



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELETRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN  
LABORATORIO VIRTUAL Y REMOTO PARA EL DESARROLLO  
DE PRÁCTICAS DE CONTROL DE PROCESOS**

**AUTORES: ARRIETA ZAPATA, RUBÉN ANDRÉS  
PIEDRA CHILLAGANA, OSCAR ANDRÉS**

**DIRECTOR: ING. LUIS OROZCO  
CODIRECTOR: ING. HUGO ORTIZ**

**SANGOLQUÍ**

**2015**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE  
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**CERTIFICADO**

**Ing. Luis Orozco**

**Ing. Hugo Ortiz**

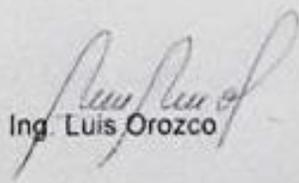
**CERTIFICAN**

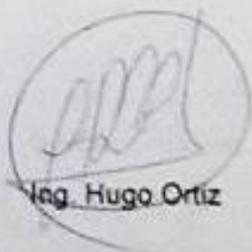
Que el trabajo titulado *"Diseño e implementación de un Laboratorio Virtual y Remoto para el desarrollo de prácticas de control de Procesos"*, realizado por el Sr. Rubén Andrés Arrieta Zapata y Oscar Andrés Piedra Chillagana, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas en el Reglamento Interno de Régimen Académico y estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación se recomienda su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a los señores Rubén Andrés Arrieta Zapata y Oscar Andrés Piedra Chillagana que entreguen al Ingeniero Luis Orozco en su calidad de Director de Carrera.

Sangolquí, Mayo 2015

  
Ing. Luis Orozco

  
Ing. Hugo Ortiz

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE  
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL

RUBÉN ANDRÉS ARRIETA ZAPATA  
PIEDRA CHILLAGANA OSCAR ANDRÉS

**DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado denominado "*Diseño e implementación de un Laboratorio Virtual y Remoto para el desarrollo de prácticas de control de Procesos*", ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Mayo 2015



Sr. Andrés Arrieta



Sr. Oscar Piedra

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros Rubén Andrés Arrieta Zapata y Oscar Andrés Piedra Chillagana.  
Autorizamos a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE la  
publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo *"Diseño e  
implementación de un Laboratorio Virtual y Remoto para el desarrollo de  
prácticas de control de Procesos"*, cuyo contenido ideas y criterios son de  
nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Mayo 2015



Sr. Andrés Arrieta



Sr. Oscar Piedra

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo a mi madre, quien con su sacrificio y constancia me ha sostenido y ayudado a salir adelante siempre, a ella le debo la vida, y gran parte de todos mis logros y éxitos conseguidos.

Espero con la ayuda de Dios, mi esfuerzo y seguramente el incondicional amor de mi madre seguir cosechando éxitos, y retribuir así su dedicación en base al inmenso amor que siento por ella.

**Rubén Andrés Arrieta**

## **DEDICATORIA**

Siempre me he sentido afortunado de pertenecer a esta hermosa familia, el agradecimiento inmenso por su preocupación desde el primer momento en que llegue a este mundo. Ustedes mi fuente de inspiración, mi ejemplo de tenacidad y superación que me han educado y me han enseñado a luchar y salir victorioso ante las adversidades, son quienes a pesar del tiempo hacen que sus enseñanzas no cesen, y aquí estoy, con un nuevo logro exitosamente conseguido, mi proyecto de tesis.

Quiero permitirme entonces dedicar este y cada uno de mis logros a mi familia; a mi padre mi mejor amigo el ejemplo único de un hombre brillante, trabajador y bueno de corazón. Mi madre el amor de mi vida, quien con su bondad, amor y sencillez es un pilar valioso y fuerte en mi vida. Mi hermana Valeria el ser humano más inocente que ha viajado por todas las partes del mundo demostrando lo que el amor de Dios hace en su vida, ejemplo de esfuerzo y entrenamiento. Y a mi hermana Diana lo más amoroso del mundo que conozco, quien da luz a mi vida, con su simple sonrisa.

**Oscar Andrés Piedra**

## **AGRADECIMIENTO**

Estaré siempre inmensamente agradecido con Dios por estar presente en todos y cada uno de los momentos y acciones de mi vida, con mi madre, padre y hermano por su amor y apoyo constante, con mis amigos, novia y todas las personas con quienes he podido compartir y de quienes he aprendido innumerables enseñanzas de vida que han contribuido a hacer de mí una mejor persona y ser humano. Gracias.

**Rubén Andrés Arrieta**

## **AGRADECIMIENTO**

Todo lo puedo en Cristo que me fortalece.

Quiero empezar agradeciendo a Dios por todas las bondades derramadas en mi vida, agradecerle por darme la salvación y por estar en mi vida en cada una de mis decisiones cobijándome con su manto sagrado. Continuo agradeciendo la paciencia y todo el amor con el que mis padres me han educado, las palabras no me alcanza para exteriorizar todo el amor que guarda mi corazón hacia ustedes. Agradezco a mis hermanas por su ejemplo de trabajo y entrenamiento diario, esa fuente de inspiración es grande para continuar. Es innegable también agradecer a mis profesores quienes sembraron en mis conocimientos, para poder enfrentar cada reto laboral venidero. Finalmente agradecer a todas las personas que de una manera u otra han estado pendientes de mí, mis familiares pero también a cada uno de mis amigos y amigas.

**Oscar Andrés Piedra**

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
AGRADECIMIENTO .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	4
1.3. ALCANCE DEL PROYECTO .....	6
1.4. OBJETIVOS.....	11
1.4.1. GENERAL .....	11
1.4.2. ESPECÍFICOS.....	11
CAPÍTULO 2.....	13
ESTUDIO DEL ARTE .....	13
2.1. LABORATORIOS VIRTUALES Y REMOTOS.....	13
2.1.1. ARQUITECTURA .....	14
2.1.2. CONFIGURACIONES.....	17
2.1.3. MATERIALES Y METODOLOGÍAS EMPLEADAS .....	18
2.1.4. TENDENCIAS.....	20

2.2.	ESTUDIO DE LA PLANTA .....	22
2.2.1.	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO .....	22
2.2.2.	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA EL USO DE LA PLANTA EN EL LABORATORIO VIRTUAL Y REMOTO.....	30
2.3.	TÉCNICAS Y MÉTODOS DE CONTROL CLÁSICO DE PROCESOS.....	33
2.3.1.	TEORÍA DE CONTROL DE PROCESOS .....	35
2.3.2.	CONSIDERACIONES DE DISEÑO .....	39
2.3.3.	IDENTIFICACIÓN NO RECURSIVA .....	51
2.3.4.	DISEÑO DE CONTROLADORES PID Y DE COMPENSADORES DIGITALES PROPORCIONALES .....	55
2.4.	TRABAJOS RELACIONADOS .....	67
	CAPÍTULO 3.....	70
	MÉTODOS Y MATERIALES.....	70
3.1.	SOFTWARE DE SIMULACIÓN Y DESARROLLO WEB .....	70
3.1.1.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	70
3.1.2.	APLICACIÓN EN LABORATORIOS VIRTUALES Y REMOTOS.....	77
3.1.3.	MANEJO DE SOFTWARE ESPECÍFICO .....	78
3.2.	SOFTWARE DE CÁLCULO NUMÉRICO .....	80
3.2.1.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	80
3.2.2.	APLICACIÓN EN LABORATORIOS VIRTUALES Y REMOTOS.....	87
3.2.3.	MANEJO DE SOFTWARE ESPECÍFICO .....	88

3.3. HARDWARE .....	89
3.3.1. EQUIPOS INFORMATICOS .....	89
3.3.2. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	90
CAPÍTULO 4.....	94
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	94
4.1. DISEÑO LABORATORIO VIRTUAL – REMOTO .....	94
4.1.1. ALGORITMOS PARA LA CREACIÓN DE APPLETS .....	97
4.1.2. APLICACIÓN WEB Y BASE DE DATOS .....	111
4.1.3. ALGORITMOS DE CÁLCULO NUMÉRICO .....	128
4.1.4. RED DE COUNICACIONES .....	144
4.2. DISEÑO DE GUÍAS DE LABORATORIO .....	146
4.2.1. GUÍA 1.....	146
4.2.2. GUÍA 2.....	155
4.3. IMPLEMENTACIÓN.....	164
CAPÍTULO 5.....	169
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	169
5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	169
5.1.1. ACCESO Y FUNCIONES DEL USUARIO PROFESOR.....	169
5.1.2. ACCESO DEL USUARIO ALUMNO .....	172
5.1.3. ANÁLISIS DE LAS PRÁCTICAS.....	172
CAPÍTULO 6.....	179
DISCUSIÓN.....	179
6.1. CONCLUSIONES.....	179
6.2. RECOMENDACIONES .....	181

6.3. TRABAJOS FUTUROS.....	183
BIBLIOGRAFÍA.....	185

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Clasificación de Entornos Experimentales .....	16
Tabla 2 Dimensiones de elementos del sistema .....	23
Tabla 3 Características de la Bomba DC .....	26
Tabla 4 Número de Reynolds a diferentes flujos .....	41
Tabla 5 Tipo de flujo de acuerdo al número de Reynolds .....	41
Tabla 6 Adecuación de señales de centímetros a voltaje.....	43
Tabla 7 Adecuación de señales de centímetros a Duty.....	45
Tabla 8 Adecuación de señales de centímetros por segundo a Duty .....	47
Tabla 9 Características de los ordenadores .....	89
Tabla 10 Características del router .....	90
Tabla 11 Descripción de Entradas Analógicas .....	91
Tabla 12 Descripción de las Salidas Analógicas .....	91
Tabla 13 Descripción de las Salidas Digitales.....	92
Tabla 14 Parámetros de configuración para crear el certificado.....	110
Tabla 15 Modelo de ingreso de parámetros de Laboratorio Virtual .....	153
Tabla 16 Parámetros de diseño .....	154
Tabla 17 Modelo de ingreso de parámetros de Laboratorio Remoto.....	162
Tabla 18 Parámetros de diseño .....	163
Tabla 19 Resultados del controlador Lazo de Nivel. ....	176
Tabla 20 Resultados del controlador Lazo de Flujo.....	178

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Arquitectura de Laboratorio Virtual y Remoto.....	15
Figura 2 Planta de Transmisión de Fluidos .....	22
Figura 3 Vista lateral del tanque de reserva y de un tanque acoplado ....	24
Figura 4 Vista frontal del tanque de reserva y de los tanques acoplados.....	24
Figura 5 Válvula tipo bola.....	25
Figura 6 Válvula Check.....	25
Figura 7 Bomba sumergible Rule 360 GPH .....	26
Figura 8 Rangos de operación del sensor de nivel U – GAGE T30U .....	28
Figura 9 Dimensiones del sensor U – GAGE T30U.....	28
Figura 10 Sensor de flujo .....	29
Figura 11 Conexión de datos y de alimentación del sensor de flujo .....	29
Figura 12 Vista frontal de la estructura metálica .....	31
Figura 13 Vista lateral de la estructura metálica.....	31
Figura 14 Representación mediante bloques de un proceso a ser controlado .....	34
Figura 15 Diagrama de instrumentación para control de flujo en planta de transmisión de fluidos.....	38
Figura 16 Control por Superposición de planta de transmisión de fluidos.....	38
Figura 17 Diagrama de acoplamiento para la bomba de la planta .....	49
Figura 18 Circuito de disipación de corriente para la bomba.....	49
Figura 19 Transistor TIP 33 con disipador de potencia .....	50
Figura 20 Programa Desarrollado en LabVIEW para obtención de datos. ....	52
Figura 21 Entorno de Trabajo de la Herramienta IDENT de MATLAB.....	53
Figura 22 Lazo de control de Nivel.....	57
Figura 23 Lazo de control para el cálculo de $T_d$ y $T_i$ .....	57

Figura 24 Lazo de control de Flujo .....	62
Figura 25 Controlador ON – OFF Digital Proporcional .....	67
Figura 26 Ejemplo de Trabajos Relacionados .....	69
Figura 27 Ventana para el desarrollo de Interfaces .....	81
Figura 28 Ventana de programación .....	81
Figura 29 Recepción de datos en LabVIEW .....	83
Figura 30 Envío de datos desde LabVIEW .....	83
Figura 31 Bloque DAQ assistant y ventana de configuración .....	84
Figura 32 Bloque Filter y ventana de configuración .....	85
Figura 33 Bloque Amplitude & Level Measurement y ventana de configuración .....	85
Figura 34 Ventana para el diseño de control y simulación LabVIEW .....	87
Figura 35 Tarjeta de adquisición de datos .....	90
Figura 36 Conexión a la tarjeta de adquisición de datos .....	93
Figura 37 Estructura del Laboratorio Virtual .....	95
Figura 38 Estructura del Laboratorio Remoto .....	96
Figura 39 Esquema de Bloques de Interface Gráfica Applet. ....	98
Figura 40 Interfaz del Laboratorio Virtual .....	105
Figura 41 Interfaz del Laboratorio Remoto .....	108
Figura 42 Configuración de parámetros para crear el Certificado .....	110
Figura 43 Flujo de información .....	111
Figura 44 Portal Web <a href="http://www.mysql.com">www.mysql.com</a> .....	112
Figura 45 Parámetros de conexión en MySQL .....	113
Figura 46 Tablas creadas para profesor y alumno .....	114
Figura 47 Conexión de la base de Datos .....	115
Figura 48 Esquema General de Páginas de WEB .....	117
Figura 49 Página WEB Index .....	118
Figura 50 Página WEB Index .....	119
Figura 51 Página WEB Usuario no Registrado Generada por Servlet...	119

Figura 52 Página WEB Clave Incorrecta Generada por Servlet Inprofesor .....	119
Figura 53 Página WEB Mainprofesor .....	120
Figura 54 Página WEB Oregistro .....	121
Figura 55 Página WEB no se Marcó Registros Generada por Servlet ealumno .....	121
Figura 56 Página WEB Registro Eliminado Generada por Servlet ealumno. ....	121
Figura 57 Página WEB Aregistro .....	122
Figura 58 Página WEB Error en Ingreso de Datos por Servlet aalumno. ....	122
Figura 59 Página WEB Registro Agregado Generada por Servlet aalumno .....	123
Figura 60 Página WEB Ingresoalumno .....	123
Figura 61 Página WEB Usuario No Registrado Generada por Servlet inalumno.....	124
Figura 62 Página WEB Contraseña Errónea por Servlet inalumno .....	124
Figura 63 Página WEB Mainalumno .....	125
Figura 64 Página WEB del Blog WIX de Guía 1 .....	125
Figura 65 Página WEB Virtual .....	126
Figura 66 Página WEB Iremota.....	126
Figura 67 Página WEB Remota .....	127
Figura 68 Esquema general de navegación. ....	128
Figura 69 Lazo de control y simulación LabVIEW. ....	129
Figura 70 Parámetros de simulación de lazo para práctica uno .....	130
Figura 71 Parámetros de simulación de lazo para práctica dos .....	130
Figura 72 Recepción de datos por el servidor Socket para la práctica uno .....	131
Figura 73 Envío de Datos por el Servidor Socket para la Práctica uno .	132

Figura 74 Recepción de datos por el servidor Socket para la práctica Dos.....	133
Figura 75 Envío de datos por el servidor Socket para la práctica Dos. .	134
Figura 76 Controlador PID paralelo en LabView .....	135
Figura 77 Controlador combinado ON – OFF y proporcional .....	136
Figura 78 Diagrama de Flujo de Controlador combinado ON-OFF y proporcional .....	136
Figura 79 Modelo de Simulación Para Lazo de Control de Nivel.....	137
Figura 80 Modelo de Simulación Para Lazo de Control de Flujo .....	137
Figura 81 Configuración de bloque de adquisición de señal de voltaje .	138
Figura 82 Configuración de Bloque de Adquisición de Señal de Corriente (Sensor de Caudal).....	139
Figura 83 Esquema para el Procesamiento de las señales Adquiridas.	140
Figura 84 Configuración de Bloque de Filtro Digital. ....	140
Figura 85 Configuración de Bloque Especializado para obtener valores RMS.....	141
Figura 86 Generación de la señal de Control PWM LabView.....	141
Figura 87 Configuración del bloque simulate signal. ....	142
Figura 88 Configuración de Bloque de Generación de Señal de Voltaje Analógico.....	143
Figura 89 Selector de Baja Digital para Técnica de Superposición. ....	143
Figura 90 Diagrama de Flujo del Selector de Baja Digital LabVIEW. ....	144
Figura 91 Configuración de la red de comunicación.....	145
Figura 92 Asignación de las direcciones IP.....	145
Figura 93 Planta simulada en JAVA.....	147
Figura 94 Diagrama de instrumentación para control de flujo en Planta de transmisión de Fluidos.....	148
Figura 95 Control por Superposición de Planta de Transmisión de Fluidos.....	149
Figura 96 Sistema de acceso para el alumno .....	150

Figura 97 Interface para el Laboratorio Virtual .....	151
Figura 98 Ejemplo de ingreso de parámetros.....	152
Figura 99 Planta de transmisión de fluidos .....	156
Figura 100 Controlador combinado ON – OFF y Proporcional .....	159
Figura 101 Link para acceder al Laboratorio Remoto.....	159
Figura 102 Interface para el Laboratorio Remoto .....	160
Figura 103 Ejemplo de ingreso de parámetros.....	161
Figura 104 El diagrama de flujo para la validación .....	166
Figura 105 Base de datos de los usuarios profesor. ....	169
Figura 106 Base de datos de los usuarios profesor .....	170
Figura 107 Agregar un alumno a la base de datos.....	170
Figura 108 Base de datos de los usuarios profesor .....	171
Figura 109 Función Observar y Eliminar registros del usuario profesor.....	171
Figura 110 Tabla alumnos después de eliminar un registro. ....	171
Figura 111 Ingreso del usuario alumno registrado. ....	172
Figura 112 Gráficas de respuesta en dos dimensiones XY. ....	172
Figura 113 Mensaje de error en la validación de datos .....	173
Figura 114 Actualización del gráfico virtual de la Planta .....	173
Figura 115 Aplicación de la técnica por Superposición. ....	174
Figura 116 Datos obtenidos en la simulación de Nivel .....	175
Figura 117 Función de transferencia de Nivel .....	175
Figura 118 Gráfica del modelo obtenido .....	176
Figura 119 Datos obtenidos en la simulación de Flujo .....	177
Figura 120 Función de transferencia de Flujo .....	177
Figura 121 Gráfica del modelo obtenido .....	178

## **RESUMEN**

En el presente proyecto se realiza el diseño e implementación de un Laboratorio Virtual y Remoto para el Departamento de Eléctrica y Electrónica DEEE de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, el cual permite la realización de prácticas específicas para la asignatura de Control de Procesos. El proyecto emplea una Planta de transmisión de Fluidos del Laboratorio de Instrumentación y Sensores, en la cual se aplican técnicas de control clásicas basadas en técnicas PID, ON – OFF y por Superposición. Debido al poco desarrollo y conocimiento acerca del beneficio y uso de los Laboratorios Virtuales y Remotos en la enseñanza, se requiere el diseño e investigación previa de los aspectos teóricos y técnicos que involucra la implementación del Laboratorio. El proyecto abarca un análisis de factibilidad del uso de equipos y herramientas de software que se disponen para el desarrollo del proyecto. Se utiliza una arquitectura de red cliente – servidor, empleando dos servidores los cuales realizan tareas específicas, el primero encargado de las acciones de control en la planta, emplea una aplicación desarrollada en el software comercial LabVIEW y establece una comunicación basada en protocolos TCP/IP (socket), para el enlace con el otro servidor encargado de generar y distribuir una aplicación WEB basada en lenguaje de programación JAVA.

### **PALABRAS CLAVES:**

**LABORATORIO**

**VIRTUAL**

**REMOTO**

**CONTROL**

**JAVA**

## **ABSTRACT**

In this project we did the design and implementation of a Virtual and Remote Laboratory for the Department of Electrical and Electronics DEEE, which allows the realization of specific practices for Process Control course is done. The project employs a transmission plant Fluids Laboratory Instrumentation and Sensors, in which classical techniques based control PID, ON mechanisms apply - OFF and overlay technique. Due to the short development and knowledge about the benefit and use of Virtual and Remote Laboratories in teaching, research design and previous theoretical and technical aspects involved in the implementation of the Laboratory is required. The project includes a feasibility analysis of the use of equipment and software tools that are available for the project. Client network architecture is used - server using two servers which perform specific tasks, the first charge of the control actions on the ground, uses an application developed in LabVIEW commercial software and establishes a communication based on TCP / IP protocols (socket), for liaison with the other server responsible for generating and distributing one based on JAVA programming language WEB application. The use of free software for laboratory use makes the application for free and opens access, facilitating their development and continuous improvement, for larger scale implementation in higher and university education.

## **KEY WORDS**

**LABORATORY**

**VIRTUAL**

**REMOTE**

**CONTROL**

**JAVA**

## CAPÍTULO 1.

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

El beneficio del uso de laboratorios en el proceso de aprendizaje es innegable, la consolidación de los conocimientos teóricos, en base a la experimentación y descubrimiento solo es posible mediante el desarrollo de prácticas de laboratorio.

*“Un laboratorio tradicional, de manera general, es un lugar equipado con diversos instrumentos de medición, donde se realizan experimentos o investigaciones diversas, según la rama de la ciencia a la que se enfoque.”*  
(Lugo, 2006)

Sin embargo junto con los beneficios que un laboratorio brinda, existen también ciertas dificultades, como la disponibilidad del tiempo necesario para trabajar con los diferentes instrumentos de laboratorio, o la necesidad de recursos suficientes para el equipamiento apropiado de estos sitios, o el hecho de requerir trasladarse, o estar físicamente presente el sitio en el cual se encuentra montado o instalado dicho laboratorio.

*“En el área de ingeniería, un laboratorio bien diseñado es una valiosa herramienta que contribuye a reforzar la enseñanza y en el que los alumnos pueden lograr una mayor comprensión imposible de lograr por otros medios. Ahí pueden verificar el modelo, validar y limitar suposiciones y predecir rendimientos.”* (Lugo, 2006)

Los avances en los campos de la informática y electrónica, han permitido la incursión de un nuevo concepto de laboratorios, en el cual se pretende conseguir el descubrimiento y experimentación, empleando entornos virtuales, que permitan en cierto grado aplacar las dificultades de tiempo y recursos que tiene un laboratorio tradicional.

En sus inicios el concepto de laboratorio virtual surgió como intento de complementar la enseñanza a distancia, alrededor del año 1997. A partir de esto, se produjo un desarrollo de la iniciativa, por parte de varias instituciones educativas y en menor grado del campo comercial. Así, es posible citar entre los proyectos desarrollados: el Virtual Frog Dissection Kit 1.0 (Virtual Frog Dissection Kit 1.0, 2000), el Diffusion Processes Virtual Laboratory (University Johns Hopkins), The Virtual Microscope (University of Winnipeg), entre otros. Además de proyectos en los que se va más allá buscando emular la realidad en lo que se conoce como realidad virtual, entre los primeros desarrollos en este campo se tiene: El Virtual Reality Virtual Object Manipulation (NASA), y Virtual Hand Laboratory (University of British Columbia).

En un entorno virtual, orientado a la enseñanza de ciencias físicas, se evidencia la interactividad del alumno con el proceso o experimento, de manera que permita la observación y descubrimiento similar al que se obtendría en una práctica real. Para conseguir esta interacción se utiliza programas informáticos y simulaciones, los cuales presentan entornos dinámicos, que modifican su comportamiento de acuerdo a las acciones que los alumnos realizan sobre el proceso simulado. Entre los lenguajes de programación más utilizados por sus prestaciones y características esta JAVA, ya que debido a la constante actualización, y flexibilidad que el lenguaje presenta, está a la vanguardia, y se adapta a muchas de las necesidades de los usuarios y programadores.

El laboratorio virtual permite, un acceso confiable y ampliamente difundido, orientado a la web. En este aspecto el lenguaje de programación JAVA permite el uso de Applets, serverlets y JSP como herramientas de desarrollo, entre las que se destaca el uso de JAVA Applets, como aplicaciones que se ejecutan en el contexto de otro software más específicamente de un navegador web, y son insertadas en forma de interfaces gráficas y animaciones dentro de una página web HTML.

Es importante mencionar también, la disponibilidad de librerías JAVA para el desarrollo de las animaciones gráficas, e interfaces. Así entre las usadas esta JAVA JFreeChart, un software libre, usado para la creación de gráficos y/o simulaciones complejas de forma simple.

En la actualidad buscando mejorar la capacidad de interacción entre el alumno y el experimento, aparece el concepto de Laboratorios Remotos, cuya idea consiste en el manejo a distancia de equipos físicos, en los cuales se puede efectuar acciones u operaciones y observar las consecuencias o resultados, lo que favorece la interacción y percepción, permitiendo además descongestionar la afluencia física de los estudiantes en un mismo espacio, y/o tiempo. Un laboratorio remoto, es siempre complementado con entornos virtuales, pues en la mayoría de ocasiones los laboratorios 100% virtuales sirven de etapa de entrenamiento previa al manejo remoto, permitiendo obtener conocimientos que garanticen el uso correcto de los equipos o plantas reales.

Sin embargo ninguno de estos conceptos ya sea virtual o remoto pierde de vista el objetivo primordial de un laboratorio, el cual es buscar la experimentación y aplicación de teorías que retroalimenten el aprendizaje de los alumnos.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Es realmente importante consolidar conceptos y definiciones teóricas en el proceso de aprendizaje, mediante la realización de prácticas con equipo de laboratorio, prototipos didácticos, etc.

Los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE han sido tradicionalmente el lugar, donde los estudiantes pueden desarrollar prácticas y hacer experimentación. Esto les permite desarrollar habilidades cognitivas, al observar lo que sucede en cada una de las prácticas, y gracias a la capacidad de percepción que existe con los equipos y el experimento en sí.

Sin embargo y por la demanda de estudiantes, se presentan dificultades en el uso de tiempo y espacio requerido para las prácticas, inconvenientes que pueden ser superados con el desarrollo del presente trabajo, dejando sentada la posibilidad de emplear los diseños e implementación en nuevos trabajos relacionados al uso de laboratorios virtuales y remotos, que aporten innegables beneficios a los estudiantes y permitan solucionar los inconvenientes mencionados anteriormente.

Dentro del Departamento de Eléctrica y Electrónica (DEEE), existen varios laboratorios, muchos de los cuales no cuentan con el equipamiento ni espacio necesario para abastecer la demanda de estudiantes. De manera más específica se hace referencia al Laboratorio de Control de Procesos, donde el conflicto ocasionado por la disponibilidad de equipos, hace que los estudiantes requieran tiempo adicional al de su horario normal o que exista un mayor número de estudiantes trabajando en un mismo espacio y equipo, lo que dificulta la realización de las prácticas y provoca en el peor de los casos la pérdida completa de una o varias de ellas.

El enfoque de este trabajo presenta una nueva alternativa de laboratorio, que permite solucionar inconvenientes, optimizando el uso de equipos mediante la implementación de un entorno virtual y remoto para realizar prácticas de Control de Procesos a través del uso de herramientas interactivas computacionales y hardware especializado.

Es así que analizando la factibilidad de la aplicación y en función de las técnicas de control que se utilizaron, se trabajó en una planta de transmisión de fluidos, utilizada en prácticas de instrumentación industrial, y desarrollada como proyecto de tesis el año 2009, por los ingenieros Juan Pablo Idrovo Villagrán y Juan Carlos Valle Galarza, bajo el tema: *“Diseño e Implementación de un sistema de entrenamiento para control de nivel de Tanques acoplados utilizando lógica difusa”*. (Valle - Idrovo, 2009)

Es importante mencionar que el proyecto antes realizado sobre esta planta engloba mecanismos de control ON-OFF, PID y Control Difuso de Nivel, todas estas técnicas aplicadas de manera local. Se destaca la implementación de cinco guías o prácticas de Laboratorio individuales, cuyo objetivo mantiene relación distante al del proyecto que se presenta en este documento, el cual busca utilizar la planta en el diseño e implementación de un Laboratorio Virtual y Remoto para la aplicación de la técnica de control por Superposición enfocando a la regulación de Nivel y Flujo. (Valle - Idrovo, 2009)

Los entornos virtuales, al ser desarrollados como sistemas computacionales accesibles vía Internet, permitieron simular un laboratorio físico, pudiendo observar mediciones hechas por instrumentos y fenómenos o reacciones mediante objetos dinámicos, que incluyen imágenes, gráficos, animaciones, etc. Cada uno de los estudiantes, que emplee este sistema puede modificar las variables de entrada y configurar parámetros específicos bajo un análisis, basado en la aplicación de conceptos y teorías de Control de Procesos.

Es importante mencionar también, que una simulación facilita tener una visión más intuitiva y clara de los fenómenos, muchos de los cuales no pueden ser observados con claridad en experimentos reales, y permiten también que cada estudiante pueda manipular sistemas libremente las veces que considere necesario, sin temor de sufrir o provocar un accidente.

Siguiendo la línea del proyecto, se desarrolló de un laboratorio remoto, el cual partió de las etapas de simulación, pasando por el empleo de sistemas de adquisición, control, comunicación, visualización y distribución de datos, hasta llegar a manipular remotamente una planta o equipo físico ubicado en una locación específica diferente a la del alumno, generando así un flujo de información bidireccional.

La implementación combina conceptos de Laboratorios Virtuales y Remotos, para permitir que un mayor número de estudiantes puedan experimentar con un laboratorio real de manera asincrónica. El concepto permite suprimir la idea de supervisión física por parte de los profesores, pues se incluye en cada práctica, una serie de elementos digitales y multimedia que guían al estudiante en su proceso de autoaprendizaje.

### **1.3. ALCANCE DEL PROYECTO**

En el proyecto se realiza el diseño e implementación de un Laboratorio Virtual y Remoto que permite realizar prácticas y guías específicas de laboratorio para la asignatura de Control de Procesos.

El desarrollo del proyecto abarca el estudio del arte, que permite determinar *“cómo ha sido tratado el tema, cómo se encuentra al momento de realizar la*

*propuesta de investigación y cuáles son las tendencias.”* (Universidad de Antioquia, 2003).

Gracias a las prestaciones de la planta de Trasmisión de Fluidos, se pudo aplicar técnicas tradicionales de control de procesos para el diseño e implementación del Laboratorio Remoto, y así aportar a disminuir la elevada afluencia de alumnos, al laboratorio dispuesto para esta asignatura. Es importante enfatizar que el diseño e implementación del Laboratorio Virtual y Remoto es un sistema no existente hasta la fecha actual en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, diseñado para facilitar el uso de esta planta en prácticas de laboratorio, por medio de una plataforma de hardware y software especializados.

Este Laboratorio, permite realizar dos prácticas específicas de control de procesos, empleando la técnica de control por superposición, orientado a mantener variables de caudal y nivel de líquido en valores requeridos y de forma conmutada, por medio de la acción de dos lazos de control independientes y un selector de baja el cual define que lazo gobernará al actuador (bomba eléctrica DC), la sintonización de los controladores empleados, será responsabilidad del alumno y definido en base a un sustento y diseño teórico realizado previamente, para así obtener el mejor desempeño y respuesta del sistema.

Además y con motivos didácticos el laboratorio permite el desarrollo de una práctica para el control exclusivo de nivel en el entorno remoto, empleando la misma planta de transmisión de fluidos, dicha práctica permite observar de forma más clara los efectos de las constantes de un controlador PID en la respuesta del sistema y podrá ser realizada por el estudiante a fin de afianzar conocimientos y mejorar sus diseños.

Para cumplir con los requerimientos de funcionamiento, se analiza a detalle la planta, y así conocer su comportamiento y características, y posteriormente mediante un proceso de identificación experimental, obtener un modelo sencillo con dos funciones de transferencia, una para el lazo de control de flujo y otra para el de nivel, y en base a ello dar el sustento necesario para abordar las siguientes etapas de diseño.

La aplicación permite el diseño de dos controladores en lazos independientes (Caudal y Nivel). En el contexto Virtual del Laboratorio se implementa dos controladores PID para cada lazo (caudal y nivel), sin embargo en el Laboratorio Remoto por las características de desempeño del actuador (Bomba DC controlada por una señal de PWM) se usa un control PID solamente para Nivel, mientras que para Flujo se aplica un Compensador ON-OFF Digital Proporcional en lazo cerrado, el uso de este controlador se justifica en el estudio del arte abarcado en el siguiente capítulo, y permite la aplicación de la técnica de superposición en donde los dos lazos actúan sobre el mismo actuador de forma conmutada.

El proyecto aborda el diseño de dos prácticas a ser realizadas, una de entrenamiento en el entorno virtual (mediante simulación de la planta real) y la otra en el entorno remoto.

La primera de ellas, presenta una interface en la que el alumno se familiariza con el uso del laboratorio, aquí se trabajará con las funciones de transferencia o modelo teórico experimental de la planta, obtenidos en etapas previas del proyecto, y presentadas al estudiante por medio de una interface.

Dentro de esta práctica, el alumno define las constantes de los controladores PID independientes, en base a un diseño teórico elaborado previamente; además especifica los valores deseados de las variables tanto de

caudal como de nivel, para la aplicación de la técnica de control por superposición. Al ser un entorno virtual, el alumno tiene la posibilidad de probar distintos diseños, y observar el comportamiento en la interfaz.

Culminada la primera práctica de entrenamiento, el alumno puede trabajar de forma remota con la planta real. En esta fase concebida como la segunda práctica, el estudiante deberá sintonizar en base a un diseño, un controlador PID para nivel, mientras que para el control de flujo deberá sintonizar un Compensador ON-OFF Digital Proporcional, partiendo de la obtención de un modelo, el cual es posible obtener con los datos de entrada y salida de cada lazo, presentados al estudiante en la guía respectiva. En esta etapa es importante mencionar que el control de caudal presenta limitaciones derivadas de la planta en sí, y más específicamente del actuador, por lo que se debe considerar una acción de control lo suficientemente lenta para no inestabilizar al sistema, esta condición se sustenta más detalladamente en el estudio del arte. Sin embargo y por motivos de seguridad, el laboratorio establece rangos para cada parámetro, asegurando así que la planta responda siempre de manera adecuada, y haciendo el problema más transparente al alumno. Al igual que en la práctica virtual, el alumno puede, establecer los valores deseados y observar el desempeño del sistema, con la diferencia que esta vez se trata de la respuesta real de la planta, ubicada en un sitio remoto (Laboratorio de Control de Procesos), y presentada por medio de una interface gráfica.

En el desarrollo y manipulación del laboratorio Virtual y Remoto, se facilita siempre al alumno, un manejo claro y adecuado de las diferentes pantallas o interfaces, las cuales cuentan con las seguridades y permisos necesarios.

En el proceso de diseño del Laboratorio Virtual y Remoto, se cubrió etapas, en las que se determinaron las herramientas de software y hardware necesarias

para cada componente, así como la relación y comunicación entre ellos. Todo esto exige un conocimiento teórico técnico de los equipos a emplear.

Siguiendo esta línea, se abarca el estudio del software de simulación, el cual emplea JAVA como lenguaje de programación, analizando sus entornos de desarrollo, para la elaboración de simulaciones, y el despliegue de información en interfaces comprensibles y de fácil manejo.

