que el valor del diferencial de presión debe convertirlo de mmH₂O a mH₂O.
- Ahora diríjase al supervisorio en RxView32, y defina un porcentaje de apertura de la servoválvula del 100%.
- Pulse el botón ON de la bomba.
- Diríjase a RxLogix500 y anote en la tabla 8 el valor máximo que tome I.1.2.
- Pulse el botón OFF en el supervisorio.

Tabla 8. Rangos del diferencial de presión.

Variable	Valor	Unidades
I.1.2 mínimo		Sin unidad
ΔP mínimo		mmH ₂ O
I.1.2 máximo		Sin unidad
ΔP máximo		mmH ₂ O

- Una vez identificados el valor mínimo y máximo de I.1.2, proceda a sacar de línea el Ladder en RxLogix500.
- Luego inserte en la línea 3 del Ladder los valores de I.1.2, haciendo la correspondencia de I.1.2 mínimo con Input Min, y la correspondencia de I.1.2 máximo con Input Max (ver figura 45).

Figura 45. Valor de Input mín e Input máx.

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	I:1.2 7671<
Input Min.	6500.0 6500.0<
Input Max.	30000.0 30000.0<
Scaled Min.	0.0 0.0<
Scaled Max.	8.28 8.28<
Output	F8:8 -0.3533974<

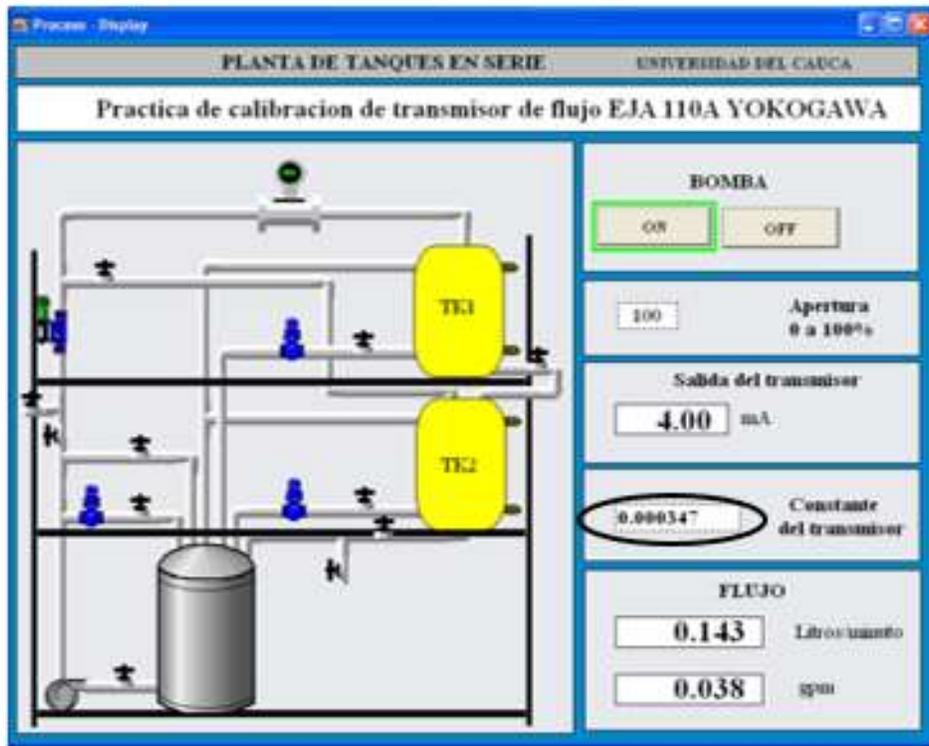
- Inserte en la línea 3 los valores del ΔP mínimo y máximo encontrado la tabla 7 de la presente guía. Realizando la correspondencia entre el ΔP mínimo con Scaled Max, y entre el ΔP máximo con Scaled Min (ver figura 46).

Figura 46. Valor de Scaled Min y Scaled Max.

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	I:1.2 7671<
Input Min.	6500.0 6500.0<
Input Max.	30000.0 30000.0<
Scaled Min.	0.0 0.0<
Scaled Max.	8.28 8.28<
Output	F8:8 -0.3533974<

- Pulse en el icono de Guardar.
- Repita el procedimiento 3.3 al 3.8.
- Diríjase al supervisorio en RxView32 y pulse el botón inicio.
- Introduzca el valor de 3.4733×10^{-4} en la constante del transmisor (ver figura 47).

Figura 47. Constante del transmisor.



- Introduzca un porcentaje de apertura de la servoválvula del 10%.
- Pulse el botón ON.
- Cambie gradualmente la apertura de la servoválvula del 10 al 100% en intervalos del 10%, y observe como cambia el flujo. Ingrese estos valores en la tabla 9.
- Al terminar de tomar los datos, pulse el botón OFF en el supervisorio.
- En el supervisorio pulse el botón stop.
- Luego diríjase a RxLogix500 y saque de línea el PLC.

Tabla 9. Apertura de servoválvula vs. Miliamperios vs. Flujo.

% Apertura	Miliamperios	Flujo
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		
90		
100		

23. Proceda con el apagado de la planta de tanques en serie.

- Ponga en *off* la llave selectora **ON 24 VDC** de panel de control frontal (ver figura 46 A).
- Luego ponga en estado *off* la llave selectora **ON 110 VAC** de panel de control frontal (ver figura 48 A).
- Ahora ponga en estado *off* el breaker **F1** del panel de control oculto (ver figura 48 B).

Figura 48



A Llaves selectoras de panel de control frontal



B Breaker F1 de panel de control oculto

ANEXO - SOLUCIONARIO DE ACTIVIDAD PROPUESTA

Para el cálculo de $\beta = \frac{d}{D}$, se debe tener en cuenta:

- $d = 0.0127 \text{ m}$, Diámetro del orificio de la placa de orificio.
- $D = 0.0508 \text{ m}$, Diámetro de la tubería aguas arriba de la placa de orificio.

Luego:

$$\beta = \frac{d}{D} = 0,25$$

Ahora para calcular L1, L2 y M, se tiene que:

$$L1 = \frac{l1}{D}$$

$$L2 = \frac{l2}{D}$$

$$M2 = \left[\frac{2 * L2}{1 - \beta} \right]$$

Siendo:

- $l1 = 0.02\text{m}$, la distancia del plano horizontal de la toma de alta presión con la cara de la placa de orificio.
- $l2 = 0.02\text{m}$, la distancia del plano horizontal de la toma de baja presión con la cara de la placa de orificio.
- $D = 0.0508 \text{ m}$, diámetro de la tubería aguas arriba de la placa de orificio.

Tenemos entonces, que:

$$L1 = 0,3937$$

$$L2 = 0,3937$$

$$M2 = \left[\frac{2 * L2}{1 - \beta} \right] = 1.05$$

Se sigue con el cálculo del número de Reynolds, recordemos que está definido como:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Donde:

- ρ es la densidad del agua:

$$\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

- D es el diámetro de la tubería:

$$D = 0.0127 \text{ m}$$

- μ Viscosidad del agua:

$$\mu = 1.007 * 10^{-3} \frac{kg}{m * s}$$

- V velocidad de paso:

$$V = 0,720 \text{ m/seg}$$

Al hacer las debidas sustituciones en la ecuación del coeficiente de descarga, se obtiene Cd :

$$Cd = 0.4664$$

Finalmente, al tener el coeficiente de descarga, el área del orificio y el valor de la gravedad, se puede calcular el flujo con la expresión:

$$q = Cd A \sqrt{2g \Delta P} = K \sqrt{\Delta P} = 2.62 * 10^{-4} \sqrt{\Delta P}$$

Donde K es la constante del transmisor igual a $2.62 * 10^{-4}$.

ANEXO G) Práctica de calibración del sensor ultrasónico de nivel

Práctica de calibración del sensor ultrasónico de nivel

**Planta de tanques en serie – Instrumentación
Programa de Ingeniería en Automática Industrial
Universidad del Cauca
VERSION 1.0 2017**

Revisado y corregido por ing. Francisco Franco web: mgfranciscofranco.blogspot.com.co/



Introducción

La práctica de calibración consiste en realizar ajustes y cambios de parámetros, al sensor ultrasónico de nivel Echosonic LU23 de FlowLine, mediante una comunicación con protocolo USB entre el sensor y el ordenador, bajo el sistema de comunicación maestro-esclavo, siendo el Echosonic LU23 el esclavo, y el ordenador el maestro.

Objetivos

- Conocer el funcionamiento del sensor ultrasónico LE.
- Cambiar parámetros de medición del sensor LE.

Materiales

- Cable con terminal USB PART N° LI99-1001.
- Metro.
- Planta de tanques en serie.

LU 23

El EchoSonic® es un transmisor de nivel ultrasónico (ver figura 1) de uso general que proporciona una salida de 4-20 mA. La salida de 4-20 mA puede utilizarse para proporcionar el nivel proporcional de líquido en cualquier tanque o recipiente. La señal puede conectarse a cualquier dispositivo que acepte señales de 4-20 mA, como un PLC, DCS, pantalla, controlador, etc.

Figura 1. Sensor ultrasónico de nivel EchoSonic LU23.



Procedimiento de calibración

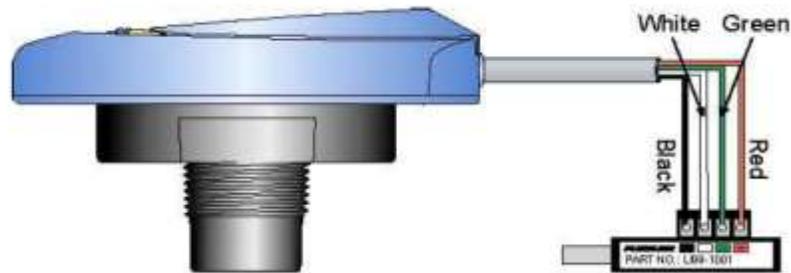
1. La actual planta de tanques en serie cuenta con unos conectores “macho-hembra” en el cable que va desde el sensor ultrasónico de nivel hacia el PLC, de manera que permita una cierta facilidad para hacer la calibración del sensor; es decir que se puede desconectar el conector macho de “alimentación” para que en su lugar sea conectado el conector “macho” de la interfaz USB para tal objetivo.

Para el proceso de calibración **NO se debe encender o energizar la planta**. En primera instancia, pida al laboratorista el cable de comunicación del sensor ultrasónico de nivel (ver figura 2, izquierda); el cual permite la comunicación entre la interfaz USB y el sensor. Este cable tiene un terminal de 4 pines “macho” en su extremo, el cual debe conectarse al conector de 4 pines “hembra” del cable del sensor ubicado en la planta (ver figura 2, derecha).

Figura 2. Cable de comunicación del sensor EchoSonic LU23.



Figura 3. Conexión entre LU23 e interfaz USB.



2. Encienda el ordenador y conecte el cable al puerto USB de la torre (ver figura 4).

Figura 4. Conexión de la interfaz USB con el ordenador mediante cable.



3. Inicie el programa **WebCal**, presente en el escritorio del ordenador (ver figura 5).

Figura 5. Icono del software WebCal.



4. Se muestra una ventana emergente con una barra de progreso, que indica el reconocimiento del sensor LU23. Usted deberá esperar a que se complete el proceso y se dé el pleno reconocimiento (ver Figura 6).

“NOTA: En caso contrario en que no sea reconocido el sensor ultrasónico, deberá hacer revisión de las conexiones en la interfaz USB, y/o cada uno de los cables desde el sensor LU23 en los conectores de 4 pines dispuestos en la planta de tanques en serie”.

Figura 6. Ventana de inicio del programa WebCal.



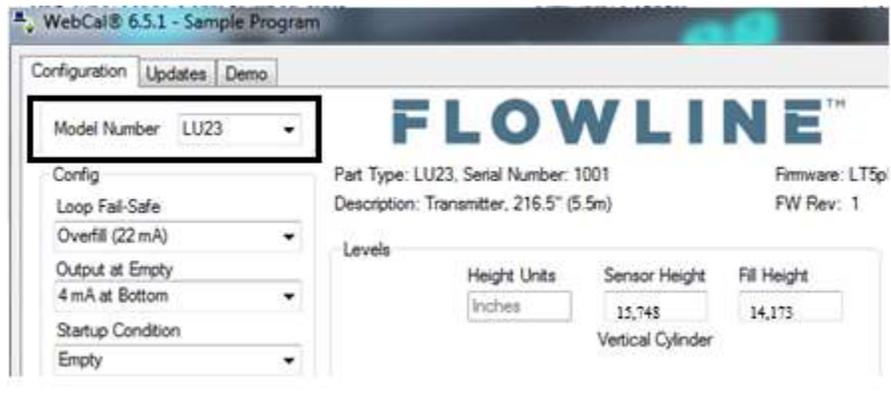
5. Una vez identificado el sensor, debe pulsar el botón **Sample program** para seguir con la calibración del mismo. Aparecerá la ventana de configuración, la cual permite realizar ajustes a los parámetros de medición del sensor ultrasónico (ver Figura 7).

Figura 7. Ventana de configuración del programa WebCal.



6. A continuación, diríjase a la parte superior izquierda del programa e indique el modelo y número del sensor a calibrar (en este ejemplo LU23), en **Model Number** (ver figura 8).

Figura 8. Model Number – WebCal.



7. Ahora, seleccione en la ventana de configuración la corriente a prueba de fallos en **Loop Fail-Safe** (ver Figura 9), la cual permite determinar la corriente cuando el sensor no detecta una señal de retorno (Señal LOST), puesto que el sensor al volver a detectar la señal de retorno, la corriente de salida volverá a la condición de nivel actual.

“NOTA”: *Existen 5 tipos de corriente a prueba de fallos a tener en cuenta, como se muestra a continuación:*

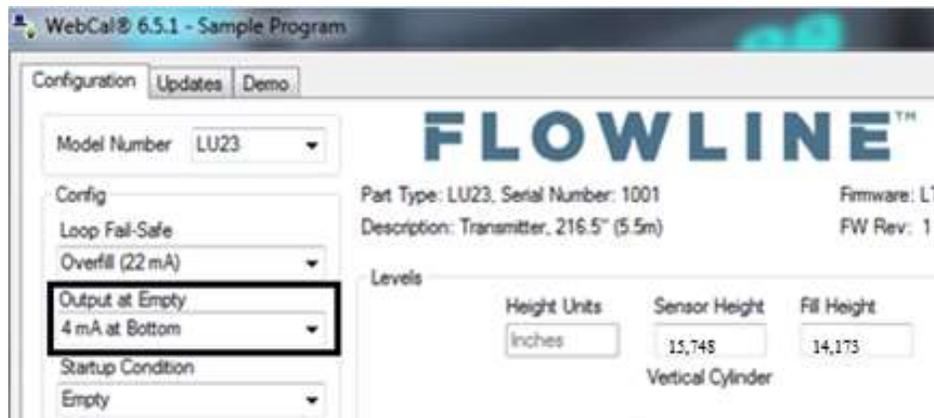
- **Hold Last Value**, esta opción permite que la salida del sensor permanezca en el mismo estado del ultimo eco detectado. Por ejemplo, si la salida era de 6,7 mA justo antes de la señal LOST, el dispositivo continuará emitiendo 6,7 mA. Cuando el sensor recupera la señal, la salida indicará el nivel cuando se recuperó la señal.
- **Empty**, esta opción permite que la salida del sensor vuelva al valor actual de un tanque vacío. El estado vacío depende del ajuste de salida en vacío. Cuando se selecciona 4 mA en la parte inferior, el sensor emitirá 4 mA cuando ocurre una señal LOST, o si se selecciona 20 mA en la parte inferior, el sensor emitirá 20 mA.
- **Full**, esta opción permite que la salida del sensor vuelva al valor actual de un tanque lleno. El estado lleno depende del ajuste de salida en vacío. Cuando se selecciona 4 mA en la parte superior, el sensor emitirá 4 mA cuando ocurre una señal LOST, o si se selecciona 20 mA en la parte superior, el sensor emitirá 20 mA.
- **Overfill (21 mA)**, esta opción permite que la señal de salida del sensor sea de 21 mA, cuando se pierda la señal de retorno.
- **Overfill (22 mA)**, esta opción permite que la señal de salida del sensor sea de 22 mA, cuando se pierda la señal de retorno.

Figura 9. Loop Fail-Safe – WebCal.



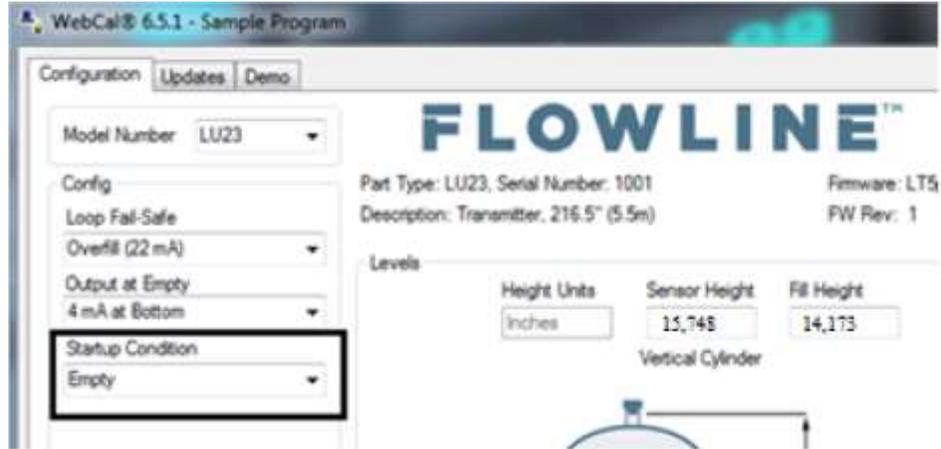
8. Seleccione la orientación de la salida de 4 a 20 mA en **Output at Empty** (ver Figura 10). Tenga en cuenta que la configuración de salida sea la que mejor se adapte a la aplicación. Las instalaciones típicas se ajustan con 4 mA en la parte inferior; esto no afectará el rendimiento del sensor. El valor predeterminado de fábrica de WebCal es 4mA en la parte inferior y 20mA en la parte superior. Cuando conecte su sensor a una pantalla, debe tener en cuenta su configuración de salida. A continuación, se muestra los tipos de orientación:

Figura 10. Output at Empty – WebCal.



- **4 mA at bottom**, la corriente de salida será 4mA cuando el sensor mide un tanque vacío y 20mA cuando el sensor mide un tanque lleno.
 - **20 mA at bottom**, la corriente de salida será 20mA cuando el sensor mide un tanque vacío y 4mA cuando el sensor mide un tanque lleno.
9. Seleccione la corriente de salida de marcha inicial antes de adquirir una señal de retorno real (medición de nivel), en **Startup Condition** (ver Figura 11). Esto sólo ocurre durante la alimentación inicial del sensor, el cual volverá a la lectura de nivel correcta cuando se adquiere el nivel.

Figura 11. Startup Condition – WebCal.



“NOTA: Existen 4 tipos de salida de marcha inicial a tener en cuenta, como se muestra a continuación”.

- **Empty**, selecciona la corriente de arranque establecida en **Output at empty**. Ejemplo: Seleccione 4 mA en la parte inferior, la salida permanecerá a 4 mA hasta que la unidad adquiera un eco de retorno verdadero. Seleccione 20 mA en la parte inferior, la salida permanecerá a 20 mA hasta que la unidad adquiera un eco de retorno verdadero.
- **Mid tank**, selecciona la corriente de arranque como 12 mA, hasta que la unidad adquiera un eco de retorno verdadero.
- **Full tank**, utiliza la corriente opuesta que se seleccionó en **Output at empty**. Ejemplo: Si selecciona 4 mA en la parte inferior, la corriente de arranque será de 20 mA. Si selecciona 20 mA en la parte inferior, la corriente de arranque será de 4 mA.
- **Overfill (22mA)**, la salida al arranque sería de 22 mA. Esta condición permanecerá hasta que la unidad adquiera un eco de retorno verdadero.

10. Introduzca los valores mínimo y máximo de nivel, de medición del sensor en **Levels**:

“Nota: El software permite elegir las unidades de longitud, tenga en cuenta esto para manejar las mismas en sus cálculos. Como se muestra en el ejemplo de la gráfica, se ha tomado la longitud en pulgadas. Sin embargo, para el desarrollo de esta práctica, usted deberá convertir estos valores en centímetros, de manera que coincida con las unidades del supervisorio”.

- Pida al laboratorista una cinta métrica y diríjase al tanque TK2 de la planta de tanques en serie. Mida desde el fondo del tanque hasta la parte inferior del sensor ultrasónico (ubicado en la parte posterior del tanque).
- Ahora introduzca ese valor en **Sensor height** (ver figura 12).

Figura 12. Sensor height – WebCal.



- Ahora tome la cinta métrica y mida desde la parte inferior del tanque TK2 hasta la parte superior del mismo, justo en el borde de la tubería de rebose (*pues hasta esa altura será posible llenar el tanque*).
- Introduzca ese valor en **Fill height** (ver figura 13).

Figura 13. Fill height - WebCal



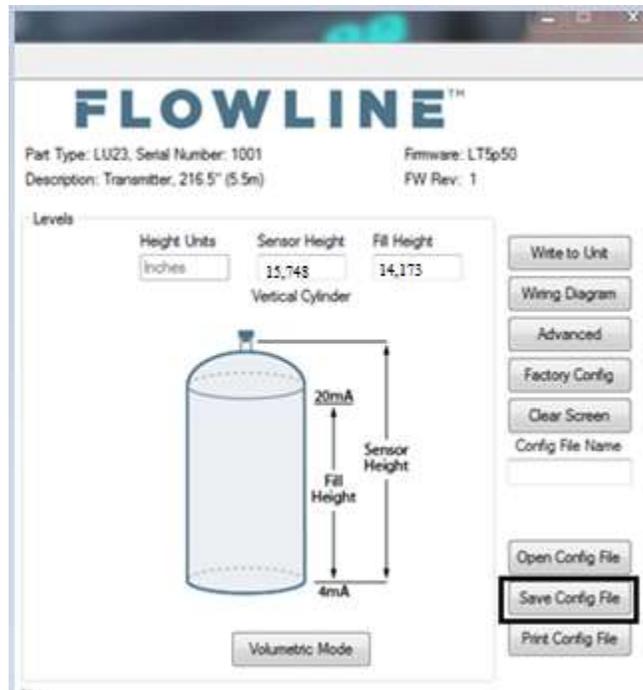
11. Después de haber introducido las configuraciones y los valores del tanque, haga clic en **Write to Unit** (ver Figura 14), y con ello envía la configuración a su sensor EchoSonic.

Figura 14. Write to unit – WebCal.



- Ahora utilice las funciones de administración de archivos de *WebCal* para guardar su configuración haciendo clic en *Save Config File* (ver Figura 15).

Figura 15. Save config file – WebCal.



12. Una vez calibrado el sensor ultrasónico con los nuevos valores, proceda a cargar estos en un “Ladder” para el PLC, de manera que se pueda hacer la validación de estos valores, con la puesta en marcha de la planta de tanques en serie bajo el siguiente procedimiento:

Procedimiento de validación de calibración y supervisorio

1. Para esta parte de la práctica **SI se debe encender o energizar la planta**. En primera instancia desconecte el cable de interfaz USB del ordenador así como el terminal de 4 pines “macho” en su extremo; ahora debe conectarse al conector de 4 pines “hembra” del cable del sensor ubicado en la planta (ver figura 2, derecha). Luego configure los mandos en el panel de control, atendiendo las siguientes especificaciones:

- 1.1 Cerciórese que la planta se encuentra conectada a la línea de alimentación a 110 VAC.
- 1.2 Confirme que el cable blanco de conexión serial del PLC, se encuentra conectado al ordenador (ver figura 16).

Figura 16. Conexión ordenador – PLC.



- 1.3 Accione el **breaker F1** en posición **ON**, en el panel de control oculto (ver figura 17).

Figura 17 Posición ON del breaker F1



- 1.4 Para energizar la planta, ubique en **ON** la llave selectora **S 110 VAC** (ver figura 18).
- 1.5 Para energizar la instrumentación de la planta, ubique en **ON** la llave selectora **S 24 VDC** (ver figura 18).

Figura 18. Posición de llaves selectoras en panel frontal.



2. Para realizar la instalación del driver que permite la comunicación del ordenador con el PLC, siga los pasos:
 - Verifique que la llave selectora del PLC esté en modo remoto “REM” (ver figura 19).

Figura 19. Posición de llave selectora de PLC en panel oculto.



- Busque RSLinx Classic en la lista de programas del ordenador e inícielo (ver figura 20).

Figura 20. RSLinx Clasic en ejecución.



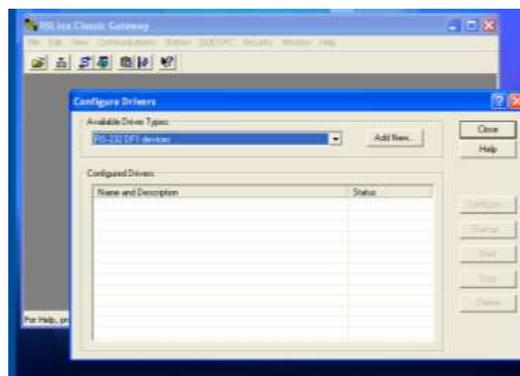
- Pulse en el icono *Configure Drivers* de la barra de herramientas del programa. (ver figura 21).

Figura 21. Opción *Configure Drivers*.



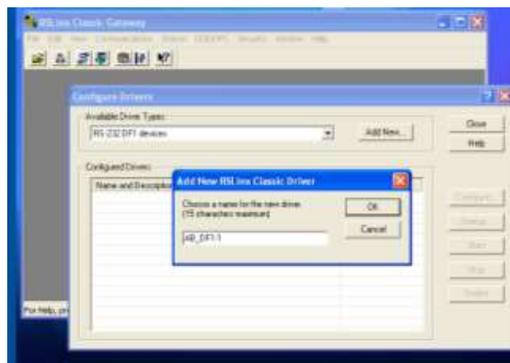
- En la ventana emergente seleccione *RS-232DF1device* de las opciones que se despliegan en *Available Driver Types*, luego presionar *Add New* (ver figura 22).

Figura 22. Creación del driver.



- En la ventana desplegada asíguele un nombre al *driver*, o deje el nombre por defecto dando clic en *OK* (ver figura 23).

Figura 23. Nombre de driver creado, en este ejemplo se deja por defecto.



- En la siguiente ventana presione **Autoconfigure**, si la conexión entre el ordenador y el PLC es correcta, aparecerá el mensaje **Auto Configuration Successfully**. Luego dar **OK** (ver figura 24).

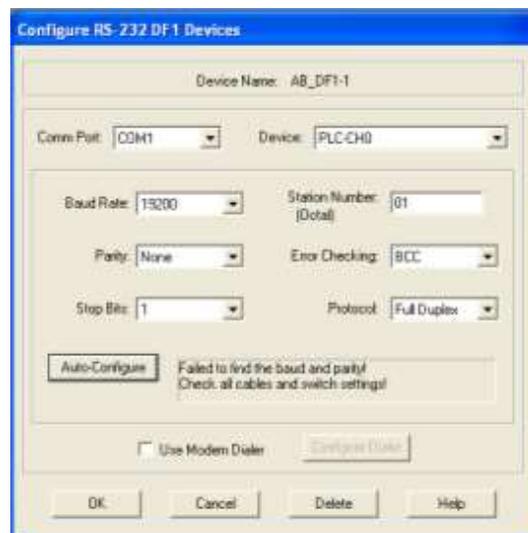
Figura 24. Nombre de driver creado, en este ejemplo se deja por defecto.



- Cierre la ventana **Configure drivers**.
- Minimice **RSLinx Classic**.

“NOTA”: En caso contrario en que no aparezca el mensaje **Auto Configure Successful**, ver figura 25.

Figura 25. Falla en procedimiento anterior.

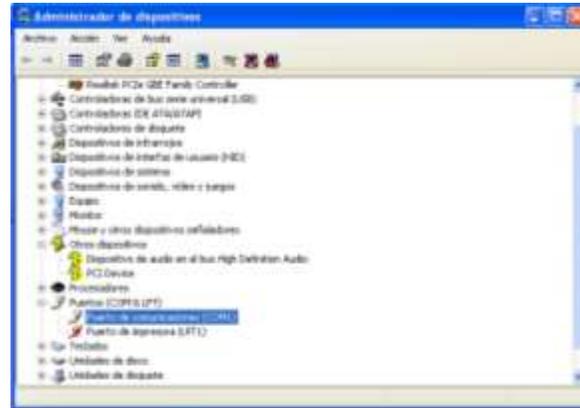


La falla podría deberse a que el PC aún no reconoce el puerto de comunicaciones COM1 (*por defecto*), o a que el cable serial no está bien conectado. Para solucionar esto deberá realizar el siguiente procedimiento:

- Verifique que el cable serial este bien conectado entre el **PLC** y el **PC**.
- Ingrese a **Panel de control**.
- Dé clic en **Mi PC**, luego **clic derecho** y elija **propiedades**.
- Ingresa a la opción **Hardware**.
- Presiona el botón **Administrador de dispositivos**.

Luego de esto aparecerá una ventana emergente (ver figura 26).

Figura 26. Administrador de dispositivos.



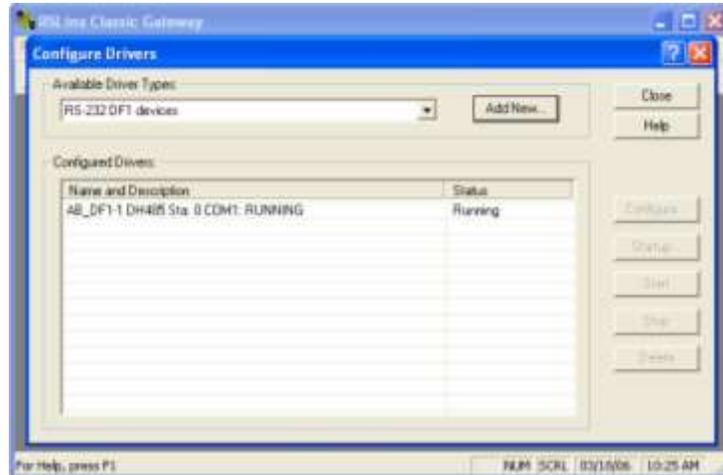
- Se verifica en la opción **Puertos (COM & LPT)**, que aparece habilitado el puerto de comunicaciones por defecto **“COM1”**. (A menos que su conexión no sea serial, no debería aparecer otro puerto de comunicaciones diferente).
- Cerrar esta ventana y dirigirse nuevamente a la ventana emergente **Configure RS-232 DF1 Devices**.
- Elija el puerto **COM1**, y presione **Auto Configure**.
- Aparecerá la ventana emergente con el mensaje **Auto Configure Successful** (ver figura 27).

Figura 27. Creación exitosa de driver.



- Dé clic en **OK**, y aparecerá una ventana emergente con la información del driver creado (ver figura 28).

Figura 28. Nombre y descripción del driver creado.

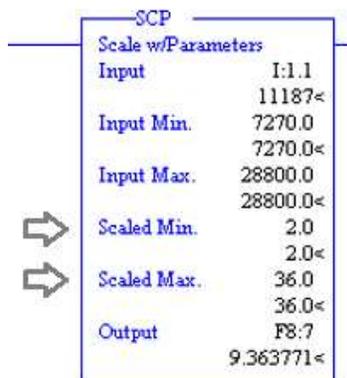


En la Figura 13 es posible ver que en la ventana emergente *Configure Drivers* de “RS Linx Classic Gateway” está en ejecución el driver que acabo de crear. Puede dar clic en cerrar y puede cerrar o minimizar las ventanas emergentes.

3. Enseguida se procede a cargar un programa en el PLC:

- Diríjase al escritorio del ordenador y busque la carpeta *Practica de calibración del sensor ultrasónico*, allí encontrará los archivos ladder y la subcarpeta “*interface*”, la cual contiene el supervisor propuesto.
- Abra el archivo “*CALIBRACION_ULTRASONICO*”. De inmediato se inicia el programa *RSLogix 500* y podrá ver el ladder propuesto para hacer la práctica de calibración del transmisor de nivel ultrasónico.
- Diríjase a la línea número 0 del Ladder, allí modifique el valor mínimo y máximo de nivel a ser medido (ver figura 29).

Figura 29. Escala de parámetros.



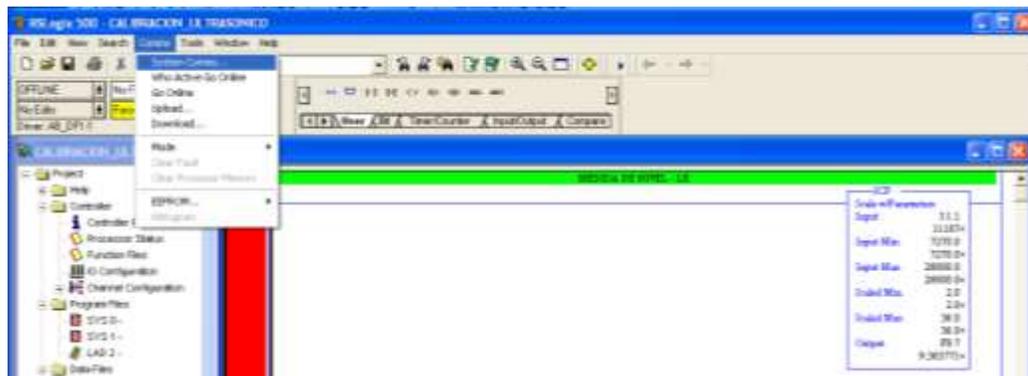
- Si la orientación de la salida de 4 a 20 mA la configuró de manera inversa, es decir que para un nivel mínimo sea 20 mA y para un nivel máximo 4 mA; entonces intercambie los valores de los rangos de la línea 0 (ver figura 30).

Figura 30. Escala de parámetros.

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	I:1.1
Input Min.	11187<
Input Max.	7270.0
	7270.0<
Input Max.	28800.0
	28800.0<
Scaled Min.	2.0
	2.0<
Scaled Max.	36.0
	36.0<
Output	F8:7
	9.363771<

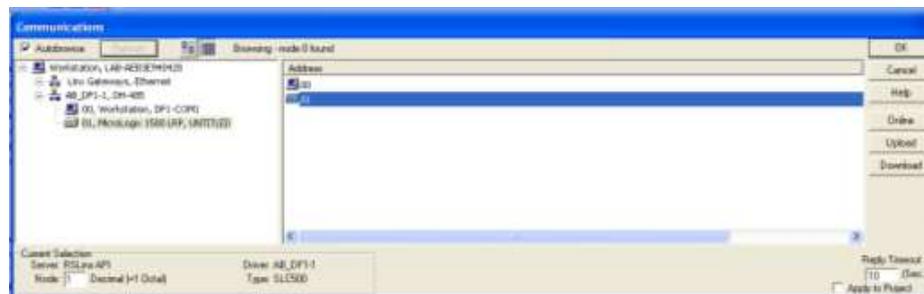
- Diríjase a la opción **Comms** de la barra de herramientas del programa, luego elija **System Comms** (ver figura 31).

Figura 31. System Comms.



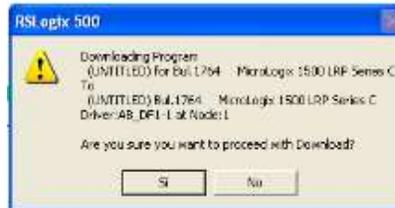
- En la ventana emergente **Communications** dé clic en **“AB_DF-1,DH485”** y selecciona la estación **“01”** (por defecto) que indica la ubicación del PLC creado con el driver de **RSLinx Classic** (ver figura 32).

Figura 32. System Comms.



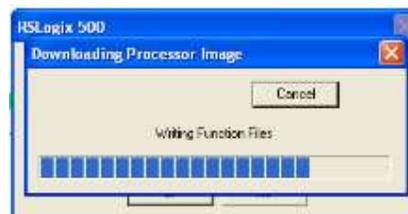
- Dé clic en la opción **Apply to Project**, y luego de clic en **Download**, entonces se desplegará una ventana (ver figura 33).

Figura 33. Aceptación para proceso de descarga de ladder.



- Dé clic en el botón **SI**, aparecerá una ventana emergente con la información de descarga del ladder (ver figura 34).

Figura 34. Proceso de descarga de ladder a PLC.



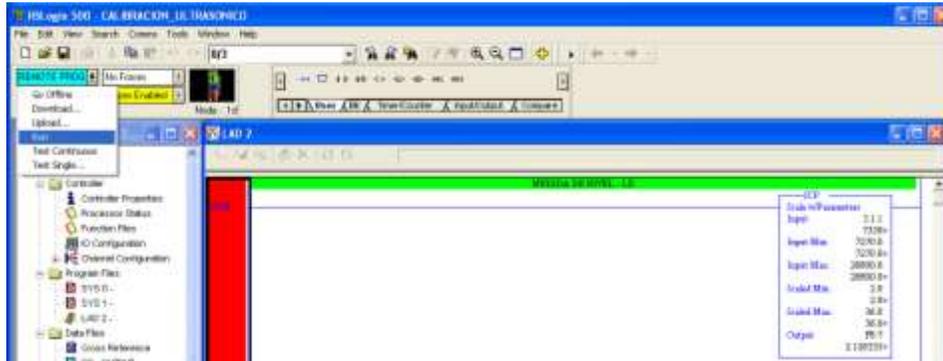
- Una vez terminado el proceso de descarga del ladder al **PLC**, se mostrará una ventana emergente preguntándole si desea poner en ejecución la lógica de programación del ladder en el PLC. Usted debe dar clic en el botón **SI** (ver figura 35).

Figura 35. Aceptación para ejecutar el ladder en PLC.



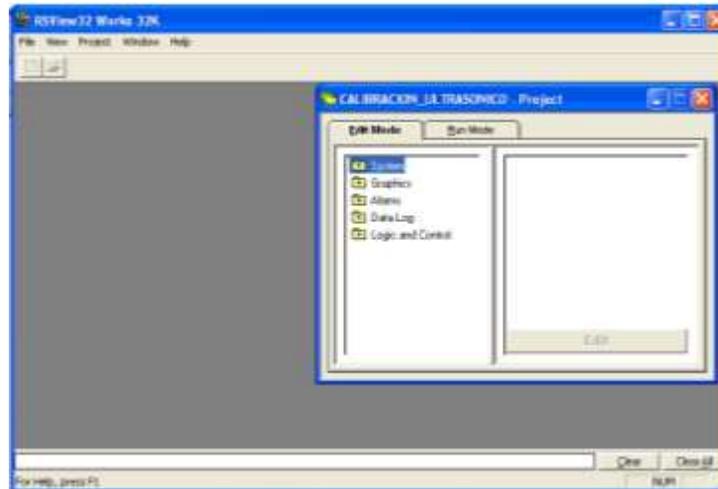
- Luego de esto, se mostrará una ventana del programa **RSLogix 500**, en el ícono **REMOTE PROGRAM** le permite opciones para ejecutarlo, sacarlo de línea, descargar uno nuevo, entre otras. Usted deberá pulsar en **Run** (ver figura 36).

Figura 36. Aceptación para ejecutar el ladder en PLC.



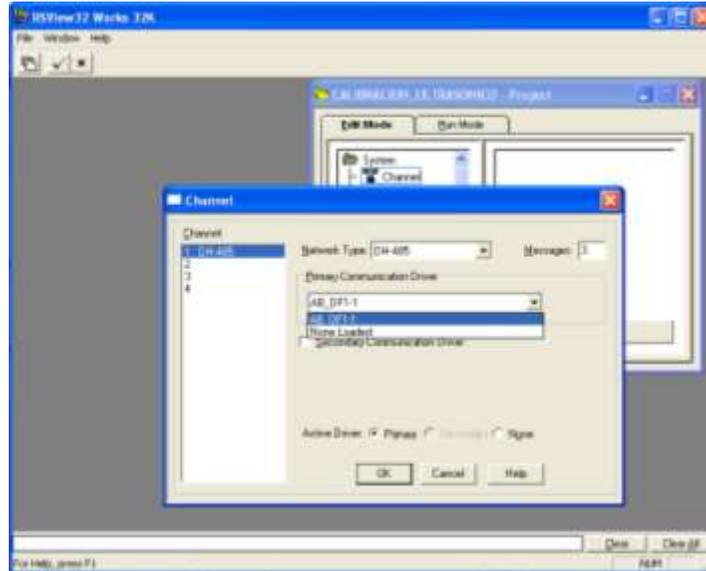
4. Ahora debe cargar el supervisorio de la planta de tanques en serie, por tanto, siga el siguiente procedimiento:
 - Ir a la carpeta *Practica de calibración de sensor ultrasonico* que se encuentra en el escritorio, entre a la carpeta *Interface*, y cargue el supervisorio llamado *CALIBRACION_ULTRASONICO* o mejor dé clic en el icono 
 - De inmediato se inicia el programa *RSView 32 Works 32K*. En la ventana emergente *CALIBRACION_ULTRASONICO*, dé clic en la carpeta *System* para ver las opciones del sistema a ser configuradas (ver figura 37).

Figura 37. Run Mode del archivo *CALIBRACION_ULTRASONICO*.



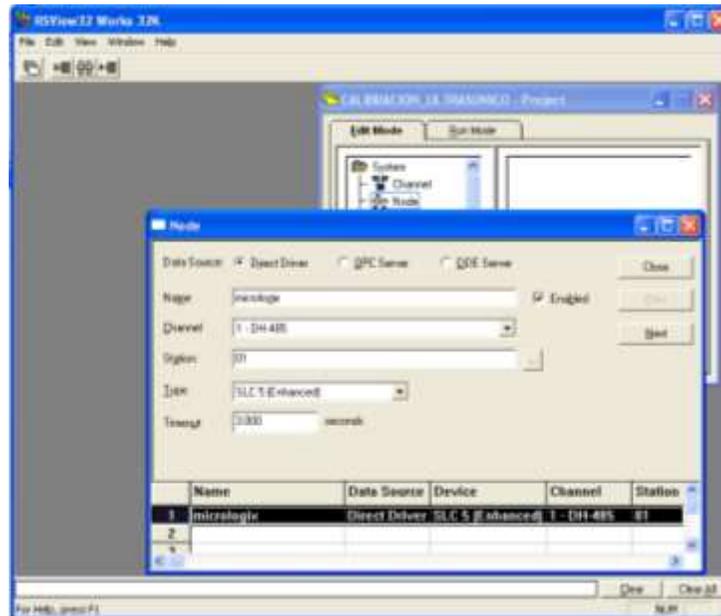
- Diríjase al icono *Channel*, allí le mostrará información acerca del canal de comunicaciones creado como una red *tipo DH485* con el nombre que le dio al driver creado, recordemos que en este ejemplo se dejó el nombre que aparece por defecto, *AB_DF1-1*. Dé clic en el botón *OK* (ver figura 38).

Figura 38. Configuración de canal.



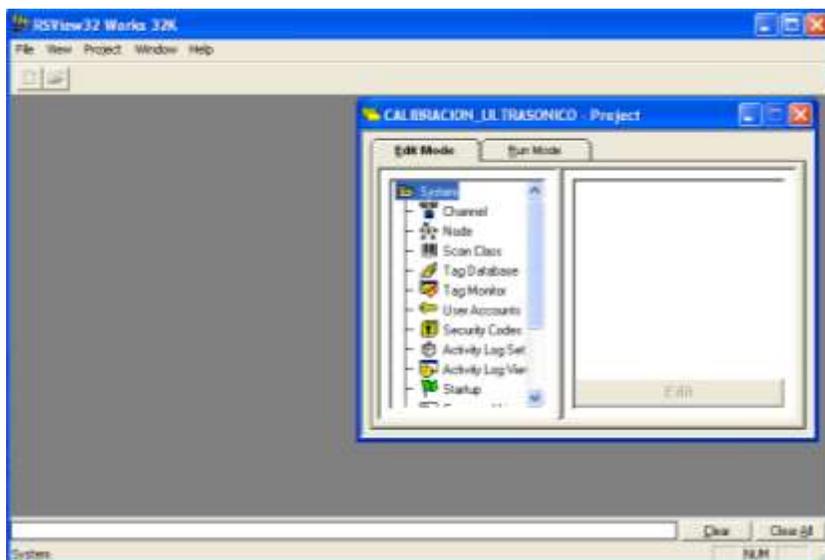
- Ahora se debe verificar el nodo, para esto dé doble clic sobre el icono **Node**, allí encontrará información acerca del tipo de fuente de datos, tipo de canal, nombre del nodo y estación en la cual se encuentra el **PLC**, además se especifica el tipo de PLC en ejecución. En este ejemplo al nodo se le asignó el nombre **“micrologix”**. Dé clic en el botón **Close** (ver figura 39).

Figura 39. Configuración de nodo.



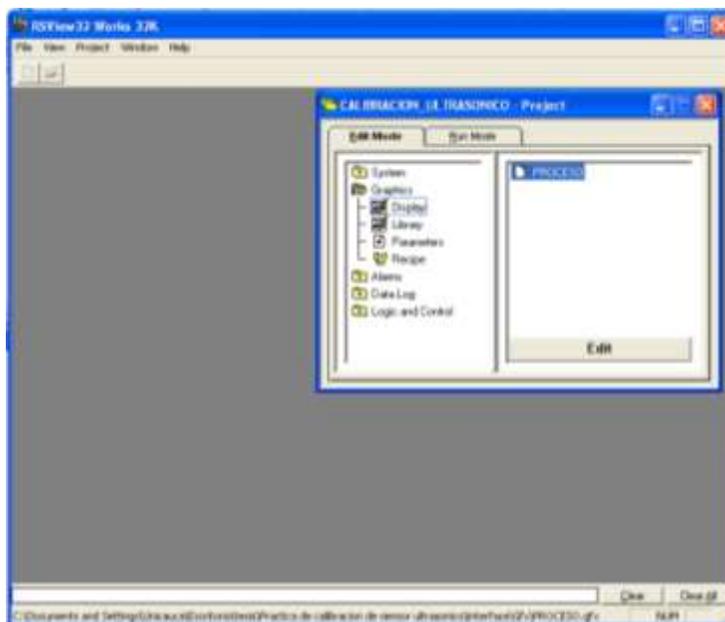
“NOTA: En la carpeta System además podrá encontrar información acerca de la base de datos de etiquetas, monitor de etiquetas, creación de cuentas para acceso al supervisorio, etc (Ver figura 40)”.

Figura 40. Opciones de configuración de la carpeta System.



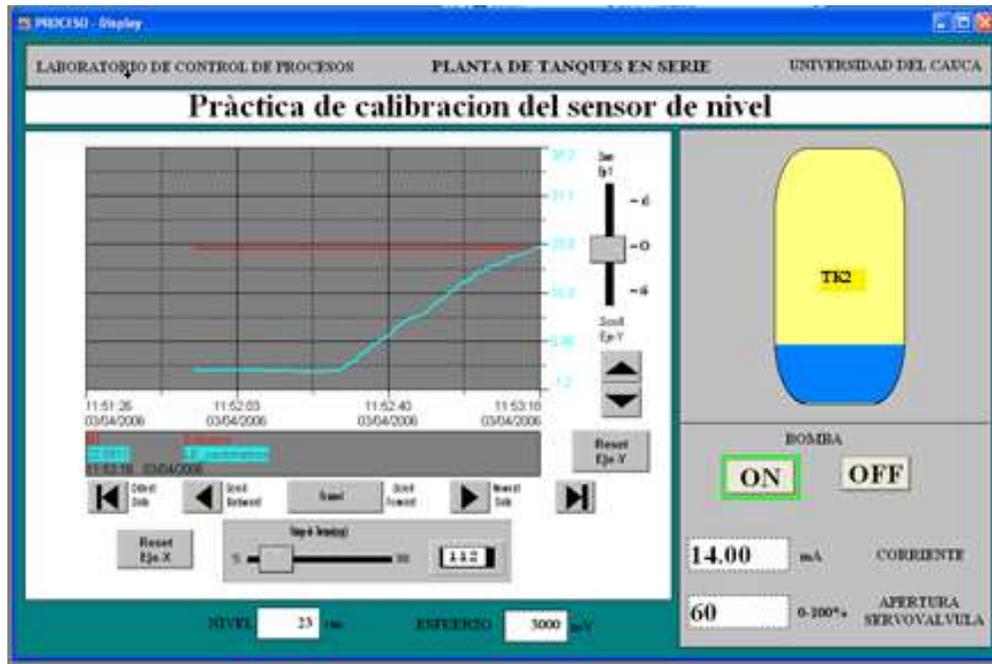
- Ahora minimice la carpeta **“System”** y abra la carpeta **“Graphics”**, allí encontrará información acerca del supervisorio propuesto, opciones de configuración para librería, parámetros y ventanas de supervisión. Seleccione el icono **Display**, enseguida del archivo **PROCESO** (ver figura 41).

Figura 41. Archivo de supervisorio propuesto.



- Aparecerá una ventana emergente, con un esquema dinámico del llenado del tanque TK2, un gráfico de tendencias del nivel y porcentaje de apertura de la servoválvula, así como visualizadores numéricos para el nivel alcanzado, esfuerzo dado en mv, corriente y una entrada numérica para el porcentaje de apertura de la servoválvula. Además de dos botones pulsadores para el estado de la bomba (ver figura 42).

Figura 42. Supervisorio propuesto en detalle.



Teniendo en cuenta el supervisorio propuesto, siga el procedimiento de prueba de calibración del sensor ultrasónico de nivel, como se muestra:

- Dé clic en el botón “*play*” ubicado en la parte superior de la barra de herramientas (*RSView32 Works*), enseguida del icono “*guardar*”; para poner en ejecución el supervisorio. (Ver figura 43).

Figura 26. Icono “play” en la barra de herramientas.



- Abra la válvula *HV6*, para que el flujo ascendente ingrese al tanque *TK2*.
- Cierre la válvula *HVI*, de manera que se permita el llenado del tanque *TK2* sin perturbaciones.
- Fije el porcentaje de apertura de la servoválvula en **0%** y pulse el botón **ON** para encender la bomba.
- Tome nota de los valores obtenidos de nivel y corriente en los visualizadores numéricos del supervisorio y regístrelos en la tabla 1.

- Con ayuda de la cinta métrica, tome la medida real de la variable. Es decir mida manualmente el nivel alcanzado en el tanque, y regístrelo en la tabla 1.
- Ahora fije el porcentaje de apertura en **5%** y registre el nivel y corriente en el estado estable, al tiempo que mide directamente el nivel. Esto en la tabla 1.
- Repita este procedimiento para cada uno de los porcentajes dados en la tabla 1.

Tabla 1. Nivel medido por supervisorio y manualmente.

% Apertura de Servoválvula	Supervisorio		Nivel real
	Nivel	Corriente	
0			
5			
10			
15			
20			
25			
30			
35			
40			
45			
50			
55			
60			
65			
70			
75			
80			
85			
90			
95			
100			

- Hasta el momento se ha supervisado el llenado del tanque, ahora proceda a supervisar el vaciado del mismo. Para esto, registre los valores de nivel y corriente mostrados en el supervisorio y medido directamente en la tabla 2, para un porcentaje del **100%**.
- Ahora fije el porcentaje de apertura de la servoválvula en **95%** y registre los valores de nivel y corriente en estado estable.
- Continúe el procedimiento anterior hasta terminar la tabla 2.
- Ahora proceda a pulsar el botón **OFF** del supervisorio para apagar la bomba.

Tabla 2. Nivel medido por supervisorio y manualmente.

% Apertura de Servoválvula	Supervisorio		Nivel real
	Nivel	Corriente	
100			
95			
90			
85			
80			
75			
70			
65			
60			
55			
50			
45			
40			
35			
30			
25			
20			
15			
10			
5			
0			

5. Apagado de la planta de tanques en serie.

- Ahora pulse el botón **OFF** presente en el supervisorio para apagar el sistema.
- Ahora dé clic en el botón “**stop**” ubicado en la parte superior de la barra de herramientas (**RSView32 Works**), está enseguida del icono “**play**”; para detener la ejecución del supervisorio (ver figura 43).

Figura 43. Icono “stop” en la barra de herramientas.



- Ponga en **off** la llave selectora **ON 24 VDC** de panel de control frontal (ver figura 44).
- Luego ponga en estado **off** la llave selectora **ON 110 VAC** de panel de control frontal (ver figura 44).
- Ahora ponga en estado **off** el breaker **FI** del panel de control oculto (ver figura 45).

Figura 44. Llaves selectoras de panel de control frontal.



Figura 45 Breaker F1 de panel de control oculto.



Prueba de conocimientos

- Realice la gráfica de los niveles (*tanto por supervisorio, como manualmente*), respecto a la corriente, para los datos de la tabla 1.
- Compare el comportamiento del nivel, a partir de la gráfica obtenida.
- De acuerdo con los resultados obtenidos, ¿qué se puede decir de la calibración del instrumento?
- Teniendo los datos de las tablas 1 y 2, realice una gráfica de nivel ascendente y descendente respecto a la corriente tomando el nivel del supervisorio.
- A partir de la gráfica anterior, calcule la histéresis del instrumento.
- Si se hace una recalibración del instrumento, ¿Cambiará la histéresis de este?

ANEXO H) Práctica de identificación de planta de tanques en serie

Práctica de identificación de planta de tanques en serie

Planta de tanques en serie - Laboratorio de control de procesos
Programa de Ingeniería en Automática Industrial
Universidad del Cauca
VERSION 1.0 2017

Revisado y corregido por ing. Francisco Franco web: mgfranciscofranco.blogspot.com/



Introducción

Los sistemas de fluidos hacen parte importante de los procesos industriales en diferentes ámbitos de la producción, el laboratorio de control de procesos cuenta con plantas para ver el comportamiento de variables de nivel y caudal en tanques interconectados por tuberías.

La planta representa un proceso frecuente de tanques en serie en donde se puede hacer control de nivel por medición directa o por cálculo a partir de las señales de flujo. Esta cuenta con cierta cantidad de válvulas manuales, las cuales se encargan del paso de líquido y la conexión de los tanques entre sí. Cuya conexión es en serie, donde el flujo de salida de un tanque será la entrada del otro.

El tanque TK3 es quien almacena en primera instancia el líquido, el cual es transportado por las tuberías gracias a una motobomba PP, y pasa por dos válvulas manuales ubicadas cerca de la motobomba que son las que se encargaran de reducir el flujo de agua y con esto el flujo de presión para proteger las tuberías; así mismo las válvulas solenoides simulan disturbios en el flujo de entrada del proceso. Este flujo es sensado por el transmisor de flujo por diferencia de presión FIT y el sensor de flujo FE, además de ser manipulado por una válvula de control FCV, quien es la encargada de dejar pasar el líquido a los tanques (TK1 y TK2) dependiendo de la configuración de las válvulas manuales.

El nivel en el tanque TK2 es medido por un sensor de nivel ultrasónico, cuyas señales son enviadas al escenario de automatización PLC. Además, se mide los estados lleno o vacío en los tanques TK1 y TK2 por medio de sensores finales de carrera de nivel (estados bajos y altos).

El panel de control oculto consta de un PLC Micrologix 1500, un contactor con relé térmico para encender y proteger la bomba, interfaces de comunicación para la programación del PLC, una fuente de alimentación de 24 VDC que se encarga de alimentar los instrumentos en campo, y en el panel de control frontal se halla una PanelView, dos llaves selectoras, pulsadores, interruptores, un transmisor de flujo y luces piloto, que permiten observar el estado de los procesos en la planta.

Objetivo

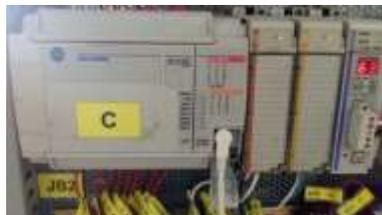
- Estudiar la dinámica de las variables de interés en la planta de tanques en serie a partir de una prueba experimental en el sistema.

Procedimiento

En primera instancia, configure los mandos en el panel de control, atendiendo las siguientes especificaciones:

- Cerciórese que la planta se encuentra conectada a la línea de alimentación a 110 VAC.
- Confirme que el cable blanco de conexión serial del PLC, se encuentra conectado al ordenador (ver figura 1).

Figura 1. Conexión ordenador – PLC.



Accione el **breaker F1** en posición **ON**, en el panel de control oculto (ver figura 2).

Figura 2. Posición ON del breaker F1.



- Para energizar la planta, ubique en **ON** la llave selectora **S 110 VAC** (ver figura 3).

- Para energizar la instrumentación de la planta, ubique en **ON** la llave selectora **S 24 VDC** (ver figura 3).

Figura 3. Posición de llaves selectoras en panel frontal.



Para realizar la instalación del driver que permite la comunicación del ordenador con el PLC, siga los pasos:

- Inicie el ordenador de la planta con el sistema operativo *Windows*.
- Verifique que la llave selectora del PLC esté en modo remoto “*REM*” (ver figura 4).