Además del software de simulación, se establece un motor de cálculo numérico, el cual facilita implementar las acciones de control, mediante un sistema de adquisición de datos, que genere resultados en tiempo real. Bajo este contexto se escogió trabajar con el software comercial LabVIEW, empleando además una tarjeta de adquisición de datos comercial (MyDaq), la cual permite facilitar considerablemente el diseño e implementación de los lazos de control.

Como aspecto crucial está el hecho de la comunicación y sincronización entre el software de simulación y el software de cálculo numérico, aquí se considera un flujo bidireccional de información, el cual es generado e interpretado por ambos entornos. Esta comunicación se establece mediante el uso de sockets, empleando el protocolo de transmisión - recepción TCP/IP, el cual garantiza confiabilidad y fiabilidad necesarias. Una etapa final enmarca una aplicación web y base de datos, la cual permite el montaje y distribución de las interfaces desarrolladas mediante redes de datos orientadas al uso de internet.

Para el sustento técnico de esta etapa y en vista de que el software de simulación está basado en JAVA, se usa las herramientas de programación web JSP, Servlets, JApplets y JDBC, que están disponibles en versiones de JEE (JAVA ENTERPRISE EDITION) para desarrollo Web.

El resultado final del proyecto es un sistema concebido como Laboratorio Virtual y Remoto, junto con las guías para la elaboración de las prácticas propuestas, que serán la principal base para el uso del sistema por parte de los alumnos.

Es importante recalcar, que el desarrollo de este proyecto entrega un sistema prototipo disponible en una red privada con el uso del servidor WEB Glassfish, esto implica que no se empleará un servidor especializado, sino que en su lugar se usará un PC convencional, que de todas maneras garantiza su funcionalidad, dejando abierta la posibilidad de una ampliación futura.

#### **1.4. OBJETIVOS**

##### **1.4.1. GENERAL**

Diseñar e implementar un Laboratorio Virtual y Remoto para el desarrollo de prácticas de Control de Procesos empleando una Planta de Transmisión de Fluidos perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

##### **1.4.2. ESPECÍFICOS**

- Realizar el estudio del arte sobre el cual se fundamenta un laboratorio virtual remoto orientado a la enseñanza de Sistemas de Control.
- Diseñar la estructura y arquitectura de un laboratorio virtual y remoto, funcional y factible.

- Implementar un Laboratorio Virtual y Remoto, que permita su uso mediante el empleo de software libre.
- Desarrollar, en el sistema virtual y remoto, prácticas de laboratorio de fácil comprensión y uso, en las que se aplique Técnicas de Control Clásico aplicadas a un proceso.
- Analizar los resultados obtenidos en el proyecto con el fin de generar propuestas de mejoramiento para estudios futuros.

## **CAPÍTULO 2.**

### **ESTUDIO DEL ARTE**

#### **2.1. LABORATORIOS VIRTUALES Y REMOTOS.**

La adaptación de la educación a las innovaciones tecnológicas ha sido la motivación principal para que en la actualidad se haya iniciado una revolución en este campo mediante la implementación de Laboratorios Virtuales y Remotos como sistemas de apoyo a la enseñanza, que permite la consolidación de conocimientos teóricos y la percepción de fenómenos físicos.

Comprender la funcionalidad de un Laboratorio Virtual y Remoto implica en primera instancia, analizar la virtualización o creación de sistemas informáticos que simulen y/o emulen un fenómeno real, y permitan su uso para facilitar el aprendizaje, de igual manera que un laboratorio físico convencional. Es decir trabajar con representaciones diseñadas a través de software, que permitan la interactividad necesaria con el usuario, mostrando una reacción real ante una acción realizada, dicha reacción es perceptible, y comparte estrecha similitud con el fenómeno real virtualizado.

Los beneficios de la virtualización en la educación son muy importantes, ya que permiten prescindir de costosos equipos, además de que en su gran mayoría no requieren de un espacio establecido específicamente para su uso, sino que permiten emplearlos en cualquier lugar donde se disponga del equipo informático necesario, el cual puede ir de un simple computador a un sistema o red más compleja. Permite validar teorías, e incluso llevar a extremos un experimento convencional, otorgándole características físicas difíciles de alcanzar en experimentos reales, como definir grandes dimensiones a un

objeto, o moverlo a velocidades y/o posiciones muy elevadas. Sin embargo por larga y compleja que resulte una virtualización, esta no siempre garantiza un comportamiento igual al fenómeno real, es por esta razón que se requiere definir rangos o límites dentro de los cuales un sistema virtual simula de manera correcta un fenómeno físico; comprendiendo que para efectos de aprendizaje y experimentación será necesario trabajar dentro de estos límites.

El trabajo previo en un Laboratorio Virtual brinda una perspectiva concreta y clara del fenómeno físico real y contribuye innegablemente a difundir de mayor y fácil manera el uso de laboratorios para la enseñanza.

Avanzando en el análisis de funcionabilidad surge el concepto de remoto, lo que en sentido general implica la no presencia física del alumno en el laboratorio, pero que al analizarlo de manera más específica abarca la virtualización de instrumentos, el uso de simulaciones, el diseño de un sistema de comunicación o red de datos que permita transportar la información de un lugar a otro, la definición y aplicación de seguridades para el manejo adecuado del equipo considerando que ante una emergencia el usuario se encuentra distante y no podrá tomar las acciones correctivas de la manera que lo haría estando físicamente presente, además de la respuesta del sistema, los elementos de sincronización, la compatibilidad de software y hardware entre otros. Todo esto de manera que permita al alumno interactuar de forma eficiente con el equipo del laboratorio y percibir una respuesta que contribuya a su aprendizaje y le permita comprobar teorías.

### **2.1.1. ARQUITECTURA**

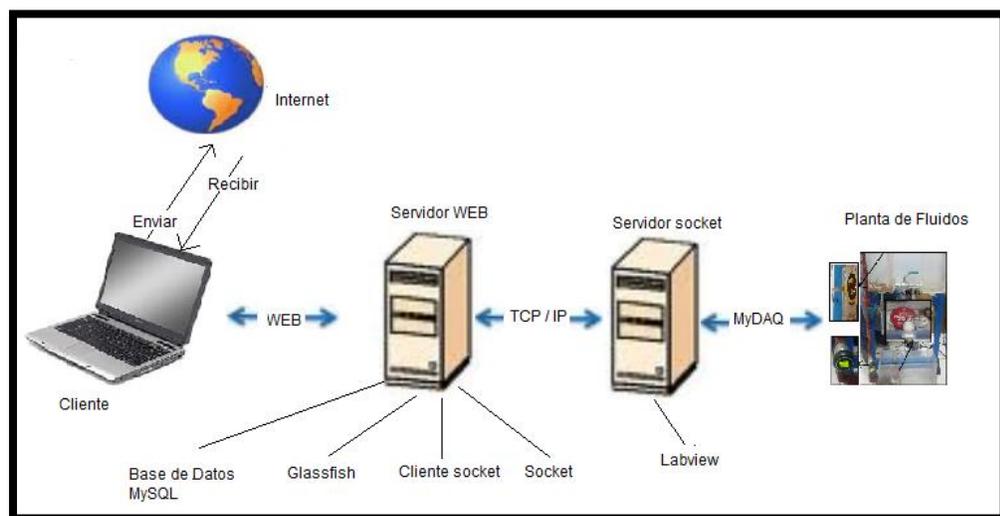
Un Laboratorio Virtual y Remoto, emplea una red de datos estructurada, que permite transmitir de manera unidireccional o bidireccional datos e información

de un lugar a otro, es así, que el estudio de la arquitectura de un Laboratorio Virtual y Remoto hace referencia a la arquitectura de la red de datos que emplea.

Dependiendo de la naturaleza del sistema físico en el que se desarrolla el Laboratorio, se pueden distinguir varias arquitecturas, por ejemplo en un entorno únicamente virtual, la arquitectura puede ir desde un computador o equipo informático que ejecuta una representación virtual un fenómeno físico, hasta una estructura de red más compleja, entre las que se destaca la arquitectura cliente – servidor y aplicaciones web que se ejecutan en el contexto de otro programa generalmente un navegador web.

Para fines particulares del proyecto implementado y analizando las características de funcionamiento en entornos virtuales y remotos, se emplea una arquitectura cliente servidor.

La Figura 1 muestra la arquitectura del Laboratorio implementado, en el que se distingue los diferentes componentes de la red de forma más general y clara.



**Figura 1 Arquitectura de Laboratorio Virtual y Remoto**

Para comprender mejor la necesidad en el uso de esta arquitectura, hay que identificar de forma concreta la clase de laboratorio que se implementó, para lo cual se hace uso de la clasificación propuesta por Dormido, empleando como criterios, la forma de acceder a los recursos (Local o Remota) y la naturaleza del sistema físico (real o virtual), esta clasificación se resume en la Tabla 1. (Dormido, 2004).

**Tabla 1 Clasificación de Entornos Experimentales**

	REAL	VIRTUAL
LOCAL	Laboratorios presenciales con plantas reales.	Laboratorios presenciales con plantas simuladas.
REMOTO	Tele operación de una planta real.	Laboratorio remoto con plantas simuladas

**Fuente:** (Calvo, Zuleta, Gangoiti, & Loez, 2013)

Encasillando el proyecto en la clasificación mostrada, se trata de un entorno que combina el acceso remoto real y virtual, donde se requiere un medio de comunicación para el intercambio de información de una ubicación a otra.

La arquitectura básica del Laboratorio Virtual y Remoto implementado, se compone de los siguientes elementos:

- **Cliente:** Representa al alumno o usuario que hace uso del Laboratorio. Se compone de un computador que ejecuta la aplicación web mostrada en forma de interfaces, que permiten la interacción necesaria.

- **Servidor WEB:** Constituye el hardware y software en el que se analiza y procesa la información enviada por el cliente, en él se generan y distribuyen las páginas web, mediante el uso de un software especializado (Glassfish). Aquí también se diseña, inserta y distribuye las aplicaciones (Applets) necesarias para el uso del laboratorio, y como punto importante constituye a su vez un cliente socket de otro servidor encargado del manejo local de la planta y equipo del Laboratorio. Este servidor se enlaza a una base de Datos (MySQL), para permitir el acceso y validación de usuarios. El software empleado en este servidor hace uso de lenguaje de programación JAVA.
- **Servidor Socket:** Constituye el hardware y software encargado del manejo de la planta de manera local, para lo cual emplea una tarjeta de adquisición (MyDAQ) y un software de cálculo numérico (LabVIEW). La comunicación del servidor y su cliente ubicado el servidor web emplea los protocolos TCP/IP. Es aquí donde se diseña e implementa los algoritmos de control y manejo de la Planta.
- **Planta:** Constituye un sistema de entrenamiento de transmisión de fluidos, donde se aplica técnicas de control clásicas para mantener variables físicas (Nivel – Flujo) dentro de límites específicos.

### 2.1.2. CONFIGURACIONES

La configuración del Laboratorio Virtual y Remoto, hace referencia a las acciones que los distintos usuarios pueden realizar a fin modificar y configurar distintos parámetros en el uso y manejo del laboratorio. Es así que se definen tres tipos de usuarios:

- **Administrador:** Es el encargado del manejo de la base de datos, este usuario puede añadir, borrar o modificar el registro de cualquier usuario Profesor o Alumno.
- **Profesor:** Este usuario puede configurar la base de datos, para añadir, borrar o modificar un usuario Alumno.
- **Alumno:** Si el usuario alumno, ha sido registrado en la base de datos, tendrá acceso al uso del Laboratorio Virtual y Remoto. Este usuario configura parámetros establecidos en el uso del Laboratorio para obtener y visualizar respuestas de la planta emulada o real respectivamente.

### 2.1.3. MATERIALES Y METODOLOGÍAS EMPLEADAS

Los materiales empleados en la investigación para el diseño e implementación de un Laboratorio Virtual y Remoto se basan principalmente en bibliografía técnica e informativa distribuida libremente a través de Internet, entre los que se destacan artículos publicados por estudios universitarios al respecto, donde se describe arquitecturas, procesos de diseño, limitaciones entre otros aspectos. Además se recopiló información de libros especializados en cada elemento del Laboratorio, para que de esta manera se establezca un sustento teórico técnico en el que se fundamente la investigación y posterior desarrollo.

El desarrollo e implementación inicia con un proceso investigativo sobre el diseño de laboratorios virtuales y remotos, donde se identifica los entornos de programación, herramientas de simulación, creación y distribución de páginas Web, herramientas para el cálculo numérico, técnicas de control de procesos, etc.

La línea metodológica abarca entonces el estudio de los canales, protocolos y estándares de comunicación que garanticen un sistema confiable y eficiente. Se estudió también la configuración de las redes informáticas orientadas a aplicaciones WEB. Continuando con el análisis del diseño y arquitectura de la Planta de Transmisión de Fluidos, y las Técnicas de Control a ser implementadas en el proyecto. Orientando esta parte de la investigación hacia la factibilidad de aplicar la técnica por Superposición.

Para diseñar e implementar un Laboratorio Virtual y Remoto, se debe conocer la interacción y manejo adecuado de los componentes físicos (Hardware), junto con los entornos de simulación y programación (Software). Se describe a continuación cada uno de estos componentes:

#### Software

- Software de Cálculo Numérico LabVIEW y Matlab.
- Software de Simulación Java.
- Software para creación y administración de base de datos MySQL.
- Software de Desarrollo para Aplicaciones WEB JAVA.
- Software Servidor WEB Glassfish.

#### Hardware

- Planta de Transmisión de Fluidos
- Tarjeta de Adquisición de Datos
- Equipos para Montaje de Redes de Datos (router – cables de conexión)
- Computadores

#### 2.1.4. TENDENCIAS

A pesar de que en América Latina, el desarrollo y consolidación de laboratorios virtuales y remotos como ente fundamental de la autoeducación han tenido una acogida paulatina y lenta en relación a Europa, su implementación es cada vez más notoria, comprendiendo que representa un paso agigantado en el ámbito de la autoeducación.

En América Latina, es posible identificar varios proyectos en los que ya se ha implementado laboratorios Virtuales y Remotos, entre los países a la vanguardia están Colombia, México, entre otros, en los que instituciones de educación superior han incluido esta herramienta en la formación académica de sus estudiantes.

Sin embargo su innovación e inclusión en los procesos académicos, debe mantener la calidad educativa y permitir hablar de un modelo de educación que a pesar de las resistencias sociales, tiene una gran demanda y utilización en los campos universitarios.

Un aspecto importante al analizar las tendencias, tiene que ver con el tiempo en el actualmente los estudiantes navegan en internet buscando y compartiendo información de libre acceso. Este aspecto facilita aprovechar los beneficios tecnológicos para presentar entornos de autoaprendizaje, que contribuyan al desarrollo académico del estudiante y que se presentan en forma moderna y atractiva en el mundo informático en el cada vez están más inmersos.

Un estudio realizado en el proyecto *Horizon del NMC* sobre Perspectivas Tecnológicas en la Educación Superior en América Latina, presenta diez tendencias principales del uso de la tecnología en la educación, dichas

tendencias están enmarcadas en un contexto que refleja la realidad de nuestro tiempo tanto en la esfera educativa como en el mundo en general. Se enumeran a continuación:

- Los medios sociales están cambiando la manera en que las personas interactúan, presentan las ideas y la información y juzgan la calidad de los contenidos y contribuciones.
- Los paradigmas de enseñanza están cambiando para incluir la educación online, la educación híbrida y los modelos colaborativos.
- Los cursos online masivos y abiertos están siendo explorados extensivamente como alternativa y suplemento a los cursos universitarios tradicionales.
- Cada vez más, los estudiantes quieren utilizar sus propias tecnologías para aprender.
- La apertura (conceptos como contenido abierto, datos abiertos, recursos abiertos, junto a las nociones de transparencia y fácil acceso a los datos y la información) se está convirtiendo en un valor importante.
- La abundancia de recursos y relaciones que Internet hace fácilmente accesibles, constituye un reto que nos hace replantearnos nuestros roles como educadores.
- Las tecnologías que usamos están, cada vez más, alojadas en la nube, y nuestras nociones de soporte TIC están descentralizadas.
- Las personas esperan ser capaces de trabajar, aprender, y estudiar cuando y donde quieran.
- El mundo del trabajo/laboral es cada vez más colaborativo, llevando a cambios en la forma en que se estructuran los proyectos de los estudiantes.

- Existe un interés cada vez mayor en el uso de nuevas fuentes de datos para personalizar la experiencia de aprendizaje y medir el rendimiento.

## 2.2. ESTUDIO DE LA PLANTA

La planta de transmisión de fluidos empleada en el desarrollo del proyecto, pertenece al laboratorio de Instrumentación y Sensores, del Departamento de Eléctrica y Electrónica (DEEE) de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, y fue escogida por la factibilidad en la aplicación de la técnica de control por superposición.

### 2.2.1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO

Una visión general de la planta mostrada en la Figura 2, presenta sus elementos constitutivos como son sensores de Nivel, Sensores de Flujo, Bomba DC, tanques, Flotadores, tubería, soporte metálico, etc.

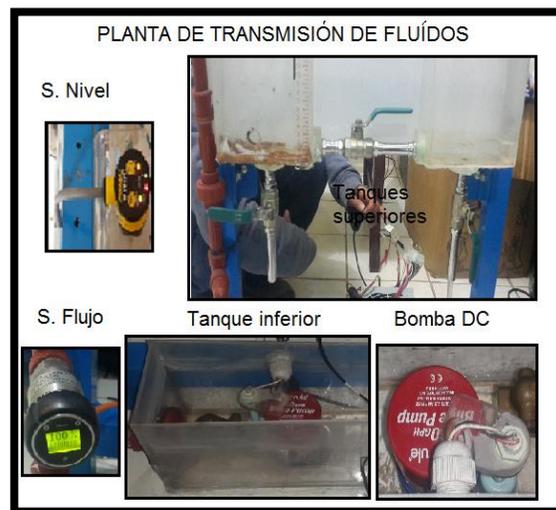


Figura 2 Planta de Transmisión de Fluidos

La planta consta de tres tanques acoplados entre sí, dos de ellos ubicados en la parte superior y de iguales dimensiones, que interactúan por medio de una válvula de ajuste manual la que permite el intercambio de flujo entre ellos. Dichos tanques superiores cuentan con un desfogue ubicado en la parte inferior, hacia un tercer tanque, llamado de reserva. El tanque de reserva donde se acumula el agua, se acopla con uno de los tanques superiores por medio de una tubería de PVC, la cual transporta el fluido impulsado por una Bomba DC.

En condiciones normales de funcionamiento se busca garantizar la recirculación constante del agua, para lo cual la válvula inferior de desfogue del primer tanque superior acoplado al de reserva, permanece cerrada, mientras que la válvula inferior del segundo tanque superior permanecerá abierta al igual que la válvula de acople entre los dos tanques.

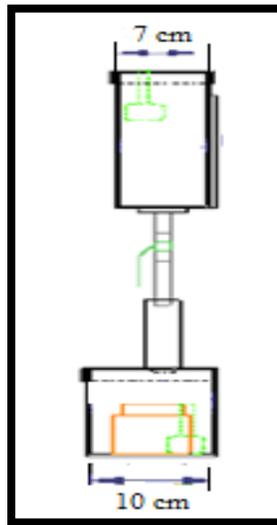
El sistema es destinado para fines educativos, por esta razón los tanques y su soporte metálico son de dimensiones pequeñas, las cuales se detalla en la Tabla 2.

**Tabla 2 Dimensiones de elementos del sistema**

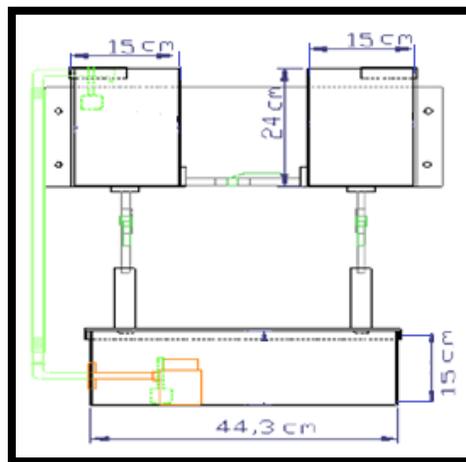
	Largo	Alto	Ancho
<b>Tanques Acoplados</b>	15 cm	24 cm	7 cm
<b>Tanque de Reserva</b>	44,3 cm	15 cm	10 cm
<b>Lamina de acrílico para sujeción de tanques acoplados</b>	M	M	6 mm

**Fuente:** (Idrovo & Valle, 2009)

La Figura 3 y Figura 4, permite evidenciar las dimensiones exactas de los tanques acoplados superiores y del tanque de reserva o inferior, los cuales forman parte de la Planta de Transmisión de Fluidos. Se presenta la vista lateral y frontal respectivamente de los tanques que conforman todo el sistema.



**Figura 3 Vista lateral del tanque de reserva y de un tanque acoplado**



**Figura 4 Vista frontal del tanque de reserva y de los tanques acoplados**

Al ser una planta de trasmisión de fluidos, es muy importante el análisis del medio por el cual circula el mismo. El sistema utiliza tubería PVC de media pulgada, para la conexión de las tres válvulas tipo bola las cuales son de activación manual, y que porcentualmente permiten el paso del fluido. La Figura 5 muestra la válvula bola de tipo bola usada en el sistema.



**Figura 5 Válvula tipo bola**

Una válvula check, está conectada a la salida de la bomba de realimentación ubicada en el tanque de reserva. Es utilizada para impedir que el agua que se encuentra en la tubería de suministro hacia el primer tanque superior acoplado, regrese y dañe a la bomba, o que a su vez altere el tiempo del lazo de control. La Figura 6, muestra la válvula Check utilizada en el sistema para protección de la Bomba DC.



**Figura 6 Válvula Check**

La bomba ubicada en la parte inferior izquierda del sistema, es sumergible, de marca Rule 360GPH, controlada eléctricamente, que permite modificar el flujo de agua sobre el primer tanque, tiene las características descritas en la Tabla3.

**Tabla 3 Características de la Bomba DC**

Características	Valores
Caudal de salida	360 gph
Voltaje de alimentación	12 Vdc
Fusible	2.5 A
Consumo de corriente	2.1 A
Peso	260 g
Medidas	89 x 60.3 mm

**Fuente:** (Idrovo & Valle, 2009)

La Figura 7, muestra la Bomba sumergible tipo Rule 360 GPH utilizada en la planta para suministrar fluido (agua) en la Planta de Transmisión de Fluidos.



**Figura 7 Bomba sumergible Rule 360 GPH**

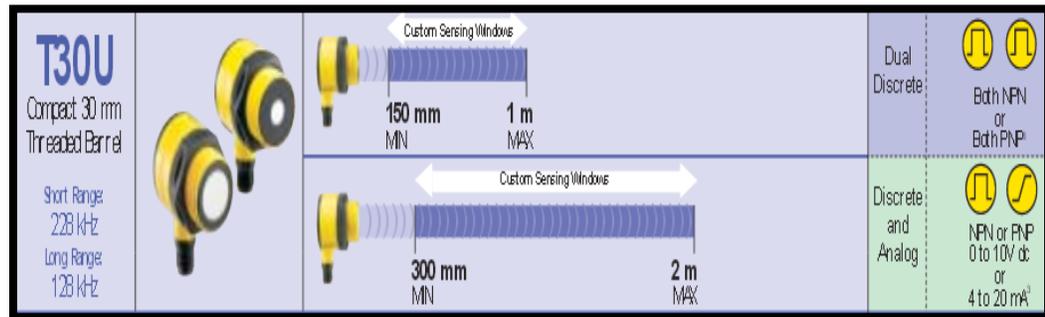
La planta cuenta con un sensor de nivel ultrasónico U – GAGE T30 U, este es un sensor industrial cuyas características se basan en la precisión,

versatilidad y gran eficacia. Permite la medición de distancia entre 0 cm a 100 cm, con un comportamiento lineal. Las principales características técnicas del sensor son:

- Gran precisión
- Resoluciones de 0,1% a 0,25%
- Garantiza firmware de propiedad
- Son a prueba de fugas, diseñados para soportar ambientes extremadamente hostiles entre ellos uso al aire libre, con puntuaciones de hasta IP67 y NEMA 6P.
- Son inherentemente inmunes a interferencias de luz de alta potencia, incluso la luz solar no afecta su rendimiento.

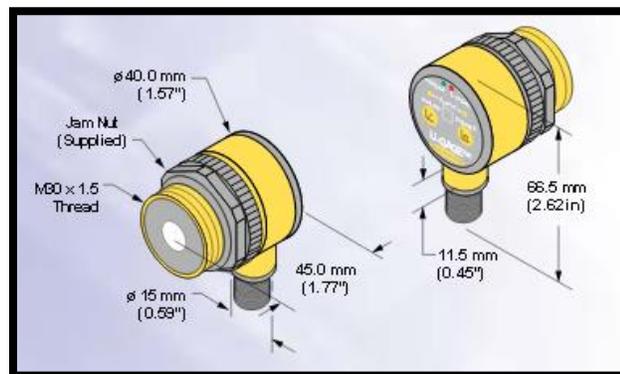
El sensor mide los diferentes niveles de agua en el tanque superior acoplado al tanque de reserva. La elección del tanque sobre el cual se ubica el sensor, se debe a que el flujo de ingreso de líquido a dicho tanque no es siempre igual al flujo de desfogue, por lo que se puede presentar riesgos de que se derrame el agua por exceso al superar la altura del tanque. El uso del sensor en un lazo de control, permite mantener el nivel en valores establecidos, y de esta manera evitar los inconvenientes descritos anteriormente. Por las características de las dimensiones del tanque se puede realizar mediciones entre 0 cm a 20 cm, sin embargo y por motivos de adecuaciones realizadas en el tanque se realiza el control entre 0 cm y 12,5 cm.

La Figura 8, muestra las configuraciones que dispone el sensor de Nivel utilizado en la Planta (T30U), dependiendo del tipo de configuración ya sea discreta o analógica, se visualizan los diferentes rangos de alcance y límites de operación que tiene el sensor.



**Figura 8 Rangos de operación del sensor de nivel U – GAGE T30U**

El T30U establece nuevos estándares para un sensor ultrasónico de gran versatilidad mediante la inclusión de salidas discretas y analógicas en la misma unidad. Permite elegir el tipo de salida, ya sea NPN o PNP, además de un voltaje de salida analógico 0 a 10V o de corriente continua de (4 a 20) mA. Las dos ventanas de salida se pueden programar simultánea o independientemente. (U - GAGE ULTRASONIC SENSORS, 2014). Las dimensiones del sensor se visualizan en la Figura 9, detalle importante para su análisis y posterior montaje en la Planta.



**Figura 9 Dimensiones del sensor U – GAGE T30U**

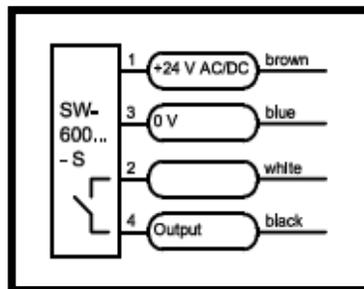
La medición de flujo en la tubería que conecta el tanque de reserva y los tanques superiores se realiza por medio del sensor de flujo SW 600-S de características lineales, mostrado en la Figura 10. Su montaje permite la

medición de caudal dentro de la tubería en cm/s. Es muy robusto ya que sus aplicaciones son principalmente industriales.



**Figura 10 Sensor de flujo**

Por sus características de desempeño y para garantizar su adecuado funcionamiento es necesario alimentar al sensor con una fuente de 24 VDC, su conexión se detalla en la Figura 11. Al igual que el sensor de nivel, este sensor permite a su salida obtener valores analógicos de voltaje o corriente, en valores estándares de 0 VDC a 10 VDC, o de 4 mA a 20 mA.



**Figura 11 Conexión de datos y de alimentación del sensor de flujo**

La alimentación al sistema se realiza por medio de dos fuentes de voltaje continua. Una fuente de 12 VDC a 12 A es utilizada para la alimentación de la bomba sumergible, mientras que una segunda fuente de 24 VDC a 3 A es utilizada para la alimentación de los sensores de Flujo y de Nivel. Este es un

aspecto importante para evitar sobrecargas, calentamientos o daños generales en el sistema.

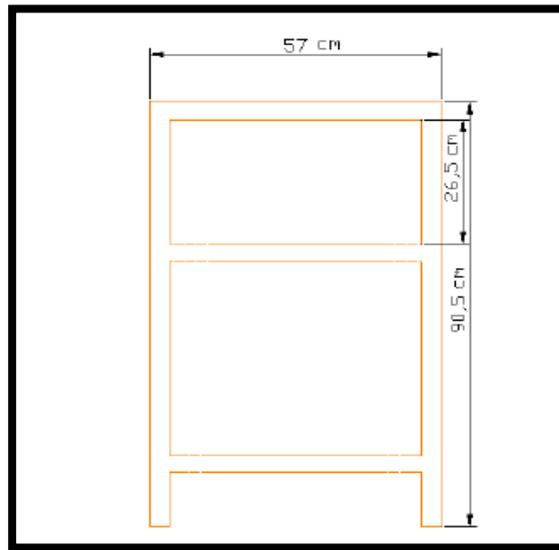
### **2.2.2. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA EL USO DE LA PLANTA EN EL LABORATORIO VIRTUAL Y REMOTO.**

El análisis de factibilidad para el uso de la planta en la implementación del Laboratorio, abarcó los siguientes puntos considerados durante la investigación como de suma importancia:

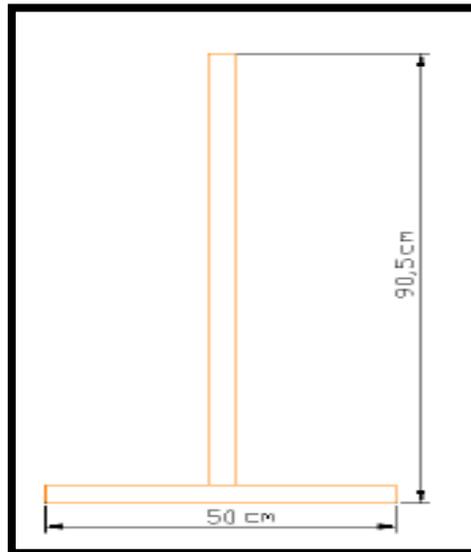
- Morfología de la planta, determinado si existen piezas o elementos móviles.
- Tipo de acciones a llevar a cabo en la planta.
- Situaciones de riesgo, y seguridades a tomar.
- Respuestas de la planta al manejo remoto.

**Morfología de la Planta:** Cuando se opera de manera remota, con plantas y/o robots móviles o fijos, se presentan muchos inconvenientes sujetos principalmente al mal uso de los equipos, pudiendo existir colisiones, restricciones de movimientos por estructuras, daños, etc.

El sistema de Transmisión de fluidos, es un módulo estático, montado sobre una estructura metálica, la cual sirve de soporte para los tanques acoplados, el tanque de reserva y los sensores asociados. Las dimensiones de la estructura se detallan en la Figura12 y Figura13.



**Figura 12 Vista frontal de la estructura metálica**



**Figura 13 Vista lateral de la estructura metálica**

El soporte general, distingue tres secciones. La primera o inferior es sobre la cual va montado el tanque de reserva, una sección intermedia sirve de soporte de los tanques acoplados, y una sección final o superior sobre la cual va ubicado el sensor ultrasónico de Nivel.

El manejo de esta estructura compacta, representa una gran ventaja, pues los esquemas de seguridad no se enfocan en choques, colisiones o limitación de movimientos, lo que determinó la factibilidad del uso de la planta en el aspecto morfológico.

**Tipos de Acciones a Llevar a Cabo en la Planta:** Las acciones realizadas en la planta están orientadas al control de dos variables físicas nivel y caudal.

- **Control de Nivel:** La planta tiene un sensor de nivel ubicado sobre uno de los tanques superiores, el nivel de este tanque se puede modificar mediante la acción de una bomba DC, la cual constituye el actuador del lazo de control. Para mantener el nivel del tanque en el valor deseado se aplica un control en lazo cerrado, para lo cual se determinó previamente la linealidad de la planta, en base a la experimentación y respuesta obtenida mediante una tarjeta de adquisición.
- **Control de Flujo:** La planta tiene un sensor de flujo empotrado en la tubería de acople entre el tanque de reserva y uno de los tanques superiores. El flujo a través de la tubería se puede modificar mediante la acción de una bomba DC, la cual constituye el actuador del lazo de control. Para mantener el flujo en el valor deseado se aplica un control retroalimentado.

Por la estructura y elementos constitutivos de la planta, es factible la aplicación de acciones de control, que se buscan implementar. Sin embargo en el aspecto remoto, se debe considerar la validación de los datos enviados y recibidos, para evitar inestabilidades y reacciones no deseadas.

**Situaciones de riesgo, y seguridades a tomar:** La dinámica de la planta, implica la recirculación del fluido. La resistencia al paso de líquido del acople entre los dos tanques superiores representa un riesgo, ya que el caudal de ingreso de fluido hacia el primer tanque acoplado al de reserva, puede superar caudal de desfogue hacia el segundo tanque superior, elevando así, el nivel (cm) del primer tanque, a límites que representen un riesgo de derrame. Para evitar este riesgo, es necesario establecer mecanismo que permitan mantener el nivel del tanque en valores seguros. La técnica de Control por Superposición, representa el mecanismo por el cual, se asegura mantener los niveles del líquido en valores fijados como Set Point del lazo de control.

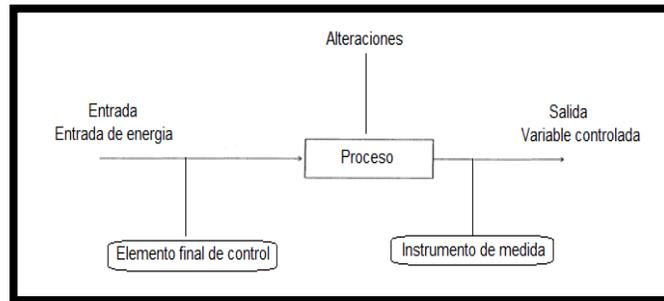
Para incrementar los índices de seguridad, se restringe el valor de la variable de Nivel, en un rango de 0 cm a 12,5 cm y se establece límites de los parámetros de sintonización de los controladores, para evitar inestabilidad y mal funcionamiento.

**Respuestas de la planta al manejo remoto:** En el manejo remoto de la planta, es necesario visualizar los valores de nivel y flujo, los cuales representan variables decimales y constituyen la respuesta de la planta ante las acciones efectuadas.

Estos valores pueden ser almacenados, procesados y transportados mediante la configuración de la red de datos, y no representa un problema de factibilidad en el desarrollo del proyecto. Es posible además implementar mecanismos de retroalimentación multimedia como son videos, sonidos y animaciones.

### **2.3. TÉCNICAS Y MÉTODOS DE CONTROL CLÁSICO DE PROCESOS**

Un sistema de control es un conjunto de elementos que interactúan entre sí para conseguir, que la salida de un proceso se comporte tal y como se desea mediante una acción de control. En la Figura 14, se puede identificar, los elementos que componen un sistema de control básico.



**Figura 14 Representación mediante bloques de un proceso a ser controlado**

Los sistemas de control pueden utilizar diversas tecnologías, pero los elementos a continuación detallados son similares, así entonces:

- **Entradas:** Son estímulos que influyen o modifican la evolución del sistema.
- **Salidas:** Son las variables que se desean modificar, para obtener un desempeño óptimo bajo parámetros deseados.
- **Planta:** Es el conjunto de componentes que interactúan entre sí para cumplir una determinada función, y sobre la cual se ejecuta el control.
- **Variables:** Son las magnitudes medibles del proceso.
- **Controlador:** Es el elemento que produce una señal, la cual es utilizada para controlar el sistema o la planta.

- **Actuador:** Es el elemento que transforma energía en forma a una acción física que permite controlar el sistema.
- **Sensor:** Es el instrumento capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Existen sistemas de control de lazo abierto y de lazo cerrado. En un sistema de control de lazo abierto, no se compara la salida con la entrada de referencia la acción de control es independiente de la salida, son sistemas poco estables en los cuales se debe conocer más a detalle el proceso para su control, son propensos a ser afectados por perturbaciones. El sistema de control en lazo abierto, tiene la ventaja de ser sencillo, pero su funcionamiento depende en gran medida de las propiedades del proceso en estudio.

Los sistemas de control de lazo cerrado son aquellos en los que la salida tiene un efecto directo en la acción de control, son mayormente utilizados pues permite controlar la mayoría de sistemas incluso no lineales e inestables. Los sistemas de lazo cerrado son más robustos ante perturbaciones, y se requiere un menor conocimiento del proceso a controlar, lo que representa la mayor ventaja frente a los sistemas de lazo abierto.

### 2.3.1. TEORÍA DE CONTROL DE PROCESOS

**Sistemas Lineales:** Un sistema es lineal si cumple el principio de superposición y homogeneidad. Este principio establece que la respuesta producida por la aplicación simultánea de dos funciones de entradas diferentes es la suma de las dos respuestas individuales. “Si en una investigación

experimental de un *sistema dinámico son proporcionales la causa y el efecto, lo cual implica que se aplica el principio de superposición, el sistema se considera lineal.*” (OGATA, 1998)

**Sistemas Lineales e Invariantes en el Tiempo:** Un sistema lineal, representado por una ecuación diferencial, es invariante en el tiempo cuando sus coeficientes son constantes o no son función del tiempo.

**Función de Transferencia:** En la teoría de control clásico, la base de la representación de relación que existe entre las entradas y salidas es la función de transferencia. Una función de transferencia es un modelo matemático de componentes o de sistemas que se describen mediante ecuaciones diferenciales.

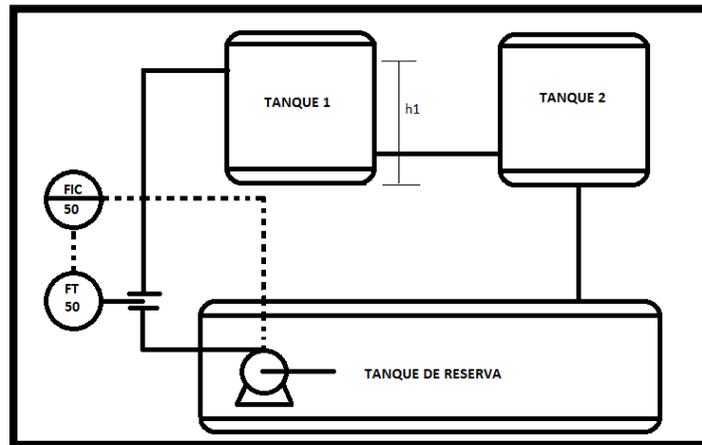
*“La función de transferencia de un sistema descrito mediante una ecuación diferencial lineal e invariante con el tiempo se define como el cociente entre la transformada de Laplace de la salida (función de respuesta) y la transformada de Laplace de la entrada (función de excitación) bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero.”* (OGATA, 1998)

**Estabilidad de un Sistema:** Un sistema es estable si su salida tiende a un valor definido ante una entrada con valor definido. El criterio básico para definir la estabilidad de un sistema basado en su función de transferencia es que todos sus polos o raíces del denominador tengan la parte real negativa.

**Controlador PID:** Un controlador PID, es una estrategia de control que permite mantener una variable física el valor deseado. Para comprender su funcionamiento y aplicarlo de manera correcta, se debe comprender de manera individual la acción de control proporcional, derivativo e integral.

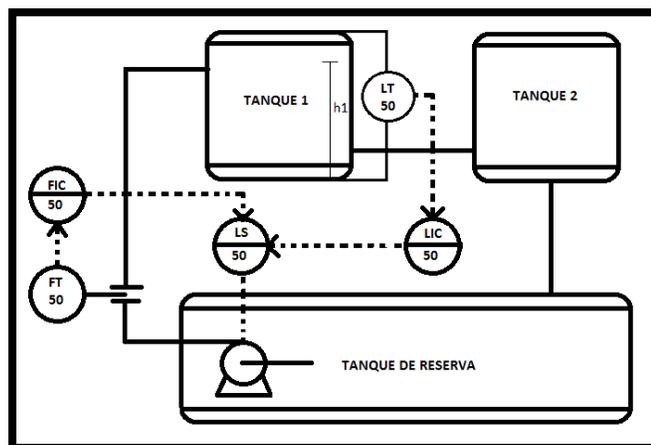
- **Acción de Control Proporcional:** Es en esencia un amplificador de ganancia configurable, la salida del controlador es proporcional al error en un sistema de lazo cerrado.
- **Acción de Control Integral:** Permite eliminar el error en estado estable en la salida de un sistema. *En el control integral de una planta, la señal de control es en todo momento el área bajo la curva de la señal de error hasta tal momento. La acción de control integral, aunque elimina el offset o el error en estado estable, puede conducir a una respuesta oscilatoria de amplitud decreciente lenta o, incluso, de amplitud creciente, y ambos casos, por lo general, se consideran inconvenientes.* (OGATA, 1998)
- **Acción de Control Derivativa:** Aporta sensibilidad al controlador, esta acción responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande. Esta acción permite corregir la respuesta del sistema de manera oportuna y permite aumentar la estabilidad del sistema. *“Aunque el control derivativo no afecta en forma directa el error en estado estable, añade amortiguamiento al sistema y, por tanto, permite el uso de un valor más grande que la ganancia  $K$ , lo cual provoca una mejora en la precisión en estado estable”.* (OGATA, 1998)

**Técnica de Control por Superposición:** Se emplea como protección a fin de mantener variables dentro de límites requeridos. Para entender los principios del control por superposición se presenta su aplicación en la planta de transmisión de fluidos.



**Figura 15 Diagrama de instrumentación para control de flujo en planta de transmisión de fluidos.**

Tomando en cuenta el proceso de la Figura 15, se puede observar un lazo de control de flujo para mantener el caudal de la tubería de acople del tanque de reserva al tanque 1 en valores deseados, si este caudal supera al que el tanque 1 desfoga hacia el tanque 2, el nivel del tanque 1 se incrementa hasta superar la altura  $h_1$ , pudiendo existir derrames no deseados. Por lo tanto se diseña un esquema de control por superposición para evitar esa condición, este esquema se muestra en la Figura 16.



**Figura 16 Control por Superposición de planta de transmisión de fluidos.**

Es importante notar la acción de los controladores y el actuador. La bomba DC o actuador incrementa el caudal conforme se incrementa el Duty de la señal de control PWM que la alimenta. El controlador de Flujo y Nivel son de acción inversa. La salida de cada controlador se conecta a selector de baja digital, LS50, y de ahí la salida pasa a la bomba.

Bajo condiciones normales de operación si el flujo que circula por la tubería controlada es menor al deseado, el controlador FIC50 intenta acelerar la bomba, si en este transcurso el nivel del tanque 1 sobrepasa el nivel crítico  $h_1$ , el controlador LIC50 intenta desacelerar la bomba, por lo tanto el selector de baja elige la señal del controlador LIC50, que manejará al actuador.

Una vez el nivel se encuentre debajo del nivel crítico, la acción de control LIC50 aumentará, provocando que el selector elija la acción de FIC50, lo que permite concluir que bajo condiciones normales, el control que tiene acción inmediata sobre la bomba será el de flujo, y en condiciones críticas actuará el controlador de nivel.

### **2.3.2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO**

Considerando la aplicación de la técnica de control por superposición se debe diseñar dos controladores independientes con acción sobre el mismo actuador. El controlador de flujo para mantener el caudal deseado en la tubería de acople del tanque de reserva y un tanque superior y el controlador de nivel, destinado a evitar que el nivel sobrepase un valor crítico fijado como consigna (set point).

- **Análisis para control de Flujo:** Como primer aspecto al controlar caudal, se debe estudiar las características de flujo, para determinar si este sigue un modelo laminar o turbulento.

El número de Reynolds, es un parámetro adimensional que permite definir las características de flujo dentro de una tubería, dependiendo de las propiedades del líquido y las dimensiones del flujo.

Físicamente se define el número de Reynolds como:

$$NR = \frac{v D \ell}{\eta}$$

Dónde:

$NR$ : Número de Reynolds.

$\ell$ : Densidad del líquido  $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$ .

$v$ : Velocidad promedio flujo  $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$ .

$\eta$ : Viscosidad del líquido  $\left[\frac{\text{ms}}{\text{kg}}\right]$ .

$D$ : Diámetro del tubo [m].

El fluido que se empleó en el proyecto es agua, y sus cualidades de densidad y viscosidad dinámica se muestran a continuación:

$$\ell_{\text{agua}}: 999,97 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\eta_{\text{agua}}: 0,000911 \frac{\text{ms}}{\text{kg}}$$

La tubería por donde circula el fluido es de media pulgada, lo que representa un diámetro en metros de:

$$D: 0,0127 \text{ m}$$

El cálculo del Número de Reynolds para distintos caudales se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4 Número de Reynolds a diferentes flujos**

Velocidad Promedio flujo (m/s)	Número de Reynolds
0,1 m/s	1394,03
0,2 m/s	2788,06
0,3 m/s	4182,01
0,4 m/s	5576,23

De acuerdo al estudio efectuado por Reynolds se puede predecir el tipo de caudal de acuerdo a la Tabla 5.

**Tabla 5 Tipo de flujo de acuerdo al número de Reynolds**

Valor adimensional de Reynolds	Tipo de Flujo
NR < 2000	Flujo Laminar
NR > 4000	Flujo Turbulento
2000 > NR < 4000	Rango crítico que permite identificar el tipo de flujo

En base al cálculo del número de Reynolds se puede concluir que el flujo solo presenta características laminares en el rango de 0 a 10 cm/s, por lo tanto para poder trabajar en rangos superiores, se debe considerar acciones de control a sistemas no lineales, tomando en cuenta que la respuesta del sensor será oscilante.

Una vez definido el tipo de flujo, se analiza al actuador identificando sus principales características. Se trata de una bomba de activación ON-OFF,

controlada mediante corriente continua, la cual permite aplicar PWM, para la regulación de la velocidad.

Es importante recalcar que la bomba no constituye una resistencia variable al flujo, sino que su acción acelera o desacelera el caudal a través de la tubería. El control de la bomba a través de la señal de PWM, se ejecuta incrementando o reduciendo el Duty, con lo que no se consigue regular en sí la cantidad de flujo, en su lugar se varía el intervalo de tiempo durante el cual circulará un flujo determinado. Este aspecto representa una limitación, si se pretende controlar caudal de manera adecuada.

Tomando en consideración las características de desempeño del actuador y basados en el análisis del tipo de flujo, se descarta el uso de un controlador tradicional ya sea PID, compensador de fase u otros. Sin embargo por la importancia de aplicar dos lazos de control independientes estipulados en la técnica de Superposición, se implementó un Controlador combinado ON – OFF y Proporcional, el cual se diseña considerando una respuesta lo suficientemente lenta, para no alterar al flujo evitando la generar inestabilidad. Además se limita en el rango de 0 cm/s a 40 cm /s y se trabaja en lazo cerrado, para disminuir la influencia de perturbaciones.

El sensor empleado para la medición de flujo entrega una salida analógica proporcional al caudal, esta señal es de corriente y está en rangos normados de 4 mA a 20 mA.

- **Análisis para Control de Nivel:** La instrumentación de la planta, permite la implementación de un controlador de Nivel PID, considerando el proceso como lineal de primer orden, ya que la respuesta es amortiguada y estable, y la salida es proporcional a la entrada y tiende a un valor fijo, siempre que la entrada también lo

haga. Las limitaciones para el control de nivel se dan en función de la estructura de la planta, puesto que a los 13 cm del tanque 1, se encuentra la tubería, la cual permitiría el retorno del fluido hacia la bomba, en el caso de que el nivel del tanque supere esa altura. Por esta razón se limitó el control al rango de 0 cm a 12,5 cm. El sensor utilizado para la medición de nivel entrega una señal de voltaje analógico inversamente proporcional a la altura del fluido, dicha señal esta normada en el rango de 0 VDC a 10 VDC.

### Acondicionamiento de las Señales

**Nivel:** En la etapa de acondicionamiento de la señal de voltaje del sensor de Nivel, fue necesaria una conversión que permita representar y visualizar gráficamente la altura del fluido en el tanque 1 en centímetros. Para realizar este acondicionamiento, se registró el valor de salida del sensor con un nivel de 1,2 cm y 12,5 cm. Así tenemos:

**Tabla 6 Adecuación de señales de centímetros a voltaje**

X Nivel (cm)	Y Voltaje (v)
1,2	2,33
12,5	1,23

Puesto que la salida del sensor es de características lineales, se obtuvo la relación de nivel en función de voltaje, en base a la ecuación de la recta, mostrado a continuación:

$$m = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}$$

$$m = \frac{1.23 - 2.33}{12.5 - 1,2}$$

**Ecuación 1:**  $m = -0.09$

Definición de la ecuación de la recta:

**Ecuación 2:**  $y - y_1 = m (x - x_1)$

**Ecuación 1 en Ecuación 2**

$$y - 2,33 = -0.09 x + 0.108$$

$$x = \frac{2,438 - y}{0.09}$$

Dónde:

x: Nivel del líquido en el Tanque [cm]

y: Voltaje de salida del sensor de Nivel VDC

**Adecuación de la señal de Duty:** La entrada teórica al lazo de control de nivel, constituye una magnitud en centímetros, sin embargo en la parte física, la entrada se establece como el Duty porcentual de la señal PWM que actúa sobre la bomba. Para poder aplicar el diseño teórico del controlador, es necesario obtener la relación de Duty en función del Nivel en centímetros, para esto se consideró una relación lineal con un Duty efectivo de 45% al 100% mostrada a continuación:

**Tabla 7 Adecuación de señales de centímetros a Duty**

X Duty (%)	Y Nivel (cm)
45	0
100	13

Cálculo de la pendiente:

$$m = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}$$

$$m = \frac{13 - 0}{55}$$

**Ecuación 3:**  $m = 0.24$

Definición de la ecuación de la recta:

**Ecuación 4:**  $y - y1 = m (x - x1)$

**Ecuación 3 en Ecuación 4**

$$y = 0.24x - 10.64$$

$$x = \frac{y + 10.64}{0.24}$$

Dónde:

x: Valor porcentual de Duty [%]

y: Entrada de Nivel [cm]

- **Flujo:** En la etapa de acondicionamiento de la señal de corriente del sensor de Flujo, fue necesaria una conversión para representar y visualizar gráficamente la circulación del fluido en la tubería en centímetros por segundo. Por el tipo de flujo turbulento generado a caudales superiores a los 40 cm/s, se define el rango de operación entre los 0 cm/s a los 40 cm/s. Para realizar este acondicionamiento, se registró el valor de salida del sensor con un caudal de 0 cm/s y 105 cm/s. Así tenemos:

**Tabla 8 Adecuación de señales de centímetros por segundo a corriente**

Y Corriente (mA)	X Flujo (cm/s)
3,337 mA	0
12,7 mA	105

Puesto que la salida del sensor es de características lineales, se obtuvo la relación de caudal en función de la corriente, en base a la ecuación de la recta, mostrado a continuación:

$$m = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}$$

$$m = \frac{12,7 \text{ mA} - 3,337 \text{ mA}}{105 - 0}$$

**Ecuación 5:**  $m = 0,00008$

Definición de la ecuación de la recta:

$$\textbf{Ecuación 6: } y - y_1 = m ( x - x_1)$$

**Ecuación 5 en Ecuación 6**

$$y - 3,337 \text{ mA} = 0,00008 ( x - 0)$$

$$x = \frac{y - 3,337 \text{ mA}}{0,00008}$$

Dónde:

x: Caudal en la tubería [cm/s]

y: Corriente de salida del sensor de Flujo [mA]

**Adecuación de la señal de Duty:** La entrada teórica al lazo de control de flujo, constituye una magnitud en centímetros/ segundo, sin embargo en la parte física, la entrada se establece como el Duty porcentual de la señal PWM que actúa sobre la bomba. Para poder aplicar el diseño teórico del controlador, es necesario obtener la relación de Duty en función del Flujo en centímetros/ segundo, para esto se consideró una relación lineal con un Duty efectivo de 50% al 100% mostrada a continuación:

**Tabla 8 Adecuación de señales de centímetros por segundo a Duty**

X Duty (%)	Y Flujo (cm/s)
50	0
100	75

Sacamos la pendiente:

$$m = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}$$

$$m = \frac{75 - 0}{100 - 50}$$

**Ecuación 7:**  $m = 1.5$

Definición de la ecuación de la recta:

**Ecuación 8:**  $y - y1 = m (x - x1)$

**Ecuación 7 en Ecuación 8**

$$y = 1.5x - 75$$

$$x = \frac{y + 75}{1.5}$$

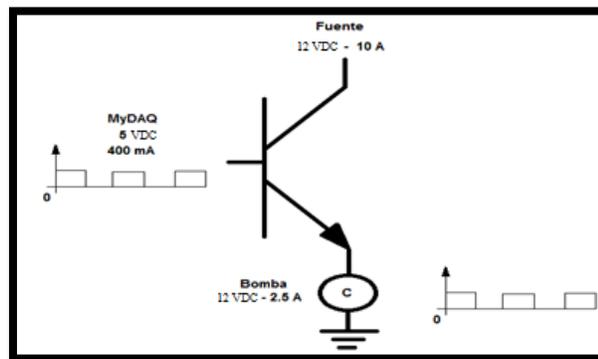
Dónde:

x: Valor porcentual de Duty [%]

y: Entrada de Flujo [cm/s]

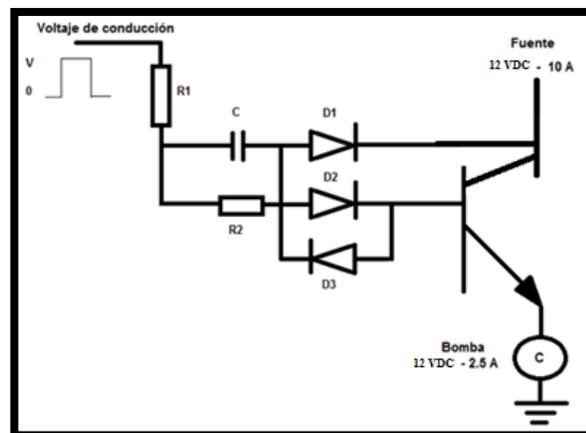
**Actuador:** Para el control de la bomba se utiliza una salida analógica de la tarjeta de adquisición de datos, a través de la cual se envía una señal de PWM a la bomba.

El voltaje que entrega la tarjeta de adquisición de datos para el control de la bomba, está en el rango de 0 VDC a 5 VDC, con una corriente de máximo 400 mA, por otro lado la bomba requiere para su funcionamiento un voltaje de 12 VDC a 2.5 A, por esta razón es necesario realizar un acondicionamiento de señal mediante el uso de un circuito de potencia que permite amplificar el voltaje de la señal PWM a los valores requeridos e incluye un circuito de protección para disipar la corriente de base y eliminar los electrones de carga.



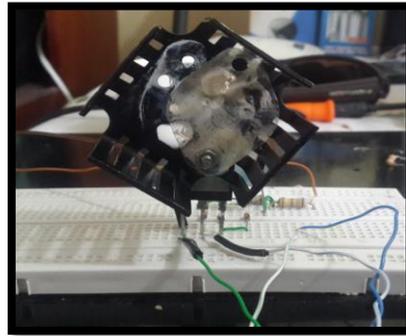
**Figura 17 Diagrama de acoplamiento para la bomba de la planta**

El esquema del circuito se muestra en la Figura 18:



**Figura 18 Circuito de disipación de corriente para la bomba**

En el cálculo de los valores de los elementos del circuito de potencia, es necesario, definir el transistor de potencia a ser utilizado. En base a la corriente que se requiere se escoge el transistor TIP 33C, mostrado en la Figura 19, el cual se emplea junto con un disipador de calor.



**Figura 19 Transistor TIP 33 con disipador de potencia**

El voltaje aproximado entre la base - emisor o voltaje de juntura es de 0,6 VDC. Por lo tanto la corriente de base estacionaria viene dada por:

$$I_B = \frac{3 - 0.6}{R_1 + R_2}, \text{ donde } 3 \text{ V es aproximadamente el estado de encendido}$$

Si  $I_b$  es de 0,3 A,  $R_1 + R_2 = 8 \Omega$ . La corriente pico de la base es de 0,5 A y la corriente está sólo limitada por  $R_1$ , por lo tanto:

$$R_1 = \frac{3 - 0,6}{0.5} = 4,8 \Omega$$

La elección de los valores estándar más cercanas utilizadas son  $R_1 = 6,7 \Omega$  y  $R_2 = 6,7 \Omega$ .

Durante el encendido, y durante el tiempo de almacenamiento al apagar, la tensión de base será casi constante. Para deducir la constante de tiempo, R1 y R2 debe considerarse en paralelo y así obtener la resistencia de Thevenin equivalente para carga o descarga del capacitor C. La constante de tiempo viene dada por:

$$\tau = \frac{C R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$2 \text{ us} = \frac{C \cdot 23,04}{9,6}$$

$$C = \frac{2 \text{ us} \cdot 13,4}{44,89}$$

$$C = 5,97 \text{ uf}$$

Si  $\tau$  es 2 us, nos da un valor de capacitor de  $C = 5,97 \text{ uF}$ , tomando el valor estándar más cercano de 5 uF.

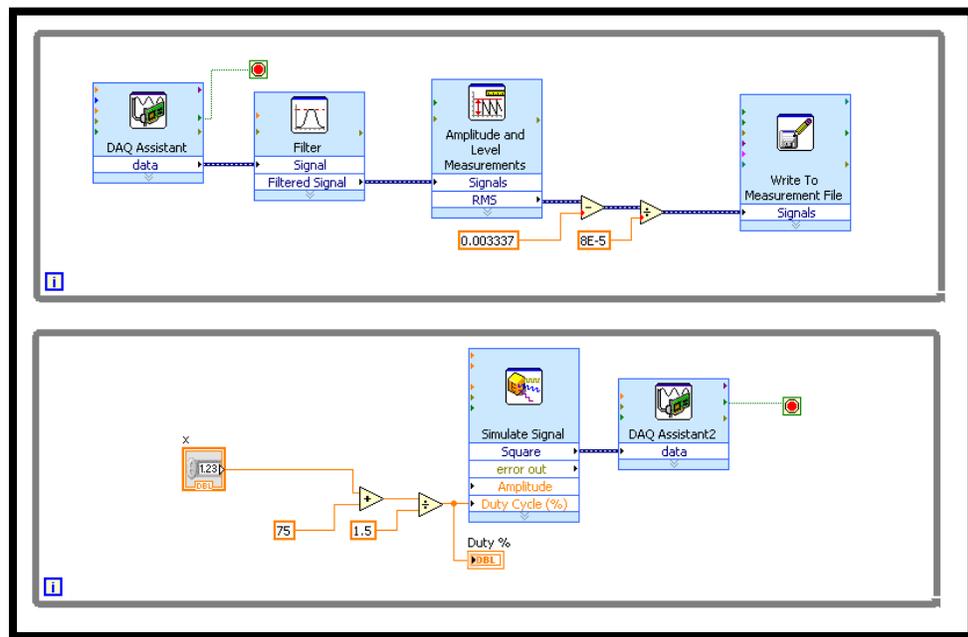
Es importante considerar en el diseño la disipación de potencia en las resistencias de base. En el estado estacionario, la disipación de potencia será 0,603 W en R1 y 0,603 W en R2.

### 2.3.3. IDENTIFICACIÓN NO RECURSIVA

El proceso de identificación, permite obtener un modelo matemático, el cual es una función de transferencia que representa el comportamiento de la planta. El proceso utilizado en la identificación, es experimental y se basa en la medición de las variables de entrada y salida del proceso, para la estimación de

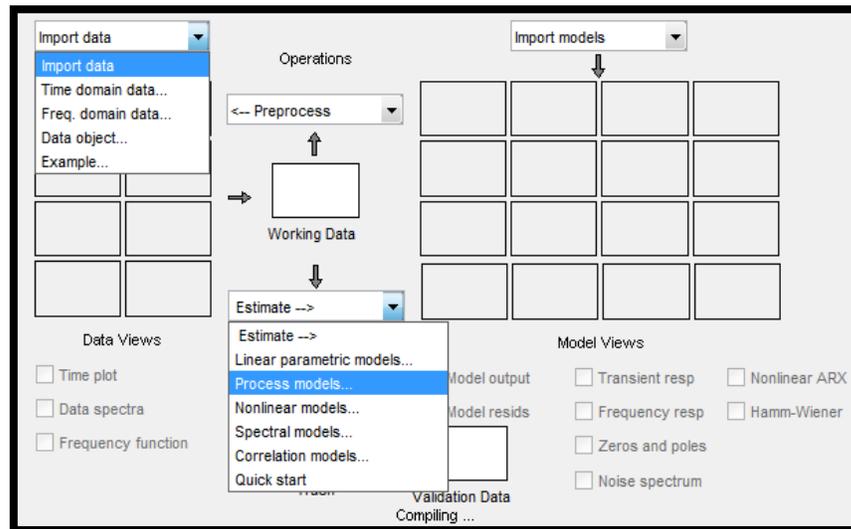
un modelo lineal. La tarjeta de adquisición de datos MyDAQ, permite obtener los datos necesarios, y el software de cálculo numérico MATLAB, y más específicamente su herramienta IDENT, facilita obtener la estimación del modelo.

El programa que se desarrolló en LabVIEW para la adquisición de datos permite, mediante una entrada analógica digitalizar la señal de los sensores, y procesarlas mediante un filtro digital pasabajos que permite reducir el ruido inmerso; para posteriormente mediante el uso de un bloque de análisis de señales obtener el valor RMS o efectivo, el cual se convierte a las unidades deseadas y se almacena en un archivo de texto, que muestra una columna con los valores medidos de la señal a un tiempo de muestreo de 0.1 segundos. La Figura 20 muestra el programa desarrollado para la obtención de datos del sensor de flujo.



**Figura 20 Programa Desarrollado en LabVIEW para obtención de datos**

El entorno de trabajo la herramienta IDENT, se muestra en la Figura 21, para la estimación del modelo lineal, es necesario, cargar al software un vector de entrada, uno de salidas y el tiempo de muestreo.



**Figura 21 Entorno de Trabajo de la Herramienta IDENT de MATLAB**

**Identificación de la Planta para Lazo de Flujo:** La entrada al sistema para la identificación es una señal escalón de magnitud 30 cm/s cuya representación en Duty es de 75 %.

En el proceso se obtuvo 250 muestras, con las cuales se generó un vector columna que se almacenó en la variable Y y representa la salida del sistema. El vector de entradas constituye 250 muestras de magnitud 30 y fue almacenado en la variable X. Estos vectores fueron cargados a la herramienta IDENT, junto con el tiempo de muestreo de 0.1 segundo, y como respuesta se obtuvo dos funciones de transferencia de primer orden cuya aproximación fue en promedio 95.74% al sistema real.

Función de transferencia con Retardo:

$$TF (s) = \frac{K e^{(-td s)}}{1 + T_{p1}s}$$

$$TF (s) = \frac{0.8235 e^{(-3 s)}}{1 + 2,941 s}$$

Función de Transferencia sin Retardo:

$$TF (s) = \frac{K}{1 + T_{p1}s}$$

$$TF (s) = \frac{0.928}{1 + 3.16 s}$$

**Identificación de la Planta para Lazo de Nivel:** La entrada al sistema para la identificación es una señal escalón de magnitud 6 cm cuya representación en Duty es de 69 %.

En el proceso se obtuvo 840 muestras, con las cuales se generó un vector columna que se almacenó en la variable Y y representa la salida del sistema. El vector de entradas constituye 840 muestras de magnitud 6 y fue almacenado en la variable X. Estos vectores fueron cargados a la herramienta IDENT, junto con el tiempo de muestreo de 0.1 segundo, y como respuesta se obtuvo dos funciones de transferencia de primer orden cuya aproximación fue en promedio 95.74% al sistema real.

Función de Transferencia con Retardo:

$$TF(s) = \frac{K e^{(-td s)}}{1 + T_{p1}s}$$

$$TF(s) = \frac{1.804 e^{(-3 s)}}{1 + 34.62 s}$$

Función de Transferencia sin Retardo:

$$TF(s) = \frac{K}{1 + T_{p1}s}$$

$$TF(s) = \frac{1.7731}{1 + 32.31 s}$$

### 2.3.4. DISEÑO DE CONTROLADORES PID Y DE COMPENSADORES DIGITALES PROPORCIONALES

**Control de Nivel:** Para el diseño del controlador de Nivel, se implementó un mecanismo PID de la forma:

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Para la sintonización del controlador, se empleó dos métodos los cuales se describen a continuación:

### Sintonización por el método de Ziegler Nichols

$$TF \text{ de Planta} \quad G_p(s) = \frac{K e^{(-Ls)}}{1 + Ts}$$

$$K_p = 1.2 \frac{T}{L}$$

$$K_p = 1.2 \frac{34.62}{3}$$

$$\mathbf{K_p = 13.848}$$

$$T_i = 2L$$

$$T_i = 2(3)$$

$$\mathbf{T_i = 6}$$

$$T_d = 0.5L$$

$$T_d = 0.5(3)$$

$$\mathbf{T_d = 1.5}$$

$$G_c(s) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

$$TF \text{ del Controlador} \quad \mathbf{G_c(s) = 13.848 \left( 1 + \frac{1}{6s} + 0,5s \right)}$$

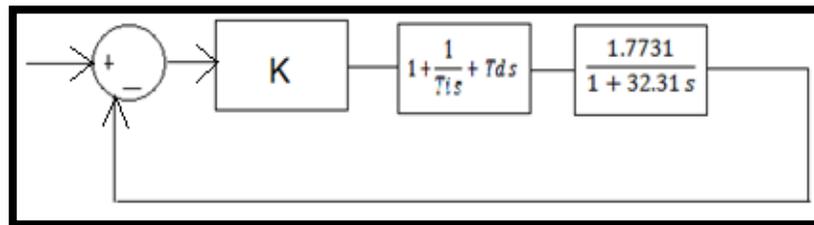
**Sintonización por asignación de polos:** El segundo método de diseño para el controlador PID, es mediante la asignación de polos, definiendo los parámetros de desempeño de la respuesta transitoria del sistema que se desea conseguir:

Error en estado estacionario:  $ess = 0$

Máximo pico:  $M_p = 0,001$

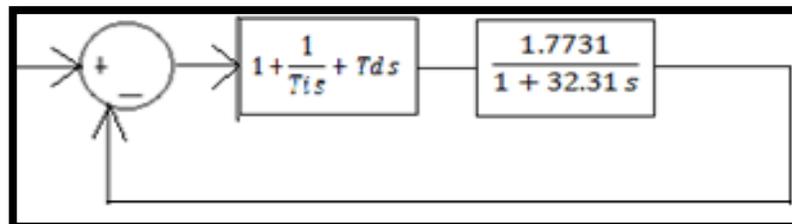
Tiempo de estabilización:  $T_s = 15$  segundos

El lazo de control utilizado para el diseño del controlador PID de Nivel, se muestra en Figura 22.



**Figura 22** Lazo de control de Nivel

Para determinar los valores  $T_d$  y  $T_i$ , se excluirá en primera instancia la ganancia proporcional  $K$ , la cual se determinara posteriormente en base al criterio de Ruth Hurwitz.



**Figura 23** Lazo de control para el cálculo de  $T_d$  y  $T_i$

La función de transferencia de la Planta es:

$$\frac{1.7731}{1 + 32.31 s}$$

El error en estado deseado, se consigue con el integrador  $\frac{1}{s}$ , que se encuentra en la estructura del controlador. Empleando el nuevo lazo de control, se calcula la función de transferencia en lazo cerrado y se excluye el polinomio característico y se lo lleva a la forma:

$$PC: s^2 + 2 \varepsilon w_n + w_n^2$$

Que se empleará para el diseño por asignación de polos.

$$T_i s (1 + 32,315) + 1,7731 (T_i s + 1 + T_i T_d s)$$

$$(32,315 + 1,7731 T_i T_d) s^2 + (2,7731 T_i) s + 1,7731$$

$$\text{Ecuación 9 : } s^2 + \frac{(2,7731 T_i) s}{(32,315 + 1,7731 T_i T_d)} + \frac{1,7731}{(32,315 + 1,7731 T_i T_d)}$$

En base a los parámetros de diseño requeridos, se determina el polinomio característico deseado, el cual se igualará al polinomio característico del sistema en lazo cerrado, para obtener las constantes Td y Ti.

$$M_p = e^{\frac{-\pi}{\tan \varphi}}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{-\pi}{\ln M_p} \right)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{-\pi}{\ln 0.01} \right)$$

$$\varphi = 0,598$$

$$\tan \varphi = \frac{\sqrt{1 - \varepsilon^2}}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{\tan^2 \varphi + 1}}$$

$$\varepsilon = \mathbf{0.83}$$

$$t_s = 15 \text{ s}$$

$$t_s (5\%) = \frac{3}{\varepsilon W_n}$$

$$W_n = \frac{3}{\varepsilon (15)}$$

$$W_n = \mathbf{0,24}$$

**Polinomio característico deseado Pc:**  $s^2 + 2\varepsilon W_n s + W_n^2$

**Ecuación 10:**  $s^2 + 0.398s + 0.0576$

**Igualdad entre Ecuación 9 y Ecuación 10:**

**Ecuación 11:**  $\frac{2,7731 T_i}{32.31 + 1,7731 T_d} = 0.398$

$$2,7731 T_i = 12,86 + 0,71 T_d T_i$$

$$T_i (2,7731 - 0,71 T_d) = 12,86$$

**Ecuación 12:**  $T_i = \frac{12,86}{(2,7731 - 0,71 T_d)}$

$$\frac{1.7731}{31.315 + 1.7731 T_i T_d} = 0.0576$$

**Ecuación 13:**  $1.7731 = 1.86 + 0,012 T_i T_d$

**Reemplazo Ecuación 12 en Ecuación 13:**

$$1.7731 = 1.86 + \frac{1.31}{2,7731 + 0,71 T_d}$$

$$(2,7731 + 0,71 T_d) - 0.087 = 1.31 T_d$$

$$- 0.24 + 0.062 T_d = 1.31 T_d$$

$$T_d = \frac{- 0.24}{1.25}$$

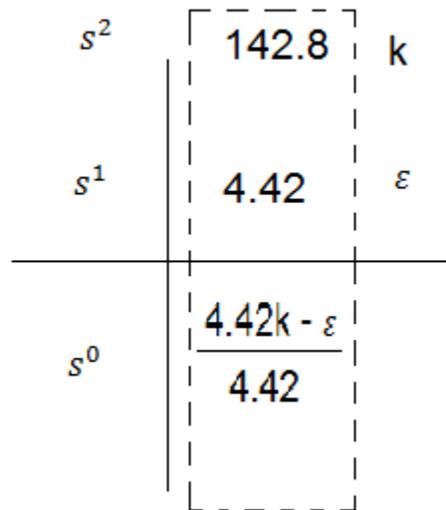
**Ecuación 14:**  $T_d = -0.192$

**Reemplazo Ecuación 14 en Ecuación 12:**

$$T_i = 4.42$$

Con el polinomio característico deseado, se aplica el criterio de estabilidad de Ruth Hurwitz, para hallar la ganancia proporcional crítica  $k$ , la cual se determinará para tener una sintonización fina del controlador.

$$142,8 s^2 + 4,42 s + k$$



$$\frac{4.42 k}{4.42} > 0$$

$$k > 0$$

Por motivos de diseño e implementación de la técnica por superposición, se requiere una respuesta del controlador precisa pero en tiempos de respuesta prolongados. Basados en este principio, se recomienda trabajar con las constantes del controlador PID:

$$K_p = 3$$

$$T_i = 4.42$$

$$T_d = -0.19$$

**Control de Flujo:** El controlador de flujo, únicamente se sintonizó por el método de asignación de polos, este diseño es empleado en el entorno de simulación virtual, ya que para el control remoto, se diseñará un Controlador

ON-OFF Digital Proporcional. Los parámetros de desempeño de la respuesta transitoria del sistema que se desea conseguir son:

Error en estado estacionario:  $e_{ss} = 0$

Máximo pico:  $M_p = 0,001$

Tiempo de estabilización:  $T_s = 15$  segundos

El lazo de control utilizado para el diseño del controlador PI de Flujo, se muestra en Figura 24.