Figura 4. Posición de llave selectora de PLC en panel oculto.



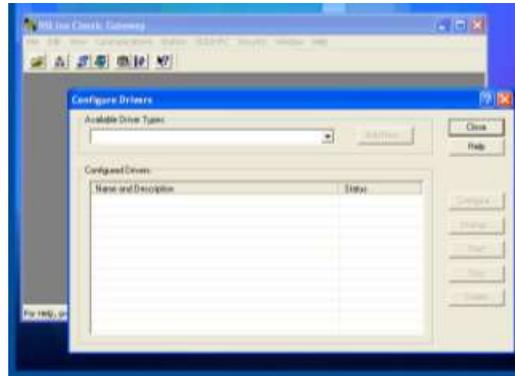
- Busque RSLinx Classic en la lista de programas e inícielo. (Ver figura 5).

Figura 5. RSLinx Clasic en ejecución.



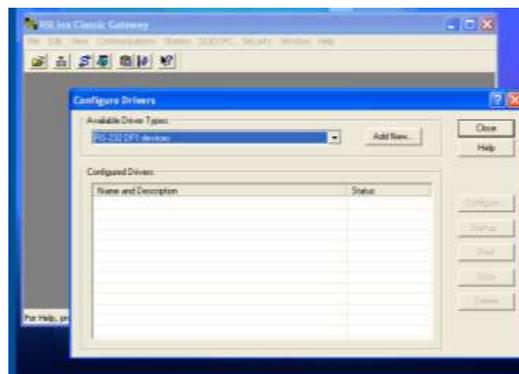
- Pulse en el icono *Configure Drivers* de la barra de herramientas del programa. (Ver figura 6).

Figura 6. Opción *Configure Drivers*.



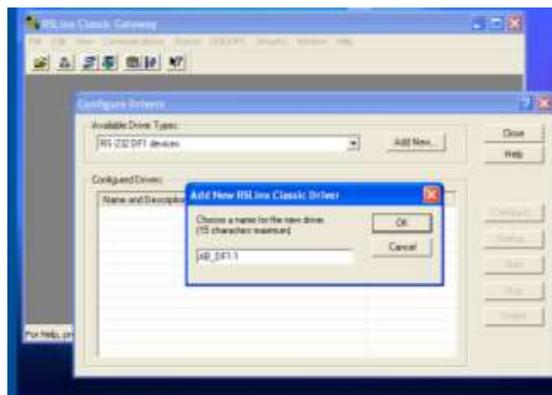
- En la ventana emergente seleccione *RS-232DF1device* de las opciones que se despliegan en *Available Driver Types*, luego presionar *Add New* (ver figura 7).

Figura 7. Creación del driver.



- En la ventana desplegada asíguele un nombre al *driver*, o deje el nombre por defecto dando clic en *OK* (ver figura 8).

Figura 8. Nombre de driver creado, en este ejemplo se deja por defecto.



- En la siguiente ventana presione **Autoconfigure**, si la conexión entre el ordenador y el PLC es correcta, aparecerá el mensaje **Auto Configuration Successfully**. Luego dar **OK** (ver figura 9).

Figura 9. Nombre de driver creado, en este ejemplo se deja por defecto.



- Cierre la ventana **Configure drivers**.
- Minimice **RSLinx Classic**.
- De esta manera, se crea el driver de comunicación.

“NOTA: En caso contrario en que no aparezca el mensaje Auto Configure Successful, ver figura 10”.

Figura 10. Falla en procedimiento anterior.

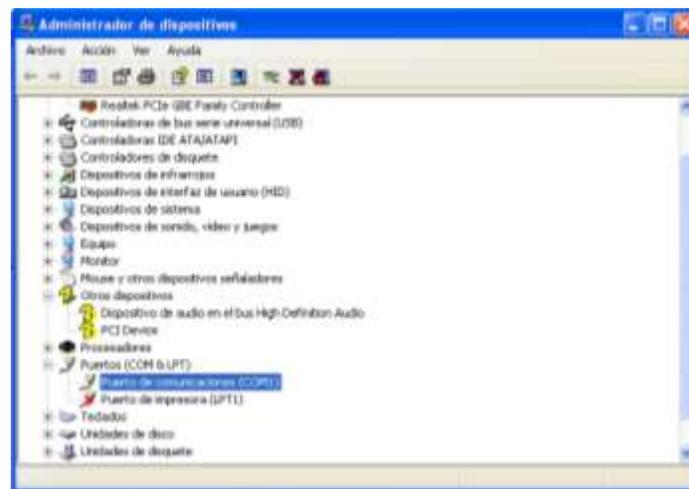


La falla podría deberse a que el PC aún no reconoce el puerto de comunicaciones COM1 (*por defecto*), o a que el cable serial no está bien conectado. Para solucionar esto deberá realizar el siguiente procedimiento:

- Verifique que el cable serial este bien conectado entre el **PLC** y el **PC**.
- Ingrese a **Panel de control**.
- Dé clic en **Mi PC**, luego **clic derecho** y elija **propiedades**.
- Ingresa a la opción **Hardware**.
- Presiona el botón **Administrador de dispositivos**.

Luego de esto aparecerá una ventana emergente (ver figura 11).

Figura 11. Administrador de dispositivos.



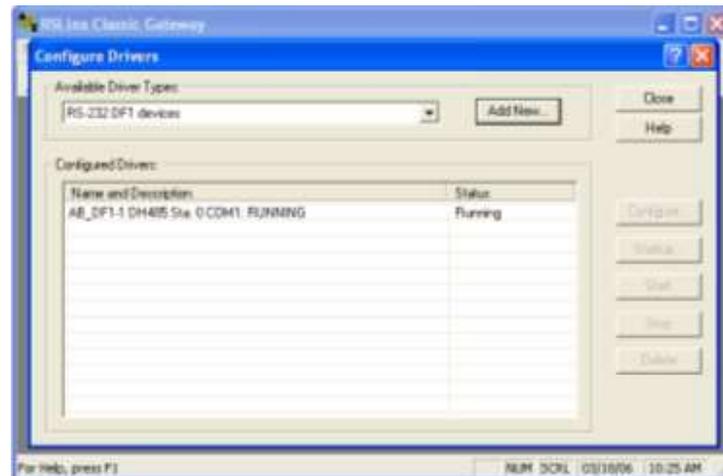
- Se verifica en la opción **Puertos (COM & LPT)**, que aparece habilitado el puerto de comunicaciones por defecto **“COM1”**. (A menos que su conexión no sea serial, no debería aparecer otro puerto de comunicaciones diferente).
- Cerrar esta ventana y dirigirse nuevamente a la ventana emergente **Configure RS-232 DF1 Devices**.
- Elija el puerto **COM1**, y presione **Auto Configure**.
- Aparecerá la ventana emergente con el mensaje **Auto Configure Successful** (ver figura 12).

Figura 12. Creación exitosa de driver.



- Dé clic en **OK**, y aparecerá una ventana emergente con la información del driver creado (ver figura 13).

Figura 13. Nombre y descripción del driver creado.



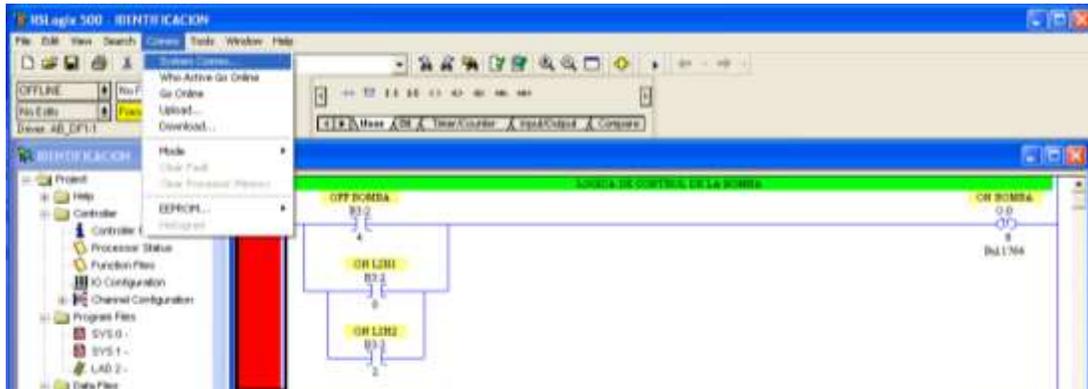
En la Figura 13 es posible ver que en la ventana emergente *Configure Drivers* de *RS Linx Classic Gateway* está en ejecución el driver que acabo de crear. Puede dar clic en cerrar y puede cerrar o minimizar las ventanas emergentes.

Enseguida se procede a cargar un programa en el PLC:

- Diríjase al escritorio del ordenador y busque la carpeta *Practica de identificacion*, allí encontrará los archivos ladder y la subcarpeta *INTERFACE*, la cual contiene el supervisorio propuesto.

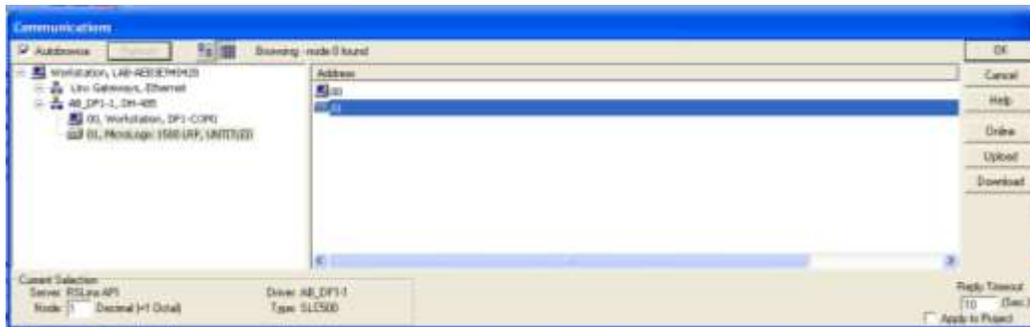
- Abra el archivo “**IDENTIFICACION**”. De inmediato se inicia el programa **RSLogix 500** y podrá ver el ladder propuesto para hacer la práctica de identificación.
- Diríjase a la opción **Comms** de la barra de herramientas del programa, luego elija **System Comms** (ver figura 14).

Figura 14. System Comms.



- En la ventana emergente **Communications** dé clic en “**AB_DF-1,DH485**” y selecciona la estación “**01**” (por defecto) que indica la ubicación del PLC creado con el driver de **RSLink Classic**. (ver figura 15).

Figura 15. Communications.



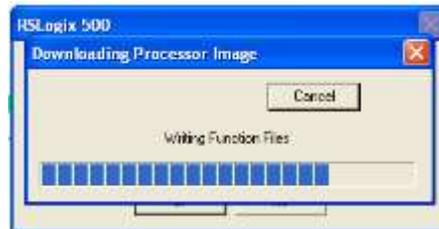
- Dé clic en la opción **Apply to Project**, y luego de clic en **Download**, entonces se desplegará una ventana (ver figura 16).

Figura 16. Aceptación para proceso de descarga de ladder.



- Dé clic en el botón **SI**, aparecerá una ventana emergente con la información de descarga del ladder (ver figura 17).

Figura 17 Proceso de descarga de ladder a PLC.



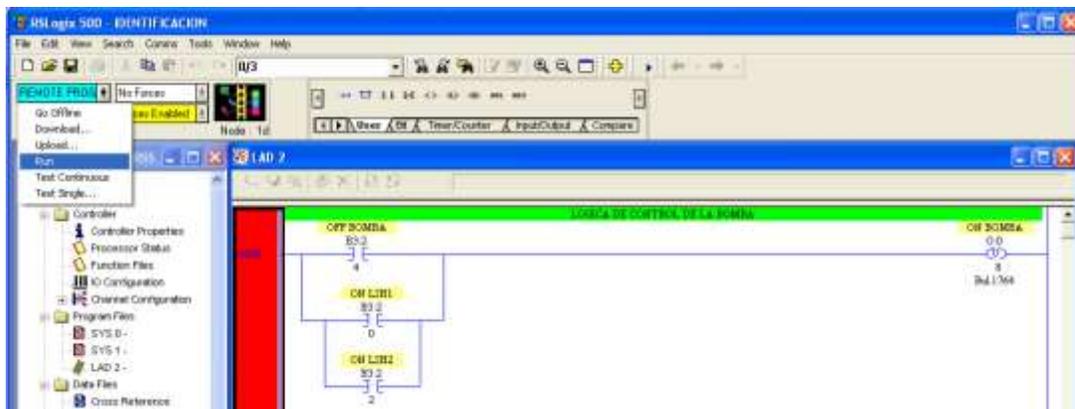
- Una vez terminado el proceso de descarga del ladder al **PLC**, se mostrará una ventana emergente preguntandole si desea poner en ejecución la logica de programación del ladder en el PLC. Usted debe dar clic en el botón **SI** (ver figura 18).

Figura 18 Aceptación para ejecutar el ladder en PLC.



- Luego de esto, se mostrará una ventana del programa **RSLogix 500**, en el ícono **REMOTE PROGRAM** le permite opciones para ejecutarlo, sacarlo de línea, descargar uno nuevo, entre otras. Usted deberá pulsar en **Run** (ver figura 19).

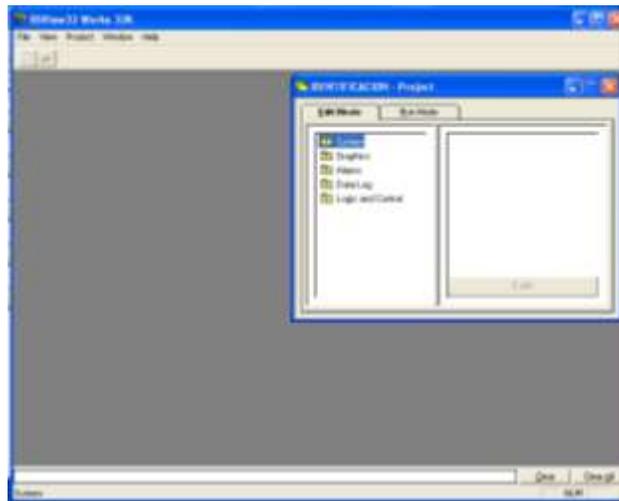
Figura 19 Aceptación para ejecutar el ladder en PLC.



Ahora debe cargar el supervisorio de la planta de tanques en serie, por tanto, siga el siguiente procedimiento:

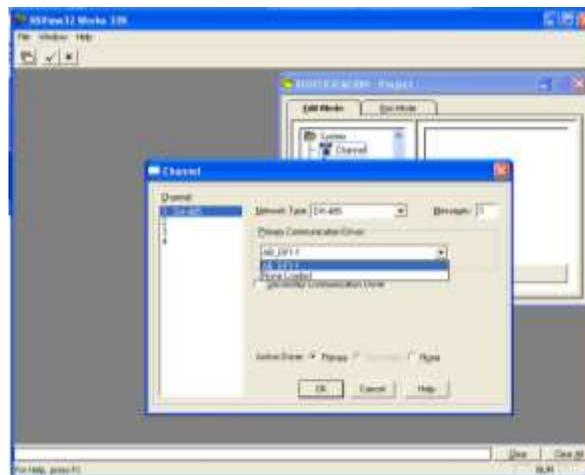
- Ir a la carpeta *Practica de identificacion* que se encuentra en el escritorio, entre a la carpeta *INTERFACE*, y cargue el supervisorio llamado *IDENTIFICACION* o mejor dé clic en el icono 
- De inmediato se inicia el programa *RSView 32 Works 32K*. En la ventana emergente *IDENTIFICACION*, dé clic en la carpeta *System* para ver las opciones del sistema a ser configuradas (ver figura 20).

Figura 20. Run Mode del archivo *IDENTIFICACION*.



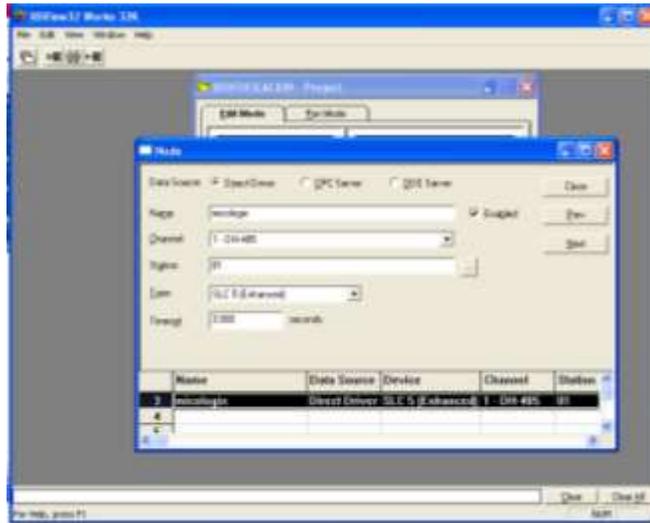
- Diríjase al icono *Channel*, allí le mostrará información acerca del canal de comunicaciones creado como una red *tipo DH485* con el nombre que le dio al driver creado, recordemos que en este ejemplo se dejó el nombre que aparece por defecto, *AB_DF1-1*. Dé clic en el botón *OK* (ver figura 21).

Figura 21. Configuración de canal.



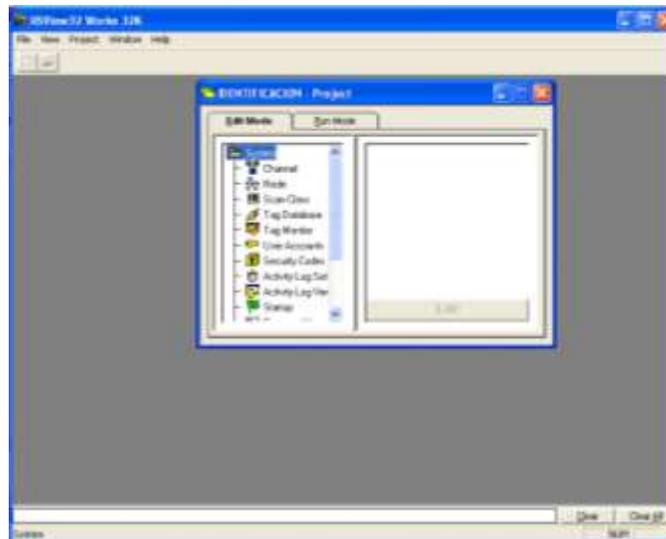
- Ahora se debe verificar el nodo, para esto dé doble clic sobre el icono **Node**, allí encontrará información acerca del tipo de fuente de datos, tipo de canal, nombre del nodo y estación en la cual se encuentra el **PLC**, además se especifica el tipo de PLC en ejecución. En este ejemplo al nodo se le asignó el nombre **“micrologix”**. Dé clic en el botón **Close** (ver figura 22).

Figura 22. Configuración de nodo.



“NOTA: En la carpeta System además podrá encontrar información acerca de la base de datos de etiquetas, monitor de etiquetas, creación de cuentas para acceso al supervisorio, etc. (ver figura 23)”.

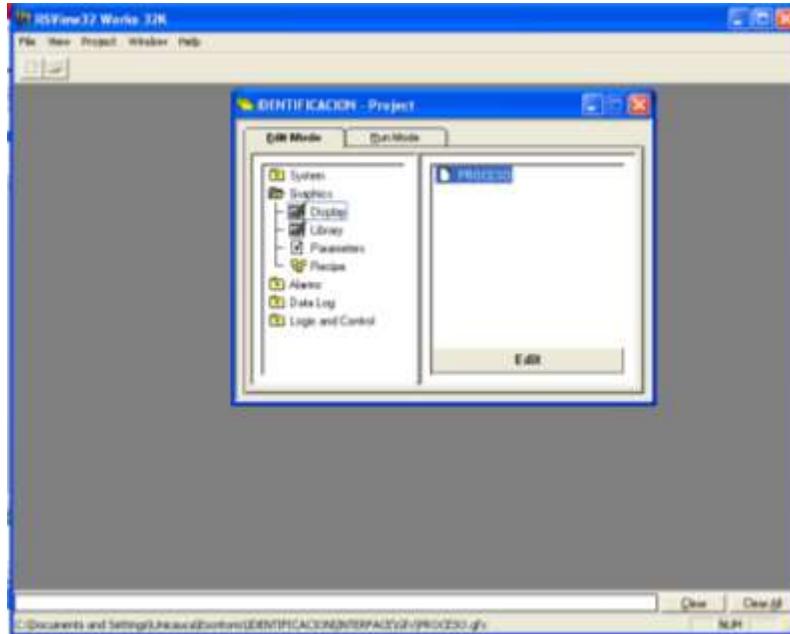
Figura 23. Opciones de configuración de la carpeta **System**.



- Ahora minimice la carpeta **“System”** y abra la carpeta **“Graphics”**, allí encontrará información acerca del supervisorio propuesto, opciones de configuración para librería,

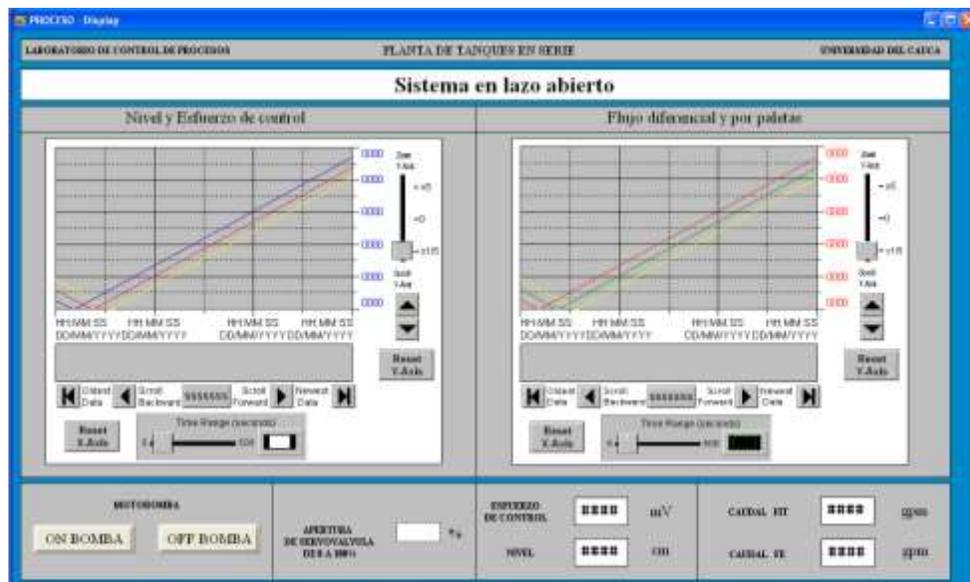
parámetros y ventanas de supervisión. Seleccione el icono *Display*, enseguida del archivo *PROCESO* (ver figura 24).

Figura 24. Archivo de supervisorio propuesto.



- Aparecerá ventana emergente, con un esquema que muestra la interacción entre los tanques en serie, un gráfico de tendencias de variables, así como visualizadores numéricos, una entrada numérica y dos botones pulsadores para el estado de la bomba (ver figura 25).

Figura 25. Supervisorio propuesto en detalle.



- Abra todas las válvulas manuales de la planta para que el flujo de agua pase primero por el tanque superior, y luego de este pase al tanque **TK2**. Garantice que la única entrada de agua al tanque **TK2** provenga del tanque **TK1**.
- Dé clic en el botón “**play**” ubicado en la parte superior de la barra de herramientas (**RSView32 Works**), enseguida del icono “**guardar**”; para poner en ejecución el supervisorio (ver figura 26).

Figura 26. Icono “play” en la barra de herramientas.



- Fije el valor de porcentaje de apertura de la Servoválvula en 100%.
- El tanque **TK1** debe iniciar su llenado, ajuste la válvula manual de bypass cerrándola hasta que el tanque **TK1 se llene y no se rebose**, es decir fijar el caudal máximo para que se mantenga lleno. Tomar nota del caudal de entrada y salida registrándolos en una tabla.
- Con el tanque **TK1** lleno cierre suavemente la válvula de salida del tanque **TK2** hasta que éste se llene, es decir que mantenga su nivel alto (esto puede tomar varios minutos en estabilizarse).
- Con los tanques **TK1** y **TK2** en su nivel máximo y estables (que no salga agua por los tubos de rebose) fije el porcentaje de apertura en un 40% y espere a que el nivel tanque **TK2** se establezca en algún punto.
- Tome nota del nivel del tanque **TK2** y de los flujos dados por la instrumentación y regístrelos en una tabla. (Verificar frecuentemente que el supervisorio este ejecutándose, de lo contrario presione el botón de **pause** en la gráfica).
- Ubique un cronómetro en cero y aliste una tabla para llenar los datos.
- Realice un cambio en el porcentaje de apertura al 70% y tome ese tiempo como $t = 0$.
- Registre en una tabla los valores de nivel y flujo en los dos sensores cada 20 segundos.
- Tome los datos hasta que el sistema se estabilice.
- Guarde las curvas obtenidas para soportar un informe.
- Ahora pulse el botón **OFF** presente en el supervisorio para apagar el sistema.
- Ahora dé clic en el botón “**stop**” ubicado en la parte superior de la barra de herramientas (**RSView32 Works**), está enseguida del icono “**play**”; para detener la ejecución del supervisorio (ver figura 27).

Figura 27. Icono “stop” en la barra de herramientas.



Apagado de la planta de tanques en serie

- Ponga en **off** la llave selectora **ON 24 VDC** de panel de control frontal (ver figura 28).
- Luego ponga en estado **off** la llave selectora **ON 110 VAC** de panel de control frontal (ver figura 28).

- Ahora ponga en estado *off* el breaker *F1* del panel de control oculto (ver figura 29).

Figura 28. Llaves selectoras de panel de control frontal.



Figura 29. Breaker F1 de panel de control oculto.



Prueba de conocimientos

1. Con los datos registrados realice una gráfica de nivel vs tiempo y de esta obtenga un modelo de primer orden más tiempo muerto por el método de dos puntos. Ver anexo teórico.
2. En una gráfica compare los 6 modelos con la curva real y explique cuál es el que mejor representa la dinámica del sistema. (Usar la herramienta software simulink y tener en cuenta las condiciones reales de la planta para simular los modelos).
3. Ubique en una tabla los parámetros del modelo con sus respectivas unidades de ingeniería.
4. Con los resultados en la tabla de datos grafique el caudal de salida del tanque 1 vs tiempo y de esta obtenga un modelo que represente la dinámica.
5. Haciendo uso de simulink compare el modelo del flujo con la curva real.
6. En el modelo del nivel del tanque TK2, ¿qué elementos de la planta están incluidos en el modelo? Explique desde un diagrama de control realimentado.
7. En el modelo de flujo, ¿qué elementos están representados en dicho modelo? Explique.
8. Para el modelo del nivel, ¿qué parámetros de la planta afectan el tiempo muerto?
9. Si el modelo se obtiene desde otro punto de partida respecto a las condiciones ideales, ¿este sería diferente? Justifique su respuesta.
10. Aproxime la curva de reacción del nivel a un modelo de segundo orden y compárelo con el de primer orden hallado antes.

ANEXO TEÓRICO - IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS SOBREAMORTIGUADOS UTILIZANDO TÉCNICAS DE LAZO ABIERTO

El proceso de sintonización del controlador consta así de dos etapas: identificación y sintonización. La obtención de la información dinámica del proceso requiere que este sea excitado de alguna forma y que tanto la entrada aplicada, así como la respuesta del proceso, sean registradas. Por estas razones resulta necesario realizar una prueba experimental que permita identificar un modelo dinámico para el proceso.

MODELOS

La mayoría de los métodos de sintonización de controladores se basan en los parámetros de un modelo de orden reducido que permita representar sistemas dinámicos de orden alto y por esta razón los más empleados son los de primer o segundo orden más tiempo muerto, para este caso utilizaremos el de primer orden más tiempo muerto, cuya funciones de transferencia son:

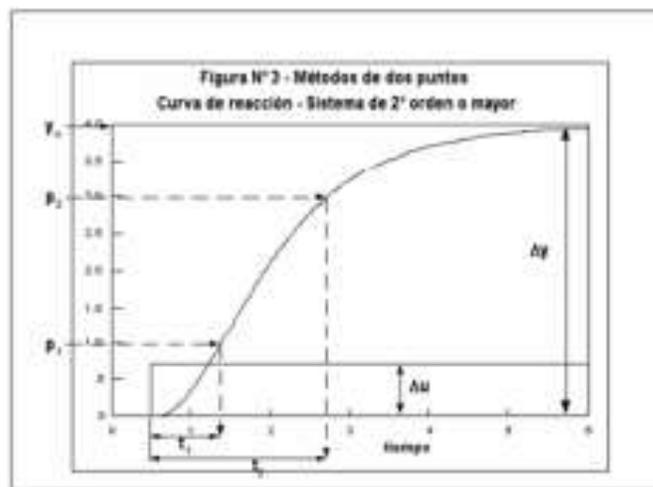
Primer orden más tiempo muerto

$$G_p(s) = \frac{k_p e^{-\tau_m s}}{\tau s + 1} \quad (1)$$

Los métodos que permiten identificar un modelo de primer orden más tiempo muerto en este caso son:

Métodos de dos puntos (Alfaro, Broida, Chen y Yan, Ho, Smith, Viteckova)

Figura 1. Métodos de dos puntos.