**Figura 24 Lazo de control de Flujo**

La función de transferencia de la Planta es:

$$\frac{0.928}{1 + 3.16 s}$$

El controlador está definido por:

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Sin embargo para el control de Flujo, es recomendable el diseño e implementación de un controlador PI, por esta razón  $G_c(s)$  está definida por:

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

$$G_c(s) = K_p \frac{s + a}{s + b}$$

Empleando la definición de error en estado estable, se determina el coeficiente  $b$ , del controlador.

$$ess = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1 + G_c}$$

$$ess = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1 + \frac{0.928 k (s + a)}{(s + 3.16 s^2 + b + 3.16 b s)}}$$

$$ess = \frac{1}{1 + \frac{0.928 ka}{b}}$$

$$ess = \frac{b}{1 + 0.928 ka}$$

**Ecuación 15:**       $b = 0$

En base a los parámetros de diseño requeridos, se determina el polinomio característico deseado, el cual se igualará al polinomio característico del sistema en lazo cerrado, para el coeficiente  $a$  del controlador.

$$P_c = s^2 + 2 \varepsilon w_n s + w_n^2$$

**Ecuación 16:**       $s^2 + (0.32 + b + 0.29 k)s + 0.32 b + 0.29 k$

$$M_p = e^{\frac{-\pi}{\tan \varphi}}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{-\pi}{\ln M_p} \right)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{-\pi}{\ln 0.01} \right)$$

$$\varphi = \mathbf{0,43}$$

$$\tan \varphi = \frac{\sqrt{1 - \varepsilon^2}}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{\tan^2 \varphi + 1}}$$

$$\varepsilon = \mathbf{0.91}$$

$$t_r = 30 \text{ s}$$

$$t_r = \frac{\pi - \varphi}{W_d}$$

$$W_d = \frac{\pi - \varphi}{30}$$

$$W_d = \mathbf{0,09}$$

$$W_d = W_n \sqrt{1 - \varepsilon^2}$$

$$W_n = \frac{W_d}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}}$$

$$W_n = \frac{0.09}{\sqrt{1 - 0.83^2}}$$

$$W_n = \mathbf{0.22}$$

$$Pc = s^2 + 2 \varepsilon w_n s + w_n^2$$

$$\text{Ecuación 17:} \quad Pc = s^2 + 0.4s + 0.048$$

**Igualdad entre Ecuación 16 y Ecuación 17:**

$$\text{Ecuación 18:} \quad 0.32 + b + 0.29k = 0.4$$

$$\text{Ecuación 19:} \quad 0.32b + 0.29ka = 0.048$$

**Reemplazo Ecuación 15 en Ecuación 18:**

$$\text{Ecuación 20} \quad k = 0.28$$

**Reemplazo Ecuación 15 y Ecuación 20 en Ecuación 19:**

$$a = \frac{0,048}{0.29 - 0.28}$$

$$a = 0.6$$

Reemplazando valores en el controlador:

$$Gc(s) = Kp \frac{s + a}{s + b}$$

$$Gc(s) = 0.28 \frac{s + 0.6}{s}$$

$$Gc(s) = 0.28 \left( 1 + \frac{0.6}{s} \right)$$

$$Gc(s) = 0.28 \left( 1 + \frac{1}{1.66s} \right)$$

El controlador PI se lo podrá aplicar netamente en el entorno simulado, sus constantes son:

$$K_p = 0.28$$

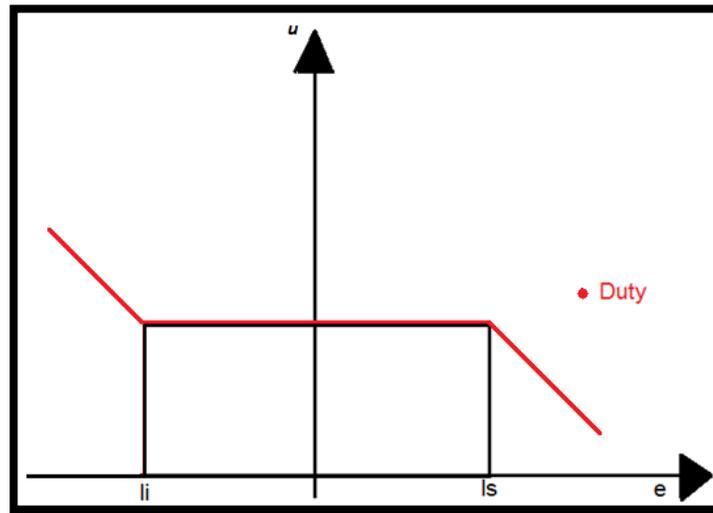
$$T_i = 1.66$$

$$T_d = 0$$

**Controlador combinado ON – OFF y Proporcional:** Por las características de desempeño del actuador, detalladas anteriormente, fue necesario el diseño de un Controlador combinado ON – OFF y Proporcional para el lazo de flujo en el entorno remoto. Los criterios para el diseño del controlador, fueron basados en obtener una respuesta continua pero lenta que impida la generación de inestabilidad.

Se estableció una ventana o histéresis, dentro de la cual el error en lazo cerrado del sistema, es tolerable. Los límites de la ventana son definibles, en base a la experimentación, y no debe tener demasiada tolerancia para conseguir un control eficiente. En base a pruebas experimentales en la planta, se definió los límites de la ventana para que el error no supere la magnitud de 1 cm/s, si este sobrepasa el límite inferior de la ventana, la señal de control o Duty incrementará gradualmente, aumentando la velocidad de la bomba, mientras que cuando el error supere el límite superior de la ventana, la señal de control o Duty disminuirá, desacelerando la bomba. La pendiente con la cual se incrementa o decrementa la señal de Duty, es también configurable, considerando una respuesta lenta del lazo de control.

Al igual que los límites de la ventana, se estableció un incremento gradual de 0.2 en base a la experimentación física. El esquema del funcionamiento se muestra en la Figura 25.



**Figura 25 Controlador ON – OFF combinando acción Proporcional**

#### 2.4. TRABAJOS RELACIONADOS

En la actualidad existen varios Laboratorios Virtuales y Remotos en operación, podemos destacar países como España, Siena, México, Chile, etc. Sin embargo en países como el Ecuador hay poca difusión, y es necesario vincular estos laboratorios con las experiencias educativas relacionadas al área técnica, para fomentar en los estudiantes una cultura que les permita transitar libremente hacia la construcción de su propio conocimiento.

En sus inicios el concepto de laboratorio virtual surgió como intento de complementar la enseñanza a distancia. A partir de esto, se produjo un desarrollo de la iniciativa, por parte de varias instituciones educativas y en menor grado del campo comercial. Dentro de los proyectos más destacados podemos mencionar:

- Laboratorio Remoto de Automática, es un laboratorio remoto con acceso a equipos industriales, como una planta piloto para la

realización de experiencias de control de operación y supervisión remota, maquetas de procesos de control sobre variables de nivel, caudal, temperatura y otros equipos de automatización. industrial (Universidad de Leon, 2008)

- Mechatronics Remote-Access Laboratory, tiene diseño de controladores PID para un sistema de tercer orden construido con circuitos RC. Permite introducir el código de control diseñado por el usuario, basado en LabView. (Polytechnic University , 1998)
- El laboratorio virtual de un sistema de cuatro depósitos, que es empleado para demostrar diferentes aspectos de la teoría de control automático multivariable (Dormido & Esquembre, 2003). El sistema implementado consiste en controlar el nivel de líquido en los dos depósitos, manipulando para ello la tensión de entrada a las dos bombas. Emplea una válvula de doble vía que distribuye en dos depósitos el flujo de líquido proporcionado por cada bomba. Este laboratorio virtual permite experimentar con dos estrategias de control diferentes control manual y PID descentralizado entre las cuales el usuario puede conmutar en cualquier instante. Para control PID, el usuario puede variar los valores de los parámetros del controlador, y para control manual puede manipular directamente la tensión aplicada a las bombas y la proporción de flujo en cada una de las vías de las dos válvulas. También pueden modificarse características geométricas del sistema, tales como el área de la base y la forma de cada uno de los cuatro depósitos, y el diámetro del orificio situado en la base de cada uno de los depósitos. Finalmente, el usuario puede modificar en cualquier instante que desee el nivel de líquido en cada uno de los cuatro depósitos. (Martín Villalba, Urquía Moraleda, & Dormido Bencomo, 2008)

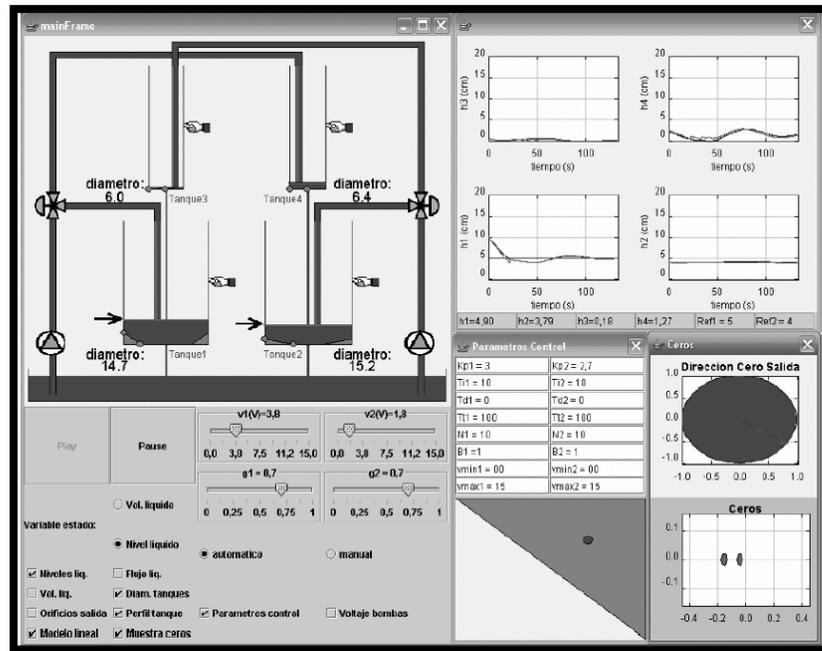


Figura 26 Ejemplo de Trabajos Relacionados

## CAPÍTULO 3.

### MÉTODOS Y MATERIALES

#### 3.1. SOFTWARE DE SIMULACIÓN Y DESARROLLO WEB

El software de simulación y desarrollo WEB utilizado en el proyecto está basado en lenguaje de programación JAVA. Las características del lenguaje en cuanto a la distribución libre, programación orientada a objetos, así como su flexibilidad y poca dependencia con otros lenguajes de programación, permite cumplir con las expectativas de desarrollo del proyecto en lo referente a la administración de base de datos, diseño de páginas WEB, realización de simulaciones y distribución de interfaces al usuario.

##### 3.1.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El Entorno de Desarrollo usado para realizar todas las tareas asociadas a la programación en JAVA, es NetBeans.

**Netbeans:** Es un software de distribución libre, el cual permite utilizar todas las funcionalidades de JAVA para el desarrollo de aplicaciones WEB y de escritorio, facilitando la programación, prueba y la depuración del código desarrollado. Permite la documentación y organización estructurada de los proyectos y es un entorno de desarrollo completo y profesional que cuenta con sustento técnico guías de programación.

NetBeans permite a los usuarios realizar cuatro funciones básicas que son:

- Editar el código
- Compilar el código
- Ejecutar el código
- Depurarlo el código

Para desarrollar aplicaciones en JAVA es necesario contar con JRE y JDK que son utilidades que permiten la ejecución y desarrollo de aplicaciones escritas en el lenguaje.

- **JRE:** Java Runtime Environment está formado por Java Virtual Machine (JVM), clases del núcleo, bibliotecas de soporte y otros componentes necesarios de la plataforma Java para que una aplicación pueda ser ejecutada. El JRE actúa como un intermediario entre el sistema operativo y Java.
- **JVM:** Cuando aplicación JAVA es compilada, se genera un código denominado Bytecode, este código es interpretado y ejecutado por la máquina virtual. JVM es independiente para cada sistema operativo, lo que vuelve al lenguaje de programación JAVA, multiplataforma, ya que una aplicación desarrollada en un sistema operativo Windows puede ejecutarse en otro sistema operativo, siempre y cuando se cuente con la JVM específica para ese sistema operativo.
- **JDK:** Java Development Kit, es un conjunto de utilidades que permite el uso de librerías y clases para la creación de programas en JAVA. JDK incorpora un Debugger que permite detener la ejecución de un programa en línea y conocer el valor de las variables en ese momento. Para la creación de las interfaces del Laboratorio Virtual y Remoto se desarrolló JApplets que permite insertar una aplicación desarrollada en JAVA dentro de una página web HTML.

- **JApplet:** Un JApplet es un programa escrito en JAVA que se ejecuta dentro de otro programa generalmente un explorador WEB. Un JApplet permite emplear la mayoría de utilidades de un programa JAVA para añadir funcionalidades a una página WEB. Para el desarrollo de JApplets JDK provee librerías, las cuales facilitan el desarrollo de estas aplicaciones. En la actualidad la mayoría de JApplets son interfaces gráficas, creadas con la ayuda de librerías como AWT o SWING, y en el contexto de laboratorios virtuales y remotos se presentan como animaciones, desarrolladas mediante el uso de librerías como Canvas o JFreeChart, y haciendo uso de programación en hilos, que permite la ejecución códigos de manera paralela al programa principal.

Para impedir la publicación en internet de applets con código malicioso, que pueda causar daños en los sistemas operativos de los usuarios, un applet debe contar con permisos estrictos y restrictivos. Por esta razón, la única manera de que un applet acceda a recursos locales, es que cuente con una certificación y firma digital, de no ser así, al momento de su ejecución aparecerán en pantalla mensajes de error, el cual es generado por la máquina virtual JAVA al momento de la ejecución. Existen organismos especializados encargados de la firma y emisión de un certificado para un determinado applet, sin embargo es posible generar un certificado y firma propios del desarrollador para aplicaciones distribuidas en redes locales o Intranet. Si una aplicación distribuida libremente por Internet requiere acceder a los recursos del sistema donde se ejecute, es necesario contar con una firma y certificados emitidos por un organismo autorizado y se debe cancelar el costo de dicha emisión.

- **AWT:** (Abstract Window Toolkit) Es un kit para el desarrollo de interfaces de usuario mediante herramientas gráficas, que permite

diseñar aplicaciones empleando ventanas, botones, barras, campos de texto, etc. La interpretación de los programas desarrollados con AWT está a cargo de la máquina virtual de JAVA.

- **SWING:** Al igual que AWT Swing permite el desarrollo de interfaces gráficas, con la diferencia que esta se base en código JAVA puro, permitiendo la portabilidad y mejor rendimiento a través de las plataformas JAVA.
- **CANVAS:** Es un elemento HTML, que contiene los mecanismos necesarios para dibujar gráficos en dos dimensiones, usando scripts. Permite realizar animaciones, crear juegos, composición de imágenes, etc. Canvas define una región para realizar gráficos y dibujos, con atributos de altura y ancho. (Oracle, 2014).
- **JFreeChart:** Es una librería que ofrece la posibilidad de crear todo tipo de gráficas y diagramas, está desarrollada en JAVA y es de código abierto (Open Source).

Sus principales características son:

- Gran soporte gráfico en 2D Y 3D (barras, circulares, áreas, línea, histogramas, dispersión, tiempos, combinaciones), permitiendo ejecutar funciones de zoom e impresión.
- Permite el diseño de diagramas (Gantt, Candlestick, Viento, Wafer Map).
- Ofrece un diseño flexible y fácil de extender utilizado en aplicaciones cliente – servidor.
- Puede exportar en ficheros gráficos (JPEG,PNG) y archivos (PDF,EPS,SVG).

- Uso en Aplicaciones WEB desarrolladas en JAVA basadas en Servlet y JSP.

Los programas generados en JAVA pueden ser presentados y ejecutados en una variedad de plataformas. Además permite el desarrollo de aplicaciones que se ejecuta en una red de dato, permitiendo establecer una comunicación con diferentes entornos y programas que no necesariamente deben estar basado en JAVA. En este sentido JAVA ofrece librerías para la creación de sockets, que permiten aplicar protocolos de comunicación para enlazar diferentes aplicaciones en una red de datos.

Muchas veces es necesario enlazar programas desarrollados en JAVA a otros entornos más especializados, de acuerdo a la funcionalidad del Laboratorio. El medio de comunicación a través del cual obtenemos esta prestancia, se fundamenta en el manejo de Sockets para JAVA.

- **Socket JAVA:** Es un mecanismo de comunicación que permite enlazar distintas máquinas que se encuentren conectadas a una misma red. El uso de sockets está basado en la arquitectura cliente – servidor, en la cual el cliente realiza una petición y recibe una respuesta del servidor. Para el uso de sockets en JAVA, es necesario ejecutar las siguientes acciones en un orden establecido: La creación y apertura del sockets, lectura y escritura de datos por el socket, Eliminación y cierre del socket. Uno de los protocolos más utilizado con los sockets es el protocolo de red TCP/IP, donde los mensajes, se direccionan por medio de un identificador IP y un puerto de comunicación.

En el desarrollo del proyecto es necesaria la transmisión de datos entre el software de simulación WEB y el software de cálculo numérico. Por esta razón se empleó sockets TCP/IP en la implementación.

El desarrollo WEB del Laboratorio, incluye la creación de páginas de ingreso, validación, registro y uso del laboratorio. En este aspecto JAVA también ofrece herramientas de programación WEB, las cuales permite cumplir con las necesidades del laboratorio. Las herramientas de desarrollo WEB que se emplearon se fundamentan en el uso de Servlets y JSP, que permiten el diseño de páginas web en el lenguaje HTML con funcionalidades del código JAVA. Además fue necesario el uso de una base de datos para el registro de los distintos usuarios del laboratorio. La base de datos se desarrolló en MySQL, y el servicio WEB de la aplicación global, está a cargo del software servidor Glassfish.

- **Servlets:** Es un programa independiente de plataforma que aporta funcionalidad a la programación en el lado del servidor, permitiéndole procesar información en base a las solicitudes y necesidades del cliente. Entre las ventajas que un servlet ofrece están la ejecución paralela de múltiples peticiones mediante el uso de hilos, la independencia de plataforma y la ejecución en sandbox o recintos de seguridad.
- **JSP:** Es una tecnología utilizada para generar HTML de forma dinámica a petición del usuario. El motor de JSP es un servlet, el cual se ejecuta en el servidor. Las peticiones que llegan del cliente, se analizan y el servidor responde de manera adecuada. Los pasos que se siguen son: el cliente envía una petición de página JSP, el motor de JSP compila la página en un Servlet, el servlet generado se

compila y se carga, el servlet se encarga de analizar la petición y generar una respuesta.

Las páginas Java Server Pages tienen de extensión .jsp, que es la extensión que se reconoce en el servidor. El servidor realiza el proceso anterior siempre que una página sea nueva o haya sido modificada, de no ser así invoca el servlet que ya fue generado.

- **MySQL:** Es un sistema para la gestión de base de datos relacionales, permite la interacción con muchos lenguajes de programación como C, C++, PHP, Perl, JAVA, etc. Es desarrollada como código abierto lo que facilita su utilización gratuita, cuenta con amplios soportes técnicos y actualizaciones, lo que convierte al software en uno de los más utilizados para desarrollos WEB. Para poder enlazar MySQL con JAVA es necesario contar con un puente o herramienta de software que permita su interacción, esta herramienta es conocida como JDBC, y permite gestionar una base de datos MySQL mediante aplicaciones desarrolladas en lenguaje de programación JAVA.
- **JDBC:** Es una interface de programación de aplicaciones que ofrece el paquete de desarrollo JAVA, proporciona un conjunto de clases que permiten ejecutar sentencias SQL, y de esta manera gestionar bases de datos relacionales. La aplicación JAVA y la base de datos se conectan por medio de un driver que se encarga de traducir los mensajes de bajo nivel de la base de datos a un lenguaje comprensible para JDBC.

- **Glassfish:** Es un servidor WEB de aplicaciones, desarrollado específicamente para JAVA en la edición Enterprise, es un software libre y gratuito, con tiempo de ejecución modular y flexible. Es compatible con Netbeans, Eclipse y otros entornos de desarrollo.

### 3.1.2. APLICACIÓN EN LABORATORIOS VIRTUALES Y REMOTOS

Dentro del desarrollo de Laboratorios Virtuales y Remotos, el lenguaje de programación JAVA es ampliamente utilizado, este lenguaje provee de innumerables entornos de desarrollo que facilitan su uso. Es posible citar a EJS, como una herramienta muy empleada en Laboratorios Virtuales, para el desarrollo de animaciones basadas en modelos matemáticos. Netbeans y Eclipse figuran como los entornos más elaborados y utilizados, además de JCreator, Jbuldier, entre otros. Estos entornos cuentan con extenso material pedagógico, tutoriales, guías y soporte continuo, que facilitan el desarrollo de aplicaciones WEB.

Como aspecto importante está el hecho de que JAVA es un código abierto, de fácil acceso, y cada vez más difundido en el campo de la enseñanza. En la actualidad el manejo del lenguaje de programación se dicta como asignatura en la mayoría de carreras informáticas, por lo que los estudiantes se encuentran cada vez más capacitados en relación a otros lenguajes. Además de que su uso contribuye de forma directa al objetivo de un Laboratorio Virtual y Remoto, permitiendo reducir costos de implementación y aportando a la educación de los estudiantes, no solo en relación a la temática del Laboratorio sino al empleo de nuevas tecnologías abiertas orientadas al software libre.

Entre los laboratorios Virtuales y Remotos que emplean este lenguaje de programación es posible citar: Laboratorio Virtual y Remoto para la enseñanza

de Robótica industrial de la Universidad de Alicante, Laboratorios Virtuales y Remotos de la Universidad Nacional de Educación a Distancia de Madrid, Laboratorios Virtuales y Remotos de la Universidad de Murcia, Laboratorio Virtual para el Aprendizaje de Motores Asíncronos en Grados de Ingeniería de la Universidad de Cataluña, etc.

### 3.1.3. MANEJO DE SOFTWARE ESPECÍFICO

El manejo de JAVA, está basado a la programación orientada a objetos y sus interacciones. En el desarrollo de aplicaciones se emplean conceptos como herencia, abstracción, programación de hilos, polimorfismo, entre otros, que permiten generar códigos estructurados y eficientes mediante la óptima utilización de recursos.

Entre los conceptos mayormente aplicables al desarrollo de un Laboratorio Virtual y Remoto están:

- **Objeto:** En programación, se trata de un código específico, que presenta características y comportamientos definidos. Un objeto consta de campos y métodos. Los campos representan variables y los métodos funciones que operan en el estado del objeto y es el mecanismo por el cual un objeto se comunica con otro.
- **Clase:** Consiste en un código reutilizable, el cual cuenta con métodos y variables, que realizan una determinada función dentro de un programa. Para el empleo de clases en una aplicación es necesaria la creación de instancias, o dicho en otras palabras objetos, que adoptan las características y comportamientos definidos por una clase determinada.

- **Método:** Es un código desarrollado dentro de una clase, el cual cumple una función y otorga un comportamiento a un objeto. Un método puede recibir y retornar variables u objetos, además de acceder y modificar sus datos de tal manera que dicho objeto se comporte en función de las necesidades de la aplicación donde se instancia.
- **Herencia:** Es un mecanismo por el cual una clase puede acceder a la funcionalidad de otra, es decir hacer uso de sus variables y métodos. La herencia facilita la creación de nuevos objetos a partir de otros ya existentes, lo que aporta nuevas características a la clase base en función de la superclase o clase de la cual se hereda.
- **Programación de hilos:** Un hilo se puede considerar como una secuencia única de control de flujo dentro de un programa. Java permite programar múltiples hilos, lo que genera programas que contienen dos o más partes que se ejecutan de manera paralela. Una parte que se ejecuta independientemente de las demás se denomina hilo (thread).
- **Estructuras de datos:** Constituyen clases y métodos, orientados a almacenar datos en espacios de memoria de manera dinámica, es decir sin asignar un espacio determinado de memoria previo a su registro, sino creando nuevos espacios de memoria conforme se generen nuevos datos. La estructura utilizada en el proyecto se conoce como lista enlazada simple, esta estructura permite almacenar diferentes objetos, y acceder a ellos empleando punteros de forma ordenada y secuencial.

## **3.2. SOFTWARE DE CÁLCULO NUMÉRICO**

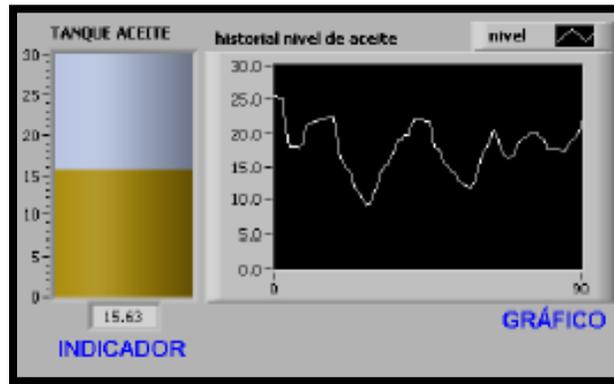
El Software de cálculo numérico utilizado en el desarrollo del Laboratorio Virtual y Remoto, es LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), el cual es un software comercial creado por National Instruments, su mayor aplicación está en sistemas de medición monitoreo de procesos y aplicaciones de control.

### **3.2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

Labview es un entorno comercial de programación gráfico, que permite generar códigos por medio de diagramas de bloques.

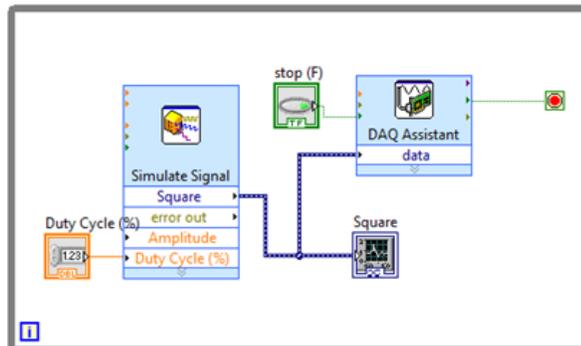
Permite el diseño y desarrollo sencillo de sistemas de adquisición de datos, instrumentación, medición, automatización, monitoreo, control de procesos, entre otros. Integra diferentes librerías destinadas al uso de redes informáticas, y permite la conexión de diversos instrumentos electrónicos como tarjetas de adquisición de datos, controladores, módulos especializados etc.

El entorno de programación de Labview permite el desarrollo de aplicaciones mediante dos ventanas. La primera ventana mostrada en la Figura 27, es utilizada para el diseño de interfaces, donde el usuario emula gráficamente instrumentos y permite la interacción con el usuario mediante botones, campos de texto, etiquetas, pulsadores, perillas etc.



**Figura 27 Ventana para el desarrollo de Interfaces**

La segunda ventana mostrada en la Figura 28, es de programación contiene el código fuente que mediante la conexión de bloques, aquí se procesa las entradas y se genera las salidas para ser mostradas en la ventana de interface. En esta ventana el desarrollador define las operaciones y funciones a realizarse en el programa.



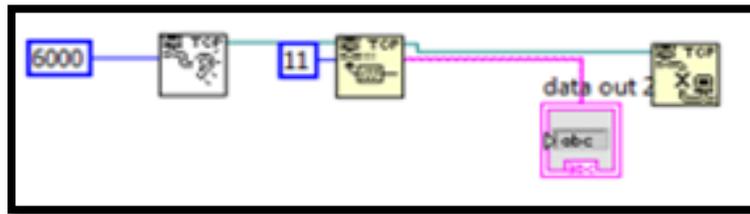
**Figura 28 Ventana de programación**

En la implementación del Laboratorio Virtual y Remoto, se empleó bloques destinados a la comunicación con el software de simulación, adquisición de datos, al procesamiento de señales, bloques aritméticos, de control y simulación de procesos.

- **Bloques de comunicación Socket:** Para el envío y recepción de datos de LabVIEW a JAVA y viceversa, se emplean bloques de comunicación basados en la arquitectura cliente servidor, y más específicamente emplean el estándar TCP/IP. Los DataSockets de Labview son una tecnología de programación para redes informáticas, que simplifica el intercambio de datos entre ordenadores.

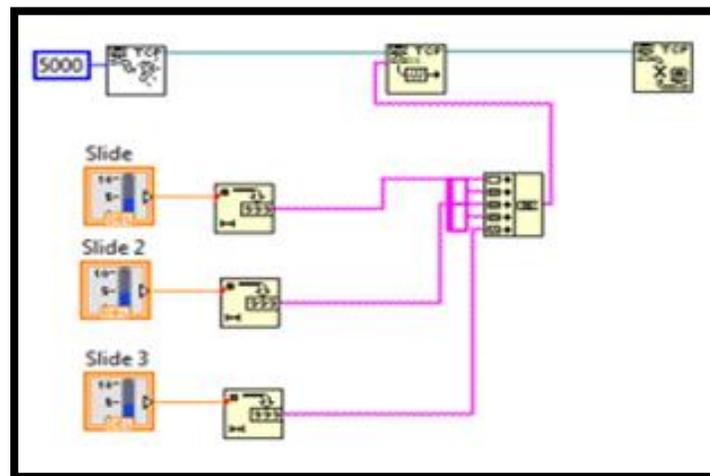
Los bloques de comunicación TCP/IP permiten la configuración de un puerto de comunicación por el cual, se puede realizar el envío y la recepción de datos, entre el servidor y el cliente mediante el uso del estándar de red TCP / IP. El servidor espera las solicitudes del cliente, procesa la información y genera una respuesta, para cada acción inmersa en este esquema de comunicación existe un bloque específico de LabVIEW, los cuales se configuran según la necesidad de usuario y las características de la red.

Para la recepción de los datos enviados desde JAVA, considerando a LabVIEW como servidor socket, se hace uso de varios bloques. El bloque TCP Listen en el cual se define el puerto de la comunicación, espera una solicitud del cliente, y genera un identificador el cual es necesario para el uso de los demás bloques TCP. En el bloque de lectura TCP read se especifica la cantidad de bytes que se espera recibir, tomando en cuenta que un byte corresponde a un carácter y el bloque entrega a su salida un String o cadena, por esta razón es necesaria una validación de parámetros, valores y dimensiones de los datos a ser enviados desde las diferentes interfaces en JAVA. Finalmente se utiliza el bloque TCP close communication para cerrar la comunicación, siempre y cuando se haya recibido algún dato.



**Figura 29 Recepción de datos en LabVIEW**

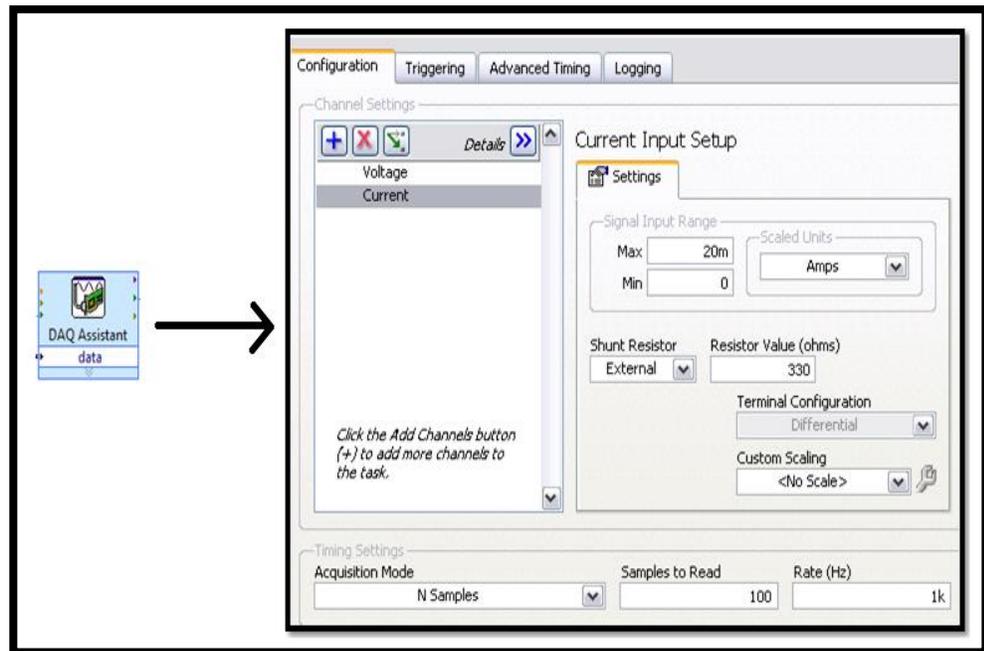
Para enviar los datos desde LabVIEW, se define el puerto en el bloque TCP Listen que abre la comunicación. El bloque TCP write, recoge la información en un buffer para el envío a JAVA. Finalmente se utiliza el bloque TCP close communication destinado para cerrar la comunicación, siempre y cuando se haya enviado algún dato o valor.



**Figura 30 Envío de datos desde LabVIEW**

- **Bloques para Adquisición de datos:** El bloque empleado para la adquisición de datos es DAQ assistant, este bloque emplea los drivers para la comunicación con la tarjeta de adquisición, y permite configurar sus puertos para la lectura o generación de señales de salida, aquí se define el tipo de muestreo, el número de muestras y la

frecuencia de muestreo, en función de las necesidades de la aplicación que se desarrolle. La ventana de configuración y el bloque se muestra en la Figura 31.