Para obtener un modelo de primer orden más tiempo muerto (ver figura1), se debe identificar la ganancia k_p , la constante de tiempo τ y el tiempo muerto aparente tm del sistema.

La ganancia es el cambio total en la salida dividido por el cambio en la entrada:

$$k_p = \Delta y / \Delta u$$

Las ecuaciones generales para los métodos de dos puntos, con el fin de identificar un modelo de primer orden más tiempo muerto dado por (1) con base en los tiempos requeridos para alcanzar dos puntos específicos en la curva de reacción del proceso.

Si p_1 y p_2 son dos valores porcentuales del cambio en la respuesta del sistema a un cambio escalón en la entrada y t_1 y t_2 son los tiempos requeridos para alcanzar estos dos valores, como se muestra en la Figura 1, entonces los parámetros de un modelo de primer orden más tiempo muerto se pueden obtener de:

$$\tau = a t_1 + b t_2$$

$$t_m = c t_1 + d t_2$$

Los porcentajes del cambio en la respuesta para la determinación de los dos tiempos requeridos por el procedimiento de identificación, así como los valores de las constantes a , b , c y d para los métodos de Alfaro [1], Bröida [3], Chen y Yan [4], Ho et al. [5], Smith [9] y Viteckova et al. [6], se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Constantes para la identificación de los métodos de primer orden más tiempo muerto.

Tabla N° 1 - Constantes para la identificación de los modelos de primer orden más tiempo muerto						
Método	% p_1 (t_1)	% p_2 (t_2)	a	b	c	d
Alfaro	250	75.0	-0.910	0.910	1.262	-0.262
Bröida	28,0	40.0	-5.500	5.500	2.800	-1.800
Chen y Yang	33,0	67.0	-1.400	1.400	1.540	-0.540
Ho et al.	35.0	85.0	-0.670	0.670	1.300	-0.290
Smith	28.3	63.2	-1.500	1.500	1.500	-0.500
Vitecková et al.	33.0	70.0	-1.245	1.245	1.498	-0.498

ANEXO I) Práctica de control discreto de nivel

Práctica de control discreto de nivel

Planta de tanques en serie - Laboratorio de control de procesos

Programa de Ingeniería en Automática Industrial

Universidad del Cauca

VERSION 1.0 2017

Revisado y corregido por ing. Francisco Franco web:
mgfranciscofranco.blogspot.com.co/



Introducción

La planta de tanques en serie permite realizar control discreto de nivel en los tanques TK1 y TK2 (ver figura 1). En el cual se mide los estados full y vacío del nivel por medio de switches de alto (LSH1 y LSH2 en figura 1) y bajo (LSL1 y LSL2 en la figura 2), de manera que al activarse los switches de estado alto, se cortará a través del estado de la bomba el flujo de alimentación de los tanques TK1 y TK2, y se reactivará el paso de líquido al desactivarse los switches de estado bajo.

Objetivos

- Conocer el funcionamiento de un control ON/OFF de nivel.
- Conocer la lógica de llenado de los tanques TK1 y TK2.

Sistema de control ON/OFF

El control ON/OFF, también llamado todo-nada o abierto-cerrado, es la forma más simple de control por realimentación, es un control de dos posiciones en el que el elemento final de control solo ocupa una de las dos posiciones, en el cual la salida del controlador va de un extremo a otro cuando el valor de la variable controlada se desvía del valor deseado.

Este método solo acepta dos posiciones para el actuador: encendido (100%) y apagado (0%). La lógica de funcionamiento es tener un punto de referencia, si la variable es mayor, el actuador asume una posición; y si la variable es menor, el actuador asume la otra posición. Este tipo de control presenta las siguientes características:

- Variación cíclica continua de la variable controlada.
- El controlador no tiene la capacidad para producir un valor exacto en la variable controlada para un valor de referencia.
- Funcionamiento óptimo en procesos con tiempo de retardo mínimo.
- Tiene un simple mecanismo de construcción, por eso este tipo de controladores es de amplio uso, y mayormente son utilizados en sistemas de regulación de temperatura.

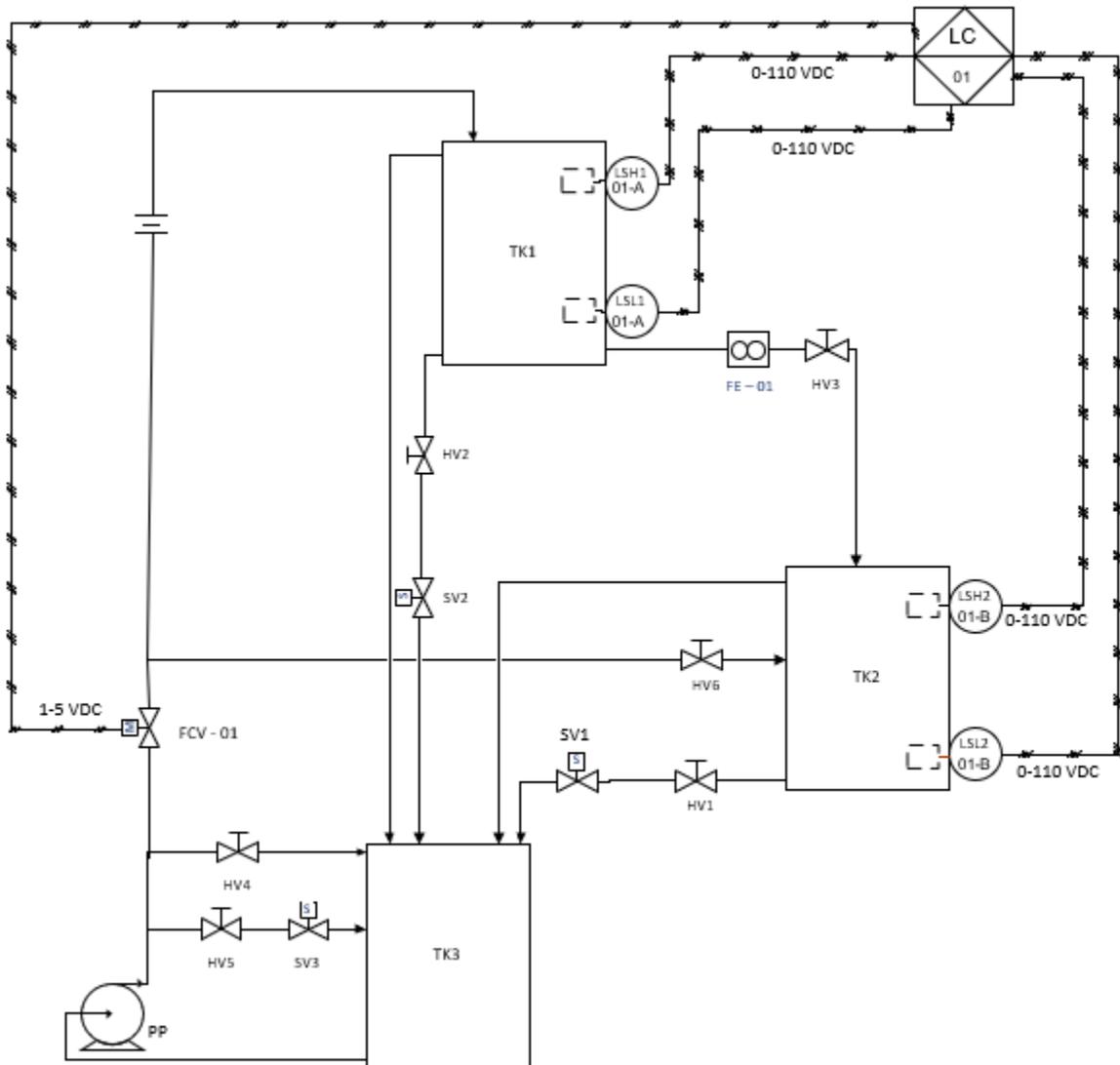
Ventajas del sistema ON/OFF.

- Es la forma más simple de control.
- Bajo precio de instalación.
- Fácil instalación y mantenimiento.
- Amplia utilización en procesos de poca precisión.

Desventajas del sistema ON/OFF.

- Mínima precisión.
- No es recomendable para procesos de alto riesgo.

Ilustración 1. Diagrama P&ID – Planta de tanques en serie en esquema de control discreto.



Procedimiento

En primera instancia, configure los mandos en el panel de control, atendiendo las siguientes especificaciones:

- Cerciórese que la planta se encuentra conectada a la línea de alimentación a 110 VAC.
- Confirme que el cable blanco de conexión serial del PLC, se encuentra conectado al ordenador (ver figura 1).

Figura 1. Conexión ordenador – PLC.



Accione el **breaker F1** en posición **ON**, en el panel de control oculto (ver figura 2).

Figura 2. Posición ON del breaker F1.



- Para energizar la planta, ubique en **ON** la llave selectora **S 110 VAC** (ver figura 3).
- Para energizar la instrumentación de la planta, ubique en **ON** la llave selectora **S 24 VDC** (ver figura 3).

Figura 3. Posición de llaves selectoras en panel frontal.



Para realizar la instalación del driver que permite la comunicación del ordenador con el PLC, siga los pasos:

- Inicie el ordenador de la planta con el sistema operativo *Windows*.
- Verifique que la llave selectora del PLC esté en modo remoto “*REM*” (ver figura 4).

Figura 4 Posición de llave selectora de PLC en panel oculto.



- Busque RSLinx Classic en la lista de programas e inícielo (ver figura 5).

Figura 5. RSLinx Clasic en ejecución.



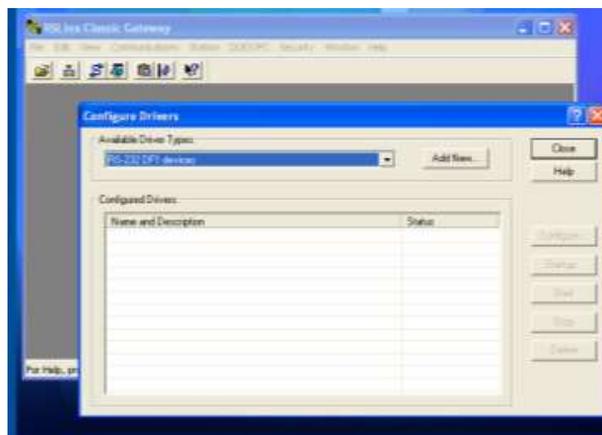
- Pulse en el icono *Configure Drivers* de la barra de herramientas del programa (ver figura 6).

Figura 6. Opción *Configure Drivers*.



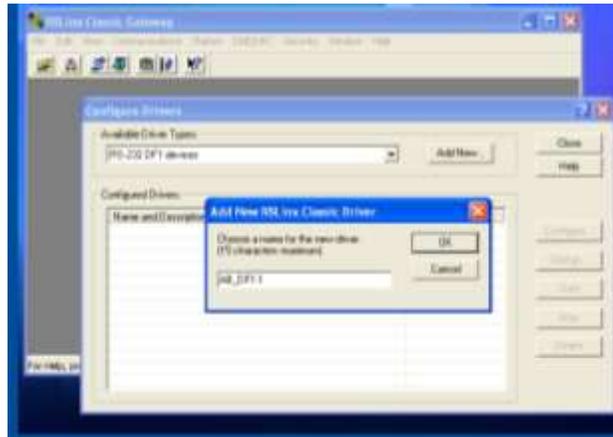
- En la ventana emergente seleccione *RS-232DF1device* de las opciones que se despliegan en *Available Driver Types*, luego presionar *Add New* (ver figura 7).

Figura 7. Creación del driver.



- En la ventana desplegada asígnele un nombre al *driver*, o deje el nombre por defecto dando clic en *OK* (ver figura 8).

Figura 8. Nombre de driver creado, en este ejemplo se deja por defecto.



- En la siguiente ventana presione **Autoconfigure**, si la conexión entre el ordenador y el PLC es correcta, aparecerá el mensaje **Auto Configuration Successful**. Luego dar **OK** (ver figura 9).

Figura 9. Nombre de driver creado, en este ejemplo se deja por defecto.

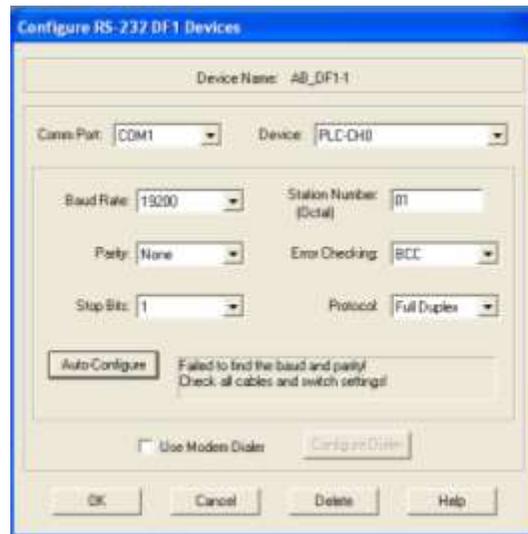


- Cierre la ventana **Configure drivers**.
- Minimice **RSLinx Classic**.

De esta manera, se crea el driver de comunicación.

“NOTA: En caso contrario en que no aparezca el mensaje *Auto Configure Successful*, ver figura 10”.

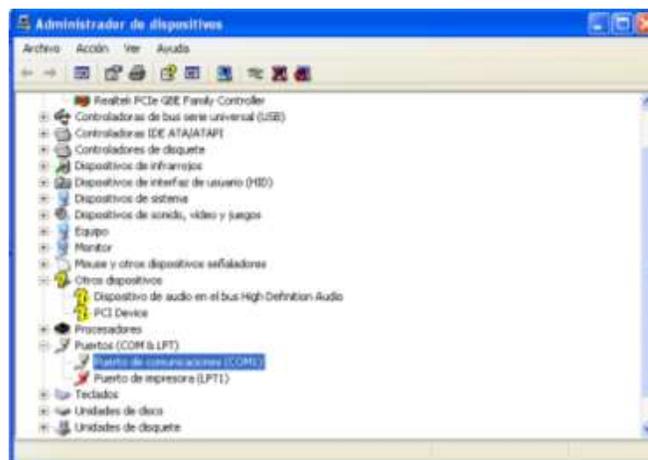
Figura 10. Falla en procedimiento anterior.



La falla podría deberse a que el PC aún no reconoce el puerto de comunicaciones COM1 (*por defecto*), o a que el cable serial no está bien conectado. Para solucionar esto deberá realizar el siguiente procedimiento:

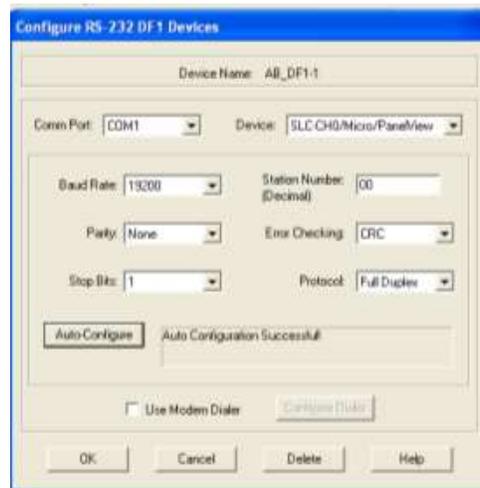
- Verifique que el cable serial este bien conectado entre el **PLC** y el **PC**.
- Ingrese a **Panel de control**.
- Dé clic en **Mi PC**, luego **clic derecho** y elija **propiedades**.
- Ingresa a la opción **Hardware**.
- Presiona el botón **Administrador de dispositivos**.
- Luego de esto aparecerá una ventana emergente (ver figura 11).

Figura 11. Administrador de dispositivos.



- Se verifica en la opción **Puertos (COM & LPT)**, que aparece habilitado el puerto de comunicaciones por defecto **“COM1”**. (A menos que su conexión no sea serial, no debería aparecer otro puerto de comunicaciones diferente).
- Cerrar esta ventana y dirigirse nuevamente a la ventana emergente **Configure RS-232 DF1 Devices**.
- Elija el puerto **COM1**, y presione **Auto Configure**.
- Aparecerá la ventana emergente con el mensaje **Auto Configure Successful** (ver figura 12).

Figura 12. Creación exitosa de driver.



- Dé clic en **OK**, y aparecerá una ventana emergente con la información del driver creado (ver figura 13).

Figura 13. Nombre y descripción del driver creado.

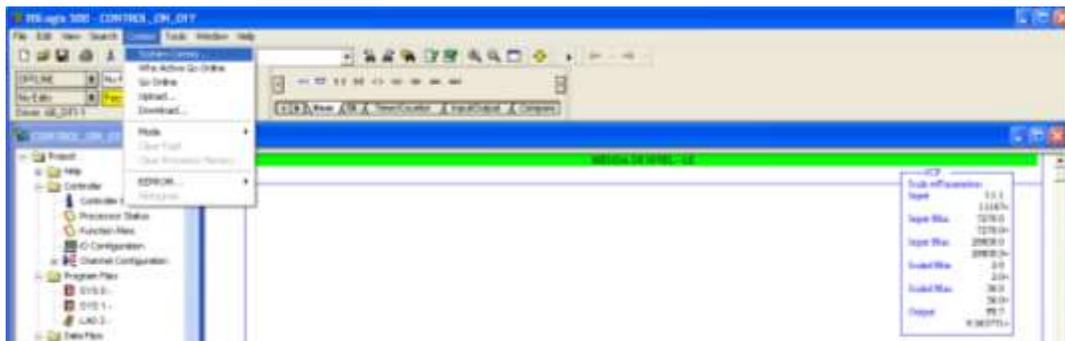


- En la Figura 13 es posible ver que en la ventana emergente *Configure Drivers* de “*RS Linx Classic Gateway*” está en ejecución el driver que acabo de crear. Puede dar clic en cerrar y puede cerrar o minimizar las ventanas emergentes.

Enseguida se procede a cargar un programa en el PLC

- Diríjase al escritorio del ordenador y busque la carpeta *Practica de control discreto de nivel*, allí encontrará los archivos ladder y la subcarpeta “*interface*”, la cual contiene el supervisorio propuesto.
- Abra el archivo “*CONTROL_on_off*”. De inmediato se inicia el programa *RSLogix 500* y podrá ver el ladder propuesto para hacer control discreto sobre los tanques TK1 y TK2.
- Diríjase a la opción *Comms* de la barra de herramientas del programa, luego elija *System Comms* (ver figura 14).

Figura 14. System Comms.



- En la ventana emergente *Communications* dé clic en “*AB_DF-1, DH485*” y selecciona la estación “*01*” (por defecto) que indica la ubicación del PLC creado con el driver de *RS Linx Classic*. (ver figura 15).

Figura 15. Communications.



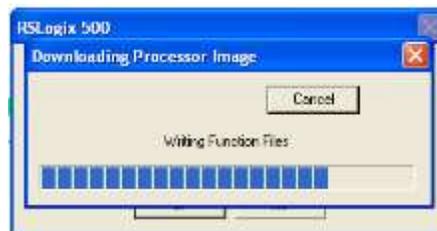
- Dé clic en la opción **Apply to Project** en seguida del botón **Download**, entonces se desplegará una ventana (ver figura 16).

Figura 16. Aceptación para proceso de descarga de ladder.



- Dé clic en el botón **SI**, aparecerá una ventana emergente con la información de descarga del ladder (ver figura 17).

Figura 17. Proceso de descarga de ladder a PLC.



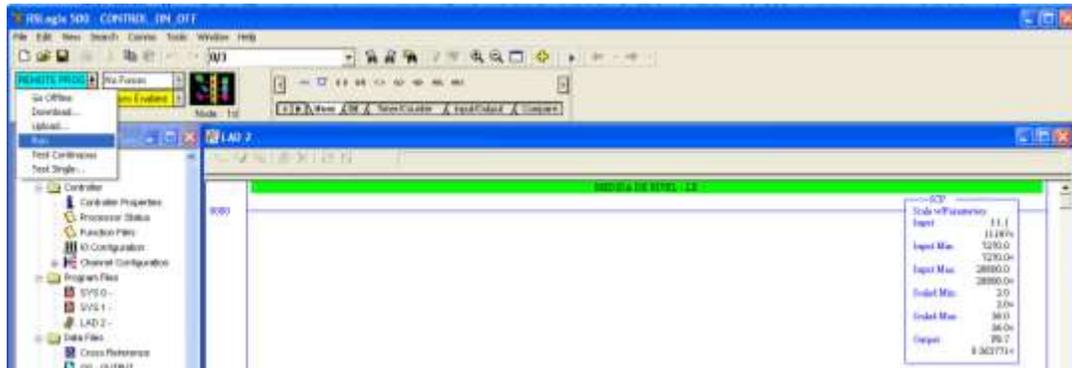
- Una vez terminado el proceso de descarga del ladder al **PLC**, se mostrará una ventana emergente preguntandole si desea poner en ejecución la logica de programación del ladder en el PLC. Usted debe dar clic en el botón **SI** (ver figura 18).

Figura 18 Aceptación para ejecutar el ladder en PLC.



- Luego de esto, se mostrará una ventana del programa **RSLogix 500**, en el ícono **REMOTE PROGRAM** le permite opciones para ejecutarlo, sacarlo de línea, descargar uno nuevo, entre otras. Usted deberá pulsar en **Run** (ver figura 19).

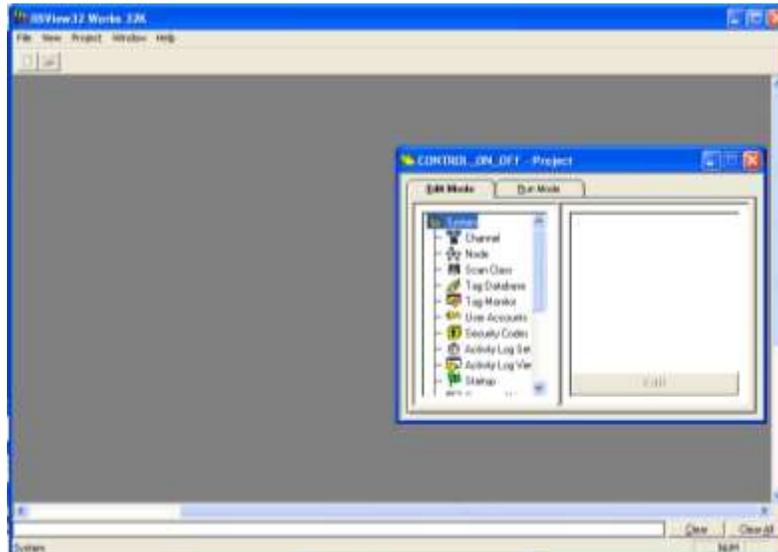
Figura 19. Aceptación para ejecutar el ladder en PLC.



Ahora debe cargar el supervisor de la planta de tanques en serie, por tanto, siga el siguiente procedimiento:

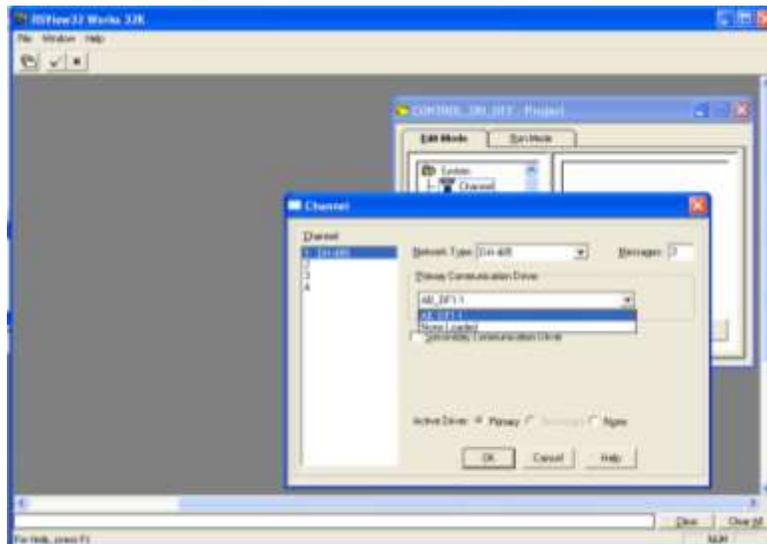
- Ir a la carpeta **Practica de control discreto de nivel** que se encuentra en el escritorio, entre a la carpeta **Interface**, y cargue el supervisor llamado **CONTROL_ON_OFF** o mejor dé clic en el icono 
- De inmediato se inicia el programa **RSView 32 Works 32K**. En la ventana emergente **CONTROL_ON_OFF**, dé clic en la carpeta **System** para ver las opciones del sistema a ser configuradas (ver figura 20).

Figura 20. Run Mode del archivo **CONTROL_ON_OFF**.



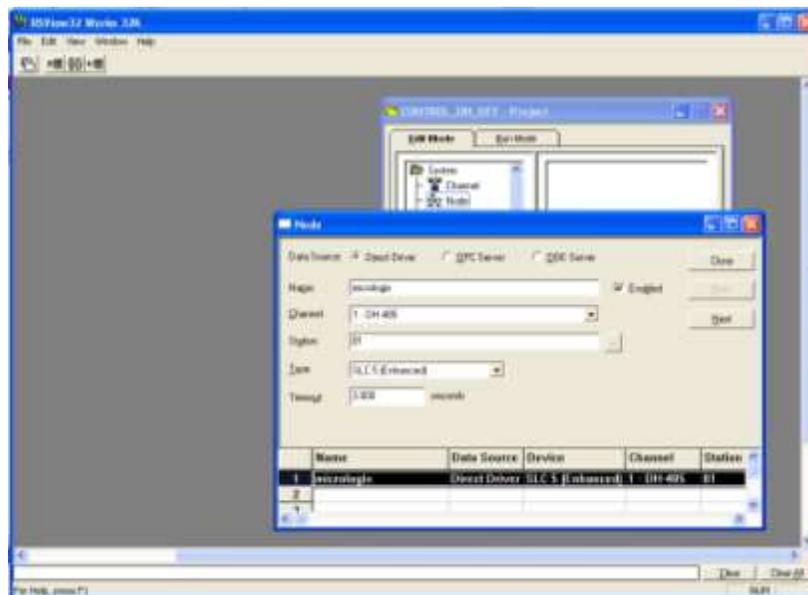
- Diríjase al icono **Channel**, allí le mostrará información acerca del canal de comunicaciones creado como una red **tipo DH485** con el nombre que le dio al driver creado, recordemos que en este ejemplo se dejó el nombre que aparece por defecto, **AB_DF1-1**. Dé clic en el botón **OK** (ver figura 21).

Figura 21. Configuración de canal.



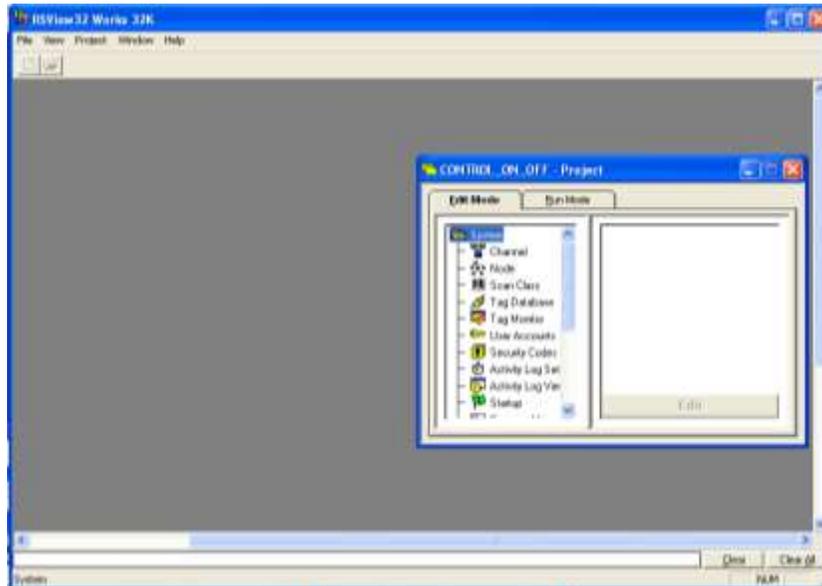
- Ahora se debe verificar el nodo, para esto dé doble clic sobre el icono **Node**, allí encontrará información acerca del tipo de fuente de datos, tipo de canal, nombre del nodo y estación en la cual se encuentra el **PLC**, además se especifica el tipo de PLC en ejecución. En este ejemplo al nodo se le asignó el nombre “**micrologix**”. Dé clic en el botón **Close** (ver figura 22).

Figura 22. Configuración de nodo.



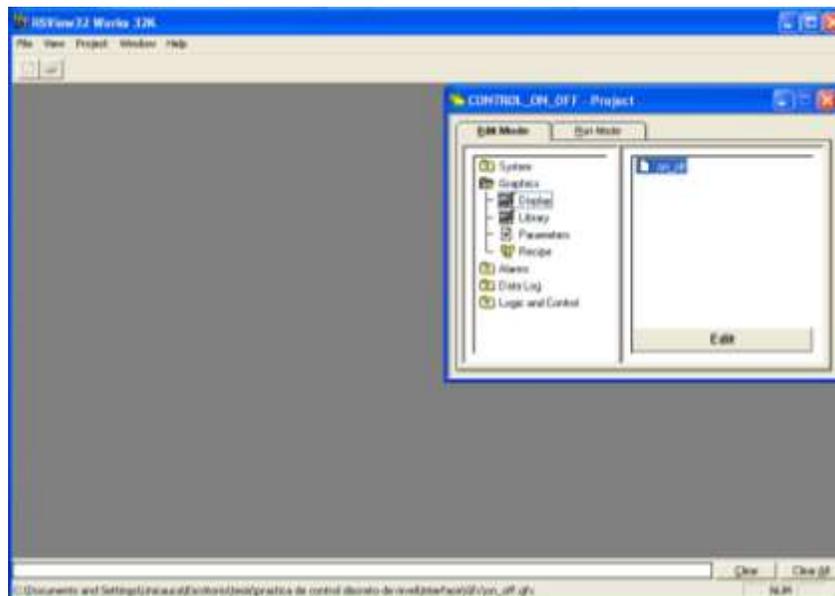
“NOTA: En la carpeta System además podrá encontrar información acerca de la base de datos de etiquetas, monitor de etiquetas, creación de cuentas para acceso al supervisor, etc. (ver figura 23)”.

Figura 23. Opciones de configuración de la carpeta *System*.



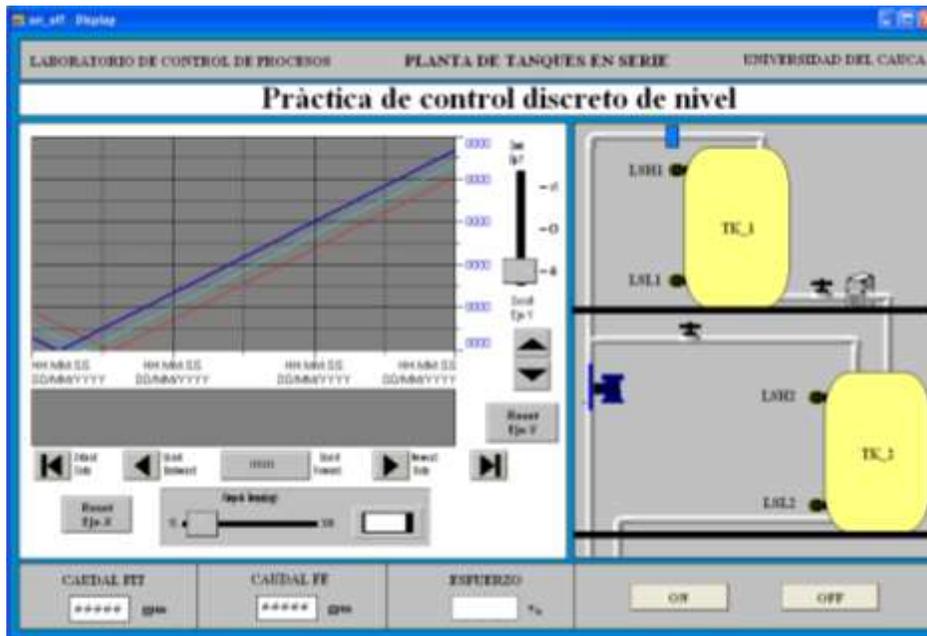
- Ahora minimice la carpeta “*System*” y abra la carpeta “*Graphics*”, allí encontrará información acerca del supervisorio propuesto, opciones de configuración para librería, parámetros y ventanas de supervisión. Seleccione el icono *Display*, enseguida del archivo *on_off* (ver figura 24).

Figura 24. Archivo de supervisorio propuesto.



- Aparecerá ventana emergente, con un esquema que muestra la interacción entre los tanques en serie, un gráfico de tendencias de variables, así como visualizadores numéricos, una entrada numérica y dos botones pulsadores para el estado de la bomba (ver figura 25).

Figura 25. Supervisorio propuesto en detalle.



- Cierre la válvula *HV6*, de manera que el flujo ascendente ingrese al tanque *TK1*.
- Dé clic en el botón “*play*” ubicado en la parte superior de la barra de herramientas (*RSView32 Works*), enseguida del icono “*guardar*”; para poner en ejecución el supervisorio (ver figura 26).

Figura 26. Icono “*play*” en la barra de herramientas.



- Ingrese un valor de porcentaje (0-100) para la apertura de la servoválvula.
- Encienda el *control ON/OFF* pulsando el botón *ON* presente en el supervisorio.
- Notará el cambio de estado de los sensores de nivel bajo (*LSL1* y/o *LSL2*), además que la bomba se detiene una vez se haya activado uno de los sensores de estado nivel alto *LSH1* o *LSH2*, que indican el llenado del tanque según corresponda.
- Tenga en cuenta que de acuerdo a la apertura de las válvulas *HV1* y *HV6*, puede permitir el llenado o no del tanque *TK2*. Es decir si desea llenar el tanque *TK2* directamente sin que el flujo de líquido pase por el tanque *TK1*, puede abrir completamente la válvula manual *HV6* y cerrar *HV1* hasta que consiga el llenado del tanque *TK2*.
- Esté atento para tomar nota de la gráfica de tendencias obtenida, inmediatamente se active unos de los sensores de estado nivel alto.
- Ahora pulse el botón *OFF* presente en el supervisorio para apagar el sistema.
- Ahora dé clic en el botón “*stop*” ubicado en la parte superior de la barra de herramientas (*RSView32 Works*), enseguida del icono “*play*”; para detener la ejecución del supervisorio (ver figura 27).

Figura 27. Icono “stop” en la barra de herramientas.



Apagado de la planta de tanques en serie.

- Ponga en *off* la llave selectora **ON 24 VDC** de panel de control frontal (ver figura 28).
- Luego ponga en estado *off* la llave selectora **ON 110 VAC** de panel de control frontal (ver figura 28).
- Ahora ponga en estado *off* el breaker **F1** del panel de control oculto (ver figura 29).

Figura 28. Llaves selectoras de panel de control frontal.



Figura 29. Breaker F1 de panel de control oculto.



ANEXO J) Práctica de control feedback de flujo

Práctica de control feedback de flujo

Planta de tanques en serie - Laboratorio de control de procesos

Programa de Ingeniería en Automática Industrial

Universidad del Cauca

VERSION 1.0 2017

Revisado y corregido por ing. Francisco Franco web:
mgfranciscofranco.blogspot.com.co/



Introducción

La actual planta de tanques en serie permite realizar control feedback de flujo de alimentación en el tanque TK1 y TK2 (ver figura 1). En cuanto se mide el flujo por medio del transmisor de flujo por diferencia de presión FIT y el sensor transmisor de flujo FE-FT, luego se manipula el flujo de alimentación con la servoválvula LCV, a través de la acción de un controlador PID.

Objetivo

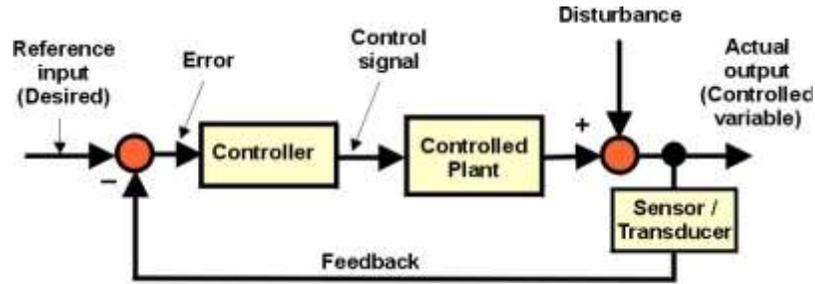
- Implementar un esquema de control feedback de flujo sobre la planta de tanques en serie, bajo un escenario de automatización basado en PLC.

Sistema de control feedback

El control realimentado es una operación que, en presencia de perturbaciones tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, realizándolo sobre la base de esta diferencia.

Se denomina sistema de control realimentado a aquel que tiende a mantener una relación preestablecida entre la salida y alguna entrada de referencia, comparándolas y utilizando la diferencia como medio de control (ver figura). Por ejemplo, el control de flujo de alimentación de un tanque, donde se mide el flujo de ingreso de líquido, se compara esta señal estimada como error con el valor de flujo de referencia (set point), cuyo resultado se convierte en consigna para que la válvula regule el flujo de alimentación aumentando o disminuyendo su porcentaje de apertura, para controlar el flujo.

Ilustración 1. Esquema de control feedback.



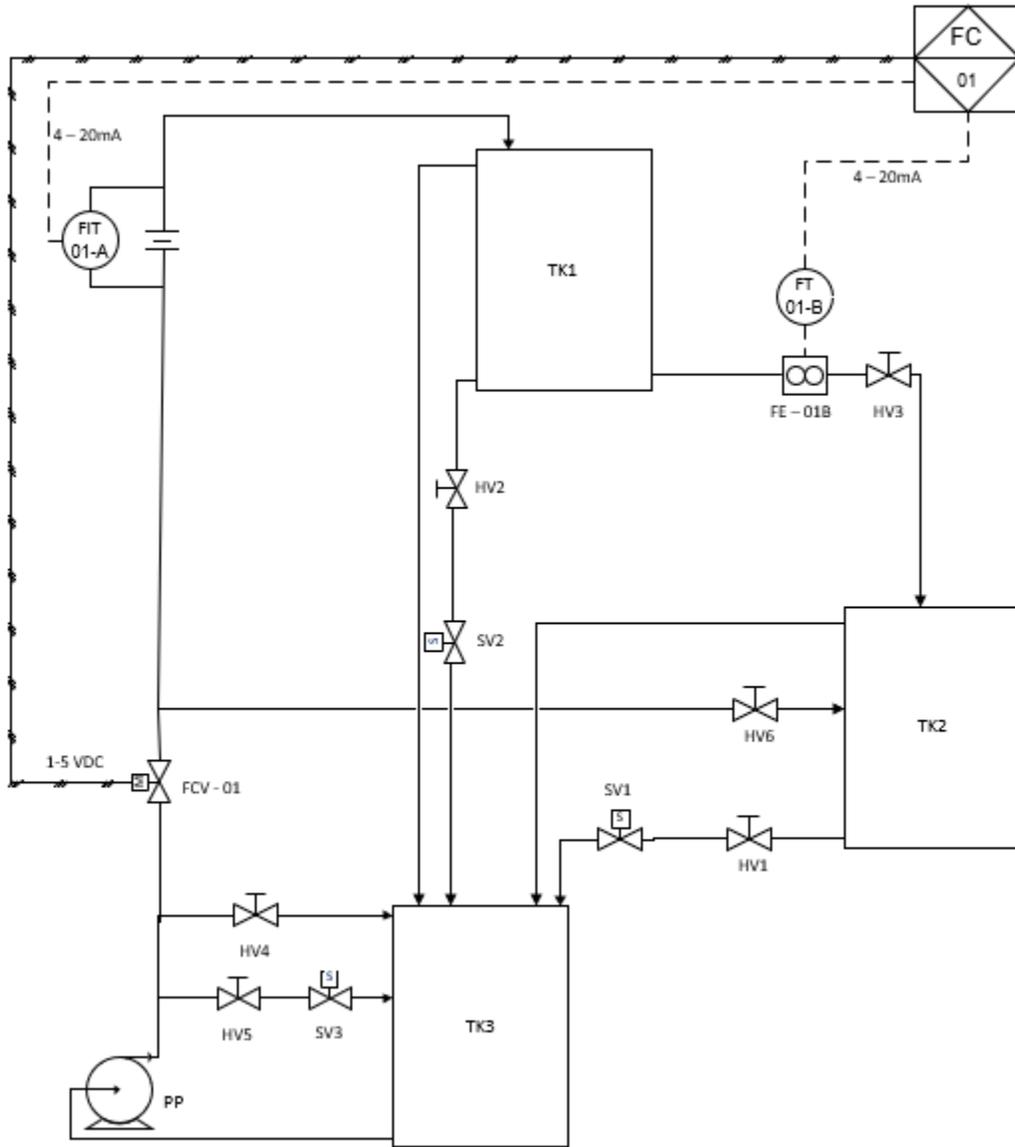
Ventajas del control feedback.

- Ocurre una acción correctiva tan pronto como las variables controladas se desvían del set point, independientemente de la fuente de perturbación.
- El controlador PID es a la vez versátil y robusto. Eventualmente, si las condiciones del proceso cambian puede sintonizarse el controlador.

Desventajas del control feedback.

- No se ejerce ninguna acción correctiva hasta tanto no se produce una desviación de la variable controlada.
- No provee de ninguna acción predictiva para compensar los efectos de las perturbaciones.
- Puede no dar resultados satisfactorios para procesos con grandes constantes de tiempo. Si ocurren grandes y frecuentes perturbaciones el proceso puede operar continuamente en transitorio y nunca alcanzar el estado estacionario deseado.

Ilustración 2. Diagrama P&ID – Planta de tanques en serie en esquema de control feedback de flujo.



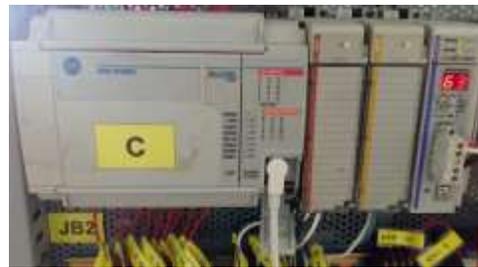
En el diagrama anterior es posible visualizar que se tiene en cuenta la medición de flujo de ingreso hacia el tanque *TK1* (mediante *FIT*), así como la medición de flujo de salida del mismo tanque (mediante *FT*). Cabe decir que es posible realizar el control indirecto de nivel en el tanque *TK1*, haciendo que se igualen los flujos en mención; Es decir que por acción de la apertura de la servoválvula, la válvula de retorno *HV4* y la válvula manual *HV3*, podría darse que en un momento dado el flujo de líquido que ingresa sea aproximadamente igual al flujo de líquido a la salida del tanque *TK1*.

Procedimiento

En primera instancia, configure los mandos en el panel de control, atendiendo las siguientes especificaciones:

- Cerciórese que la planta se encuentra conectada a la línea de alimentación a 110 VAC.
- Confirme que el cable blanco de conexión serial del PLC, se encuentra conectado al ordenador (ver figura 1).

Figura 1 Conexión ordenador - PLC



- Accione el *breaker* F1 en posición ON, en el panel de control oculto (ver figura 2).

Figura 2. Posición ON del breaker F1.



- Para energizar la planta, ubique en ON la llave selectora *S 110 VAC* (ver figura 3).
- Para energizar la instrumentación de la planta, ubique en ON la llave selectora *S 24 VDC* (ver figura 3).

Figura 3. Posición de llaves selectoras en panel frontal.



Para realizar la instalación del driver que permite la comunicación del ordenador con el PLC, siga los pasos:

- Inicie el ordenador de la planta con el sistema operativo *Windows*.
- Verifique que la llave selectora del *PLC* esté en modo remoto “*REM*” (ver figura 4).

Figura 4. Posición de llave selectora de PLC en panel oculto.



- Busque *RSLinx Classic* en la lista de programas e inícielo (ver figura 5).

Figura 5. *RSLinx Clasic* en ejecución.



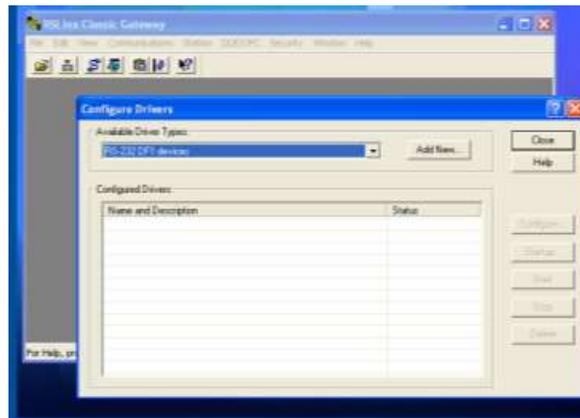
- Pulse en el icono *Configure Drivers* de la barra de herramientas del programa (ver figura 6).

Figura 6. Opción *Configure Drivers*.



- En la ventana emergente seleccione *RS-232DF1 device* de las opciones que se despliegan en *Available Driver Types*, luego presionar *Add New* (ver figura 7).

Figura 7. Creación del driver.



- En la ventana desplegada asíguele un nombre al *driver*, o deje el nombre por defecto dando clic en *OK* (ver figura 8).

Figura 8. Nombre de driver creado, en este ejemplo se deja por defecto.



- En la siguiente ventana presione *Autoconfigure*, si la conexión entre el ordenador y el PLC es correcta, aparecerá el mensaje *Auto Configuration Successfully*. Luego dar *OK* (ver figura 9).

Figura 9. Nombre de driver creado, en este ejemplo se deja por defecto.

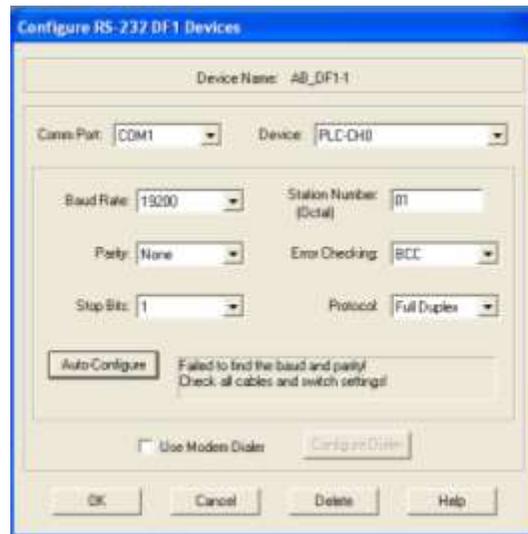


- Cierre la ventana *Configure drivers*.
- Minimice *RSLinx Classic*.

De esta manera, se crea el driver de comunicación.

“NOTA: En caso contrario en que no aparezca el mensaje Auto Configure Successful, ver figura 10”.

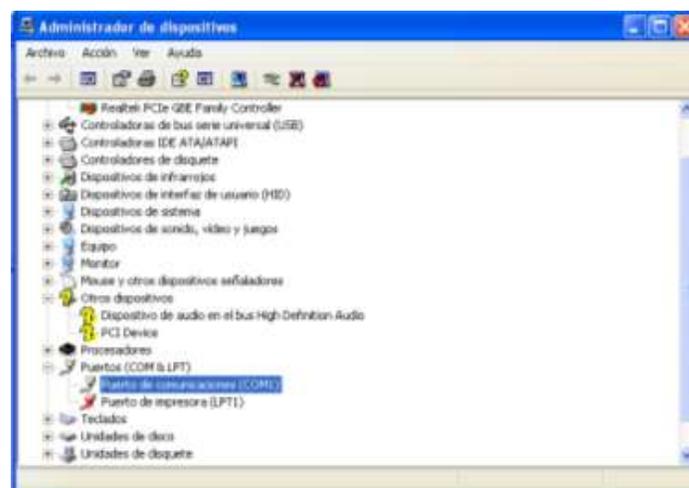
Figura 10. Falla en procedimiento anterior.



La falla podría deberse a que el PC aún no reconoce el puerto de comunicaciones COM1 (*por defecto*), o a que el cable serial no está bien conectado. Para solucionar esto deberá realizar el siguiente procedimiento:

- Verifique que el cable serial este bien conectado entre el PLC y el PC.
- Ingrese a *Panel de control*.
- Dé clic en *Mi PC*, luego *clic derecho* y elija *propiedades*.
- Ingresa a la opción *Hardware*.
- Presiona el botón *Administrador de dispositivos*.
- Luego de esto aparecerá una ventana emergente (ver figura 11).

Figura 11. Administrador de dispositivos.



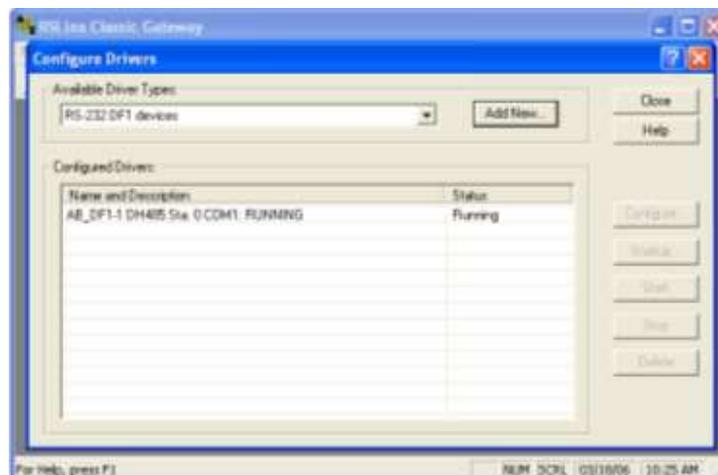
- Se verifica en la opción *Puertos (COM & LPT)*, que aparece habilitado el puerto de comunicaciones por defecto “*COM1*”. (A menos que su conexión no sea serial, no debería aparecer otro puerto de comunicaciones diferente).
- Cerrar esta ventana y dirigirse nuevamente a la ventana emergente *Configure RS-232 DF1 Devices*.
- Elija el puerto *COM1*, y presione *Auto Configure*.
- Aparecerá la ventana emergente con el mensaje *Auto Configure Successful* (ver figura 12).

Figura 12. Creación exitosa de driver.



- Dé clic en OK, y aparecerá una ventana emergente con la información del driver creado (ver figura 13).

Figura 13. Nombre y descripción del driver creado.



- En la Figura 13 es posible ver que en la ventana emergente *Configure Drivers* de “*RS Linx Classic Gateway*” está en ejecución el driver que acabo de crear. Puede dar clic en cerrar y puede cerrar o minimizar las ventanas emergentes.

Enseguida se procede a cargar un programa en el PLC:

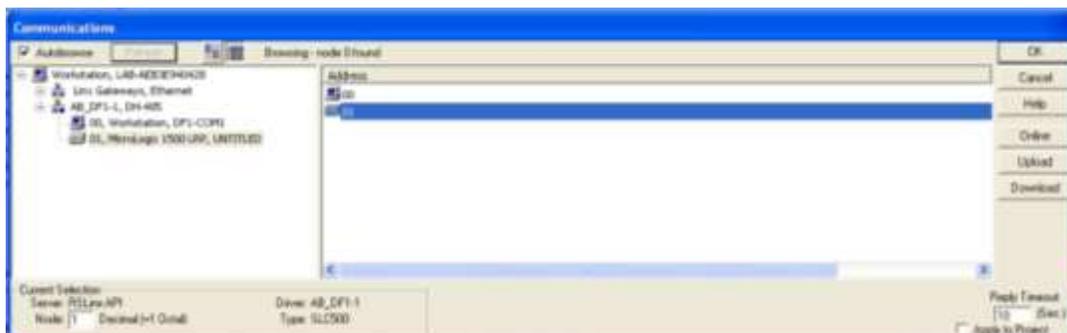
- Diríjase al escritorio del ordenador y busque la carpeta *Practica de control feedback de flujo*, allí encontrará los archivos ladder y la subcarpeta “*interface*”, la cual contiene el supervisorio propuesto.
- Abra el archivo “*CONTROL_FEEDBACK_FLUJO*”. De inmediato se inicia el programa *RSLogix 500* y podrá ver el ladder propuesto para hacer control feedback de flujo sobre los tanques TK1 y TK2.
- Diríjase a la opción *Comms* de la barra de herramientas del programa, luego elija *System Comms* (ver figura 14).

Figura 14. System Comms.



- En la ventana emergente *Communications* dé clic en “*AB_DF-1,DH485*” y selecciona la estación “*01*”(*por defecto*) que indica la ubicación del PLC creado con el driver de *RSLinx Classic* (ver figura 15).

Figura 15. Communications.



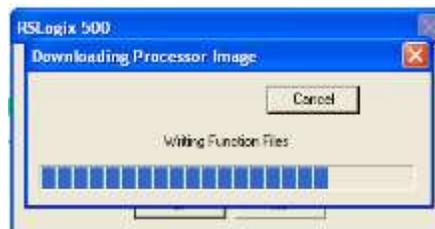
- Dé clic en la opción *Apply to Project* en seguida del botón *Download*, entonces se desplegará una ventana (ver figura 16).

Figura 16. Aceptación para proceso de descarga de ladder.



- Dé clic en el botón *SI*, aparecerá una ventana emergente con la información de descarga del ladder (ver figura 17).

Figura 17. Proceso de descarga de ladder a PLC.



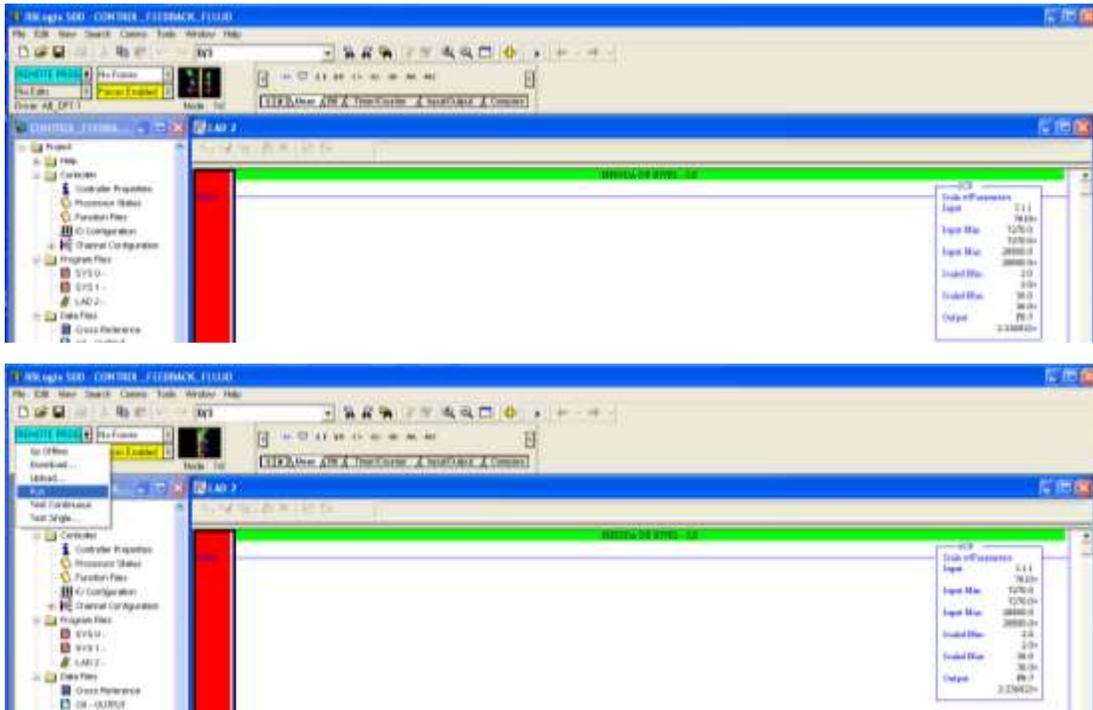
- Una vez terminado el proceso de descarga del ladder al *PLC*, se mostrará una ventana emergente preguntandole si desea poner en ejecución la logica de programación del ladder en el *PLC*. Usted debe dar clic en el botón *SI* (ver figura 18).

Figura 18. Aceptación para ejecutar el ladder en PLC.



- Luego de esto, se mostrará una ventana del programa *RSLogix 500*, en el ícono *REMOTE PROGRAM* le permite opciones para ejecutarlo, sacarlo de línea, descargar uno nuevo, entre otras. Usted deberá pulsar en *Run* (ver figura 19).