**Figura 31 Bloque DAQ assistant y ventana de configuración**

- **Bloques de Análisis de Señales:** Los bloques empleados para el análisis de señales están orientados al filtraje de los datos adquiridos con la tarjeta de adquisición.

El bloque Filter, permite la creación de un filtro pasabajos para reducir el ruido inmerso en la señal, este bloque entrega como salida la señal filtrada, bajo las especificaciones del desarrollador

El bloque Amplitude & Level Measurements, permite obtener los valores RMS o efectivos de la señal, muestreados a un periodo de 0.1 segundos.

La Figura 32, muestra la ventana de configuración del filtro, mientras que la Figura 33 muestra la configuración de Amplitude & Level Measurements.

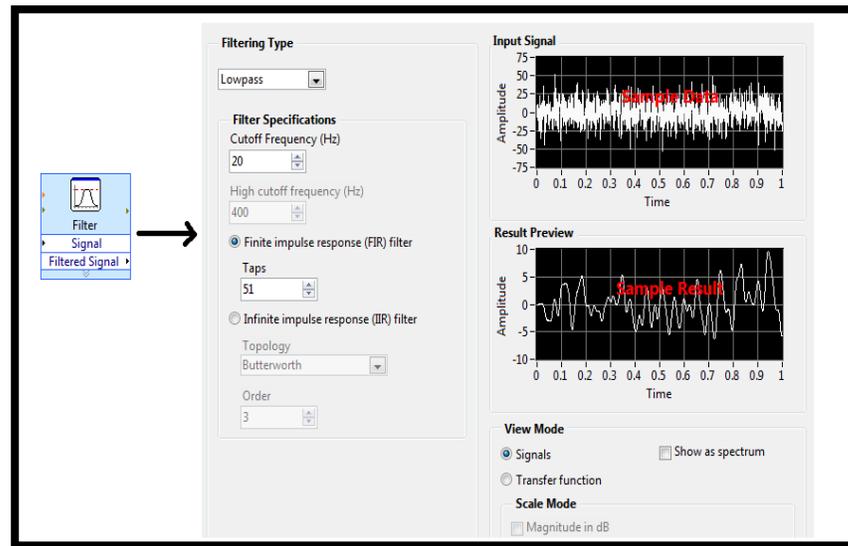


Figura 32 Bloque Filter y ventana de configuración

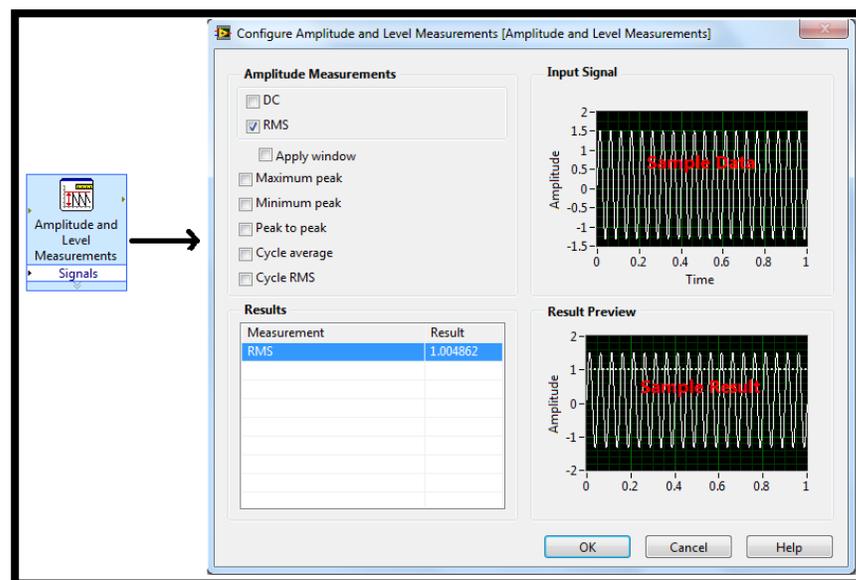


Figura 33 Bloque Amplitude & Level Measurement y ventana de configuración

- **Bloques Aritméticos:** Los bloques aritméticos permiten realizar operaciones las básica suma, resta, multiplicación y división para el adecuamiento de las señales.
- **Bloques de Control y Simulación de Procesos:** Los bloques de control de simulacion de proceso, no solo permiten simular procesos de control, sino permite la implementación de controladores empenado una tarjeta de adquisicion de datos. Los bloques empleados fueron:

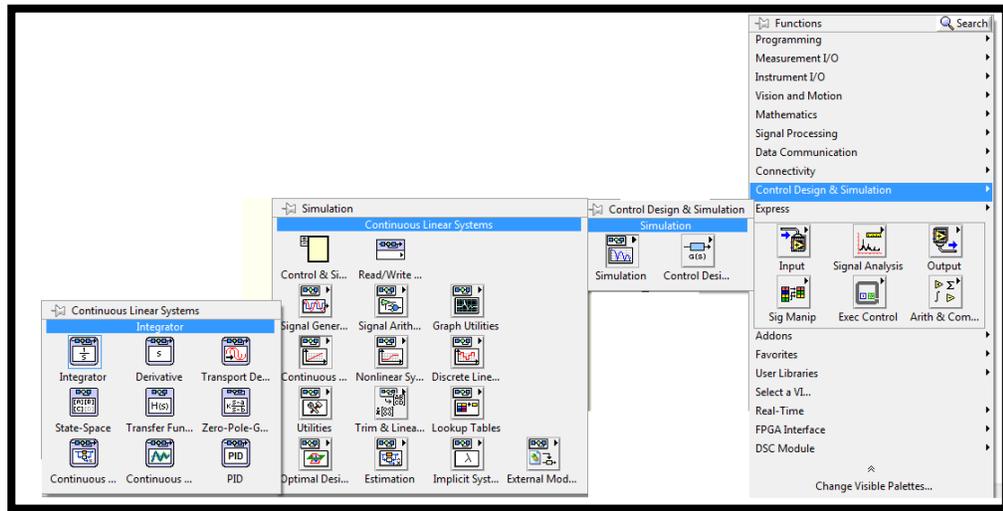
Control & Simulation Loop, este bloque permite generar un lazo de simulación, configurable, donde se puede modificar el tiempo de simulación, periodos de muestreo, límites de simulación, entre otros. Este lazo no solo permite la simulación de procesos, sino el desarrollo de controladores reales, en este caso se debe tomar en cuenta que la configuración de los tiempos de lazo deben ser sincronizados con los tiempos de muestreo de la tarjeta de adquisición de datos.

Bloques de sistemas lineales continuos: Estos bloques permiten la creación de modelos lineales de procesos y plantas en función de la frecuencia. Facilita la generacion de funciones de transferencia, modelos en espacio de estado, permite añadir integradores, derivadores, bloques PID, etc.

Bloques de utilidades gráficas: Permiten generar gráficas en dos ejes de simulación, ya sea en función o no del tiempo de simulación.

Bloques de utilidades: Facilita el uso de bloques de memoria en sistemas retroalimentados, permitiendo obetener el tiempo de

simulación actual o de forma concurrente. Con estos bloques es posible detener la simulación en un instante determinado, conocer los parámetros configurados en el lazo de simulación o incluso cargar modelos externos.



**Figura 34** Ventana para el diseño de control y simulación LabVIEW

- **Bloques de Manejo de Strings:** Los bloques que se emplearon para el manejo de Strings o cadenas de caracteres, permiten transformar variables de varios tipos a String además facilitan concatenar y desconcatenar los datos enviados y recibidos del software de simulación.

### 3.2.2. APLICACIÓN EN LABORATORIOS VIRTUALES Y REMOTOS

En la actualidad Labview es utilizado como una herramienta didáctica que ayuda a solucionar los problemas de implementación de los Laboratorios Virtuales y Remotos. En un Laboratorio Virtual, LabVIEW permite la creación de entornos gráficos para manipular instrumentos y aplicar acciones de control a

procesos simulados, visualizando la evolución como si se estuviese trabajando con un equipo real. Mientras que en el aspecto remoto, Labview permite recopilar información real del estado de la planta a través del reconocimiento de instrumentos externos destinados a la adquisición de datos de sensores y con esta información se puede realizar el monitoreo, supervisión y control de procesos de reales.

Dentro de los Laboratorios Virtuales y Remotos que emplean Labview como motor de cálculo de puede mencionar: En Guzmán, J.L. et al (2005) se presenta un laboratorio remoto basado en Web usando una maqueta de un invernadero, o en Calvo, I., et al (2008) donde se presenta un laboratorio remoto para un curso básico en ingeniería de control, estudios realizados por la Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED, entre otros.

### **3.2.3. MANEJO DE SOFTWARE ESPECÍFICO**

El manejo de software LabVIEW, se basa en el lenguaje de programación G o en bloques, el cual permite crear programas o aplicaciones mediante la interconexión de elementos en la elaboración de esquemas que cumplan una función determinada.

Un programa desarrollado en LabVIEW se llama VI (Instrumentos Virtuales). Un VI es un esquema que interconecta diferentes bloques. La programación en LabVIEW constituye de forma más estricta la configuración de bloques pre definidos, aunque es posible el diseño y creación de bloques propios del desarrollador, mediante la creación de un script escrito en lenguaje estructurado. En este aspecto LabVIEW facilita el orden y estructuración de los programas, pudiendo definir sub rutinas o SubVIs, que realicen una función

determinada, que puedan ser llamados en aplicaciones más grandes o complejas.

LabVIEW es un sistema multi núcleo, lo que aumenta su eficiencia y velocidad de respuesta, permitiendo además la integración con otros lenguajes de programación y componentes de hardware.

### 3.3. HARDWARE

#### 3.3.1. EQUIPOS INFORMATICOS

En el desarrollo del proyecto se empleó dos ordenadores convencionales, los actúan como servidores WEB y sockets, ejecutando programas que permiten prestar servicios WEB y de comunicaciones basadas en protocolos TCP/IP. Las características generales de las PC son:

**Tabla 9 Características de los ordenadores**

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
<b>Procesador</b>	Core I5
<b>Memoria RAM</b>	6 GB
<b>Memoria de Almacenamiento</b>	700 GB
<b>Sistema Operativo</b>	Windows 7
<b>Velocidad</b>	2.4 GHz

Para la configuración de la red de datos se empleó un router Wireless convencional, cuyas características se describen a continuación:

**Tabla 10 Características del router**

Características	Descripción
Marca	TP - LINK
Velocidad Inalámbrica	300 Mbps
4 Puertos LAN	10 / 100 Mbps
1 Puerta WAN	10 / 100 Mbps
Frecuencia	2.4 GHz

### 3.3.2. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La tarjeta de adquisición de datos utilizada para desarrollo del proyecto, es la que se muestra en la Figura 35, la MyDaq de National Instrument.



**Figura 35 Tarjeta de adquisición de datos**

MyDAQ es un dispositivo alimentado por USB, proporciona 8 instrumentos de plug-and-play basados en PC. Tiene un motor de adquisición de datos con entradas y salidas analógicas y digitales las especificaciones técnicas detalladas a continuación son:

## Entradas analógicas

**Tabla 11 Descripción de Entradas Analógicas**

Descripción	Características
Número de canales	2
Resolución ADC	16 bits
Máxima velocidad de actualización	200 kS/s
Precisión de tiempo	100 ppm
Banda de paso (-3 dB) entrada analógica	1.5 Hz – 400 kHz
Conector analógico de entrada	Terminales tornillo
Tiempo de resolución	S

En la adquisición de datos, se utiliza el canal 0 para lectura del voltaje de 0 VDC a 10 VDC, que proviene de las variaciones del nivel detectadas por el sensor ultrasónico. Mientras que el canal 1, recibe señales de 4 mA a 20 mA, proveniente de las variaciones de flujo detectadas por el sensor ubicado en la tubería.

## Salidas analógicas

**Tabla 12 Descripción de las Salidas Analógicas**

Descripción	Características
Número de canales	2
Resolución DAC	16 bits
Máxima velocidad de actualización	200 kS/s
Salida Analógica	+ /- 10 VDC
Salida Audio	+ /- 2 VDC
Corriente máxima	2 Ma
Salida de impedancia analógica	1 $\Omega$

Se utiliza una salida analógica, por la cual dependiendo el lazo de control definido por la Técnica de Superposición, se envía una señal de PWM hacia el actuador, para modificar su comportamiento, de acuerdo a los diseños especificados por el alumno.

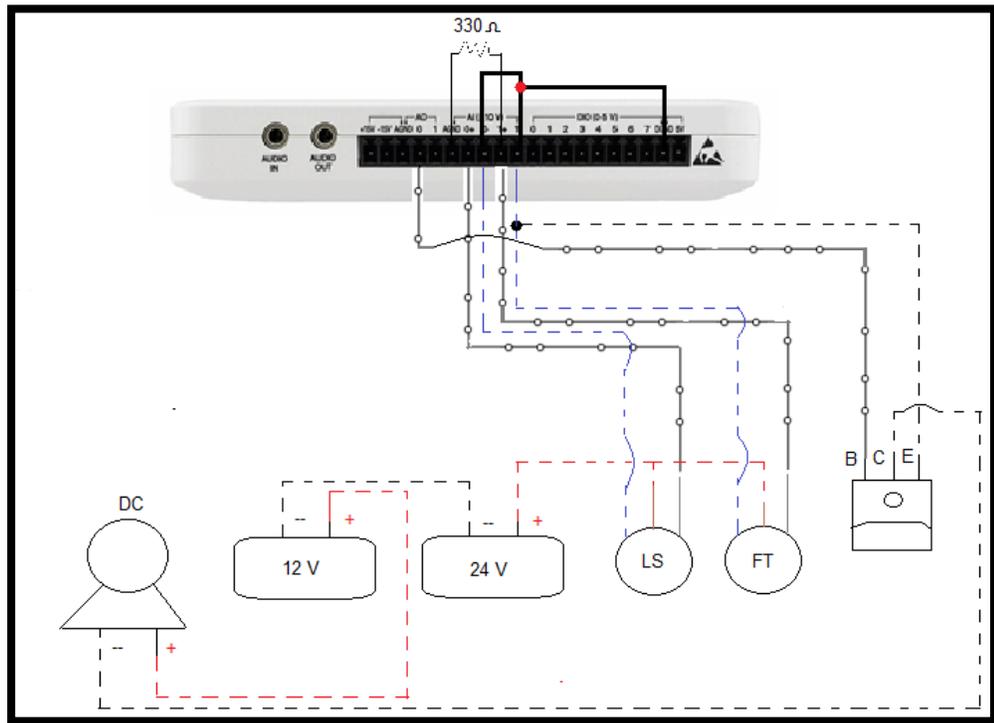
### Entradas y Salidas digitales

**Tabla 13 Descripción de las Salidas Digitales**

Descripción	Características
Número de líneas	8
Resistencia Pull - Down	75 k $\Omega$
Nivel de voltaje lógico	5 V compatible LVTTTL de entrada
$V_{INmin}$	2.0 V
$V_{ILmax}$	0.8 V
Corriente máxima	4 mA

### RECOPIACION DE DATOS

En la Figura 36, se muestra el esquema de conexión de todos los elementos del proyecto en la tarjeta de adquisición de datos



**Figura 36 Conexión a la tarjeta de adquisición de datos**

(National Instruments, 2014)

## CAPÍTULO 4

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

#### 4.1. DISEÑO LABORATORIO VIRTUAL – REMOTO

Finalizado el estudio del arte y con la base teórica necesaria para abordar los diferentes aspectos de diseño del proyecto, se elabora los algoritmos que sustentara la programación en el software de simulación y desarrollo WEB, el software de cálculo numérico, la conexión entre ellos y el montaje de la red de datos.

El resultado de la ejecución de dichas etapas, permite tener una visión general de las estructuras utilizadas para el diseño e implementación del Laboratorio Virtual y Remoto. En la Figura 37, se puede evidenciar un esquema general de la composición del Laboratorio Virtual, donde se visualiza los esquemas de red y los protocolos de comunicación utilizados para conseguir el flujo de información bidireccional. El Laboratorio Virtual permite trabajar con un experimento que utiliza representaciones de la planta a través de modelos matemáticos o funciones de Transferencia.

En la Figura 38 se puede observar las diferencias específicas que existen al momento de diseñar e implementar un Laboratorio Remoto. Es impredecible mencionar que las acciones de control que ejecutan los estudiantes, tendrán efecto directo sobre la planta de transmisión de fluidos real, ubicada en una locación remota. El esquema de comunicación agrega una tarjeta de adquisición de datos, a través de la cual se recibe la información necesaria desde la planta.

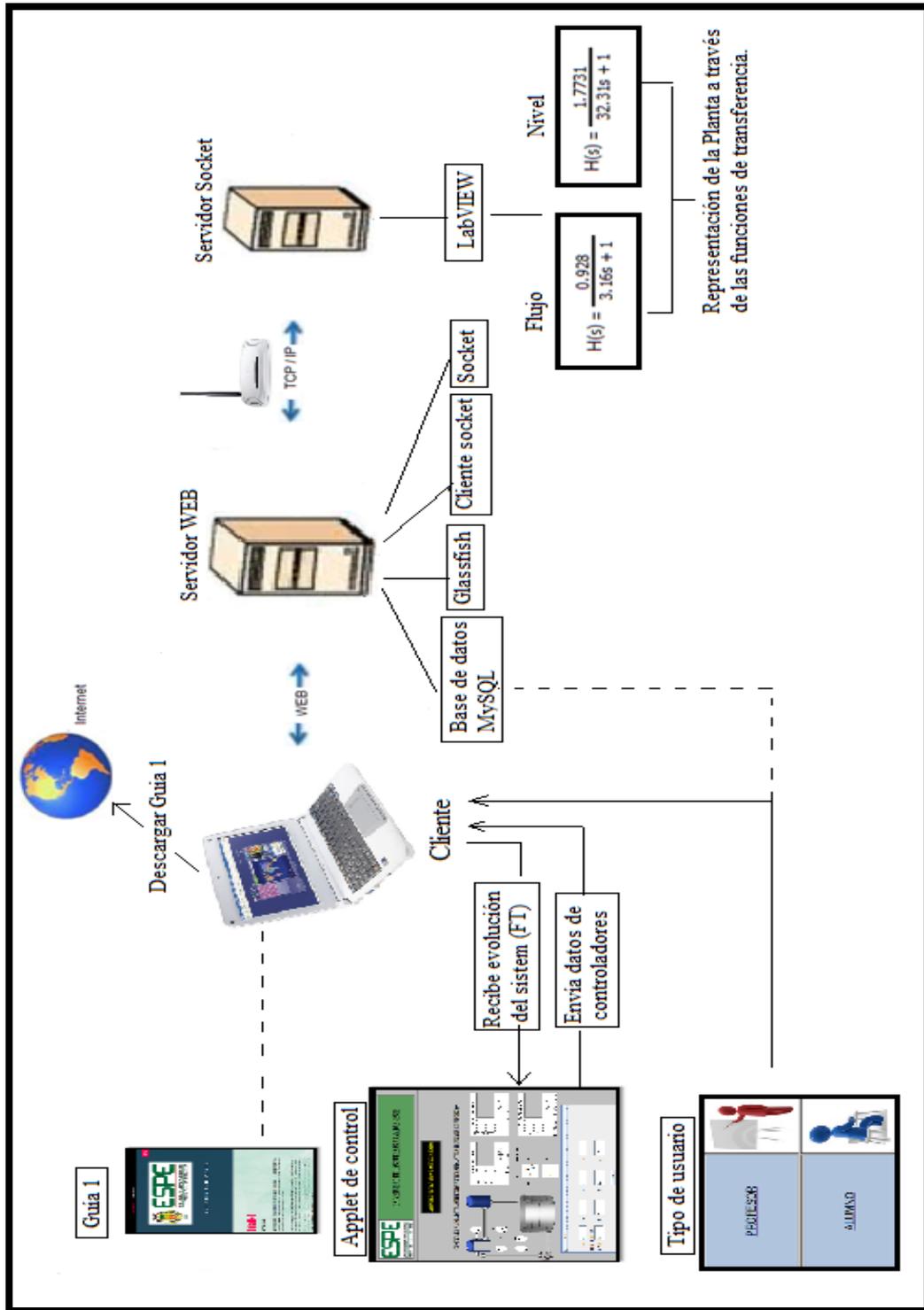


Figura 37 Estructura del Laboratorio Virtual

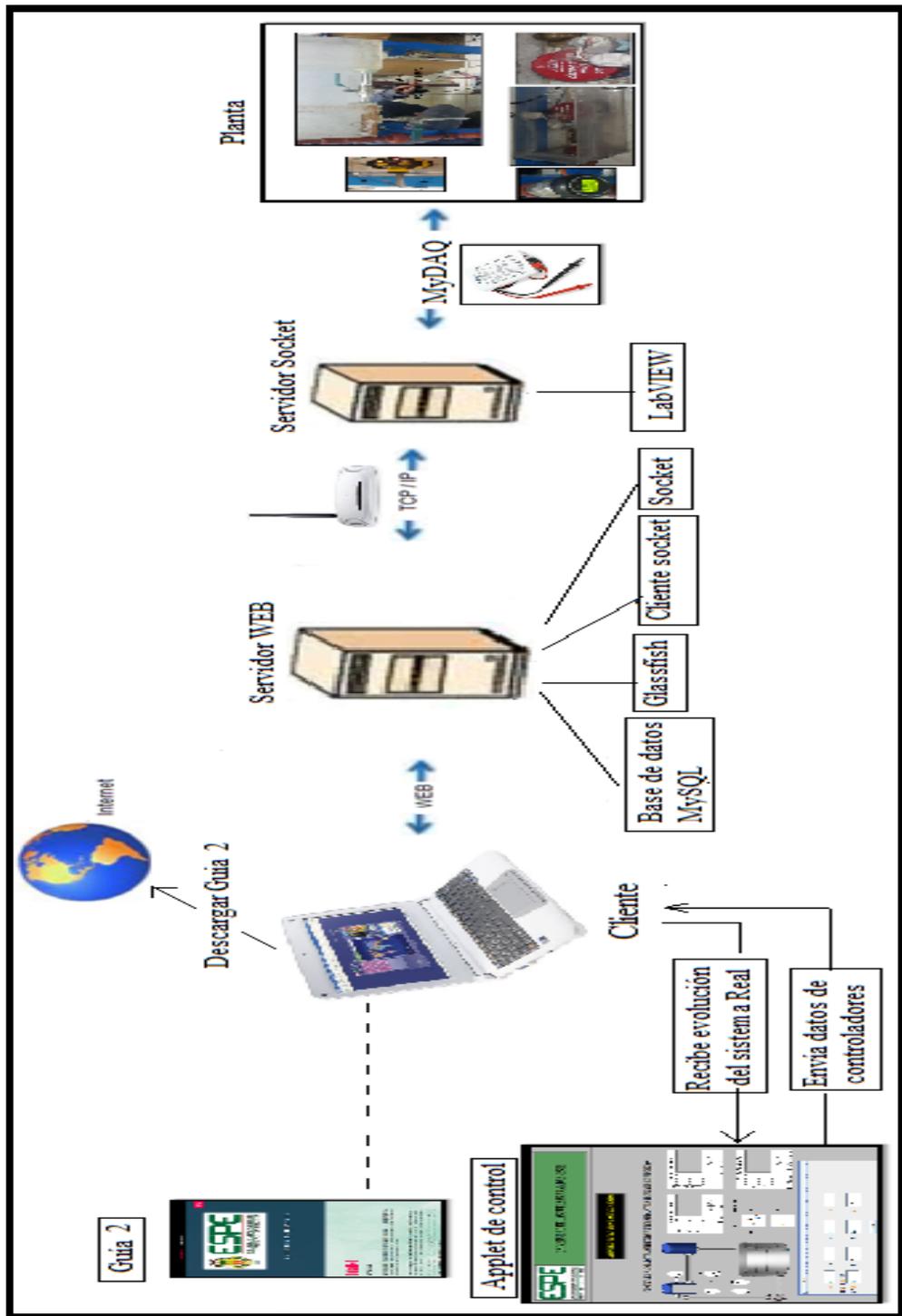


Figura 38 Estructura del Laboratorio Remoto

Las etapas de diseño y posterior implementación del Laboratorio Virtual y Remoto, se detallan en este capítulo, abarcando el desarrollo de todos los elementos constitutivos del proyecto. Se inicia el estudio de las diferentes etapas como son:

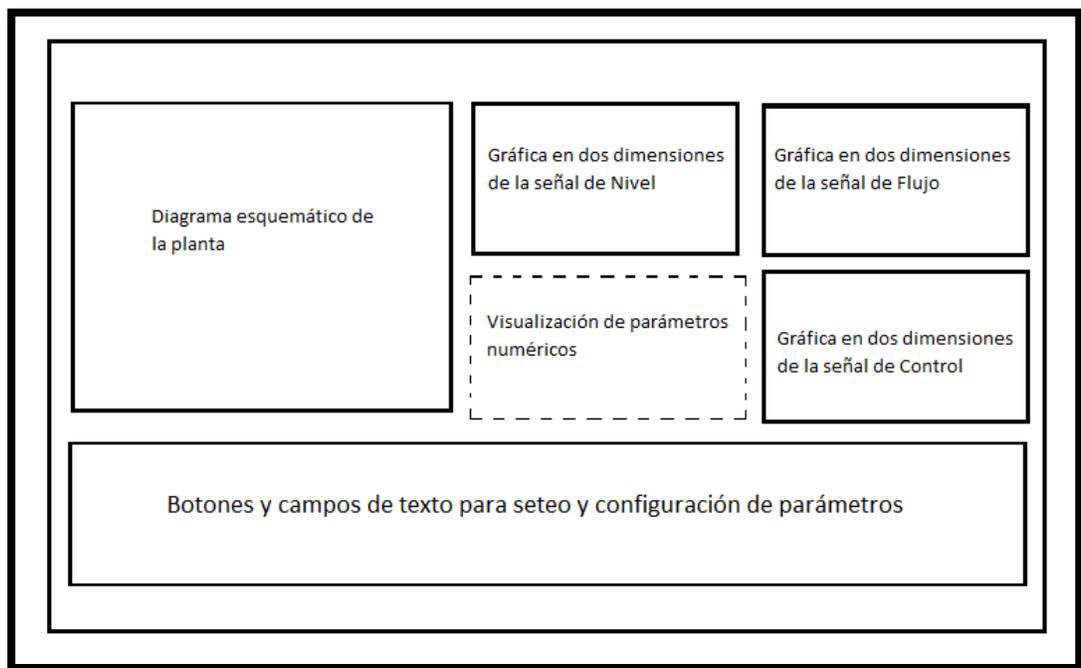
- Diseño e implementación de Applets, para la generación de interfaces en la aplicación Virtual y Remota.
- Diseño e implementación de la aplicación WEB y de Base de datos, definiendo los esquemas de navegación específicos para los diferentes usuarios del sistema y la gestión de la base de datos.
- Diseño e implementación de algoritmos de cálculo numérico desarrollados en LabVIEW, para el control local de la planta y la comunicación con el servidor WEB.
- Configuración de la red de comunicaciones.
- Proceso de implementación, resaltando la modularidad del sistema para su empleo en trabajos futuros.

#### **4.1.1. ALGORITMOS PARA LA CREACIÓN DE APPLETS**

El diseño de los Applets, consiste en la elaboración de algoritmos para la creación de interfaces gráficas, que permitan visualizar la información y que facilite la interacción con el alumno a través de cuadros de texto, etiquetas, botones, etc. En base a un análisis del grado de interactividad entre el alumno y las interfaces, se desarrolló el siguiente esquema aplicable tanto al Laboratorio Virtual como Remoto:

El esquema de la interface fue pensada de forma que resulte clara y de fácil comprensión para el estudiante. Cuenta con una animación gráfica de la planta que permita una percepción visual de la respuesta del proceso, consta

también de tres gráficos en dos dimensiones, donde el estudiante puede observar la evolución de las señales de nivel de líquido y flujo, con sus respectivos valores de referencia o set points y además las señales de control de cada lazo de forma que se pueda comprobar bajo que señal se encuentra gobernado el actuador del sistema. La interface muestra al estudiante los valores numéricos de las señales de nivel y flujo, además de las funciones de transferencia necesarias para el diseño de los controladores en el laboratorio virtual. Finalmente en la parte baja de la interface se encuentra una ventana de control la cual constituye el medio de interacción del alumno con la interface, aquí el estudiante puede configurar los controladores en campos numéricos y comprobar la respuesta por medio de un botón enviar.



**Figura 399 Esquema de Bloques de Interface Gráfica Applet.**

Los colores y fuentes de la interfaz fueron seleccionados de acuerdo a las recomendaciones Gedis, escogiendo un tipo de letra legible y clara, colores de

fondo opacos, evitando la carga visual para el estudiante. Cada segmento de la interfaz está identificado claramente y son de uso intuitivo para el estudiante.

Establecida la estructura básica de la interfaz, se define las funciones que esta debe tener, para cumplir con los requerimientos de desempeño del Laboratorio Virtual y Remoto.

Considerando que los elementos gráficos corresponden a animaciones que se actualizan en base a las acciones de control realizadas por los estudiantes, se emplea la programación de un hilo, en lo que se conoce como interfaz runeable. Este hilo se ejecuta paralelamente al programa principal, y es el encargado de la adquisición constante de datos, para actualizar los gráficos mostrados. En este sentido se puede deducir que la interfaz deberá ser capaz de enviar y recibir información, de manera ordenada y siempre que sea requerido por el usuario.

El segmento de la interfaz destinada al ingreso de parámetros por parte del alumno a través de campos de texto y botones, implica la necesidad de una validación de datos, de manera que estos constituyan valores numéricos limitados en rango y signo.

Cada una de estas funciones se enmarca en un contexto de programación modular orientada al uso de clases instanciadas como objetos de software en la interfaz. Las variables y métodos serán usadas de acuerdo a la necesidad de funcionalidad del programa.

Las clases creadas son:

**Gráfico:** La clase gráfico, es concebida con el objeto de generar un gráfico animado en dos ejes de simulación XY. El eje X representa el tiempo de

simulación bajo él que se rige el sistema, mientras el eje Y corresponde a señales de Nivel, Flujo y dos señales de control, una por cada lazo. Las funciones que cumple esta clase son: la creación de los paneles donde se dibujan las señales, la creación de series que representan matrices con los valores XY muestreados de cada señal, el reseteo o limpieza de los paneles cuando sea necesario y la actualización de las gráficas en función de los nuevos datos adquiridos de forma constante. Cada una de estas funciones representa métodos de la clase, los cuales reciben o no parámetros externos y realizan una función o entregan un resultado basado en los parámetros recibidos.

- **Método public void creaserie(String s1,String s2):** Este método recibe dos parámetros que constituyen cadenas de caracteres, permite la creación de dos series las cuales se graficarán en un mismo panel. Si el segundo parámetro es nulo, el método creará únicamente una serie, caso contrario se creara dos series con los nombres correspondientes a las cadenas recibidas.
- **Método public ChartPanel creagrafico(String titulo, String ejeY):** Este método recibe dos cadenas de caracteres como parámetros y retorna un ChartPanel, el cual constituye un panel gráfico formado por los ejes XY, sobre el cual se grafica las distintas series. El parámetro título es la etiqueta de texto ubicada en la parte superior del panel, y el parámetro ejeY constituye el nombre que se visualizará en el eje Y, considerando que el eje X siempre se visualizará la etiqueta tiempo.
- **Método public void borrar ():** Este método no recibe ni retorna ninguna valor o parámetro, siempre que se lo instancie por medio de un objeto en la interfaz, se encargará de limpiar el Chartpanel creado

anteriormente, es decir borrar las gráficas representadas por las series que hayan sido dibujadas.

- **Método public void actualizar(double x, double y, double y1):** Este método recibe tres variables double o decimales, y no retorna ningún objeto. Siempre que se lo llame en la interfaz actualizará las series con los parámetros XY para la primera serie y XY1 para la segunda serie, lo que a su vez se traducirá en la actualización de la gráfica visualizada empleando el hilo de la interfaz esta clase es usada para la obtención de graficas XY animadas.

**Envío:** Esta clase se encarga del envío de datos al software de cálculo numérico por medio de un socket TCP/IP. Para realizar esta tarea requiere la configuración del socket definiendo la dirección IP del servidor y el puerto por el cual se realizara la comunicación, además del dato validado para el envío. Los métodos de esta clase son:

- **Método public void parametros(String host, int puerto):** Este método recibe como parámetros la dirección IP y el puerto del servidor socket, y los asigna a variables locales de la clase, las cuales serán empleadas para apertura del socket.
- **Método public void envio(String dato):** Este método se encarga de crear el socket, enviar el parámetro recibido dato, por medio del puerto especificado previamente, y cerrar el socket respectivo. Este método será instanciado en la interfaz cada vez que el alumno requiera modificar comportamientos mediante el envío de datos.

**Recepción:** Esta clase se encarga de la recepción de datos enviados desde el software de cálculo numérico por medio de un socket TCP/IP. Para realizar

esta tarea requiere la configuración del socket definiendo la dirección IP del servidor y el puerto por el cual se realizara la comunicación. Los métodos de esta clase son:

- **Método public void parametros (String host, int puerto):** Este método recibe como parámetros la dirección IP y el puerto del servidor socket, y los asigna a variables locales de la clase, las cuales serán empleadas para apertura del socket.
- **Método public void recepcion(int ns):** Este método se encarga de crear el socket, recibir los datos en forma de cadena de caracteres, este método separa los datos, los transforma a valores decimales y los almacena en elementos de un arreglo, declarado como variable local de la clases. El parámetro ns que recibe el método, corresponde al número de señales o en otra palabras al número de elementos del arreglo double.
- **Método public double[] getseñales():** Este método retorna el arreglo de decimales correspondiente a los datos recibidos.

**Validación:** Esta clase se encarga de comprobar que los datos ingresados en la interfaz por el alumno, sean valores numéricos con o sin signo y que este dentro de los límites establecidos para cada parámetro. Para cumplir estas funciones se emplea los métodos:

- **Método public boolean validar (String dato,boolean s,double li,double ls):** Este método devuelve una variable booleana la cual puede ser verdadera o falsa. Recibe como parámetros el dato a ser validado como cadena de caracteres, una variable booleana s, la cual de ser verdadera permitirá el ingreso de números negativos caso

contrario solo pondrán ser números positivos, y dos variables decimales que corresponden a los límites superior e inferior dentro de los cuales se puede encontrar el dato ingresado. En caso de que el dato ingresado este dentro de los límites definidos y cumpla las características de signo, el método retorna TRUE, de no ser así devuelve la variable booleana con el valor FALSE.

- **Método public String getdato():** Este método es instanciado en la interfaz siempre y cuando el dato haya sido validado exitosamente por la función validar. Devuelve el dato en formato de 5 dígitos establecido como el máximo número de dígitos a enviar por variable. En el caso de que la variable ingresada sea inferior a los 5 dígitos, se completa la cadena con ceros.