Figura 19. Aceptación para ejecutar el ladder en PLC.



Ahora debe cargar el supervisorio de la planta de tanques en serie, por tanto, sigue el siguiente procedimiento:

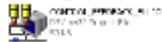
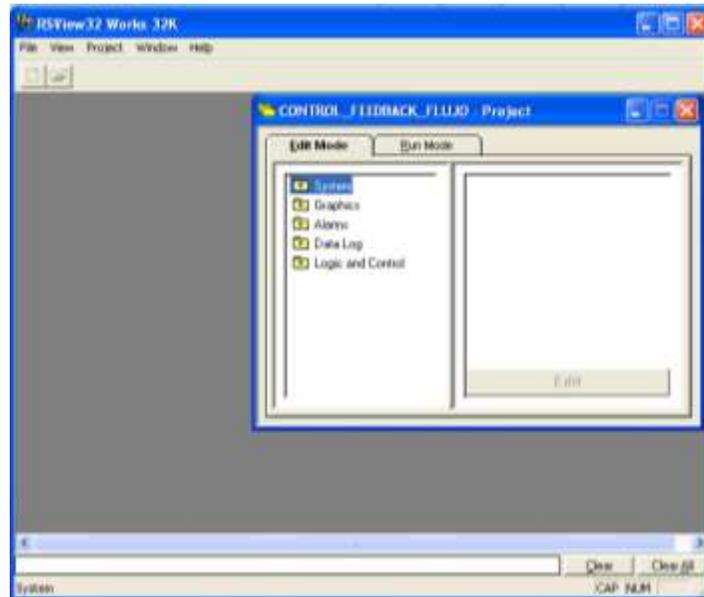
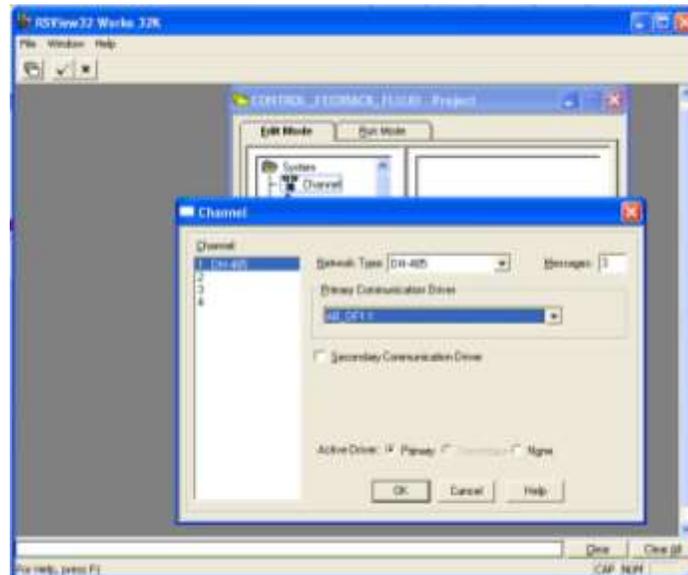
- Ir a la carpeta *Practica de control feedback de flujo* que se encuentra en el escritorio, entre a la carpeta *Interface*, y cargue el supervisorio llamado *CONTROL_FEEDBACK_FLUJO* o mejor dé clic en el icono 
- De inmediato se inicia el programa *RSView 32 Works 32K*. En la ventana emergente *CONTROL_FEEDBACK_FLUJO*, dé clic en la carpeta *System* para ver las opciones del sistema a ser configuradas (ver figura 20).

Figura 20. Run Mode del archivo interface.



- Diríjase al icono *Channel*, allí le mostrará información acerca del canal de comunicaciones creado como una red *tipo DH485* con el nombre que le dio al driver creado, recordemos que en este ejemplo se dejó el nombre que aparece por defecto, *AB_DF1-1*. Dé clic en el botón *OK* (ver figura 21).

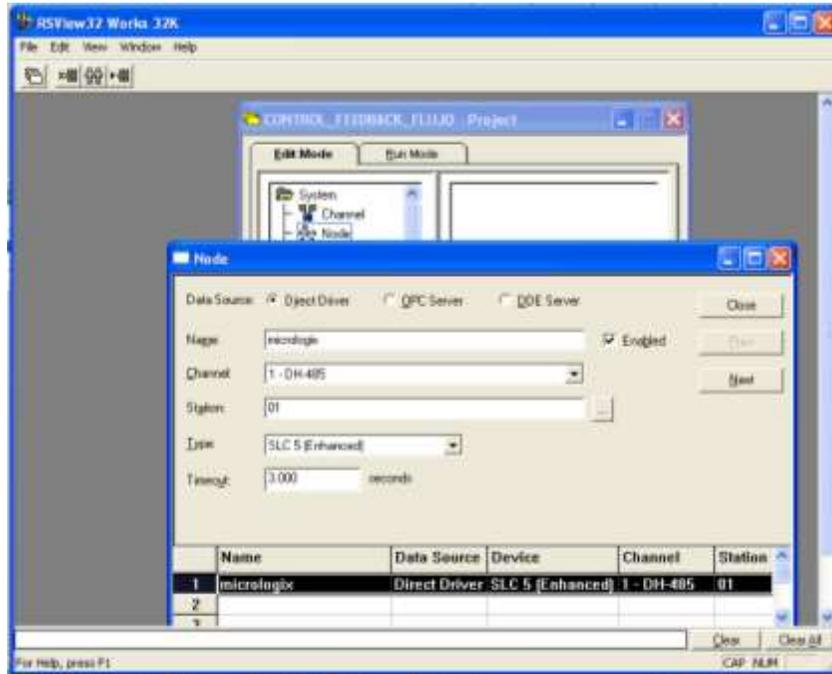
Figura 21 Configuración de canal.



- Ahora se debe verificar el nodo, para esto dé doble clic sobre el icono *Node*, allí encontrará información acerca del tipo de fuente de datos, tipo de canal, nombre del nodo y estación en la cual se encuentra el *PLC*, además se especifica el tipo de *PLC* en

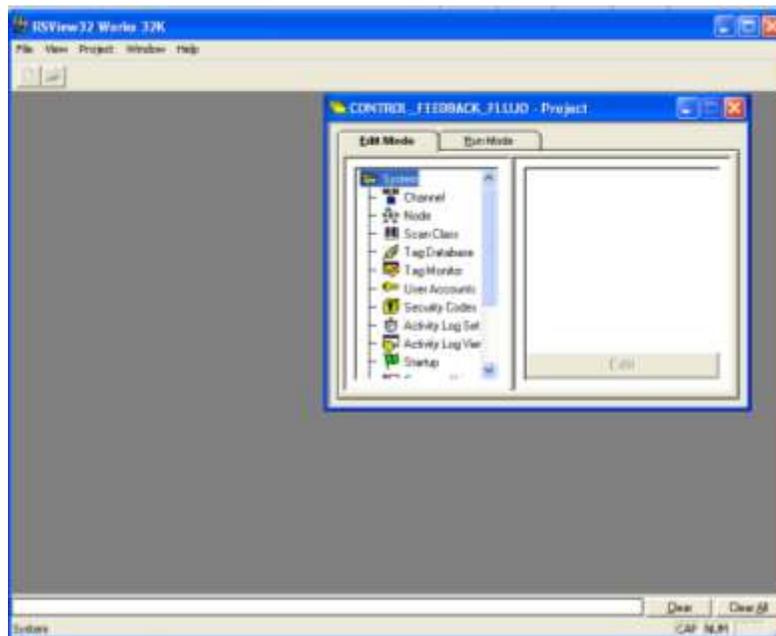
ejecución. En este ejemplo al nodo se le asignó el nombre “micrologix”. Dé clic en el botón *Close* (ver figura 22).

Figura 22. Configuración de nodo.



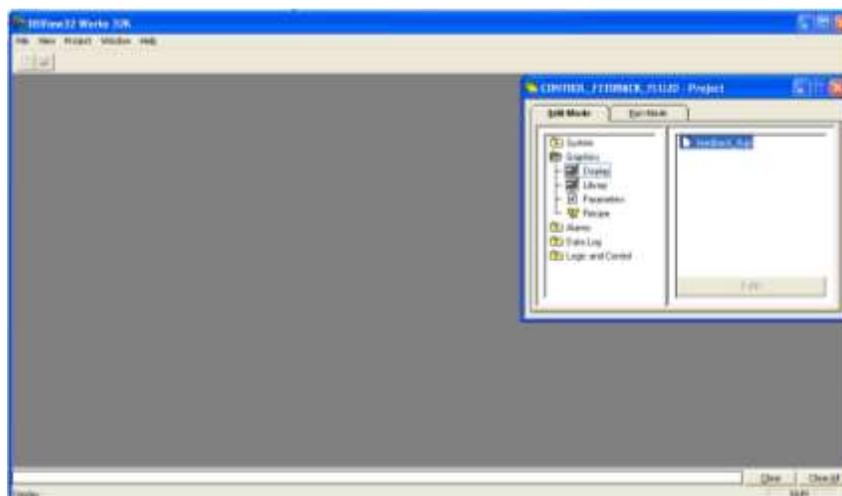
“NOTA: En la carpeta System además podrá encontrar información acerca de la base de datos de etiquetas, monitor de etiquetas, creación de cuentas para acceso al supervisorio, etc (ver figura 23)”.

Figura 23. Opciones de configuración de la carpeta *System*.



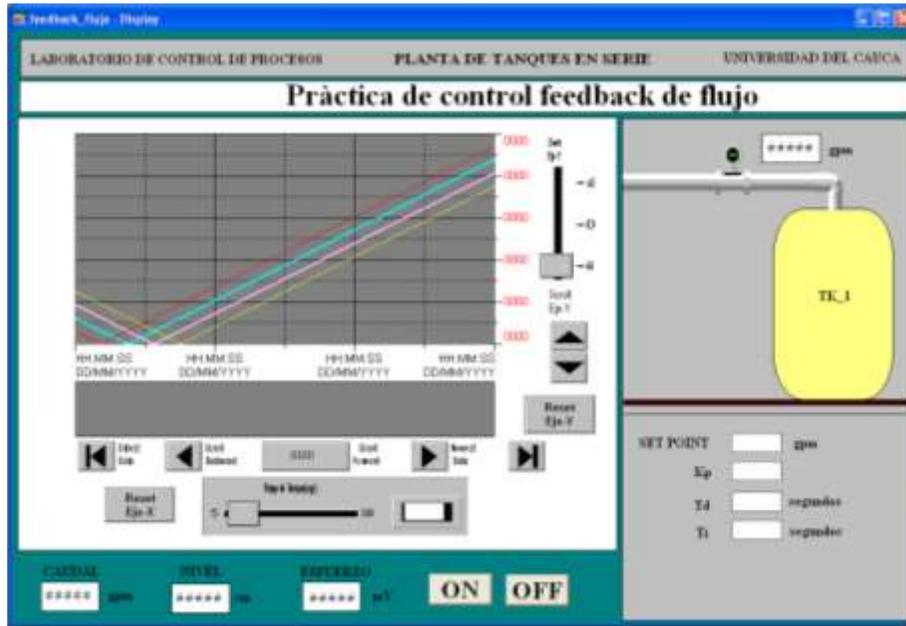
- Ahora minimice la carpeta “*System*” y abra la carpeta “*Graphics*”, allí encontrará información acerca del supervisorio propuesto, opciones de configuración para librería, parámetros y ventanas de supervisión. Seleccione el icono *Display*, enseguida del archivo *feedback_flujo* (ver figura 24).

Figura 24. Archivo de supervisorio propuesto.



- Aparecerá ventana emergente, con un gráfico de tendencias de variables, visualizadores numéricos para el flujo de líquido hacia el tanque TK1, el esfuerzo de control en mv y entradas numéricas (ver figura 25).

Figura 25. Archivo de supervisorio propuesto.



Para el desarrollo de esta práctica debe usar el mejor modelo obtenido de primer orden más tiempo muerto, a partir de la realización de la *práctica de identificación*. Deberá seguir el procedimiento de pruebas en la planta y finalmente deberá tabular los resultados obtenidos, además de apoyarse con imágenes para su posterior análisis, como se sigue:

1. A partir del mejor modelo obtenido, calcule por dos métodos de autores diferentes, las constantes para un controlador *PID*, para hacer el control de flujo en la planta.
2. En la siguiente tabla, ingrese los valores de las constantes calculadas. Diferenciando a cada autor.

Tabla 1. Constantes de PID calculadas.

AUTOR A:		AUTOR B:	
Kp		Kp	
Td		Td	
Ti		Ti	

3. Dé clic en el botón “play” ubicado en la parte superior de la barra de herramientas (*RSView32 Works*), enseguida del icono “guardar”; para poner en ejecución el supervisorio (ver figura 26).

Figura 26. Icono “play” en la barra de herramientas.



4. Cierre la válvula *HV6*, de manera que el flujo ascendente ingrese al tanque *TK1*.
5. Abra las válvulas *HV1* y *HV3*.
6. De acuerdo a las constantes calculadas por el método del *autor A*, dirijase al supervisorio propuesto para ingresar estos valores en las entradas numéricas *Kp*, *Td* y *Ti*, y fije el valor *set point* inicial de flujo en *4 gpm*.
7. Ahora encienda el *control feedback de flujo* pulsando el botón *ON* presente en el supervisorio.
8. Aplique un disturbio con *SV1* desde el panel frontal y obtenga la respuesta del controlador ante el disturbio.
9. Tome nota de los valores obtenidos en los visualizadores numéricos y guarde imágenes de la gráfica de tendencias de las variables.
10. Una vez suprimido el disturbio por *SV1*, aplique un nuevo disturbio con la válvula *SV3* y obtenga la respuesta del controlador ante el disturbio.
11. Repita el paso 9.
12. Tome nota de los valores obtenidos en los visualizadores numéricos y guarde imágenes de la gráfica de tendencias de las variables.
13. Ahora cambie el valor del *set point* de nivel a *6 gpm* y repita los pasos 8, 9, 10 y 11.
14. Nuevamente cambie el valor del *set point* de nivel a *8 gpm* y repita los pasos 8, 9, 10 y 11.
15. Ahora de acuerdo a las constantes calculadas por el método del *autor B*, dirijase al supervisorio propuesto para ingresar estos valores en las entradas numéricas *Kp*, *Td* y *Ti*, y fije el valor *set point* de flujo en *4 gpm*.
16. Repita los pasos 8, 9, 10 y 11.
17. Ahora cambie el valor del *set point* de nivel a *6 gpm* y repita los pasos 8, 9, 10 y 11.
18. Por último cambie el valor del *set point* de nivel a *8 gpm* y repita los pasos 8, 9, 10 y 11.
19. Pulse el botón *OFF* presente en el supervisorio para apagar el sistema.
20. Ahora dé clic en el botón “stop” ubicado en la parte superior de la barra de herramientas (*RSView32 Works*), está enseguida del icono “play”; para detener la ejecución del supervisorio (ver figura 27).

Figura 27. Icono “stop” en la barra de herramientas.



21. Consigne en una tabla, la información mostrada en los visualizadores numéricos del supervisorio, de manera que sea posible evidenciar las similitudes y diferencias al implementar un control *PID* con los valores de sus constantes calculados a partir de dos métodos de autores diferentes. Apoyese en imágenes y tablas para realizar el informe de la práctica según requerimientos del tutor.

Apagado de la planta de tanques en serie:

- Ponga en *off* la llave selectora *ON 24 VDC* de panel de control frontal (ver figura 27).
- Luego ponga en estado *off* la llave selectora *ON 110 VAC* de panel de control frontal (ver figura 27).

Figura 27. Llaves selectoras de panel de control frontal.



- Ahora ponga en estado *off* el breaker *F1* del panel de control oculto (ver figura 28).

Figura 28. Breaker F1 de panel de control oculto.



ANEXO K) Práctica de control feedback de nivel

Práctica de control feedback de nivel

Planta de tanques en serie - Laboratorio de control de procesos

Programa de Ingeniería en Automática Industrial

Universidad del Cauca

VERSION 1.0 2017

Revisado y corregido por ing. Francisco Franco web:

mgfranciscofranco.blogspot.com.co/



Introducción

La actual planta de tanques en serie permite realizar control feedback de nivel en el tanque TK2 (ver figura 1). Esto se hace en cuanto se mide el nivel alcanzado en el tanque por medio del transmisor de nivel ultrasónico LT, y se manipula el flujo de alimentación con la servoválvula LCV. Ello por medio de la acción de un controlador PID.

Objetivo

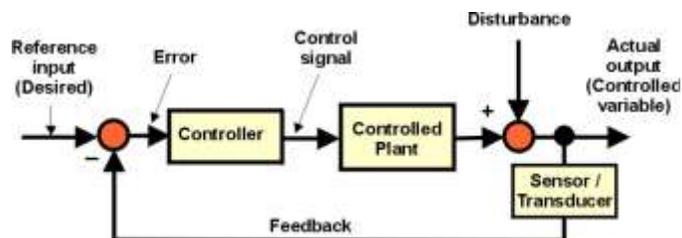
- Implementar un esquema de control feedback de nivel sobre la planta de tanques en serie, bajo un escenario de automatización basado en PLC.

Sistema de control feedback

El control realimentado es una operación que, en presencia de perturbaciones tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, realizándolo sobre la base de esta diferencia.

Se denomina sistema de control realimentado a aquel que tiende a mantener una relación preestablecida entre la salida y alguna entrada de referencia, comparándolas y utilizando la diferencia como medio de control (ver figura 1). Por ejemplo, el control de nivel de un tanque donde se mide el nivel alcanzado en el tanque por acción de un sensor, se compara esta señal de error dada por el sensor con el nivel de referencia (set point), el resultado se convierte en consigna para que la válvula regule el flujo de líquido hacia el tanque aumentando o disminuyendo su porcentaje de apertura para controlar el nivel.

Figura 1. Esquema de control feedback.

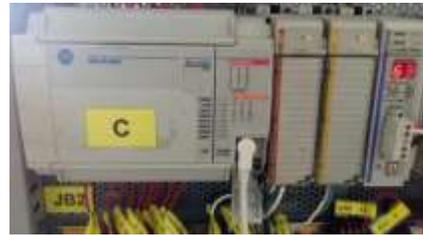


Procedimiento

En primera instancia, configure los mandos en el panel de control, atendiendo las siguientes especificaciones:

- Cerciórese que la planta se encuentra conectada a la línea de alimentación a 110 VAC.
- Confirme que el cable blanco de conexión serial del PLC, se encuentra conectado al ordenador (ver figura 1).

Figura 1. Conexión ordenador – PLC.



- Accione el *breaker* F1 en posición ON, en el panel de control oculto (ver figura 2).

Figura 2. Posición ON del breaker F1.



- Para energizar la planta, ubique en ON la llave selectora *S 110 VAC* (ver figura 3). Para energizar la instrumentación de la planta, ubique en ON la llave selectora *S 24 VDC* (ver figura 3).

Figura 3. Posición de llaves selectoras en panel frontal.



Para realizar la instalación del driver que permite la comunicación del ordenador con el PLC, siga los pasos:

- Inicie el ordenador de la planta con el sistema operativo *Windows*.
- Verifique que la llave selectora del PLC esté en modo remoto “*REM*”, ver figura 4.

Figura 4. Posición de llave selectora de PLC en panel oculto.



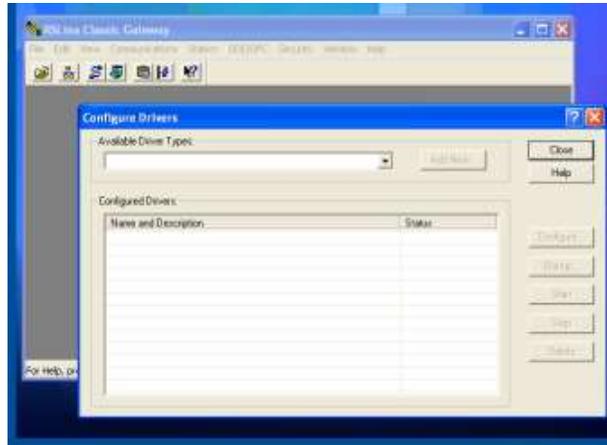
- Busque RSLinx Classic en la lista de programas e inícielo (ver figura 5).

Figura 5. RSLinx Clasic en ejecución.



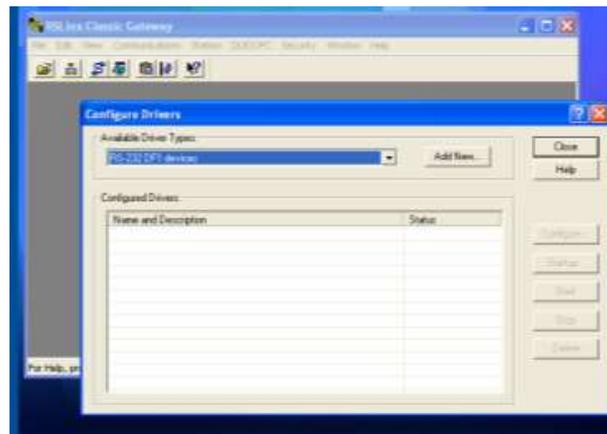
- Pulse en el icono *Configure Drivers* de la barra de herramientas del programa (ver figura 6).

Figura 6. Opción *Configure Drivers*.



- En la ventana emergente seleccione *RS-232DF1device* de las opciones que se despliegan en *Available Driver Types*, luego presionar *Add New* (ver figura 7).

Figura 7. Creación del driver.



- En la ventana desplegada asígnele un nombre al *driver*, o deje el nombre por defecto dando clic en *OK* (ver figura 8).

Figura 8. Nombre de driver creado, en este ejemplo se deja por defecto.



- En la siguiente ventana presione *Autoconfigure*, si la conexión entre el ordenador y el PLC es correcta, aparecerá el mensaje *Auto Configuration Successfully*. Luego dar *OK*. (Ver figura 9).

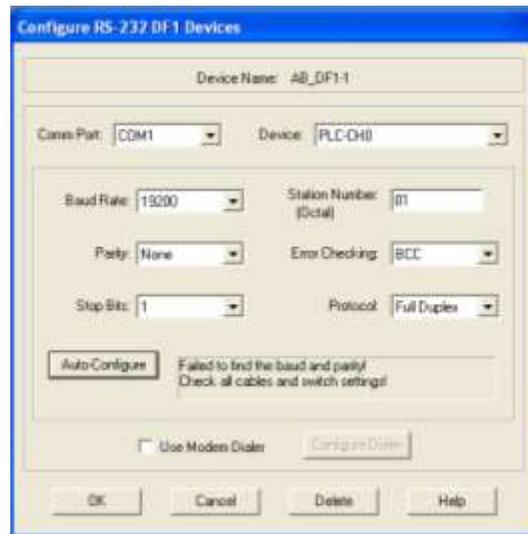
Figura 9. Nombre de driver creado, en este ejemplo se deja por defecto.



- Cierre la ventana *Configure drivers*.
- Minimice *RSLinx Classic*.
- De esta manera, se crea el driver de comunicación.

“NOTA: En caso contrario en que no aparezca el mensaje *Auto Configuration Successful*, ver figura 10”.

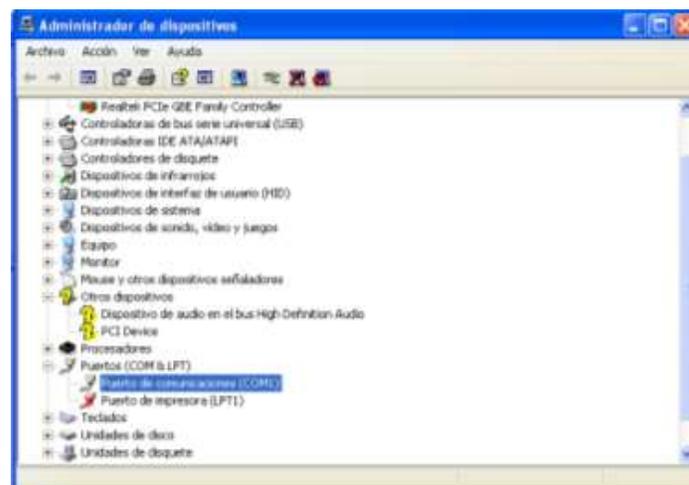
Figura 10. Falla en procedimiento anterior.



La falla podría deberse a que el PC aún no reconoce el puerto de comunicaciones COM1 (*por defecto*), o a que el cable serial no está bien conectado. Para solucionar esto deberá realizar el siguiente procedimiento:

- Verifique que el cable serial este bien conectado entre el PLC y el PC.
- Ingrese a *Panel de control*.
- Dé clic en *Mi PC*, luego *clic derecho* y elija *propiedades*.
- Ingresa a la opción *Hardware*.
- Presiona el botón *Administrador de dispositivos*.
- Luego de esto aparecerá una ventana emergente (ver figura 11).

Figura 11. Administrador de dispositivos.



- Se verifica en la opción *Puertos (COM & LPT)*, que aparece habilitado el puerto de comunicaciones por defecto “*COM1*”. (A menos que su conexión no sea serial, no debería aparecer otro puerto de comunicaciones diferente).
- Cerrar esta ventana y dirigirse nuevamente a la ventana emergente *Configure RS-232 DF1 Devices*.
- Elija el puerto *COM1*, y presione *Auto Configure*.
- Aparecerá la ventana emergente con el mensaje *Auto Configure Successful* (ver figura 12).

Figura 12. Creación exitosa de driver.



- Dé clic en OK, y aparecerá una ventana emergente con la información del driver creado (ver figura 13).

Figura 13. Nombre y descripción del driver creado.

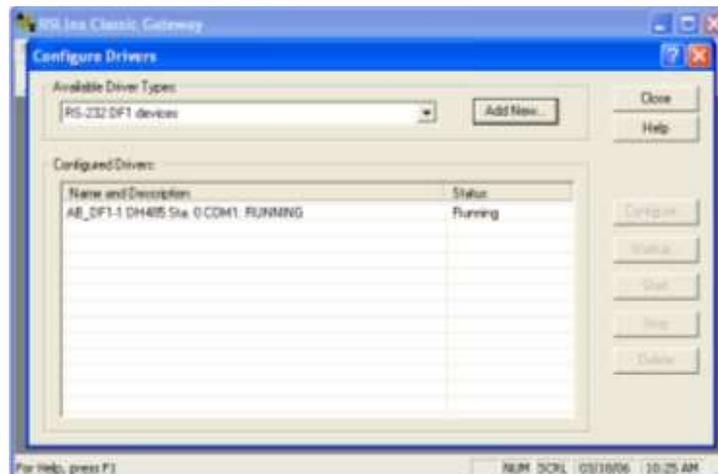
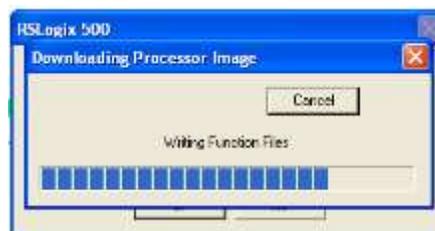


Figura 16. Aceptación para proceso de descarga de ladder.



- Dé clic en el botón *SI*, aparecerá una ventana emergente con la información de descarga del ladder (ver figura 17).

Figura 17. Proceso de descarga de ladder a PLC.



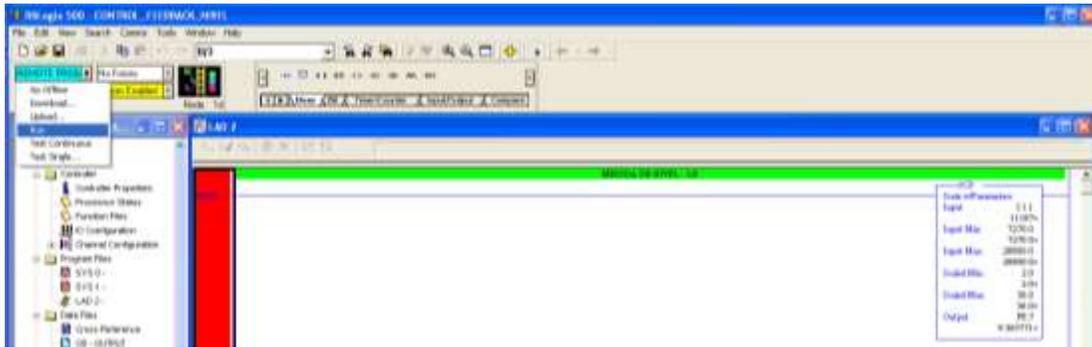
- Una vez terminado el proceso de descarga del ladder al *PLC*, se mostrará una ventana emergente preguntándole si desea poner en ejecución la lógica de programación del ladder en el *PLC*. Usted debe dar clic en el botón *SI* (ver figura 18).

Figura 18. Aceptación para ejecutar el ladder en PLC.



- Luego de esto, se mostrará una ventana del programa *RSLogix 500*, en el ícono *REMOTE PROGRAM* le permite opciones para ejecutarlo, sacarlo de línea, descargar uno nuevo, entre otras. Usted deberá pulsar en *Run* (ver figura 19).

Figura 19. Aceptación para ejecutar el ladder en PLC.



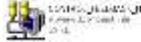
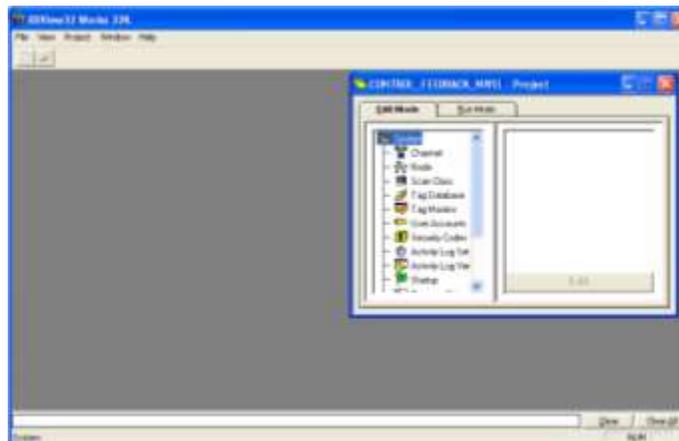
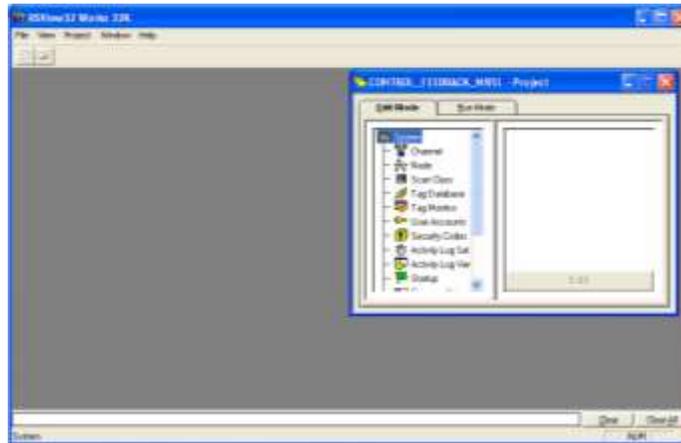
- Ahora debe cargar el supervisorio de la planta de tanques en serie, por tanto, siga el siguiente procedimiento:
- Ir a la carpeta *Practica de control feedback de nivel* que se encuentra en el escritorio, entre a la carpeta *Interface*, y cargue el supervisorio llamado *CONTROL_FEEDBACK_NIVEL* o mejor dé clic en el icono 
- De inmediato se inicia el programa *RSView 32 Works 32K*. En la ventana emergente *INTERFACE*, dé clic en la carpeta *System* para ver las opciones del sistema a ser configuradas (ver figura 20).

Figura 20. Run Mode del archivo CONTROL_FEEDBACK_NIVEL.



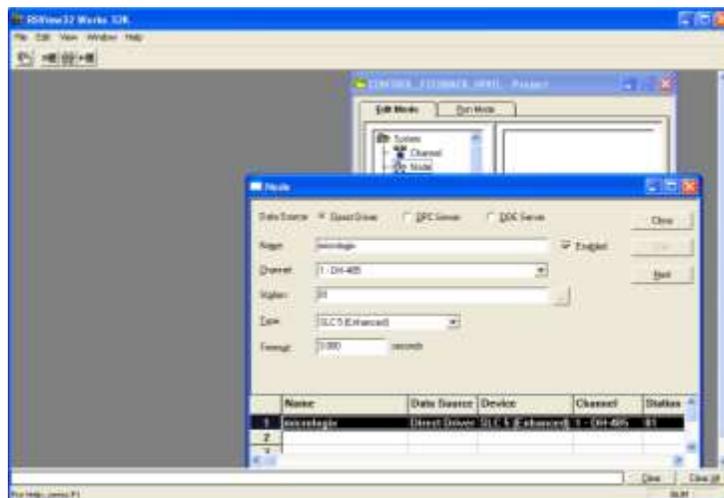
- Diríjase al icono *Channel*, allí le mostrará información acerca del canal de comunicaciones creado como una red *tipo DH485* con el nombre que le dio al driver creado, recordemos que en este ejemplo se dejó el nombre que aparece por defecto, *AB_DF1-1*. Dé clic en el botón *OK*. (Ver figura 21).

Figura 21. Configuración de canal.



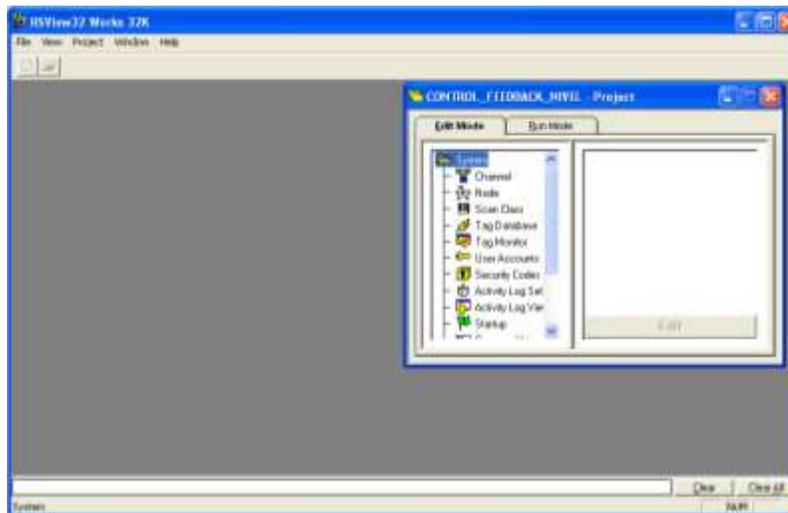
- Ahora se debe verificar el nodo, para esto dé doble clic sobre el icono *Node*, allí encontrará información acerca del tipo de fuente de datos, tipo de canal, nombre del nodo y estación en la cual se encuentra el PLC, además se especifica el tipo de PLC en ejecución. En este ejemplo al nodo se le asignó el nombre “micrologix”. Dé clic en el botón *Close*. (Ver figura 22).

Figura 22. Configuración de nodo.



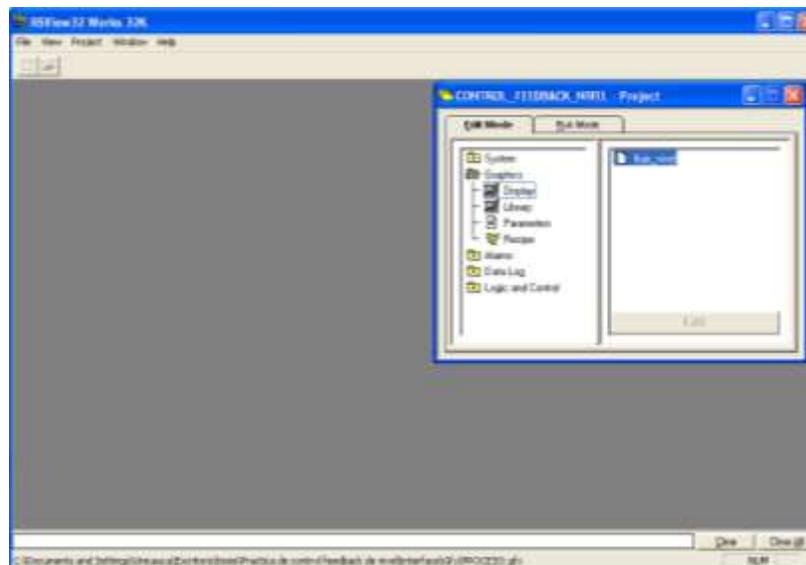
“NOTA: En la carpeta System además podrá encontrar información acerca de la base de datos de etiquetas, monitor de etiquetas, creación de cuentas para acceso al supervisorio, etc. (ver figura 23)”.

Figura 23. Opciones de configuración de la carpeta *System*.



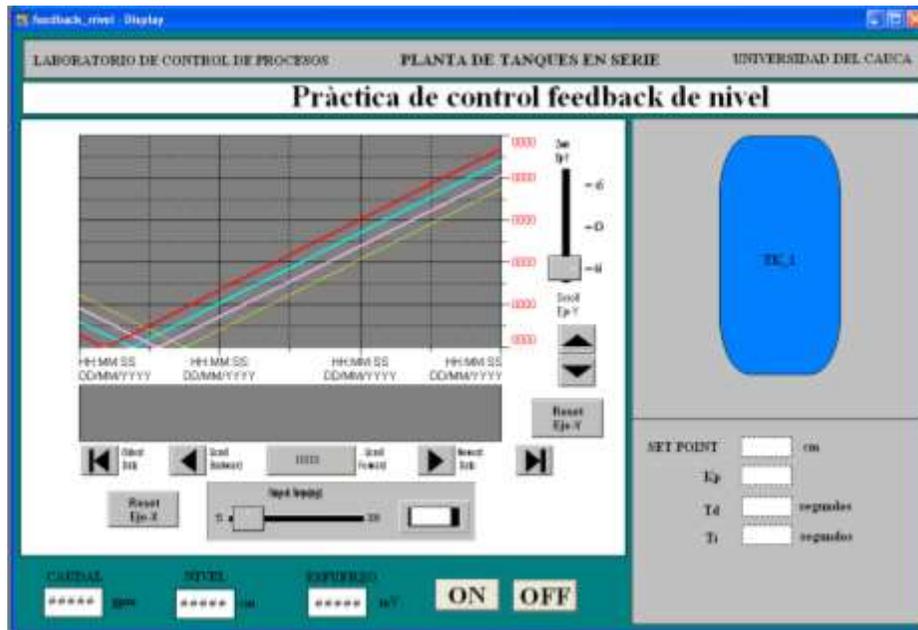
- Ahora minimice la carpeta “*System*” y abra la carpeta “*Graphics*”, allí encontrará información acerca del supervisorio propuesto, opciones de configuración para librería, parámetros y ventanas de supervisión. Seleccione el icono *Display*, enseguida del archivo *flujo_nivel* (ver figura 24).

Figura 24. Archivo de supervisorio propuesto.



- Aparecerá una ventana emergente, con un gráfico de tendencias de variables, visualizadores numéricos para el flujo de líquido hacia el tanque *TK2*, nivel alcanzado, esfuerzo de control en mv, además de entradas numéricas (ver figura 25).

Figura 25. Supervisorio propuesto en detalle.



- Para el desarrollo de esta práctica debe usar el mejor modelo obtenido de primer orden más tiempo muerto, a partir de la realización de la práctica de identificación. Deberá seguir el procedimiento de pruebas en la planta y finalmente deberá tabular los resultados obtenidos, además de apoyarse con imágenes para su posterior análisis, como se sigue:
 1. A partir del mejor modelo obtenido, calcule por dos métodos de autores diferentes, las constantes para un controlador *PID*, para hacer el control de nivel en la planta.
 2. En la siguiente tabla, ingrese los valores de las constantes calculadas. Diferenciando a cada autor.

Tabla 1. Constantes de PID calculadas.

AUTOR A:		AUTOR B:	
Kp		Kp	
Td		Td	
Ti		Ti	

3. Dé clic en el botón “play” ubicado en la parte superior de la barra de herramientas (*RSView32 Works*), enseguida del icono “guardar”; para poner en ejecución el supervisorio (ver figura 26).

Figura 26. Icono “play” en la barra de herramientas.



4. Abra la válvula *HV6*, de manera que el flujo ascendente ingrese al tanque *TK2*.
5. Cierre la válvula *HVI*, de manera que se permita el llenado del tanque *TK2* más rápido.
6. De acuerdo a las constantes calculadas por el método del *autor A*, dirijase al supervisorio propuesto para ingresar estos valores en las entradas numéricas *Kp*, *Td* y *Ti*, y fije el valor *set point* inicial de nivel en *15cm*.
7. Ahora encienda el *control feedback de nivel* pulsando el botón *ON* presente en el supervisorio.
8. Aplique un disturbio con *SV2* desde el panel frontal y obtenga la respuesta del controlador ante el disturbio.
9. Tome nota de los valores obtenidos en los visualizadores numéricos y guarde imágenes de la gráfica de tendencias de las variables.
10. Una vez suprimido el disturbio por *SV2*, abra la válvula *HVI* de manera que se aplique un disturbio paulatinamente y obtenga la respuesta del controlador ante el disturbio.
11. Repita el paso 9.
12. Ahora cambie el valor del *set point* de nivel a *30cm* y repita los pasos 8, 9, 10 y 11.
13. Nuevamente cambie el valor del *set point* de nivel a *40cm* y repita los pasos 8, 9, 10 y 11.
14. Ahora de acuerdo a las constantes calculadas por el método del *autor B*, dirijase al supervisorio propuesto para ingresar estos valores en las entradas numéricas *Kp*, *Td* y *Ti*, y fije el valor *set point* inicial de nivel en *15cm*.
15. Repita los pasos 8, 9, 10 y 11.
16. Ahora cambie el valor del *set point* de nivel a *30cm* y repita los pasos 8, 9, 10 y 11.
17. Por último cambie el valor del *set point* de nivel a *40cm* y repita los pasos 8, 9, 10 y 11.
18. Pulse el botón *OFF* presente en el supervisorio para apagar el sistema.
19. Ahora dé clic en el botón “*stop*” ubicado en la parte superior de la barra de herramientas (*RSView32 Works*), está enseguida del icono “*play*”; para detener la ejecución del supervisorio (ver figura 27).

Figura 27 Icono “stop” en la barra de herramientas.



- Consigne en una tabla, la información mostrada en los visualizadores numéricos del supervisor, de manera que sea posible evidenciar las similitudes y diferencias al implementar un control *PID* con los valores de sus constantes calculados a partir de dos métodos de autores diferentes. Apoyese en imágenes y tablas para realizar el informe de la práctica según requerimientos del tutor.

Apagado de la planta de tanques en serie:

- Ponga en *off* la llave selectora *ON 24 VDC* de panel de control frontal (ver figura 28).
- Luego ponga en estado *off* la llave selectora *ON 110 VAC* de panel de control frontal (ver figura 28).
- Ahora ponga en estado *off* el breaker F1 del panel de control oculto (ver figura 29).

Figura 28. Llaves selectoras de panel de control frontal.



Figura 29. Breaker F1 de panel de control oculto.



ANEXO L) Práctica de control cascada

Práctica de control cascada de nivel

Planta de tanques en serie - Laboratorio de control de procesos

Programa de Ingeniería en Automática Industrial

Universidad del Cauca

VERSION 1.0 2017

Revisado y corregido por ing. Francisco Franco web:
mgfranciscofranco.blogspot.com.co/



Introducción

El control cascada es un esquema de control que presenta ventajas en el comportamiento de variables, este disminuye el efecto de la propagación de disturbios en las variables manipuladas y acentúa el esfuerzo de control asegurando una minimización del consumo energético en la corrección de disturbios.

La planta de tanques en serie permite realizar control cascada de nivel en el tanque TK2 (ver figura 1). En el cual se mide el nivel del tanque por medio del sensor ultrasónico de nivel LE, se mide el flujo con el transmisor de flujo por diferencial de presión FIT y el sensor transmisor de flujo FE, y se manipula el flujo de alimentación con la apertura de la servoválvula LCV. Esto mediante acción del controlador PID, para el lazo interno (control de flujo), y lazo externo (control de nivel).

Objetivo

- Implementar un esquema de control cascada sobre la planta de tanques en serie, bajo un escenario de automatización basado en PLC.

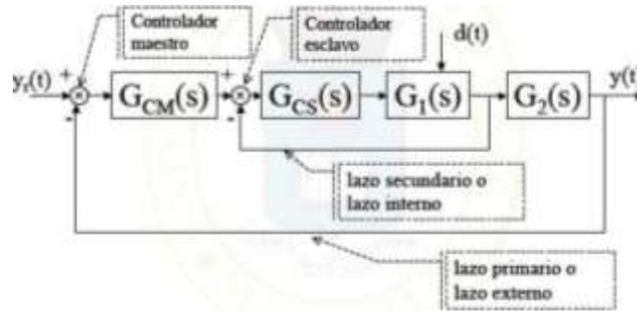
Control en cascada

Se define como la configuración donde la salida de un controlador de realimentación es el punto de ajuste para otro controlador de realimentación, por lo menos. Más exactamente, el control de cascada involucra sistemas de control de realimentación o circuitos que estén ordenados uno dentro del otro. Existen dos propósitos para usar control cascada:

1. Eliminar el efecto de algunas perturbaciones haciendo la respuesta de regulación del sistema más estable y más rápido.
2. Mejorar la dinámica del lazo de control.

La estructura de control en cascada tiene dos lazos un lazo primario con un controlador primario también llamado “maestro” y un lazo secundario con un controlador secundario también denominado “esclavo”, siendo la salida del primario el punto de consigna del controlador secundario La salida del controlador secundario es la que actúa sobre el proceso (ver figura).

Figura 1. Esquema de control cascada.



Ventajas del control en cascada.

- Produce estabilidad en la operación.
- Las perturbaciones en el lazo interno o secundario son corregidas por el controlador secundario, antes de que ellas puedan afectar a la variable primaria.
- Cualquier variación en la ganancia estática de la parte secundaria del proceso es compensada por su propio lazo.
- Las constantes de tiempo asociadas al proceso secundario son reducidas drásticamente por el lazo secundario.
- El controlador primario recibe ayuda del controlador secundario para lograr una gran reducción en la variación de la variable primaria.
- Es menos sensible a errores de modelado.
- Incremento de la capacidad de producción.

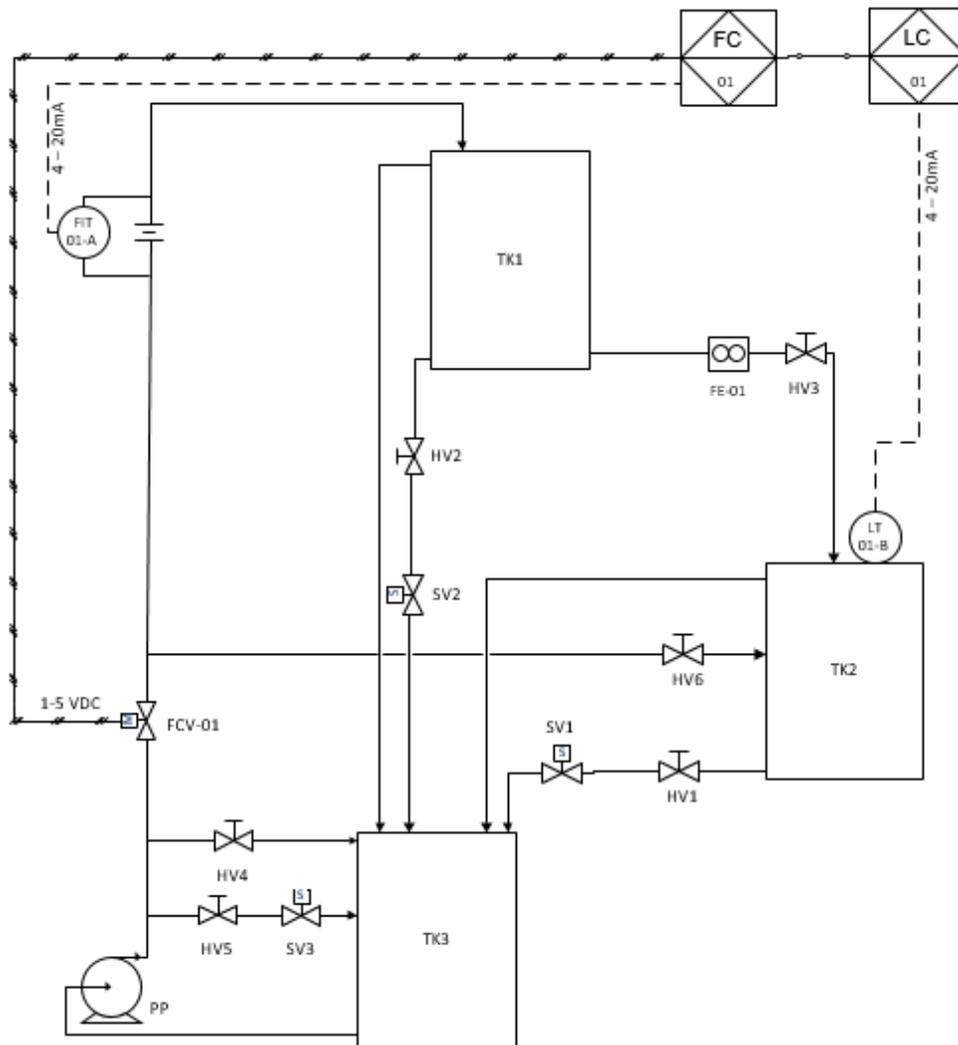
Limitaciones de aplicación del control en cascada.

- Es aplicable solo cuando pueden obtenerse mediciones de variables adicionales de proceso.
- Requiere medir las perturbaciones en forma explícita, y además es necesario un modelo para calcular la salida del controlador.
- En algunas aplicaciones la variable controlada no puede medirse y la realimentación no puede realizarse.

Para este caso de aplicación, se mide el nivel alcanzado en el tanque TK2 por medio del transmisor de nivel ultrasónico LT y se mide el flujo de ingreso hacia el tanque TK1 con el transmisor de flujo por diferencial de presión FIT.

Se hace una primera comparación para el lazo interno (control de flujo) entre el flujo medido por FIT y el valor de referencia o set point de flujo; de manera que la señal de salida en unidades de flujo, se convierte en la variable manipulada para el lazo externo (control de nivel), así que se hace una segunda comparación entre el valor de referencia o set point de nivel con el valor de nivel alcanzado en el tanque sensado por LT. Por acción del controlador PID (tanto para el lazo interno como externo), se manipula el flujo de alimentación hacia el tanque TK1 mediante el porcentaje de apertura de la servoválvula LCV, esto para hacer control de flujo y posteriormente de nivel.

Figura 2. Diagrama P&ID – Planta de tanques en serie en esquema de control cascada.



Procedimiento

Antes de iniciar se deben hacer los cálculos de las ganancias de los controladores para el lazo interno y lazo externo del control cascada. Para esto tome los modelos de flujo y de nivel obtenidos en la *práctica de identificación* y aplique las técnicas de cálculo de las ganancias de los controladores configurando el lazo interno como un controlador proporcional y el lazo externo como un PID. Ubique en una tabla las ganancias de los controladores con sus respectivas unidades de ingeniería. En el informe se debe explicar la metodología para el cálculo de estas ganancias a partir del modelo de la planta.

En primera instancia, configure los mandos en el panel de control, atendiendo las siguientes especificaciones:

- Cerciórese que la planta se encuentra conectada a la línea de alimentación a 110 VAC.
- Confirme que el cable blanco de conexión serial del PLC, se encuentra conectado al ordenador (ver figura 1).

Figura 1. Conexión ordenador – PLC.



- Accione el *breaker* F1 en posición ON, en el panel de control oculto (ver figura 2).

Figura 2. Posición ON del breaker F1.



- Para energizar la planta, ubique en ON la llave selectora *S 110 VAC* (ver figura 3).
- Para energizar la instrumentación de la planta, ubique en ON la llave selectora *S 24 VDC* (ver figura 3).

Figura 3. Posición de llaves selectoras en panel frontal.



Para realizar la instalación del driver que permite la comunicación del ordenador en el PLC, siga los pasos:

- Inicie el ordenador de la planta con el sistema operativo *Windows*.
- Verifique que la llave selectora del PLC esté en modo remoto “*REM*” (ver figura 4).

Figura 4. Posición de llave selectora de PLC en panel oculto.



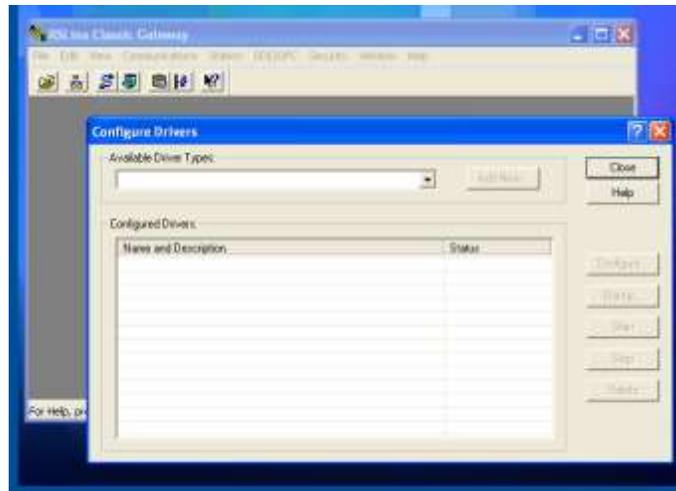
- Busque RSLinx Classic en la lista de programas e inícielo (ver figura 5).

Figura 5. RSLinx Clasic en ejecución.



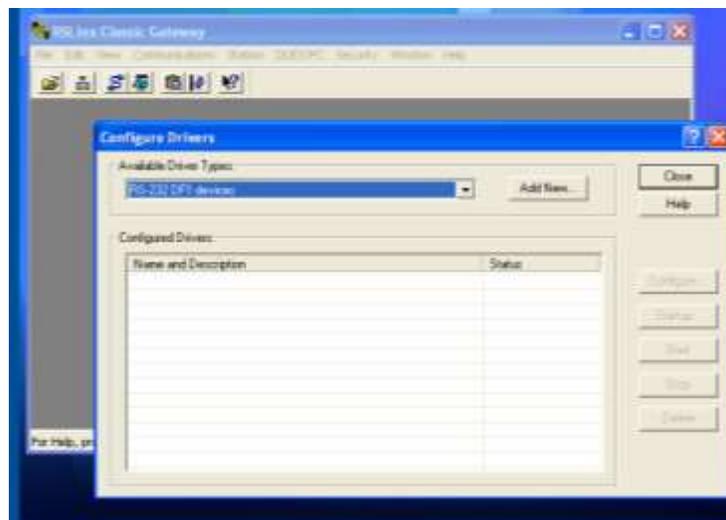
- Pulse en el icono *Configure Drivers* de la barra de herramientas del programa (ver figura 6).

Figura 6. Opción *Configure Drivers*.



- En la ventana emergente seleccione *RS-232DF1device* de las opciones que se despliegan en *Available Driver Types*, luego presionar *Add New* (ver figura 7).

Figura 7. Creación del driver.



- En la ventana desplegada asígnele un nombre al *driver*, o deje el nombre por defecto dando clic en *OK* (ver figura 8).

Figura 8. Nombre de driver creado, en este ejemplo se deja por defecto.



- En la siguiente ventana presione *Autoconfigure*, si la conexión entre el ordenador y el PLC es correcta, aparecerá el mensaje *Auto Configuration Successful*. Luego dar *OK* (ver figura 9).

Figura 9. Nombre de driver creado, en este ejemplo se deja por defecto.

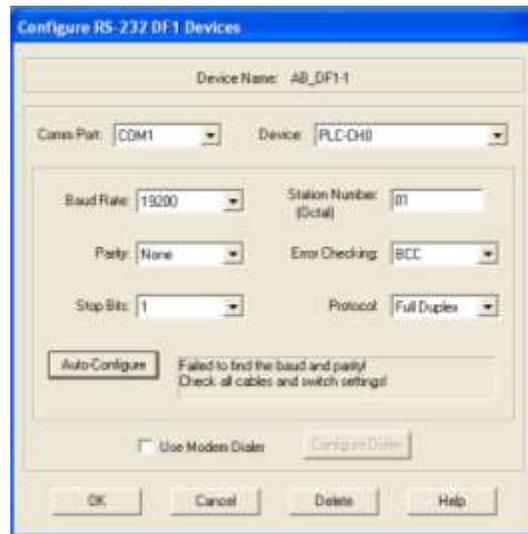


- Cierre la ventana *Configure drivers*.
- Minimice *RSLinx Classic*.

De esta manera, se crea el driver de comunicación.

“NOTA: En caso contrario en que no aparezca el mensaje *Auto Configure Successful*, ver figura 10”.