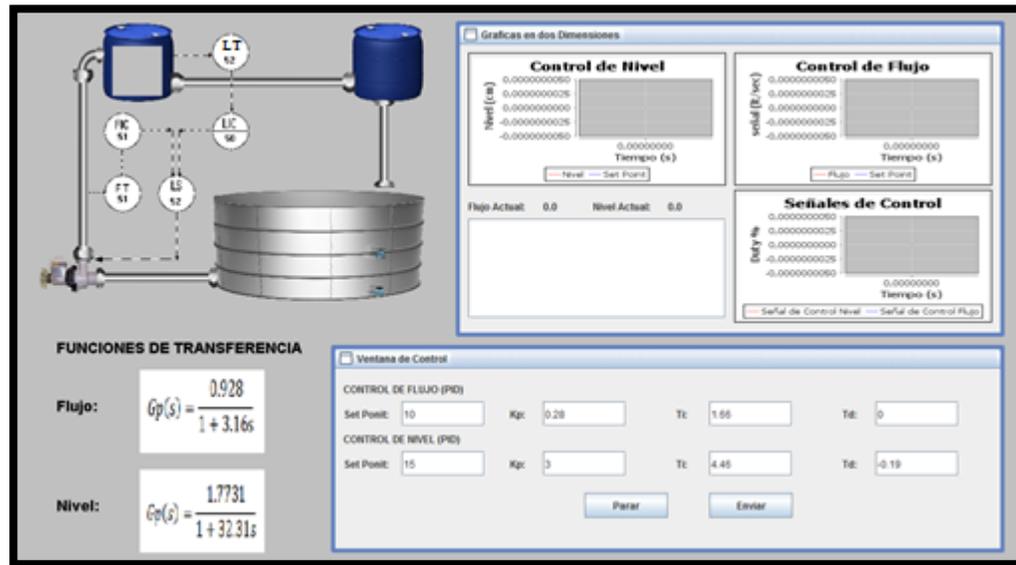
**Nodo:** Esta clase define la estructura de los nodos usados en la estructura dinámica, el cual contiene tres datos tipo double y una instancia de la misma clase, empleada como puntero hacia el siguiente nodo de la lista. Contiene el siguiente método constructor:

- **Método public nodo(double dato1, double dato2, double dato3):** Recibe tres parámetros, los cuales corresponden a los tres datos que se almacenan en cada nodo, y son asignadas a variables locales de la clase.

**Lista:** En esta clase se define los métodos y cualidades de la lista enlazada empleada para almacenar datos dinámicamente, consta de dos objetos instanciados de la clase nodo, que representan el inicio y fin de la lista, y una variable tipo entero longitud, a cual indica el número de nodos enlazados que la lista contiene. Para otorgarle funcionalidad a la lista enlazada se definen los siguientes métodos:

- **public lista():** Es el constructor de la clase inicializa los objetos nodo inicio y fin en null, y define la longitud en cero. Es llamado al momento de instanciar la clase.
- **public void insertarf(double dato1, double dato2, double dato3):** Este método inserta un nodo al final de la lista, recibe como parámetros los tres datos que almacenará el nodo añadido.
- **public void vaciar():** Este método vacía la lista, o elimina todos los nodos y su información, puede ser llamado instanciándolo por medio del objeto lista.
- **public double[][] valores():** Este método devuelve una matriz de nx3, donde n es el número de nodos almacenados, y las tres columnas corresponden a los datos almacenados en cada nodo. Se puede instanciar este método para obtener todos los valores almacenados en la lista.

El applet desarrollado como interfaz gráfica del Laboratorio Virtual constituye una clase labvirtual la cual extiende la librería applet e implementa la programación de hilos y la atención a eventos producidos al presionar botones. Continuando con el esquema general de las interfaces, se define la siguiente pantalla:



**Figura 40** Interfaz del Laboratorio Virtual

Se muestra las funciones de transferencia de cada lazo Nivel y Flujo, necesarias para el diseño de los controladores PID. En la ventana de control, se muestran mediante etiquetas y campos de texto los parámetros que el estudiante deberá ingresar que corresponden a los set points y constantes del controlador PID ( $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ ) de cada lazo de control. En la parte inferior se encuentra el botón ENVIAR, que permite establecer estos parámetros en el software de cálculo numérico; y el botón PARAR que detiene el hilo de simulación y despliega los resultados numéricos en forma de tabla de valores. Estos resultados corresponden a los valores de las señales de flujo, nivel y tiempo de simulación, y podrán ser empleadas por el estudiante para conocer parámetros de desempeño de los controladores ingresados. Siempre que el hilo de animación sea detenido con el botón PARAR es posible reiniciarlo presionando otra vez ENVIAR.

Como variables locales de la clase se define todos los elementos de la interface como JPanel, JLabel, JButton, JTextField, imágenes empleadas en la animación y variables auxiliares. Además se crea tres objetos instanciados de

la clase gráfico ya que la interfaz consta de tres graficas en dos dimensiones; un objeto validación, envío y recepción, cuyos métodos serán instanciados en distintas partes del programa y objetos lista y nodo para el almacenamiento de datos. Finalmente aquí se define un hilo de ejecución de la interface, el cual obtendrá su funcionalidad del método run definido posteriormente.

El applet labvirtual consta de 6 métodos que le otorgan su funcionalidad y estructura, estos métodos son:

- **Método public void init():** Este método se llama cada vez que el navegador ejecuta el applet, aquí se definen los atributos y características a las variables de la interface, como texto en etiquetas, botones, campos de texto, etc. Se carga también las imágenes ubicadas en un directorio local a las variables imagen, se añade los elementos al Frame, entre otros. En este método se puede ejecutar acciones que son necesarias una sola vez, es aquí que se crea las series y los gráficos en dos dimensiones mediante el uso de los métodos del objeto gráfico de la clase.
- **Método public void start():** Este método se ejecuta después del método init al momento que el applet se hace visible. Aquí se define la dirección IP del servidor socket y los puertos de comunicación. La dirección IP asignada al servidor socket es: 192.168.0.100, el puerto de comunicación para el envío es el 5000 mientras que el puerto para la recepción es el 6000. El motivo por el cual se definen dos puertos diferentes, para el envío y recepción es otorgarle rapidez en la respuesta del sistema, evitando la creación de colas, colisiones y pérdida de datos.

- **Método public void update(Graphics g):** Este método se crea comúnmente en la creación de applets animados, es llamado automáticamente a través del método repaint, permite actualizar características y atributos de los elementos de la interface, lo que empleado en un hilo permite la apariencia de movimiento o animaciones. Este método es sobre escrito para permitir la animación del nivel del tanque en función de los valores recibidos del software de cálculo numérico. Para esto se emplea figuras rectangulares en dos dimensiones, configurando su posición y tamaño de forma recurrente. En este método los gráficos en dos dimensiones XY son actualizados mediante la instancia de los métodos actualizar y borrar del objeto gráfico.
- **Método public void paint(Graphics g):** En este método se define la forma o estructura de la interface, se añade una posición y tamaño en pixeles a cada elemento de la interface, en este método es posible también cambiar o modificar características de los elementos de la interface.
- **Método public void run():** Este método da funcionalidad al hilo de la interface. Es un código que se ejecuta de forma continua y paralela al resto del programa. El hilo ejecuta el método run por medio de start() y permite también su detención pausa o destrucción empleando otros métodos como stop, destroy, pause, resume, etc. Una vez iniciado el hilo, el método run se encarga de la transferencia de datos enviados a través del socket por el software de cálculo numérico. Para esto emplea los métodos envío, recepción y getseñales de los objetos instanciados de la clase envío y recepción, aquí también se almacena los datos adquiridos de forma constante en la estructura dinámica, empleando el método insertarf instanciado del objeto lista.

En este método además se limpian los ChartPanels de las gráficas XY con método borrar a través del objeto gráfico y se vacía la lista cada vez que se completa el tiempo de simulación. Finalmente llama al método repaint que permite actualizar las pantallas en función de los nuevos datos adquiridos.

- **Método public void actionPerformed(ActionEvent event):** Este método es llamado cuando se presiona un botón, ya sea enviar o parar. Para el caso de enviar obtiene los valores ingresados por el alumno en los campos de texto de la interface, valida cada uno de los datos empleando los métodos validar y getdato del objeto validación, y actualiza las variables locales que luego se enviarán en el método run, si el hilo aun no inicia el método lo ejecuta, o si se encuentra pausado lo reinicia. Para el caso de parar el método detiene el hilo de la simulación y despliega los datos almacenados en la lista en el área de texto de la interface.

La implementación de la clase labremoto que hereda los métodos de la clase applet, entrego como resultado la interface mostrada en la Figura39:

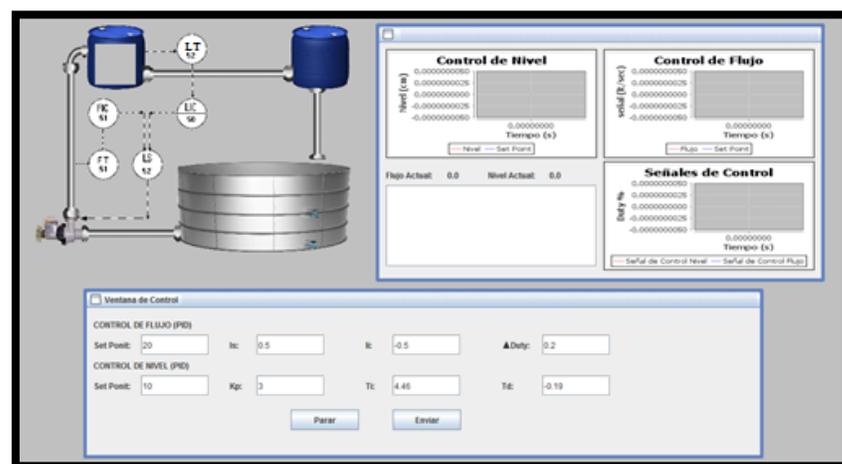


Figura 41 Interfaz del Laboratorio Remoto

Los métodos empleados en esta clase son los mismos del labvirtual, con excepción que en el método start, se define como puertos de comunicación al 5050 para la recepción y el 6050 para la transmisión de datos. Cabe recalcar que el método run en este applet actualiza las variables en función de los valores reales obtenidos de la planta, transmitidos desde el motor de cálculo numérico a través del socket TCP/IP.

Culminada la implementación de los applets, se construye el proyecto, empleando las utilidades de entorno Netbeans, esta acción genera el archivo .JAR necesario para la inserción de las interfaces en páginas WEB HTML.

Finalmente para que los applet puedan ser ejecutados en el explorador se debe aplicar una firma digital, mediante la creación de un certificado. Al ser un sistema prototipo, se emplea un certificado propio del desarrollador, ejecutando el siguiente comando en consola:

```
keytool -genkey -alias Tesis2015 -validity 365 -v
```

El certificado creado tiene el nombre Tesis 2015 y su tiempo de validez es de 365 días. Una vez ejecutado el comando, el software pide el ingreso de los siguientes datos:

**Tabla 14** Parámetros de configuración para crear el certificado

Parámetros	Configuración
First and last name	Arrieta Piedra
Organizational unit	DEE
Organizational's name	ESPE
City or Locality	Quito
State or Province	Pichincha
Two letters Code of country	EC

```

ca. Command Prompt - keytool -genkey -alias Tesis205 -validity 365 -v
Microsoft Windows [Version 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Usuario FDG>keytool -genkey -alias Tesis205 -validity 365 -v
Enter keystore password:
What is your first and last name?
[Unknown]: Oscar Piedra
What is the name of your organizational unit?
[Unknown]: DEE
What is the name of your organization?
[Unknown]: ESPE
What is the name of your City or Locality?
[Unknown]: QUITO
What is the name of your State or Province?
[Unknown]: PICHINCHA
What is the two-letter country code for this unit?
[Unknown]: EC
Is CN=Oscar Piedra, OU=DEE, O=ESPE, L=QUITO, ST=PICHINCHA, C=EC correct?
[no]: Y
Generating 1,024 bit DSA key pair and self-signed certificate (SHA1withDSA) with
a validity of 365 days
for: CN=Oscar Piedra, OU=DEE, O=ESPE, L=QUITO, ST=PICHINCHA, C=EC
Enter key password for <Tesis205>
(RETURNS if same as keystore password):

```

**Figura 42** Configuración de parámetros para crear el Certificado

Para firmar el applet con el certificado creado, se ejecuta el siguiente comando en consola:

```
jarsigner.exe NombredelApplet.jar Tesis2015 -verbose
```

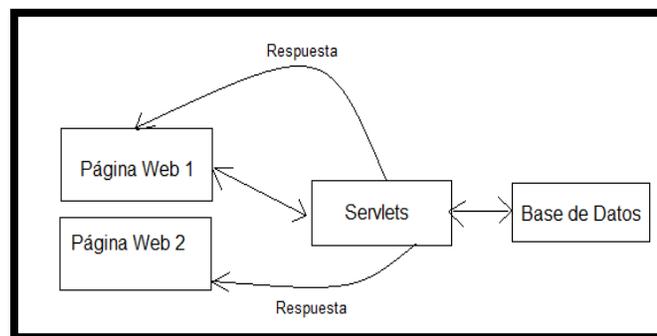
Realizadas estas acciones, el applet queda listo para su inserción y uso en una página HTML específica.

#### 4.1.2. APLICACIÓN WEB Y BASE DE DATOS

La aplicación WEB constituye una serie de páginas con un esquema de navegación específico, el cual aporta la funcionalidad del Laboratorio Virtual y Remoto, es por medio de esta aplicación que los usuarios podrán acceder al laboratorio y realizar diferentes acciones según sus privilegios y capacidad de configuración.

Debido a las características del Laboratorio, se empleó páginas JSP y Servlets, que otorguen capacidad de procesamiento al servidor para responder a las diferentes solicitudes y acciones de los distintos usuarios (profesor - alumno), además permitir la interacción con una base de datos para la validación, creación y eliminación de usuarios.

El flujo de información en un Servlets inicia en la página WEB mediante una acción del usuario, los datos ingresados se envían mediante la red de datos al servidor, quien transfiere esta información a un Servlet específico, el cual procesa la información, realiza la acción determinada y arroja una respuesta re direccionando a otra página, creada de forma independiente o dentro del mismo Servlet.



**Figura 43 Flujo de información**

Una página JSP usa como motor de cálculo un Servlet, con la diferencia de que el código se encuentra insertado en la página WEB HTML distribuida por el servidor WEB y no en una clase independiente como un Servlet convencional. La creación de un JSP permite entonces el procesamiento de la información para ser desplegada sin necesidad de direccionamientos. Es decir el despliegue visual de una página JSP varía en función de las acciones del usuario.

## Base de Datos

Para la creación de la Base de Datos se empleó el software servidor MySQL que permite la gestión de base de datos relacionales, es decir empleando tablas en las que cada variable guarda estrecha relación una de otra. El lenguaje estándar para el manejo de datos que se empleó es SQL y el gestor es un software de acceso y uso libre, descargable en la página Web: [www.mysql.com](http://www.mysql.com).

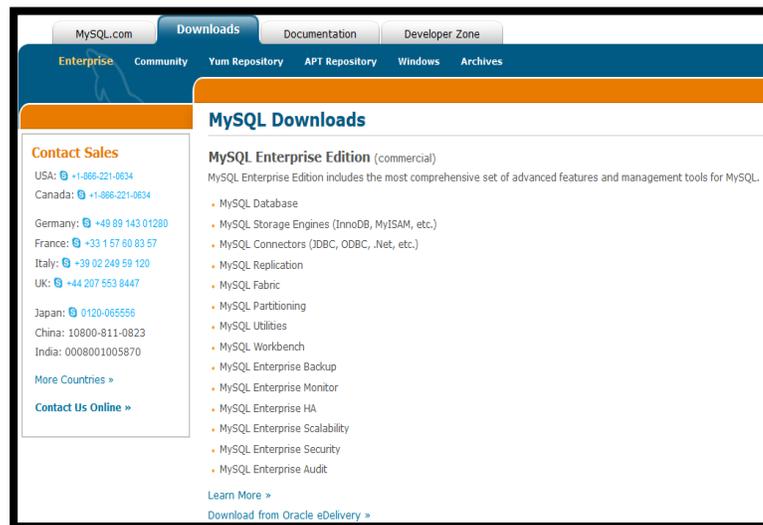
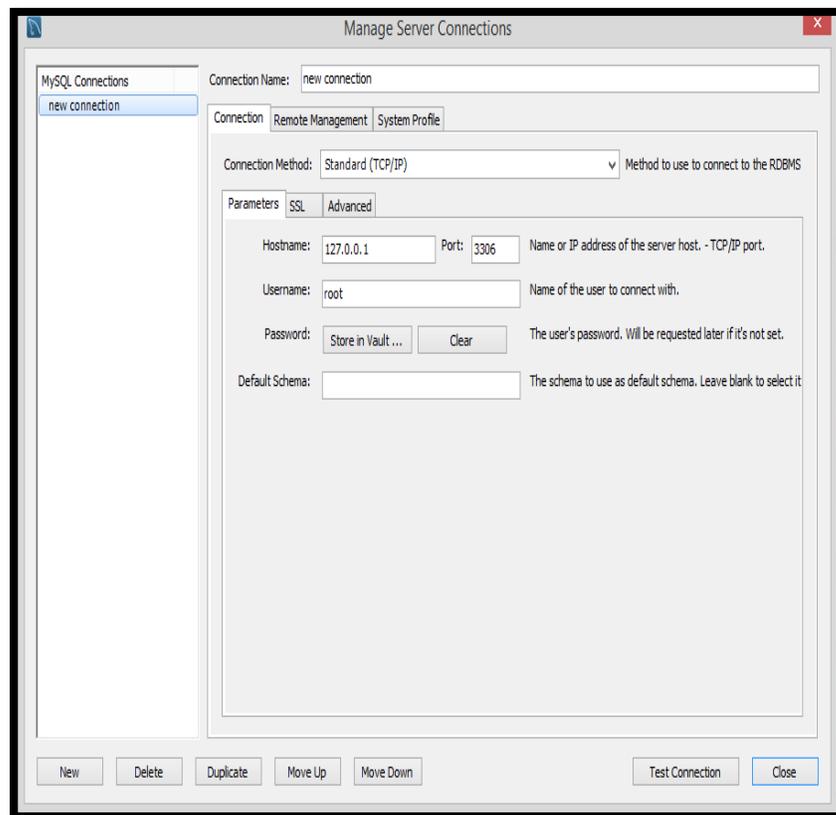


Figura 44 Portal Web [www.mysql.com](http://www.mysql.com)

En versiones actuales el software MySQL ofrece un entorno de desarrollo llamado MySQL Workbench, el cual muestra un ambiente de trabajo más amigable al usuario, permitiéndole gestionar todos los aspectos relacionados a la configuración, conexión y servicio de base de datos. Además permite la ejecución de código SQL directamente en el entorno sin emplear la consola del sistema operativo.

Para el servicio de base de datos se configuró el puerto 3306, en el servidor local o Local Host, se definió también un usuario y clave para acceso a la base de datos.



**Figura 45** Parámetros de conexión en MySQL

En el desarrollo del proyecto, se genera dos tablas, una para los profesores y otra para los alumnos, definiendo en cada una, las cláusulas, tipos de datos y dimensiones.

Table	Column	Data Type	Constraint
profesor	nombre	varchar(40)	PK
	usuario	varchar(40)	
	clave	varchar(40)	
alumno	nombre	varchar(40)	
	usuario	varchar(40)	PK
	clave	varchar(40)	
	usuariop	varchar(40)	

**Figura 46** Tablas creadas para profesor y alumno

La tabla profesor consta de las columnas:

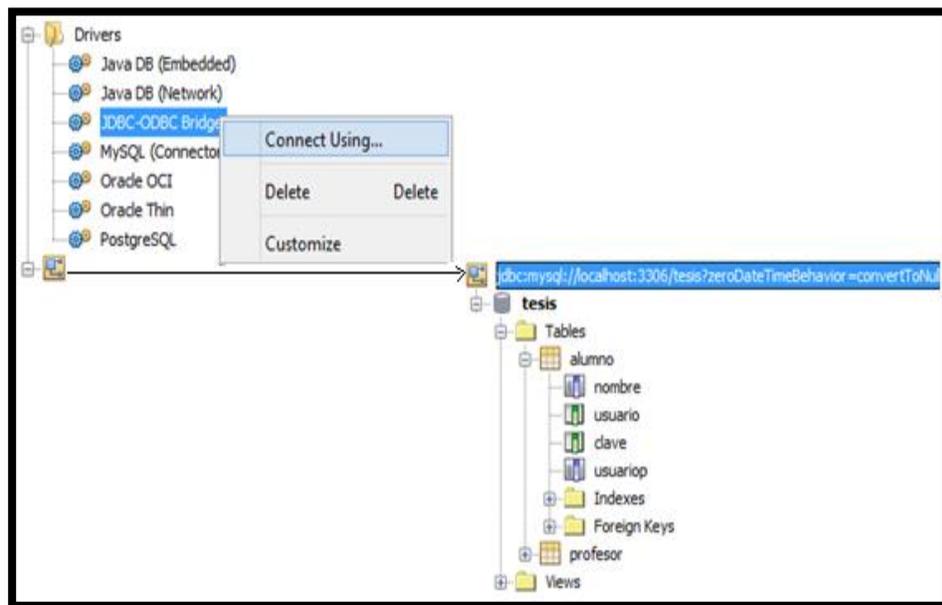
- Nombre
- Usuario
- Clave

Son de tipo varchar con una dimensión de hasta 40 caracteres. La primera columna de la tabla contiene el nombre del profesor registrado, se utiliza la sentencia Primary Key para garantizar que este valor no sea nulo o duplicado. Las variables usuario y clave hacen referencia a los datos de identificación del profesor para su ingreso al Laboratorio.

La tabla alumno consta de las columnas: nombre, usuario, clave y usuariop que son de tipo varchar con una dimensión de hasta 40 caracteres. La primera columna de la tabla contiene el nombre del alumno registrado. Las variables usuario y clave hacen referencia a los datos de identificación del alumno para su ingreso al Laboratorio, la columna usuario es la clave primaria de la tabla. Esta tabla contiene además la columna usuariop, que se refiere al usuario del

profesor que registro a dicho alumno, esta variable permite relacionar las dos tablas para un mejor despliegue de información.

El entorno de desarrollo NetBeans junto con el kit de desarrollo JDK, proveen las herramientas para el enlace entre la base de datos y aplicaciones JAVA desarrolladas bajo este entorno. Empleando el Driver JDBC – ODBC Bridge, se realiza esta conexión, configurando el nombre de la base de datos, el puerto por el cual se realiza la comunicación, el usuario y la clave definidos previamente en MySQL.



**Figura 47 Conexión de la base de Datos**

Si la conexión fue culminada con éxito es posible visualizar en el entorno de NetBeans la base de datos, las tablas y las columnas, pudiendo incluso gestionarlas desde este entorno.

La aplicación se compone de diez páginas WEB, algunas de las cuales emplean Servlets y otras se ejecutan empleando un concepto puro JSP. A

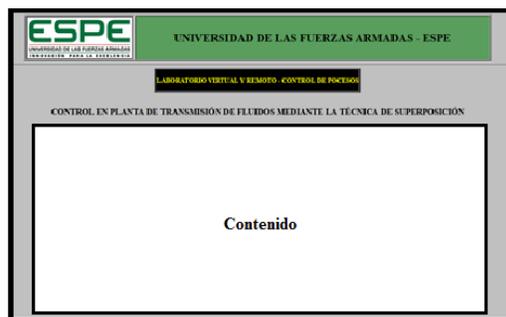
continuación se detalla los Servlets desarrollados, haciendo énfasis en su función y uso:

- **Servlet aalumno:** En términos de programación constituye una clase que hereda los métodos y características de la clase `HttpServlet`. La principal tarea de este Servlet es agregar un alumno a la base de datos, estableciendo una conexión mediante el uso de un driver específico con el servidor MySQL. Obtiene los datos del alumno nombre, usuario, clave y usuario del profesor que lo agrega, desde una página WEB y crea un nuevo registro en la tabla alumno. Si los datos ingresado por el usuario profesor para la creación de un nuevo registro son correctos, el alumno es agregado a la base de datos y el Servlet genera una página HTML confirmando el éxito de la acción, caso contrario el Servlet genera una página HTML de respuesta, que indica el error ocurrido.
- **Servlet ealumno:** Este Servlet se encarga de eliminar un registro alumno de la base de datos. El usuario profesor define el alumno a eliminarse, el Servlet adquiere el usuario y lo compara en la base de datos, si el usuario existe es eliminado, caso contrario el Servlet genera una página HTML de respuesta que indica el error ocurrido.
- **Servlet inalumno:** Este servlet permite el acceso de un alumno al Laboratorio Virtual y Remoto. Obtiene el usuario y clave ingresados en una página HTML por el alumno y lo compara en la base de datos, si el alumno se encuentra registrado correctamente, se permite su acceso, direccionándolo a otra página WEB, caso contrario el Servlet genera una página HTML con el error específico.

- **Servlet inprofesor:** Este servlet permite el acceso de un profesor al Laboratorio Virtual y Remoto. Obtiene el usuario y clave ingresados en una página HTML y lo compara en la base de datos, si el profesor se encuentra registrado correctamente, se permite su acceso, direccionándolo a otra página WEB, caso contrario el Servlet genera una página HTML con el error específico.
- **Clase datos:** Esta clase corresponde a un BEAN, el cual es un código que permite compartir variables entre distintas páginas HTML y Servlets. Se puede acceder al BEAN desde una página JSP o desde un Servlet. Una vez que se haya realizado un cambio a una de las variables del BEAN, este se almacena y otra página o Servlet que obtenga dicha variable, la recibirá con el valor actualizado.

Todas las páginas desarrolladas poseen la extensión JSP, sin embargo por funcionalidad y características de desempeño muchas de ellas emplean Servlets en lugar de código inmerso en las páginas.

Se elaboró un esquema general o plantilla sobre la imagen de las páginas web, de manera que todas las páginas se basen en él, variando nada más el contenido esencial pero manteniéndose los títulos y esquema.



**Figura 48 Esquema General de Páginas de WEB**

Las páginas WEB implementadas son:

- **index.jsp:** Es la página de bienvenida al sistema, su contenido principal muestra dos botones para el acceso de los distintos usuarios, si el usuario corresponde a un profesor será direccionado a la página `ingresoprofesor.jsp`, mientras que si es un alumno a la página `ingresoalumno.jsp`.



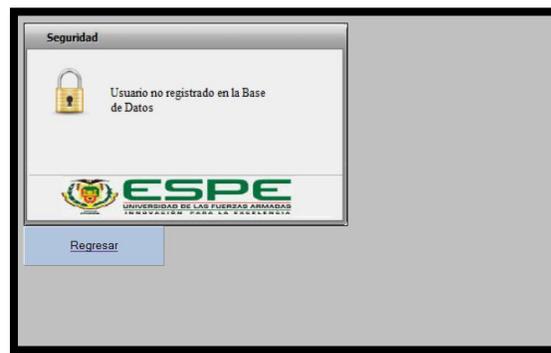
Figura 49 Página WEB Index

- **ingresoprofesor.jsp:** Esta página es desplegada si el usuario seleccionado en la página `index.jsp` es profesor. Muestra campos de texto para el ingreso de usuario y clave además del botón ingresar. Esta página emplea un formulario para la validación de datos, dicho formulario especifica el uso del Servlet `inprofesor`, el cual obtendrá los campos de la página web, se enlazará con la base de datos, procesará la información y arrojará una respuesta. Si los campos ingresados son correctos y si el profesor consta en la base de datos,

se direcciona al usuario a la página mainprofesor, caso contrario si el usuario o clave son incorrectos el Servlet responderá generando una página HTML indicando el error.



**Figura 50** Página WEB Index



**Figura 51** Página WEB Usuario no Registrado Generada por Servlet



**Figura 52** Página WEB Clave Incorrecta Generada por Servlet Inprofesor

- **mainprofesor.jsp:** Esta página es mostrada cuando un usuario profesor ingresa sus identificadores de forma correcta en el la página ingresoprofesor.jsp. Presenta dos acciones al profesor: Observar/eliminar registros y agregar registros, la primera opción direcciona al usuario a oeregistro.jsp y la segunda a aregistro.jsp.



**Figura 53** Página WEB Mainprofesor

- **oeresgistro.jsp:** Esta página contiene código JAVA insertado bajo el concepto JSP, esto le permite enlazarse con la base de datos y mostrar los alumnos registrados por el usuario profesor que ingreso al sistema. Muestra también la opción de eliminar registros marcándolos mediante el uso de Check buttons. Los registros marcados serán eliminados al presionar el botón eliminar, en ese momento mediante el uso de un formulario HTML se ejecuta el Servlet ealumno, el cual en caso de existir registros marcados les elimina de la base de datos y muestra una página HTML de operación exitosa; de no haber marcado ningún registro, el Servlet genera una página WEB de error.

Usuario: oscarpin



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**

**LABORATORIO VIRTUAL Y REMOTO - CONTROL DE PROCESOS**

CONTROL EN PLANTA DE TRANSMISIÓN DE FLUIDOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE SUPERPOSICIÓN

NOMBRE	USUARIO	CONTRASEÑA	
Evelio	evel	456	<input type="checkbox"/> Marque para Eliminar
Pedro	p12	145	<input type="checkbox"/> Marque para Eliminar

ELIMINAR REGISTROS MARCADOS

Regresar

**Figura 54** Página WEB Oregistro

Seguridad



No se ha marcado ningún Registro para ser eliminado



Regresar

**Figura 55** Página WEB no se Marcó Registros Generada por Servlet ealumno

Seguridad



El registro de Alumno fue eliminado



Regresar

**Figura 56** Página WEB Registro Eliminado Generada por Servlet ealumno.

- **aregistro.jsp:** Esta página se despliega si el usuario profesor seleccionó la opción agregar registros de la página mainprofesor.jsp.

Muestra campos de texto y un botón para agregar nuevos alumnos a la base de datos. Si todos los campos se agregan correctamente, se ejecuta el Servlet aalumno por medio del uso de un formulario HTML, el cual mostrará una página WEB indicando la operación exitosa. De no agregarse un campo o alguno sea incorrecto el Servlet responderá generando una página WEB indicando el error específico.

**Figura 57** Página WEB Registro

**Figura 58** Página WEB Error en Ingreso de Datos por Servlet aalumno



**Figura 59** Página WEB Registro Agregado Generada por Servlet aalumno

- **ingresoalumno.jsp:** Esta página es desplegada si el usuario seleccionado en la página index.jsp es alumno. Muestra campos de texto para el ingreso de usuario y clave, además del botón ingresar. Esta página emplea un formulario para la validación de datos, dicho formulario especifica el uso del Servlet inalumno, el cual obtendrá los campos de la página web, se enlazará con la base de datos, procesará la información y arrojará una respuesta. Si los campos ingresados son correctos y si el alumno consta en la base de datos, se direcciona al usuario a la página mainalumno, caso contrario si el usuario o clave son incorrectos el Servlet responderá generando una página HTML indicando el error.

 A screenshot of the student login page. At the top left, it says "Usuario: oscarpin". The main header features the ESPE logo and the text "UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE". Below the header is a black box with yellow text: "LABORATORIO VIRTUAL Y REMOTO - CONTROL DE PROCESOS". Underneath that is the text "CONTROL EN PLANTA DE TRANSMISIÓN DE FLUIDOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE SUPERPOSICIÓN". The central part of the page contains a login form titled "INGRESO ALUMNO" with two input fields: "Usuario:" and "Contraseña:", and a button labeled "INGRESAR".

**Figura 60** Página WEB Ingresoalumno



**Figura 61** Página WEB Usuario No Registrado Generada por Servlet inalumno



**Figura 62** Página WEB Contraseña Errónea por Servlet inalumno

- **mainalumno.jsp:** Esta página se despliega si el alumno ingreso correctamente sus identificadores en la página ingresoalumno.jsp, muestra las instrucciones básicas para la realización de la primera práctica y permite direccionar hacia un blog donde el alumno podrá observar y descargar la Guía completa de dicha práctica. El blog fue desarrollado en WIX y enlaza a la página a través de la dirección URL. Es importante mencionar la necesidad de disponer de Internet para acceder a la visualización de este blog. Esta página muestra también la opción para acceder a la primera práctica ubicada en la página virtual.jsp

Figura 63 Página WEB Mainalumno

Figura 64 Página WEB del Blog WIX de Guía 1

- **virtual.jsp:** Esta página presenta la práctica uno en el entorno Virtual, su contenido esencial constituye el Applet labvirtual insertado en la página HTML. Aquí el alumno desarrollará la práctica uno, en función de la guía entregada. En la parte inferior de esta página se muestra un botón para acceder a siguiente práctica, direccionado al usuario a la página iremota.jsp.



Figura 65 Página WEB Virtual

- **iremota.jsp:** Esta página se despliega si el alumno previamente trabajo con el modelo simulado de la planta. Muestra las instrucciones básicas para realizar la segunda práctica, a través de un blog donde el alumno podrá observar y descargar la Guía completa. Esta página muestra la opción para acceder a la segunda práctica ubicada en la página remota.jsp



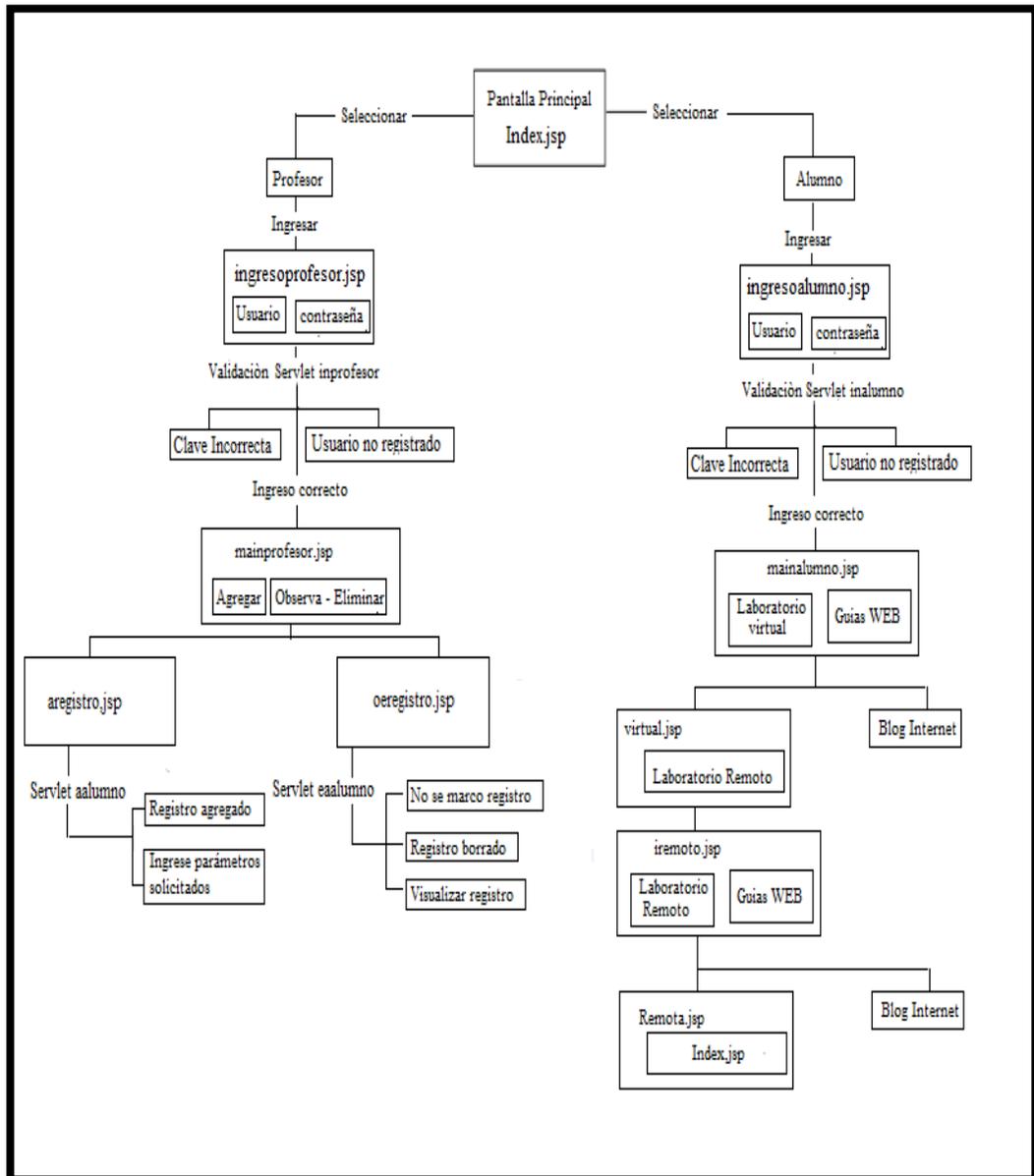
Figura 66 Página WEB Iremota

- **remota.jsp:** El contenido principal de esta página constituye el Applet labremoto insertado, aquí el alumno podrá a través del Applet realizar la segunda práctica manejando y controlando remotamente la planta de Transmisión de Fluidos. En la parte inferior, se muestra la opción de regresar a página index.jsp.