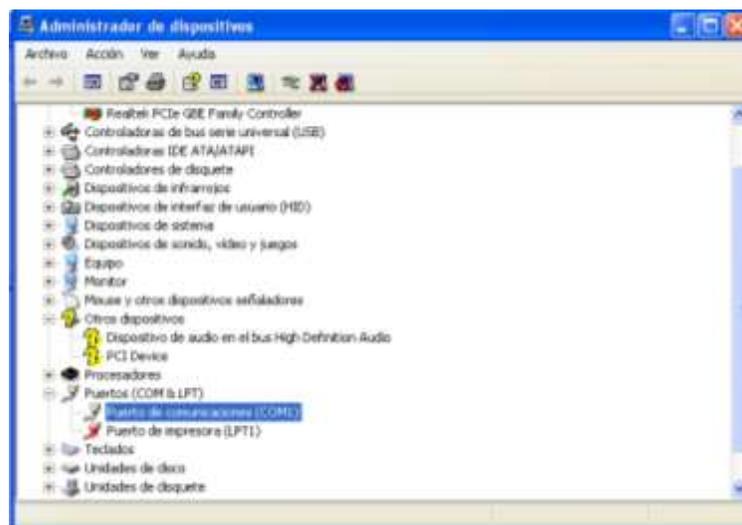
Figura 10. Falla en procedimiento anterior.



La falla podría deberse a que el PC aún no reconoce el puerto de comunicaciones COM1 (*por defecto*), o a que el cable serial no está bien conectado. Para solucionar esto deberá realizar el siguiente procedimiento:

- Verifique que el cable serial este bien conectado entre el PLC y el PC.
- Ingrese a *Panel de control*.
- Dé clic en *Mi PC*, luego *clic derecho* y elija *propiedades*.
- Ingresa a la opción *Hardware*.
- Presiona el botón *Administrador de dispositivos*.
- Luego de esto aparecerá una ventana emergente (ver figura 11).

Figura 11. Administrador de dispositivos.



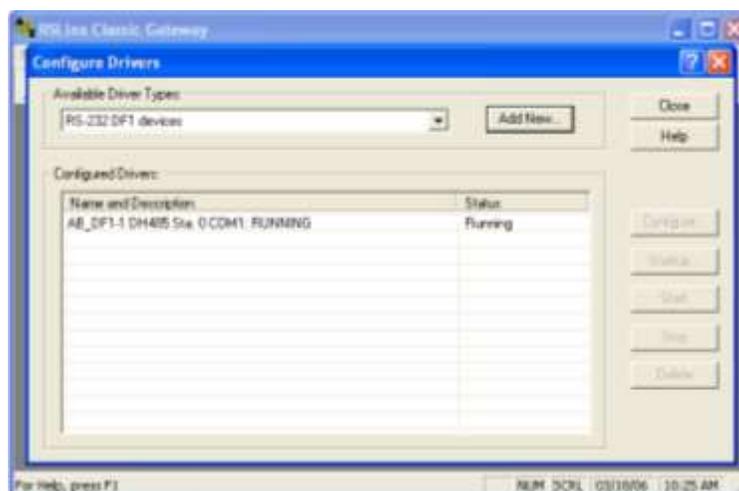
- Se verifica en la opción *Puertos (COM & LPT)*, que aparece habilitado el puerto de comunicaciones por defecto “*COM1*”. (A menos que su conexión no sea serial, no debería aparecer otro puerto de comunicaciones diferente).
- Cerrar esta ventana y dirigirse nuevamente a la ventana emergente *Configure RS-232 DF1 Devices*.
- Elija el puerto *COM1*, y presione *Auto Configure*.
- Aparecerá la ventana emergente con el mensaje *Auto Configure Successful* (ver figura 12).

Figura 12. Creación exitosa de driver.



- Dé clic en OK, y aparecerá una ventana emergente con la información del driver creado (ver figura 13).

Figura 13. Nombre y descripción del driver creado.

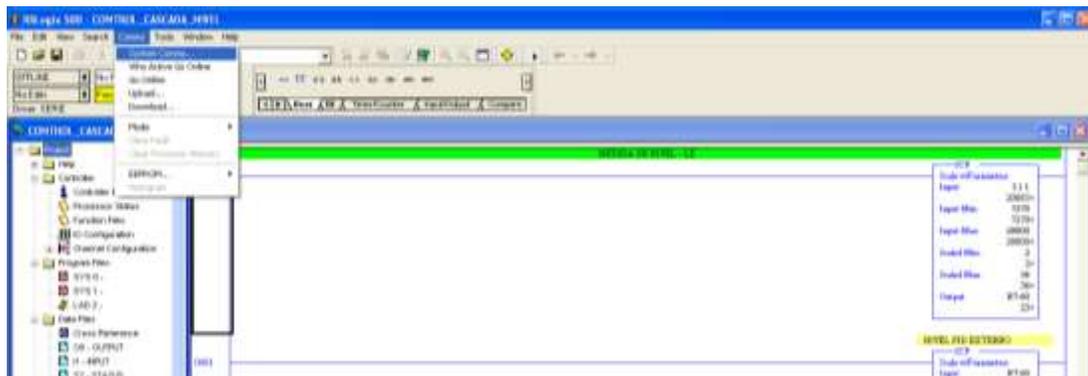


- En la Figura 13 es posible ver que en la ventana emergente *Configure Drivers* de “RS Linx Classic Gateway” está en ejecución el driver que acabo de crear. Puede dar clic en cerrar y puede cerrar o minimizar las ventanas emergentes.

En seguida se procede a cargar un programa en el PLC:

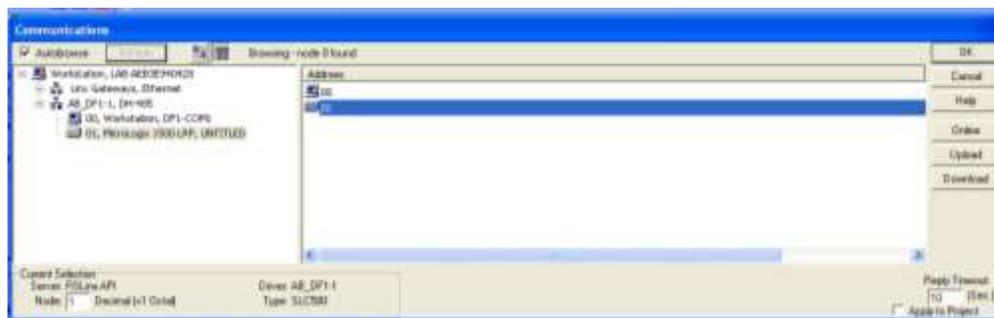
- Diríjase al escritorio del ordenador y busque la carpeta *Practica de control cascada de nivel*, allí encontrará los archivos ladder y la subcarpeta “*interface*”, la cual contiene el supervisorio propuesto.
- Abra el archivo “*CONTROL_CASCADA_NIVEL*”. De inmediato se inicia el programa *RSLinx 500* y podrá ver el ladder propuesto para hacer control cascada de nivel sobre el tanque TK2.
- Diríjase a la opción *Comms* de la barra de herramientas del programa, luego elija *System Comms* (ver figura 14).

Figura 14 System Comms.



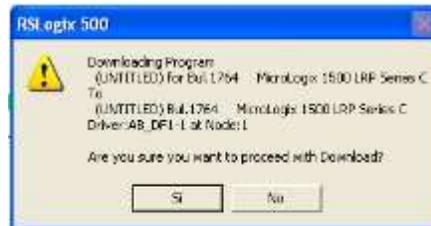
- En la ventana emergente *Communications* dé clic en “*AB_DF-1, DH485*” y selecciona la estación “*01*” (*por defecto*) que indica la ubicación del PLC creado con el driver de *RSLinx Classic* (ver figura 15).

Figura 15. Communications.



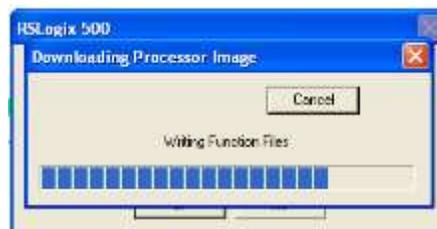
- Dé clic en la opción *Apply to Project* en seguida del botón *Download*, entonces se desplegará una ventana (ver figura 16).

Figura 16. Aceptación para proceso de descarga de ladder.



- Dé clic en el botón *SI*, aparecerá una ventana emergente con la información de descarga del ladder (ver figura 17).

Figura 17. Proceso de descarga de ladder a PLC.



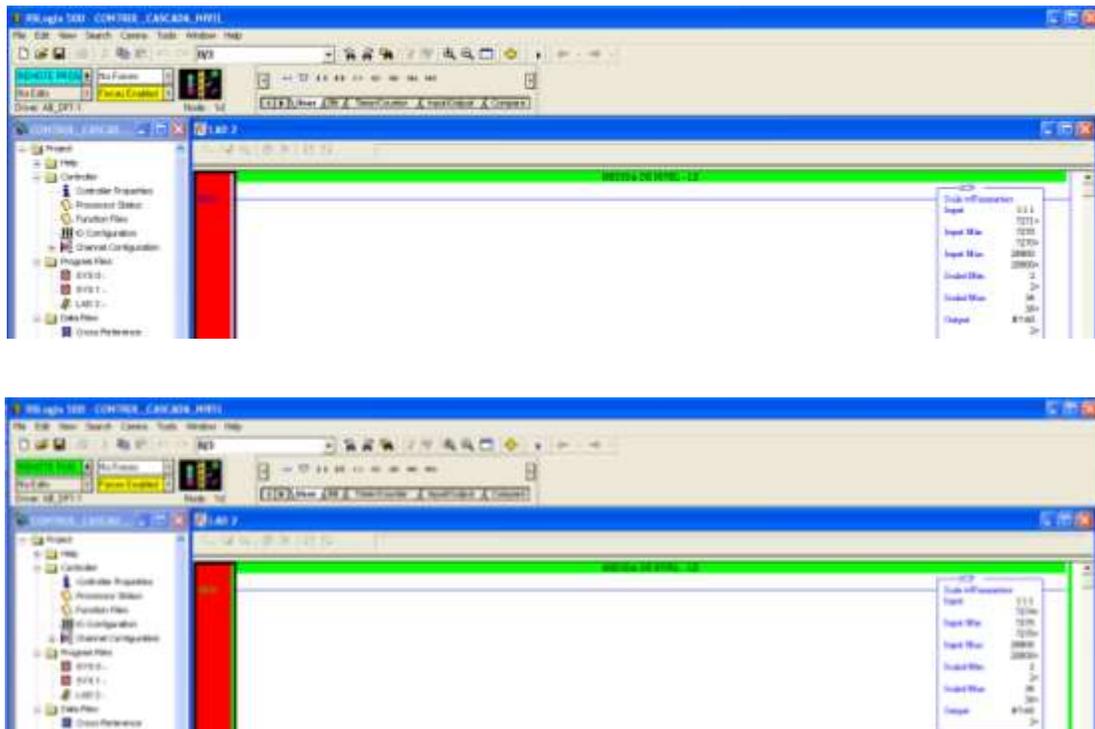
- Una vez terminado el proceso de descarga del ladder al *PLC*, se mostrará una ventana emergente preguntándole si desea poner en ejecución la lógica de programación del ladder en el *PLC*. Usted debe dar clic en el botón *SI* (ver figura 18).

Figura 18. Aceptación para ejecutar el ladder en PLC.



- Luego de esto, se mostrará una ventana del programa *RSLogix 500*, en el ícono *REMOTE PROGRAM* le permite opciones para ejecutarlo, sacarlo de línea, descargar uno nuevo, entre otras. Usted deberá pulsar en *Run* (ver figura 19).

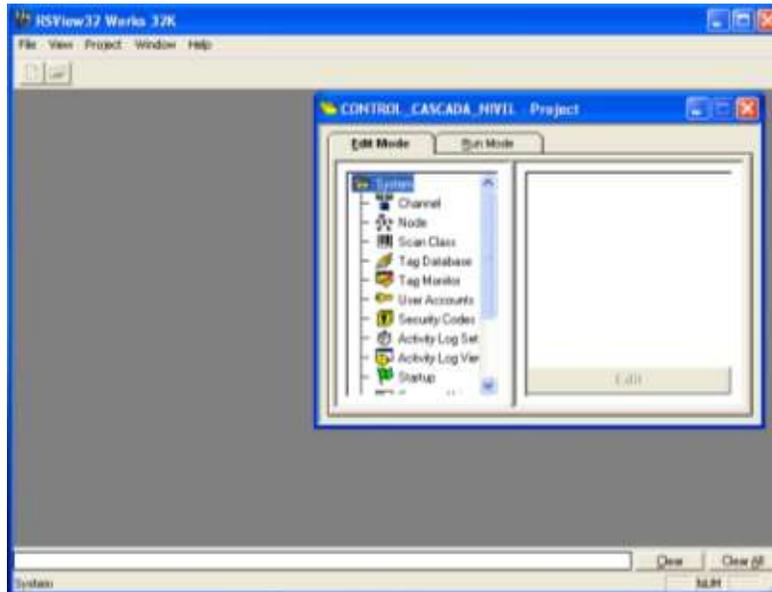
Figura 19. Aceptación para ejecutar el ladder en PLC.



Ahora debe cargar el supervisorio de la planta de tanques en serie, por tanto, siga el siguiente procedimiento:

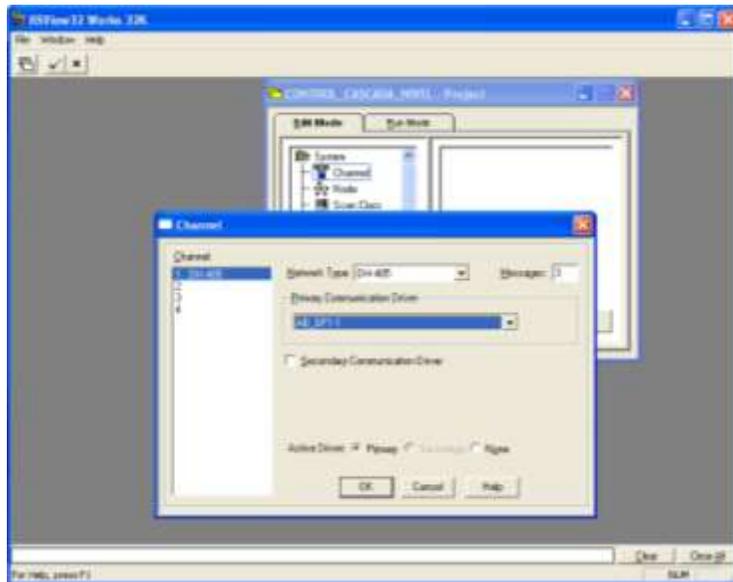
- Ir a la carpeta *Practica de control cascada de nivel* que se encuentra en el escritorio, entre a la carpeta *Interface*, y cargue el supervisorio llamado *CONTROL_CASCADA_NIVEL* o mejor dé clic en el icono 
- De inmediato se inicia el programa *RSView 32 Works 32K*. En la ventana emergente *INTERFACE*, dé clic en la carpeta *System* para ver las opciones del sistema a ser configuradas (ver figura 20).

Figura 20. Run Mode de CONTROL_CASCADA_NIVEL.



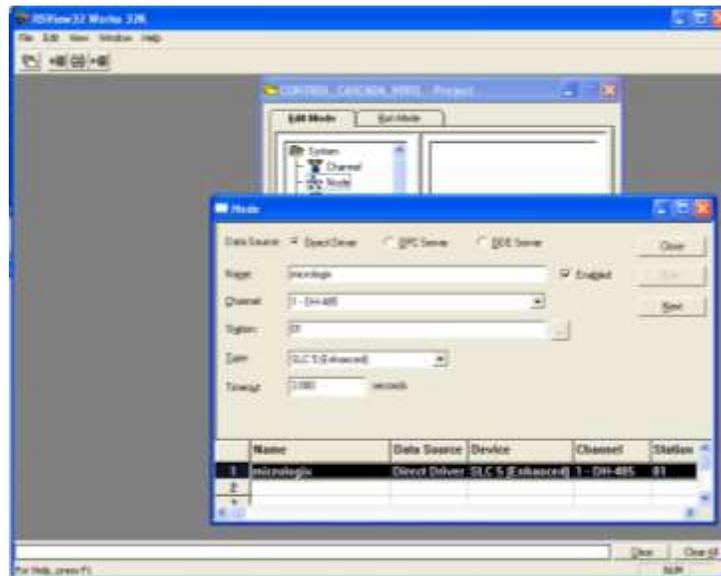
- Diríjase al icono *Channel*, allí le mostrará información acerca del canal de comunicaciones creado como una red *tipo DH485* con el nombre que le dio al driver creado, recordemos que en este ejemplo se dejó el nombre que aparece por defecto, *AB_DF1-1*. Dé clic en el botón *OK* (ver figura 21).

Figura 21. Configuración de canal.



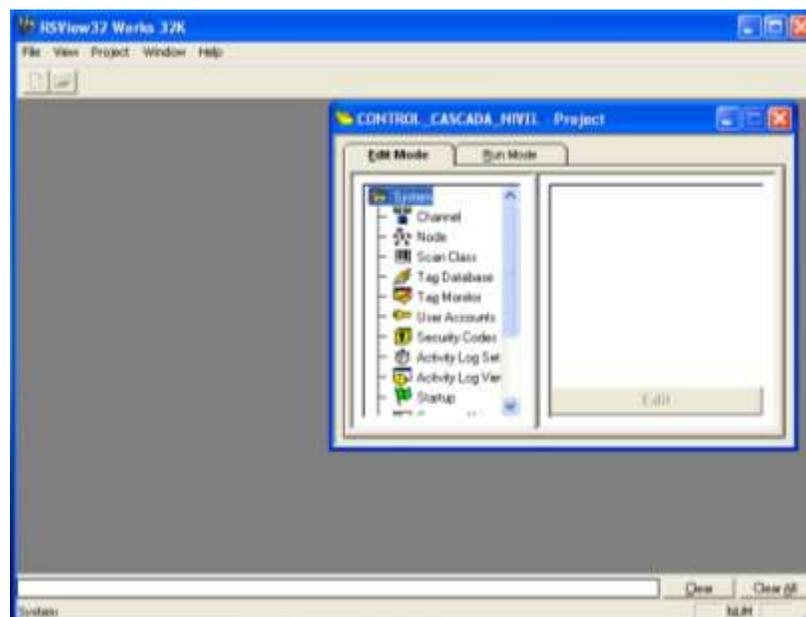
- Ahora se debe verificar el nodo, para esto dé doble clic sobre el icono *Node*, allí encontrará información acerca del tipo de fuente de datos, tipo de canal, nombre del nodo y estación en la cual se encuentra el *PLC*, además se especifica el tipo de *PLC* en ejecución. En este ejemplo al nodo se le asignó el nombre *“micrologix”*. Dé clic en el botón *Close* (ver figura 22).

Figura 22. Configuración de nodo.



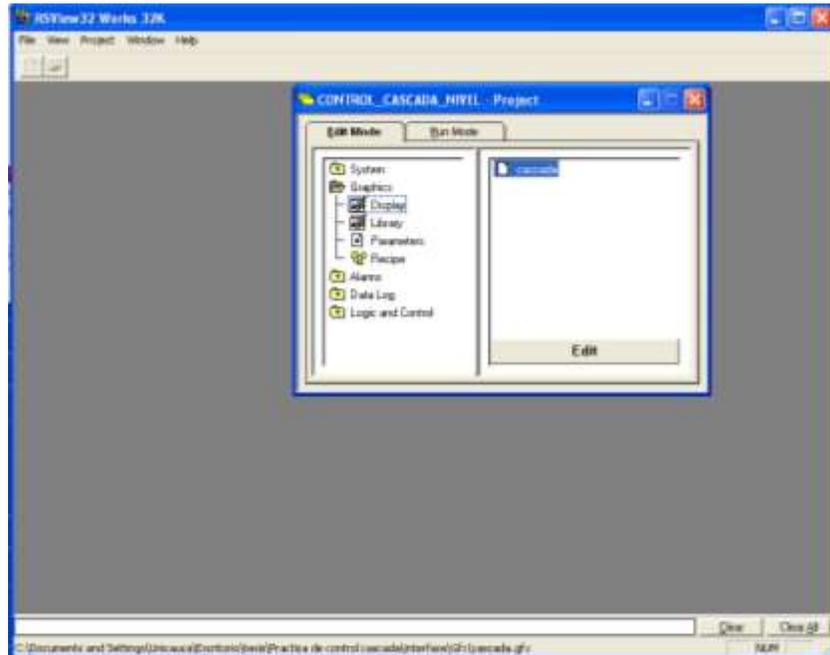
“NOTA: En la carpeta System además podrá encontrar información acerca de la base de datos de etiquetas, monitor de etiquetas, creación de cuentas para acceso al supervisor, etc (ver figura 23)”.

Figura 23. Opciones de configuración de la carpeta System.



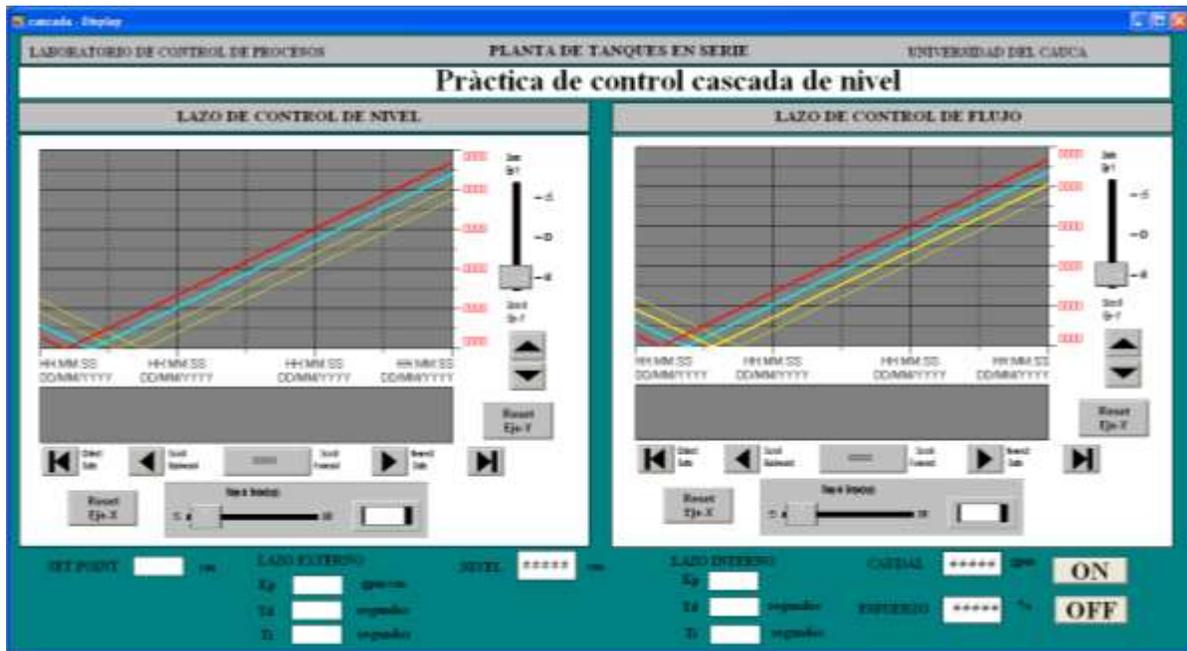
- Ahora minimice la carpeta “System” y abra la carpeta “Graphics”, allí encontrará información acerca del supervisorio propuesto, opciones de configuración para librería, parámetros y ventanas de supervisión. Seleccione el icono *Display*, enseguida del archivo *cascada* (ver figura 24).

Figura 24. Archivo de supervisorio propuesto.



- Aparecerá una ventana emergente, con dos gráficos de tendencias de variables, así como visualizadores numéricos, entradas numéricas para las constantes de control PID interno y externo; y dos botones pulsadores para el estado de la bomba (ver figura 25).

Figura 25. Supervisorio para control cascada.



- Para empezar cierre la válvula manual *HV6*, de manera que el flujo ascendente ingrese al tanque *TK1*.
- Dé clic en el botón “play” ubicado en la parte superior de la barra de herramientas (*RSView32 Works*), está enseguida del icono “guardar”; para poner en ejecución el supervisorio. (Ver figura 26).

Figura 26. Icono “play” en la barra de herramientas.



- Encienda la bomba pulsando el botón *ON* (ver figura 25).
- Fije el *set point* en 40 cm e ingrese una ganancia proporcional a cada controlador de 1000 dejando la parte integral y derivativa en cero.
- Ajuste la válvula de bypass hasta que el tanque *TK1* se llene sin rebosarse, manteniendo el esfuerzo de control en el 100%.
- Una vez el nivel del tanque este estable, ajustar la válvula manual de salida del tanque *TK2* hasta que este quede lleno en estado estable.
- Ingrese las constantes del lazo interno y del lazo externo, calculados en la tabla inicial y fije el *set point* en 24 cm.
- Una vez se establezca el nivel realice un cambio de consigna a 33 cm y obtenga la curva de seguimiento de consigna, así como las curvas de esfuerzos de control.
- Ajuste las válvulas manuales de cada disturbio de la planta a media apertura.
- Fije el *set point* en 25 cm y espere a que se establezca el nivel.

- Aplique un disturbio en el caudal de entrada desde el panel frontal, y obtenga la respuesta del controlador ante el disturbio (*tanto para lazo externo, como interno*).
- Suprima el disturbio aplicado y espere a que el nivel se estabilice.
- Aplique un disturbio en el flujo de salida del tanque *TK1* desde el panel frontal, y obtenga la curva de respuesta de los controladores.
- Suprima el disturbio y espere a que el nivel se estabilice.
- Aplique un disturbio en el nivel del tanque *TK2* desde el panel frontal y obtenga las curvas de respuesta.
- Suprima el disturbio y apague la bomba.
- Ahora dé clic en el botón “*stop*” ubicado en la parte superior de la barra de herramientas (*RSView32 Works*), está enseguida del icono “*play*”; para detener la ejecución del supervisorio (ver figura 27).

Figura 27 Icono “stop” en la barra de herramientas.



Apagado de la planta de tanques en serie:

- Ponga en *off* la llave selectora *ON 24 VDC* de panel de control frontal (ver figura 28).
- Luego ponga en estado *off* la llave selectora *ON 110 VAC* de panel de control frontal (ver figura 28).
- Ahora ponga en estado *off* el breaker *F1* del panel de control oculto (ver figura 29).

Figura 28. Llaves selectoras de panel de control frontal.



Figura 29. Breaker F1 de panel de control oculto.



Prueba de conocimientos

1. Implemente en simulink el esquema de control cascada haciendo uso de los modelos y las ganancias calculadas al inicio de la práctica (asegúrese de saturar las salidas de los controladores).
2. Realice el seguimiento de consigna en las mismas condiciones que en la práctica del laboratorio y compare las curvas simuladas con las obtenidas en el experimento (comparar todas las curvas).
3. Explique el efecto de cada disturbio en la planta y clasifíquelos según el efecto sobre la variable controlada.
4. ¿Qué diferencias esperaría encontrar si el esquema de control aplicado a la planta fuera feedback solamente?
5. ¿Con la instrumentación actual de la planta es posible realizar un control de nivel del tanqueTK1? Explique.
6. ¿Qué estructura de PID tiene el PLC de la planta y esto afecta el ingreso de las constantes y respuesta del controlador? Explique.

Figura 2 Diagrama eléctrico de planta de tanques en serie

	INS TRUMENTO	IAC	SEÑAL DE ENTRADA	SEÑAL DE SALIDA	RANGO DE TRABAJO
	Transmisor medidor de flujo	FTT	0-10 kPa	0-20mA	0-10 kPa
	Transmisor de flujo	FT	4-20mA	4-20mA	4-20mA
	Motobomba	PP	0-510 VDC	0-6.5 Gpm	0-510 VDC
	Controlador	C	—	—	—
	Sensor de nivel	LE	10 - 300 cm	4 - 20mA	10 - 300 cm
	Servovalvula	FLV	0-5 VDC	0 - 100%	0 - 100%
	Sensor de flujo	FE	0.5 - 8 m ³ /h	4 - 20mA	0.5 - 8 m ³ /h
	Switch de nivel bajo 1	L3L1	Presión ON/OFF	0 - 110 VDC	Presión ON/OFF
	Switch de nivel bajo 2	L3L2	Presión ON/OFF	0 - 110 VDC	Presión ON/OFF
	Switch de nivel alto 2	L3L3	Presión ON/OFF	0 - 110 VDC	Presión ON/OFF
	Elaborado por: Fabian David Molano Pino Pablo Alejandro Perdomo		Fecha de Elaboración 1 de Junio de 2017	Revisado por: Mg. Francisco Franco Obando	 Plano: Diagrama de lazo de banco de pruebas para medición de flujo por presión diferencial Universidad del Cauca