Figura 67 Página WEB Remota

El esquema general de navegación de la aplicación WEB se muestra a continuación:



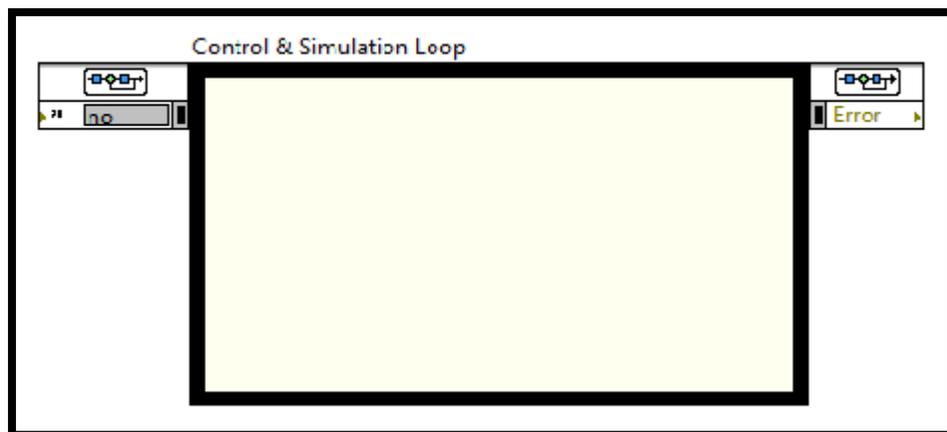
**Figura 68** Esquema general de navegación.

#### 4.1.3. ALGORITMOS DE CÁLCULO NUMÉRICO

Empleando el software comercial LabVIEW, se diseñó e implemento la aplicación que permita modelar, simular y controlar el proceso. Para cada una de las prácticas se desarrolló un programa, en el caso de la primera empleando

modelos de simulación que generen respuestas de manera continua, mientras que para la segunda usando herramientas de adquisición de datos y generación de señales.

En función de la necesidad de implementar modelos de simulación para el control de la planta, tanto real como simulada, se genera un lazo de control y simulación, que es una herramienta de LabVIEW utilizada para el diseño y simulación de sistemas de control, permitiendo además la implementación de controladores reales mediante el uso de tarjetas de adquisición y generación de señales. Las aplicaciones generadas dentro de este lazo se ejecutan bajo un tiempo de simulación, definiendo los parámetros como son los límites de simulación o tiempos de muestreo, los cuales fueron configurados para cada aplicación o práctica específica.



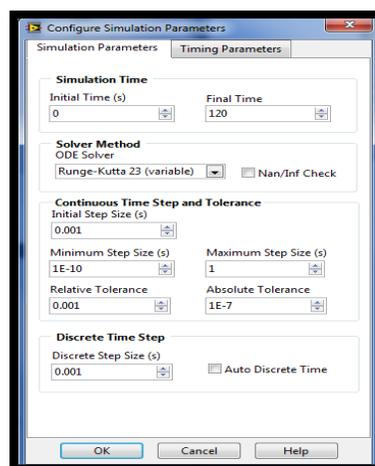
**Figura 69** Lazo de control y simulación LabVIEW.

**Práctica uno:** Se especifica un tiempo de simulación de 0 a 60 segundos, con un salto discreto de 0.1 segundos.



**Figura 70** Parámetros de simulación de lazo para práctica uno

**Practica dos:** Se especifica un tiempo de simulación de 0 a 120 segundos, con un salto discreto de 0.001 segundos. Es importante considerar que para esta práctica los bloques de adquisición y generación de señales deberán ser configurados para que el tiempo de muestreo coincida con el salto discreto configurado en el lazo de simulación.



**Figura 71** Parámetros de simulación de lazo para práctica dos

El servidor socket para la comunicación de las aplicaciones desarrolladas con los applets JAVA, emplea bloques basados en el TCP/IP, el esquema de bloques empleados está en función de la acción que realizara ya sea envió o recepción de información, y configurados de acuerdo a la práctica o aplicación.

### Práctica Uno:

- Servidor Socket TCP/IP para la Recepción de Datos; El puerto para la recepción de información corresponde al empleado por la aplicación JAVA en el envío, puerto 6000. Se configura un número de 40 bytes en el buffer de recepción, considerando que desde el applet Java se envían ocho señales de máximo 5 caracteres cada una. Puesto que se recibe una cadena de caracteres única, se emplea bloques para la desconcatenación separando las señales, para después transformarlas a valores numéricos y poder emplearlos en la simulación. Las variables que se reciben son los puntos de referencia de cada lazo de control y las constantes de los controladores PID independientes.

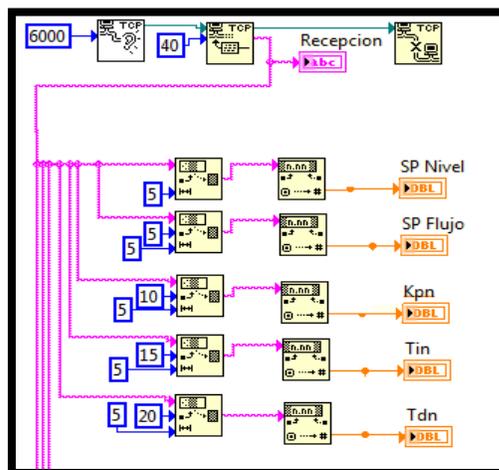
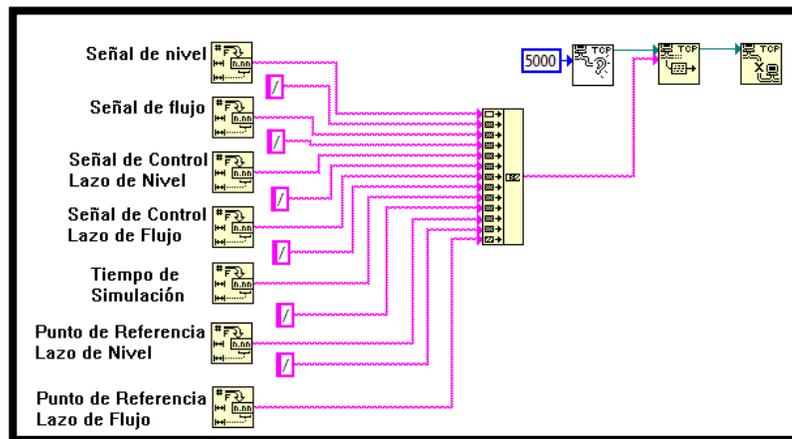


Figura 72 Recepción de datos por el servidor Socket para la práctica uno

- Servidor Socket TCP/IP para el Envío de Datos:** El puerto para el envío de información corresponde al empleado por la aplicación JAVA en la recepción, puerto 5000. Se envía una cadena de caracteres única, empleando bloques para la concatenación de las señales, después de transformarlas de sus valores numéricos correspondientes. Se envían siete señales separadas una de otra por el símbolo '/' esto le permite al applet labvirtual reconocer y des concatenar cada señal, las variables enviadas son: señales de control, puntos de referencia, señales de los sensores o variables manipuladas y el tiempo de simulación del lazo, este último con el motivo de sincronizar de la simulaciones del applet JAVA con las de LabView.

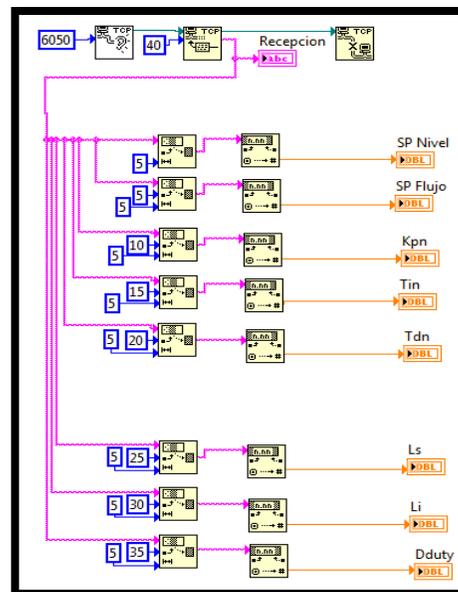


**Figura 73 Envío de Datos por el Servidor Socket para la Práctica uno**

#### **Práctica Dos:**

- Servidor Socket TCP/IP para la Recepción de Datos:** El puerto para la recepción de información corresponde al empleado por la aplicación JAVA en el envío, puerto 6050. Se configura un número de 40 bytes en el buffer de recepción, considerando que desde el applet

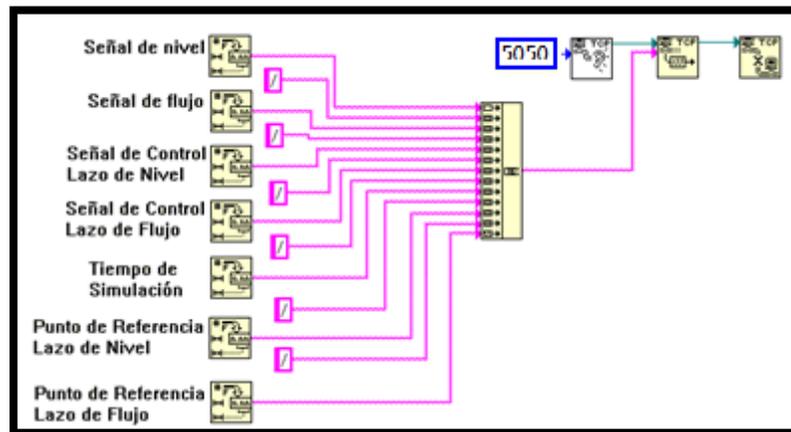
Java se envían ocho señales de máximo 5 caracteres cada una. Puesto que se recibe una cadena de caracteres única, se emplea bloques para la desconcatenación separando las señales, para después transformarlas a valores numéricos y poder emplearlos en la simulación. Las variables que se reciben son los puntos de referencia de cada lazo de control, las constantes del controlador PID del lazo de Nivel y las constantes del controlador ON-OFF proporcional.



**Figura 74 Recepción de datos por el servidor Socket para la práctica Dos**

- Servidor Socket TCP/IP para el Envío de Datos:** El puerto para el envío de información corresponde al empleado por la aplicación JAVA en la recepción, puerto 5050. Se envía una cadena de caracteres única, empleando bloques para la concatenación de las señales, después de transformarlas de sus valores numéricos correspondientes. Se envían siete señales separadas una de otra por el símbolo '/' esto le permite al applet labremoto reconocer y des

concatenar cada señal, las variables enviadas son: señales de control, puntos de referencia, señales de los sensores o variables manipuladas y el tiempo de simulación del lazo, este último con el motivo de sincronizar de la simulaciones del applet JAVA con las de LabView.

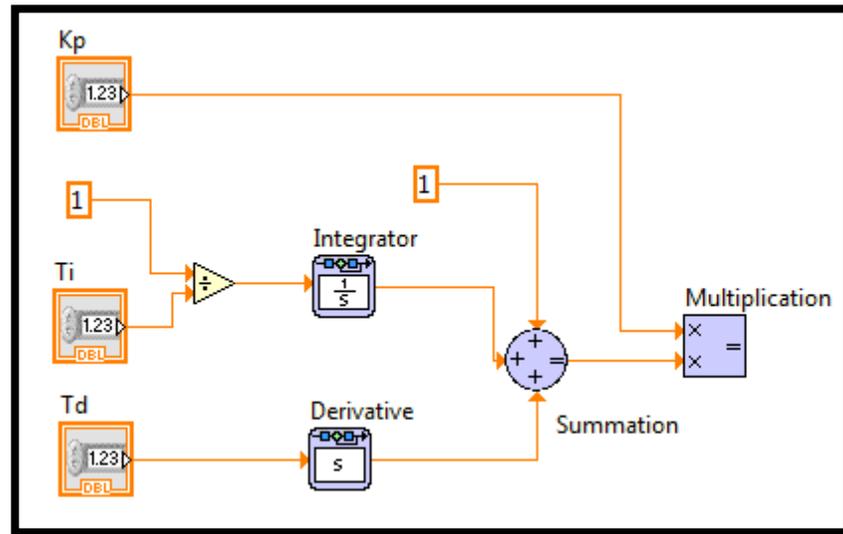


**Figura 75 Envío de datos por el servidor Socket para la práctica Dos.**

El diagrama del diseño de los controladores PID se basó en la forma paralela:

$$G_c(S) = Kp\left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S\right)$$

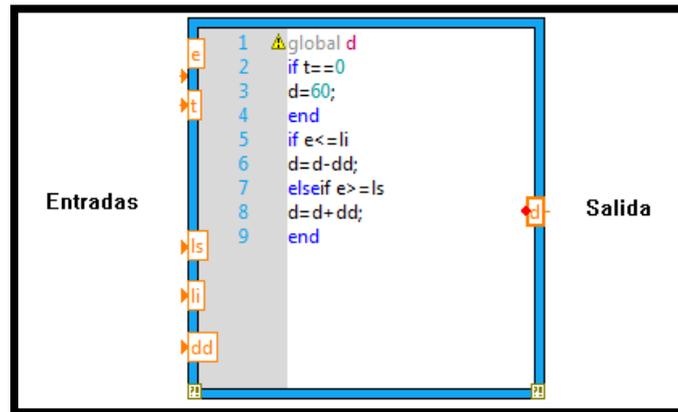
Empleando los bloques para la simulación de sistemas lineales continuos de LabVIEW se desarrolló le siguiente esquema para la implementación de un controlador PID.



**Figura 76 Controlador PID paralelo en LabView**

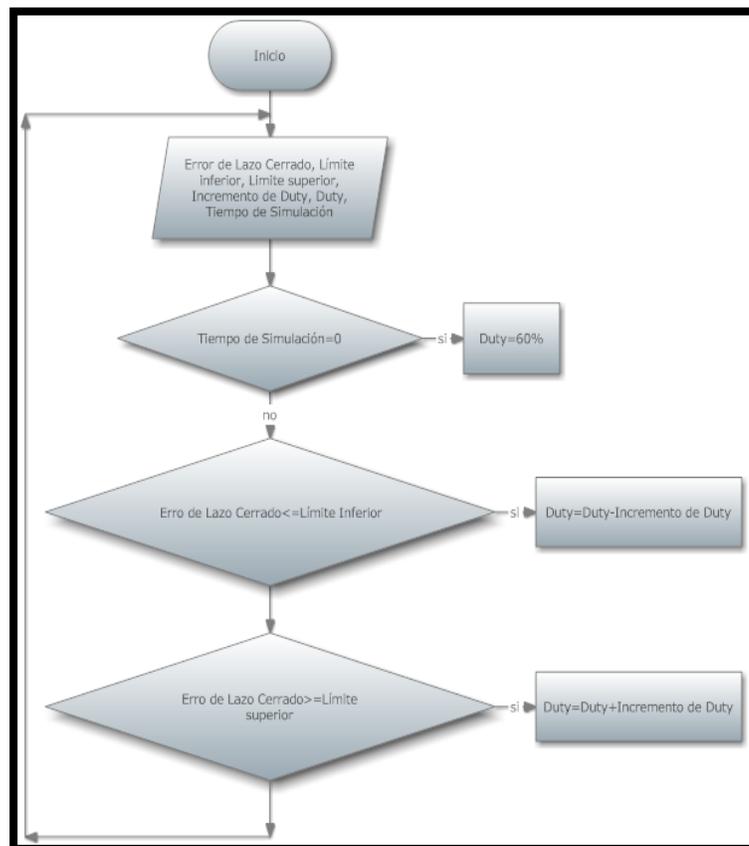
Este esquema se emplea para todos los controladores PID utilizados en las distintas prácticas de laboratorio, las constantes  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$ , corresponden a valores recibidos a través de la comunicación TCP desde el applet JAVA correspondiente a cada práctica.

El controlador combinado ON-OFF y proporcional, empleado en la práctica dos, se implementó haciendo uso de lenguaje estructurado desarrollado un mathscript de LabVIEW. El controlador recibe como entrada el error en lazo cerrado, además del tiempo de simulación y las constantes límite inferior, límite superior y delta duty o incremento gradual del Duty. La salida del controlador corresponderá al Duty de la señal PWM que llegará al actuador.



**Figura 77 Controlador combinado ON – OFF y proporcional**

El Diagrama de flujo del Controlador ON – OFF se muestra a continuación:



**Figura 78 Diagrama de Flujo de Controlador combinado ON-OFF y proporcional**

Los modelos de simulación de la planta empleados en la primera práctica, son conseguidos por medio de las funciones de transferencia obtenidas en la identificación, estos modelos son creados en LabVIEW por medio del bloque de función de transferencia para la simulación de sistemas lineales continuos:

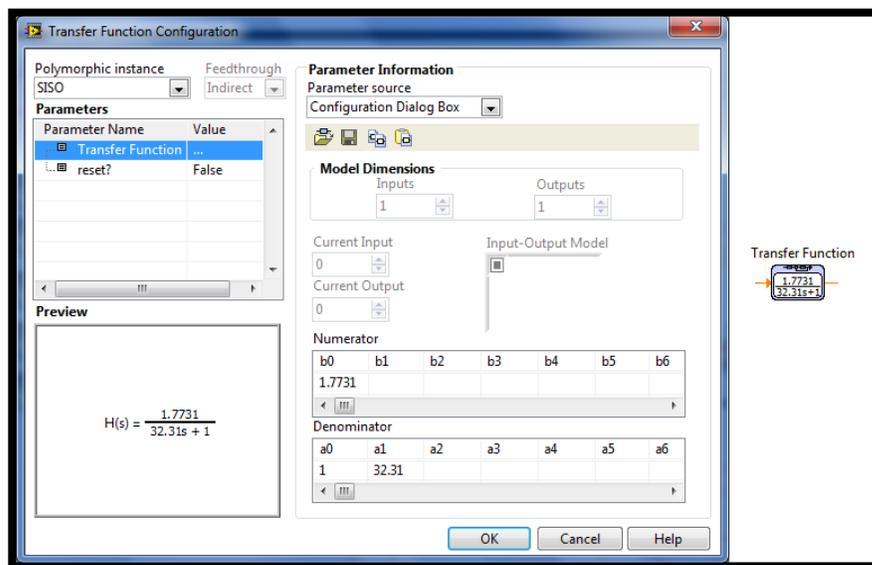


Figura 79 Modelo de Simulación Para Lazo de Control de Nivel

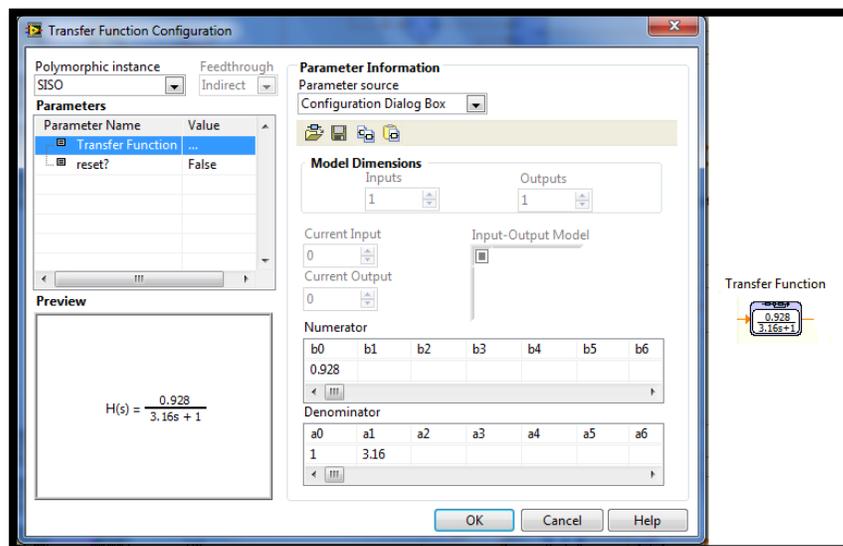


Figura 80 Modelo de Simulación Para Lazo de Control de Flujo

Para la implementación del sistema de control en la planta de Transmisión de Fluidos, necesaria en el entorno remoto, se emplea bloques especializados, para la adquisición, la generación, el procesamiento y la adecuación de señales. El esquema de bloques para cada etapa se muestra a continuación:

### Adquisición de señales:

Se configura el bloque de adquisición de dos señales una de Voltaje y una de Corriente. Para la señal de voltaje proveniente del sensor de nivel se toman 100 muestras a una frecuencia de 1KHz, el rango de esta señal va de 0 VDC a 10 VDC. Para obtener esta señal se utiliza el canal analógico A10 de la tarjeta de Adquisición MyDaq.

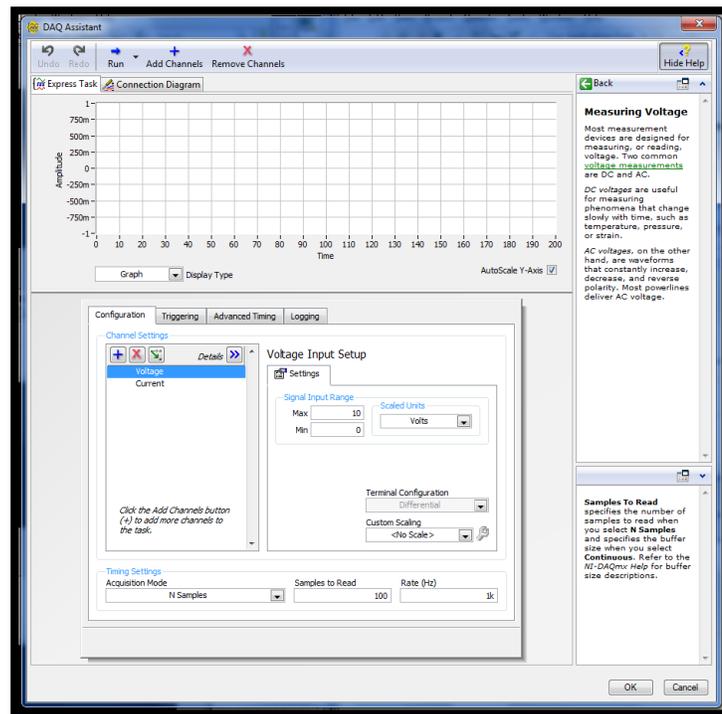
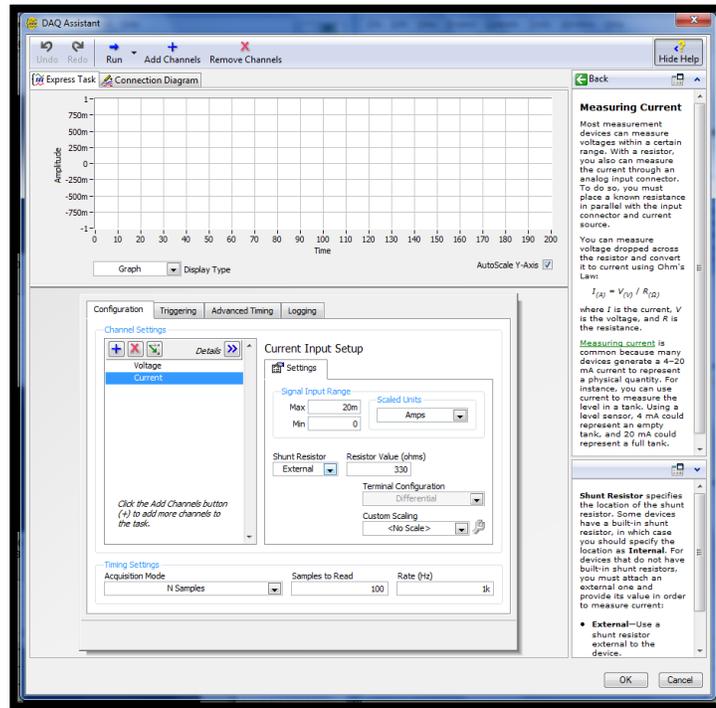


Figura 81 Configuración de bloque de adquisición de señal de voltaje

Para la adquisición de la señal de corriente proveniente del sensor de caudal se toman 100 muestras a una frecuencia de 1KHz, el rango de esta señal va de 0 mA a 20 mA. Para obtener esta señal se utiliza el canal analógico AI1 de la tarjeta de Adquisición Ni MyDaq.



**Figura 82 Configuración de Bloque de Adquisición de Señal de Corriente (Sensor de Caudal)**

## Procesamiento y Adecuación de Señales

Las señales adquiridas de los sensores, son procesadas para disminuir la influencia de ruido y de señales parásitas, para esto se emplea filtros digitales FIR pasabajos con una frecuencia de corte de 20 Hz. Además se emplea un bloque especializado para obtener los valores efectivos o RMS de la señal, previo a su adecuación, esto permite obtener una señal más estable y con menos fluctuaciones.

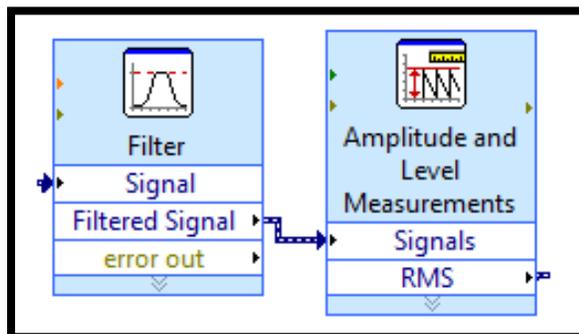


Figura 83 Esquema para el Procesamiento de las señales Adquiridas.

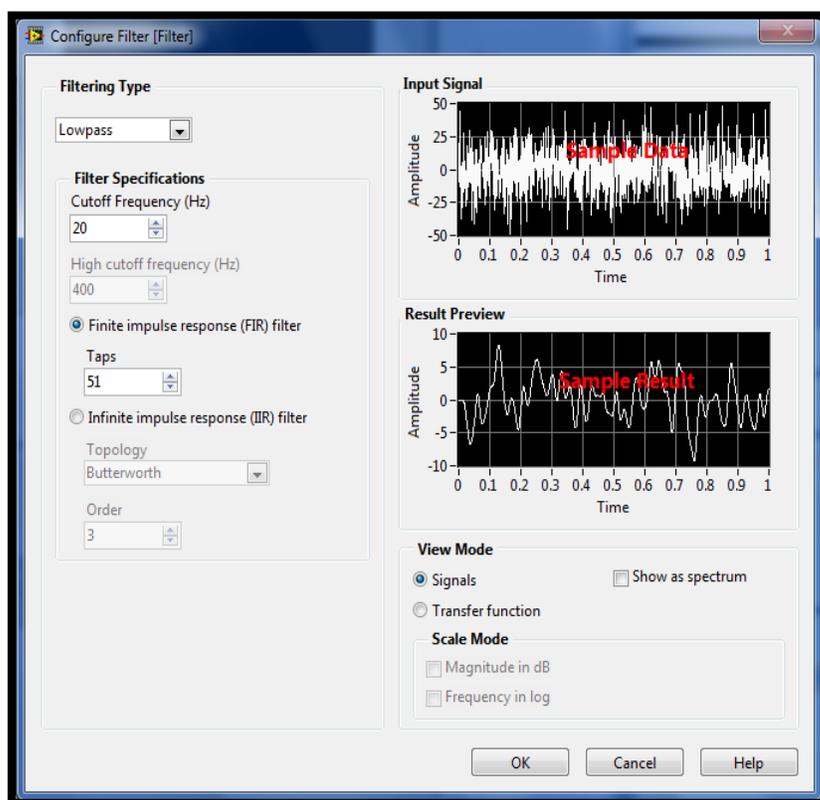
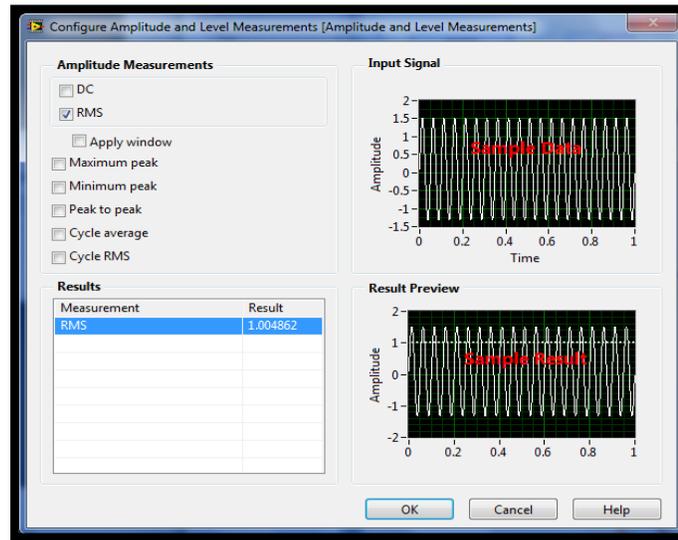


Figura 84 Configuración de Bloque de Filtro Digital.

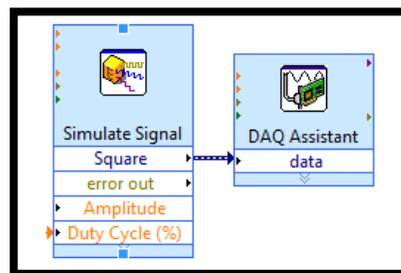


**Figura 85 Configuración de Bloque Especializado para obtener valores RMS.**

Finalmente la adecuación se realiza empleando bloques aritméticos de suma resta y división en función de las ecuaciones de adecuación obtenidas en el estudio del arte.

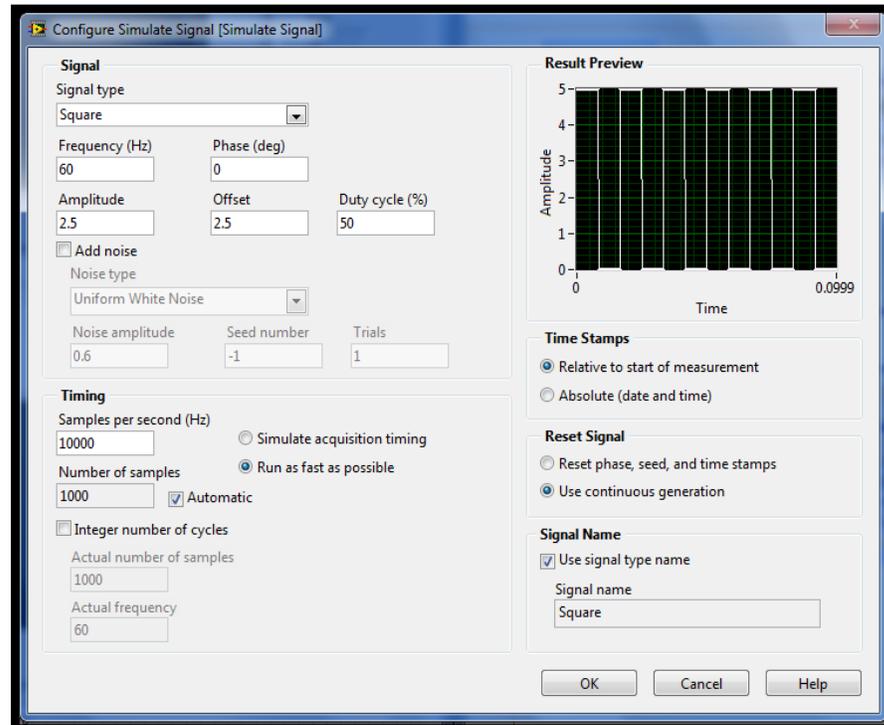
### Generación de Señal de Control

Para generar la señal PWM que maneja a la bomba se implementa el esquema mostrado en la Figura 86:



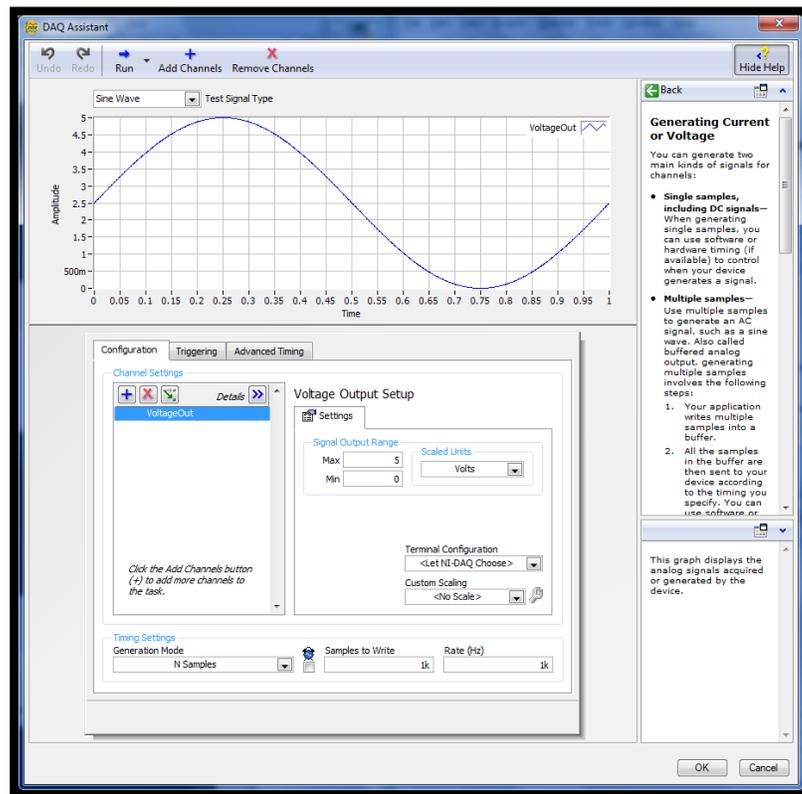
**Figura 86 Generación de la señal de Control PWM LabVIEW.**

El bloque Simulate Signal se configura para generar una señal PWM de 60 Hz, con amplitud y offset de 2.5 [V] con una frecuencia de muestreo de 10KHz. El Duty de la señal generada, corresponde a la señal de control de cada lazo, conmutadas por un selector de baja.



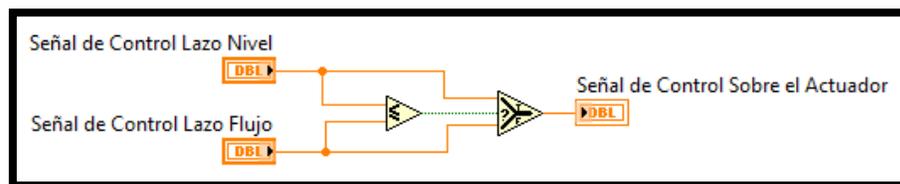
**Figura 87 Configuración del bloque simulate signal.**

Para poder emplear la señal generada se configura la salida analógica AO0 de la tarjeta de adquisición de datos MyDaq, permitiendo un rango de 0 [V] a 5 [V] de la señal de salida, generando 1000 muestras cada 1KHz.



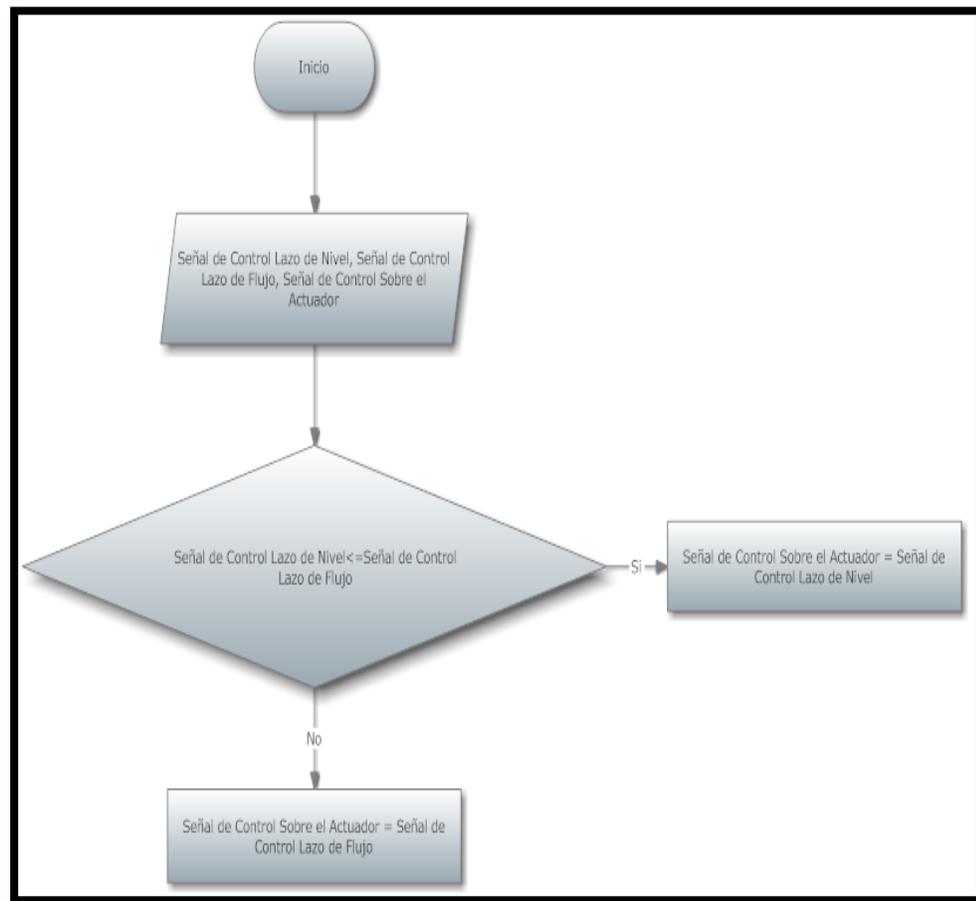
**Figura 88 Configuración de Bloque de Generación de Señal de Voltaje Analógico.**

Finalmente para la aplicación de la técnica de control por superposición se empleó bloques de comparación, que permita el paso de la señal de control de menor magnitud, al bloque de generación de la señal PWM.



**Figura 89 Selector de Baja Digital para Técnica de Superposición.**

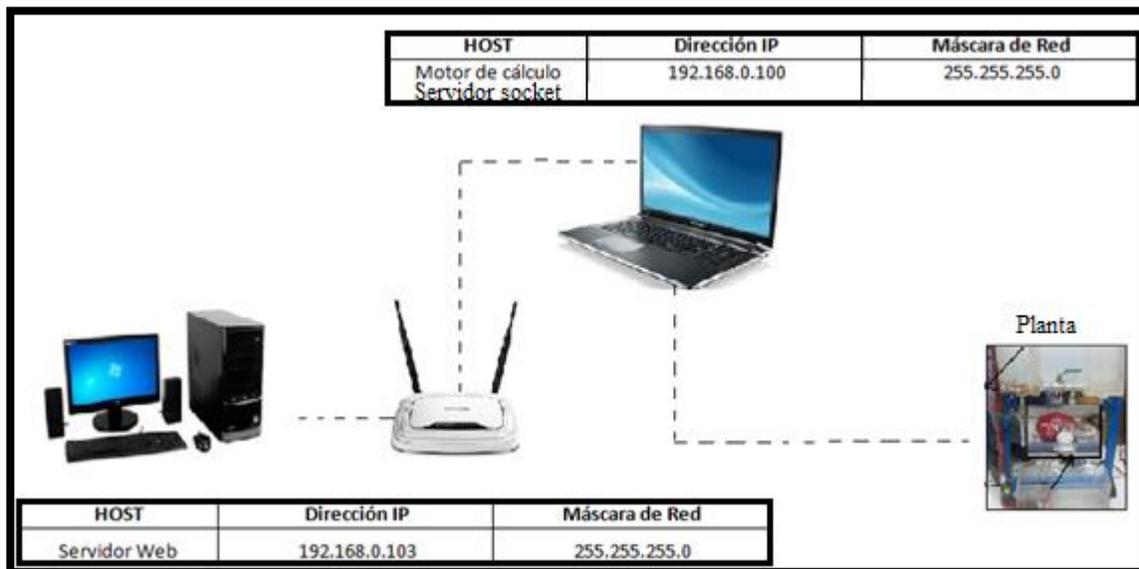
El diagrama de flujo del selector de baja digital se muestra a continuación:



**Figura 90 Diagrama de Flujo del Selector de Baja Digital LabVIEW.**

#### 4.1.4. RED DE COUNICACIONES

Para la implementación del Laboratorio Virtual y Remoto como sistema prototipo se configuró una red LAN de datos, asignando direcciones IP de clase C a cada uno de los equipos empleados en el laboratorio. La topología usada para el montaje de la red es Estrella, y el nodo central constituye un router Wireless, el cual permite una conexión inalámbrica bajo el estándar 802.11n, empleando como frecuencia de comunicación la banda de 2.4 GHz. El esquema de red se muestra en la Figura 91.



**Figura 91 Configuración de la red de comunicación**

Cualquier host que necesite hacer uso del Laboratorio, deberá conectarse entonces a la red de datos implementada ocupando una dirección IP disponible en la misma clase.

Las pruebas de conexión se realizan empleando el comando ping y sus utilidades mediante la consola de Windows. Además se elaboró programas sencillos de prueba, para comprobar la comunicación entre el socket servidor ubicado en LabVIEW y el cliente JAVA.

```

Servidor Cálculo
Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
Vínculo: dirección IPv6 local. . . . . : fe80::1c45:451f:7b51:97b7%26
Dirección IPv4. . . . . : 192.168.0.100
Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada . . . . . :

Servidor WEB
Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
Vínculo: dirección IPv6 local. . . . . : fe80::1c45:451f:7b51:97b7%26
Dirección IPv4. . . . . : 192.168.0.103
Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada . . . . . :

```

**Figura 92 Asignación de las direcciones IP**

## 4.2. DISEÑO DE GUÍAS DE LABORATORIO

Para el uso del Laboratorio por parte de los alumnos, se elaboró guías para cada una de las prácticas. Estas guías proveen la información necesaria en cuanto a las configuraciones que un alumno puede realizar tanto en el entorno virtual como en el Remoto.

### 4.2.1. GUÍA 1

**Título:** Control de una planta simulada de Transmisión de Fluidos empleando la técnica de superposición.

#### **Objetivo General**

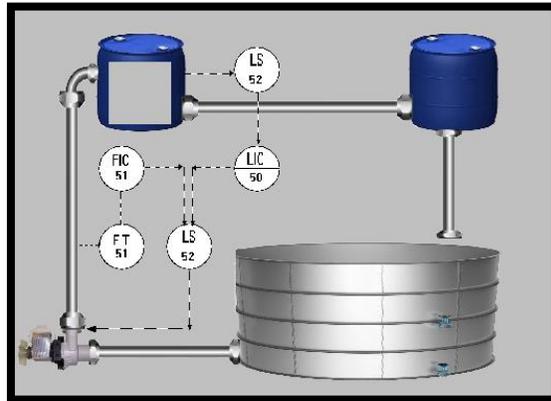
Diseñar e implementar un sistema de control aplicando la técnica de Superposición, para mantener variables Flujo y Nivel en valores requeridos en una Planta de Transmisión de Fluidos simulada.

#### **Objetivos Específicos**

- Comprender la utilidad de técnica de Superposición en el control de Procesos.
- Diseñar técnicas de control PID para regular el Nivel en un tanque.
- Diseñar técnicas de control PID para regular el Flujo de Líquido en una tubería
- Emplear un mecanismo virtual para la consolidación de conocimientos teóricos.
- Comprender los efectos de cada acción de control realizada.

## Introducción

En la primera práctica se trabajará con una Planta de Transmisión de Fluidos, simulada en base a un modelo matemático (Función de Transferencia).



**Figura 93** Planta simulada en JAVA.

La planta consta de tres tanques acoplados entre sí, dos de ellos ubicados en la parte superior y de iguales dimensiones, que interactúan por medio de tubería que permite el intercambio de flujo entre ellos, el tercer tanque llamado de reserva se acopla con uno de los tanques superiores por medio de una tubería, la cual transporta el fluido impulsado por una Bomba.

En condiciones normales de funcionamiento se busca garantizar la recirculación constante del agua, así el fluido parte del tanque de reserva a uno de los tanques superiores, para después circular al segundo tanque y volver al primer depósito.

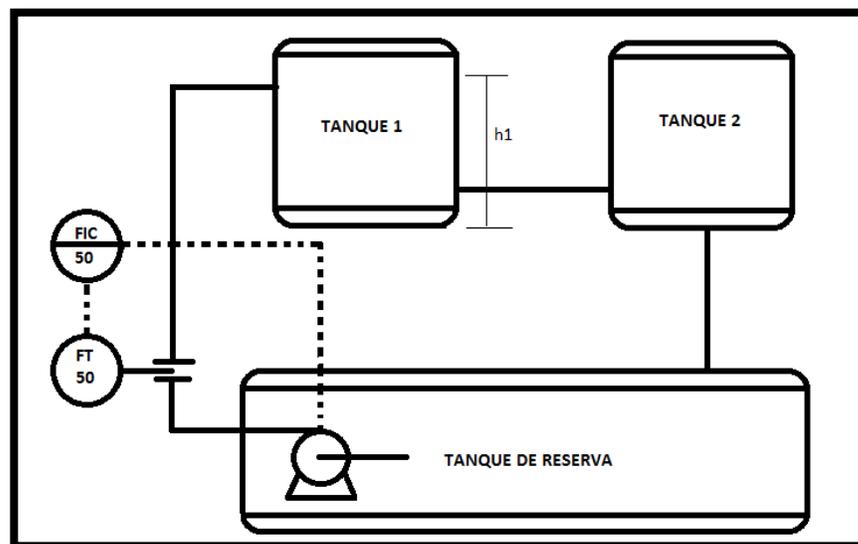
La presente práctica permite la aplicación de la técnica de Superposición para controlar mediante mecanismos PID, el caudal del líquido en la tubería de acople entre el tanque de reserva y uno de los tanques superiores, además de

mantener el nivel de dicho tanque en un punto de referencia que evite el derrame del líquido.

### Marco teórico

#### Técnica de control por superposición

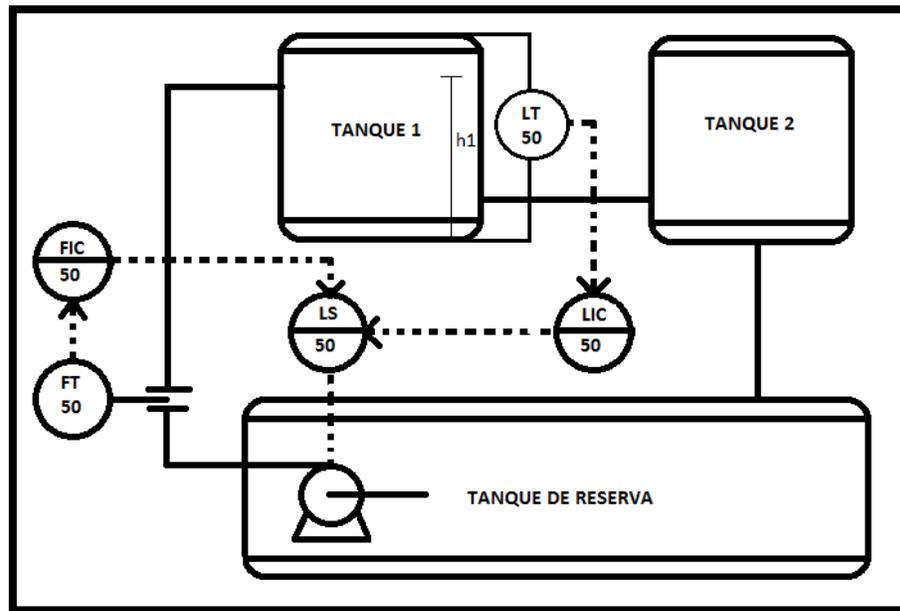
Esta técnica se emplea como protección a fin de mantener variables dentro de límites requeridos. Para entender los principios del control por superposición se presenta su aplicación en la planta de transmisión de fluidos empleada en la práctica.



**Figura 94 Diagrama de instrumentación para control de flujo en Planta de transmisión de Fluidos.**

Tomando en cuenta el proceso de la Figura 94, se puede observar un lazo de control de flujo, para mantener el caudal de la tubería de acople entre el tanque de reserva y el tanque 1 en valores deseados, si este caudal supera al que el tanque 1 desfoga hacia el tanque 2, el nivel del líquido en el tanque 1 se

incrementa hasta superar la altura  $h_1$ , pudiendo existir derrames no deseados. Por lo tanto se diseña un esquema de control por superposición para evitar esa condición, este esquema se muestra en la Figura 95.



**Figura 95 Control por Superposición de Planta de Transmisión de Fluidos.**

Es importante notar la acción de los controladores y el actuador. La bomba o actuador incrementa el caudal conforme se incrementa la señal de control que la alimenta. Los controladores de Flujo y Nivel son de acción inversa, es decir en el caso de Nivel si el líquido sobrepasa el punto de referencia el controlador actuará reduciendo la velocidad de la Bomba, y de igual manera para el caso del flujo. La salida de cada controlador se conecta a un selector de baja digital, LS50, y de ahí pasa a la bomba.

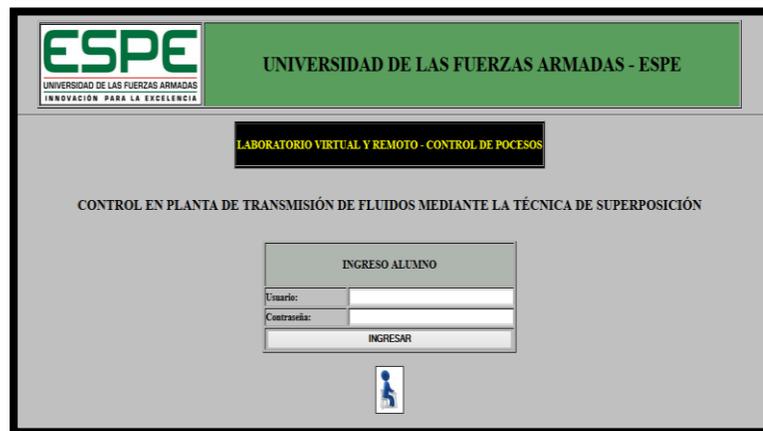
Bajo condiciones normales de operación si el flujo que circula por la tubería controlada es menor al deseado, el controlador FIC50 intenta acelerar la bomba, si en este transcurso el nivel del tanque 1 sobrepasa el nivel crítico  $h_1$ ,

el controlador LIC50 intenta desacelerar la bomba, por lo tanto el selector de baja elige la señal del controlador LIC50, que manejará al actuador.

Una vez que el nivel se encuentre debajo del punto crítico, la acción de control LIC50 aumentará, provocando que el selector elija la acción de FIC50, lo que permite concluir que bajo condiciones normales, el control que tiene acción inmediata sobre la bomba será el de flujo, y en condiciones críticas actuará el controlador de nivel.

### Instrucciones para el manejo de la herramienta Virtual

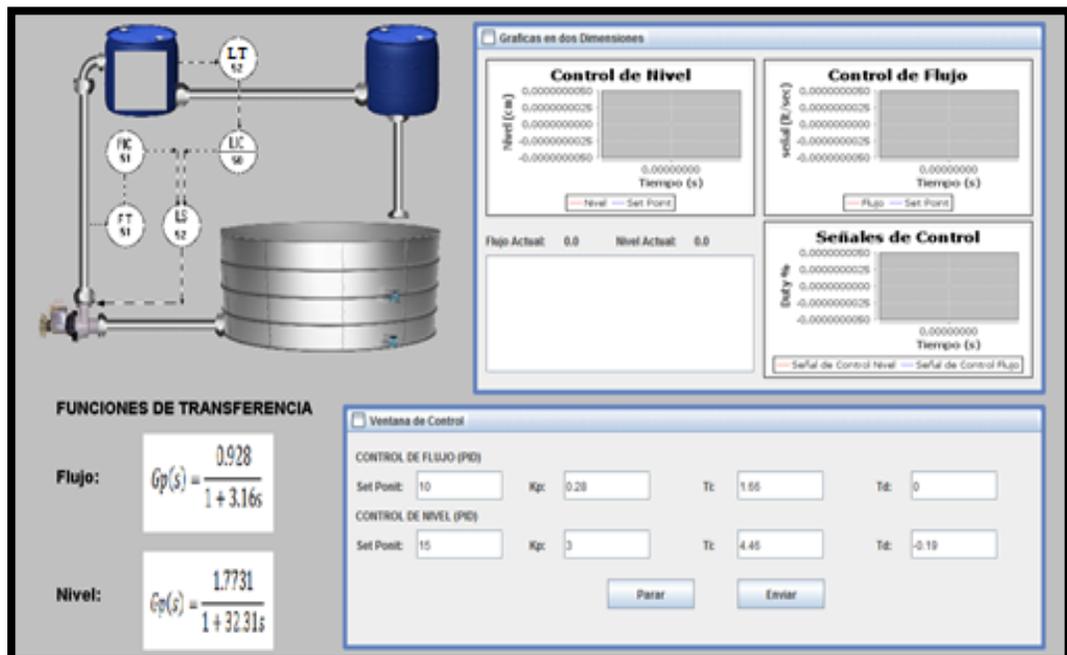
Una vez que el alumno haya sido registrado por su profesor, se le asignará una contraseña y usuario único, para poder acceder al sistema.



The image shows a web-based login interface. At the top left is the ESPE logo with the text 'UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS' and 'INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA'. To the right, in a green box, is 'UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE'. Below this is a black box with yellow text: 'LABORATORIO VIRTUAL Y REMOTO - CONTROL DE PROCESOS'. Underneath is the text 'CONTROL EN PLANTA DE TRANSMISIÓN DE FLUIDOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE SUPERPOSICIÓN'. The main section is titled 'INGRESO ALUMNO' and contains a form with 'Usuario:' and 'Contraseña:' labels, two input fields, and an 'INGRESAR' button. A small blue accessibility icon is at the bottom center.

**Figura 96 Sistema de acceso para el alumno**

Una vez que el estudiante haya ingresado al Laboratorio, podrá observar los requisitos básicos para la realización de la primera práctica. Se presentan dos botones el primero para el acceso a la presente Guía por medio de un blog, y el segundo que direcciona al entorno donde se desarrollará la primera práctica.



**Figura 97** Interface para el Laboratorio Virtual

El estudiante visualizará los modelos teóricos de la Planta a modo de Funciones de Transferencia, esta información le será útil para el diseño de los controladores, podrá observar también la planta simulada y las gráficas XY de evolución de las señales de Nivel, Caudal y Control, con esto podrá percibir la influencia de la técnica de control por Superposición al existir un cruce de las señales de control de cada lazo.

Al presionar el botón “parar”, se mostrarán los valores de las variables manipuladas flujo y nivel, junto con el tiempo de simulación en el que se capturaron, en el área de texto para la visualización numérica. Finalmente en la parte inferior de la página el alumno podrá sintonizar los controladores PID, ingresando las constantes Kp, Ti, Td de cada lazo. Al presionar el botón “enviar” los valores ingresados se cargarán a los controladores, mientras que presionando “parar” la simulación se detendrá y se despliegan los resultados; si se desea reiniciar la animación se debe presionar un vez más “enviar”.

El ingreso de las constantes se encuentra validado por:

**Rango:** Por ser un entorno virtual, los parámetros ingresados para el controlador, están validados por rangos o límites superior e inferior poco restrictivos, ya que el controlador no tiene incidencia directa sobre una planta o proceso real, pero es muy importante que el estudiante maneje con absoluta solvencia los conceptos de diseño de controladores y de la técnica de control por Superposición, para que su percepción y facilidad de interpretación de los valores obtenidos de la evolución de la Planta ante los diferentes controladores diseñados, le permitan discernir y elegir de manera adecuada el mejor diseño.

**Tamaño:** La palabra de bits para ingresar los parámetros también se encuentra validada. El estudiante debe ingresar cada parámetro hasta 5 caracteres, recordando que un signo o un punto es considerado como un carácter.

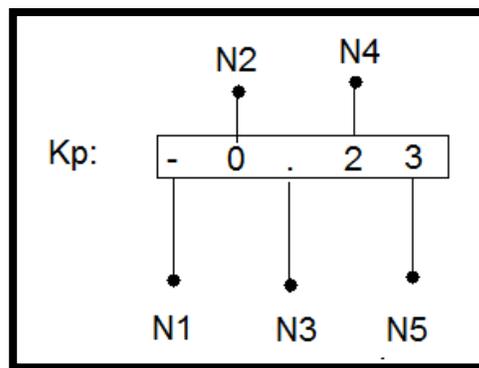


Figura 98 Ejemplo de ingreso de parámetros

**Tabla 15 Modelo de ingreso de parámetros de Laboratorio Virtual**

<b>Parámetros:</b>	<b>Número de Dígitos</b>	<b>Rango</b>	<b>Ejemplos:</b>
<b>Set point Nivel</b>	5	0 a 60	30
<b>Kp</b>	5	-50 a 50	13.2
<b>Ti</b>	5	-50 a 50	4.42
<b>Td</b>	5	-50 a 50	-0.2
<b>Set Point Flujo</b>	5	0 a 100	30
<b>Kp</b>	5	-50 a 50	2.08
<b>Ti</b>	5	-50 a 50	1.66
<b>Td</b>	5	-50 a 50	0

Es importante mencionar que:

- No se admiten Set Points negativos
- No se acepta el ingreso de letras como caracteres
- El signo negativo solo es aceptado en la ubicación del primer carácter.
- Se admite un solo punto por cada parámetro ingresado.
- Se puede ingresar un máximo de 5 caracteres por cada parámetro.
- Existen valores por defecto, es decir si el estudiante no ingresa un parámetro, se enviará un valor predefinido, alterando así el diseño del estudiante. Por ello es recomendable llenar todos los parámetros solicitados.

Se debe recordar que en función del valor de las constantes es posible la simulación de controladores PID y PI.

## Materiales

- Computador con acceso al Laboratorio Virtual
- Usuario y clave de acceso

## Desarrollo

Este ítem queda a cargo del estudiante, aquí se deben presentar los diseños de los controladores PID para cada lazo de control y los resultados obtenidos. Para el cálculo de parámetros de desempeño de los controladores el estudiante podrá hacer uso de los resultados mostrados numéricamente en la interface.

**Tabla 16 Parámetros de diseño**

	Kp	Ti	Td
NIVEL			
FLUJO			

## Conclusiones

Este ítem queda a cargo del estudiante, y las conclusiones deben ser presentadas en base a los objetivos propuestos en la práctica.

## Recomendaciones

Ítem a cargo del estudiante.

## 4.2.2. GUÍA 2

**Título:** Control de una planta de Transmisión de Fluidos remota empleando la técnica de superposición.

### **Objetivo General**

Diseñar e implementar un sistema de control aplicando la técnica de Superposición, para mantener variables Flujo y Nivel en valores requeridos en una Planta de Transmisión de Fluidos real ubicada en una locación remota.

### **Objetivos Específicos**

- Comprender la utilidad de técnica de Superposición en el control de Procesos.
- Diseñar técnicas de control PID para regular el Nivel en un tanque.
- Diseñar técnicas de control combinado ON-FF y proporcional para regular el Flujo de líquido en una tubería.
- Emplear un mecanismo remoto para la consolidación de conocimientos teóricos.
- Comprender los efectos de cada acción de control realizada.

### **Introducción**

En esta práctica se trabajará con una Planta de Transmisión de Fluidos, real ubicada en una locación remota.



**Figura 99 Planta de transmisión de fluidos**

La planta consta de tres tanques acoplados entre sí, dos de ellos ubicados en la parte superior y de iguales dimensiones, que interactúan por medio de una válvula de ajuste manual la que permite el intercambio de flujo entre ellos. Dichos tanques superiores cuentan con un desfogue ubicado en la parte inferior, hacia un tercer tanque, llamado de reserva. El tanque de reserva se acopla con uno de los tanques superiores por medio de una tubería de PVC, la cual trasporta el fluido impulsado por una Bomba DC.

En condiciones normales de funcionamiento se busca garantizar la recirculación constante del agua, para lo cual la válvula inferior de desfogue del primer tanque superior acoplado al de reserva, permanece cerrada, mientras que la válvula inferior del segundo tanque superior permanecerá abierta al igual que la válvula de acople entre los dos tanques.

La presente práctica permite la aplicación de la técnica de Superposición, con el diseño de dos controladores independientes. Para el control de la variable Nivel se mantiene el uso de un mecanismo PID, sin embargo por las características del actuador de la Planta, una bomba DC controlada por una

señal PWM, no se puede aplicar un PID para el control de la variable Flujo, por esta razón se deberá diseñar un Compensador Digital ON - OFF Proporcional.

### **Marco teórico**

Para el desarrollo de la presente práctica, el alumno debió haber comprendido la teoría de la técnica de Control por Superposición mostrada en la práctica 1. El marco teórico presentado en esta guía se orienta a los conceptos de los mecanismos de control a ser diseñados e implementados en la práctica de Laboratorio.

**Controlador PID:** Un controlador PID, es un mecanismo de control que permite mantener una variable física el valor deseado. Para comprender su funcionamiento y aplicarlo de manera correcta, se debe comprender de manera individual la acción de control proporcional, derivativa e integral.

- **Acción de Control Proporcional:** Es en esencia un amplificador de ganancia configurable, la salida del controlador es proporcional al error en un sistema de lazo cerrado.
- **Acción de Control Integral:** Permite eliminar el error en estado estable en la salida de un sistema. *En el control integral de una planta, la señal de control es en todo momento el área bajo la curva de la señal de error hasta tal momento. La acción de control integral, aunque elimina el offset o el error en estado estable, puede conducir a una respuesta oscilatoria de amplitud decreciente lenta o, incluso, de amplitud creciente, y ambos casos, por lo general, se consideran inconvenientes. (OGATA, 1998).*

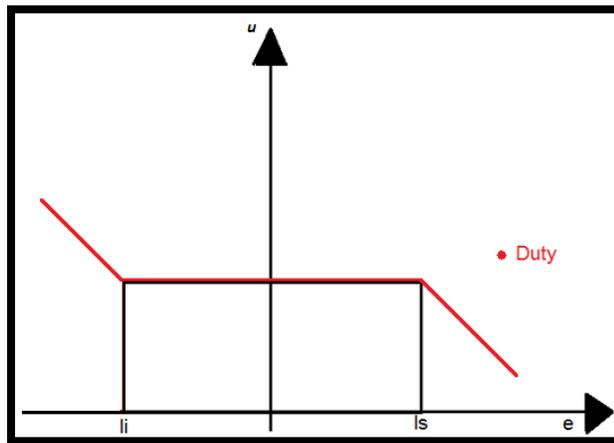
- **Acción de Control Derivativa:** Aporta sensibilidad al controlador, esta acción responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande. Esta acción permite corregir la respuesta del sistema de manera oportuna y permite aumentar la estabilidad del sistema. *Aunque el control derivativo no afecta en forma directa el error en estado estable, añade amortiguamiento al sistema y, por tanto, permite el uso de un valor más grande que la ganancia  $K$ , lo cual provoca una mejora en la precisión en estado estable.* (OGATA, 1998).

**Controlador combinado ON – OFF y Proporcional:** Por las características de desempeño del actuador, es necesario el diseño de un Controlador combinado ON – OFF y Proporcional. Los criterios para el diseño del controlador, deben ser basados en obtener una respuesta lenta que impida la generación de inestabilidad.

Se estableció una ventana o histéresis, dentro de la cual el error en lazo cerrado del sistema, es tolerable. Los límites de la ventana son definibles, en base a la experimentación, y no debe tener demasiada tolerancia para conseguir un control eficiente. En base a pruebas experimentales en la planta, se recomienda definir los límites de la ventana para que el error no supere la magnitud de 1 cm/s.

Si el error este sobrepasa el límite inferior de la ventana, la señal de control o Duty incrementará gradualmente, aumentando la velocidad de la bomba, mientras que si el error supera el límite superior de la ventana, la señal de control o Duty disminuirá, desacelerando la bomba. La pendiente con la cual se incrementa o decrementa la señal de Duty, es también configurable, considerando una respuesta lenta del lazo de control. Al igual que los límites de

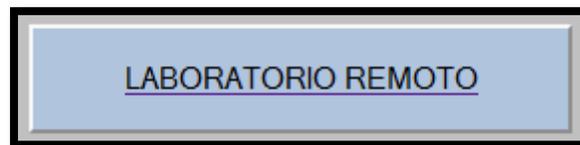
la ventana, se estableció un incremento gradual recomendable de 0.2 en base a la experimentación física. El esquema del funcionamiento se muestra en la Figura 100.



**Figura 100 Controlador combinado ON – OFF y Proporcional**

### **Instrucciones para el manejo de la herramienta Remota**

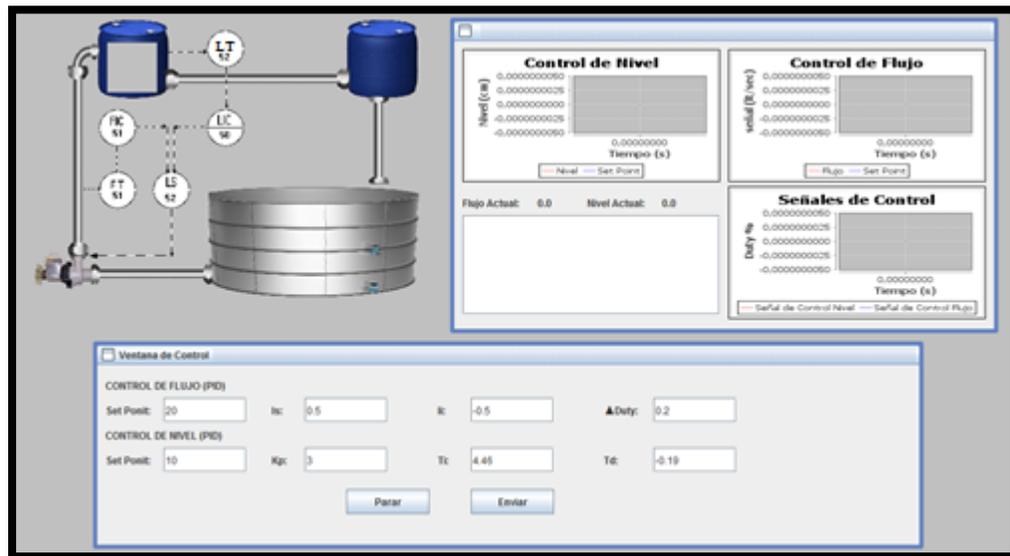
No existe un acceso directo para manejar el Laboratorio Remoto, pues se busca garantizar que el alumno se haya familiarizado previamente con el modelo simulado de la planta. Por esta razón y finalizada la primera práctica, se encuentra un link, el cual permite desplegar el temario de instrucciones para la utilización y posterior acceso al Laboratorio Remoto.



**Figura 101 Link para acceder al Laboratorio Remoto**

Una vez que el estudiante haya ingresado al Laboratorio, podrá observar los requisitos básicos para la realización de la práctica. Se presentan dos botones

el primero para el acceso a la presente Guía por medio de un blog, y el segundo que direcciona al entorno donde se desarrollará la segunda práctica.



**Figura 102 Interface para el Laboratorio Remoto**

Para el diseño de los controladores el estudiante podrá descargar una tabla con los valores muestreados de la señal para el caso de Nivel con una entrada escalón de 6 cm y un tiempo de muestreo de 0.1 segundos. Mientras que para el caso de flujo los datos se obtuvieron con una entrada escalón de 40 cm/s y un tiempo de muestreo de 0.1 segundos.

En el entorno de desarrollo de la práctica dos el alumno podrá observar la planta simulada cuyas variables visualizadas corresponderán a las señales de la planta física obtenida a través de sensores. Además al igual que en la primera práctica se dispone de gráficas XY que muestran la evolución de las señales de Nivel, Caudal y Control y los resultados numéricos obtenidos. Esto le permitirá percibir la influencia de la técnica de control por Superposición al existir un cruce de las señales de control de cada lazo. Finalmente en la parte inferior de la página el alumno podrá sintonizar los controladores PID y ON –

OFF Proporcional ingresando las constantes de cada lazo, iniciar, parar y reiniciar la simulación, mediante el uso de los botones enviar y parar.

El ingreso de las constantes se encuentra validado por:

**Rango:** Por ser un entorno remoto, los parámetros ingresados para los controladores, están validados por rangos o límites superior e inferior altamente restrictivos, ya que el controlador tiene incidencia directa sobre la planta o proceso real, por esto es muy importante que el estudiante maneje con absoluta solvencia los conceptos de diseño de controladores y de la técnica de control por Superposición, para que su percepción y facilidad de interpretación de los valores obtenidos de la evolución de la Planta ante los diferentes controladores diseñados, le permitan discernir y elegir de manera adecuada el mejor diseño.

**Tamaño:** La palabra de bits para ingresar los parámetros también se encuentra validada. El estudiante debe ingresar cada parámetro hasta 5 caracteres, recordando que un signo o un punto cuenta como un carácter.

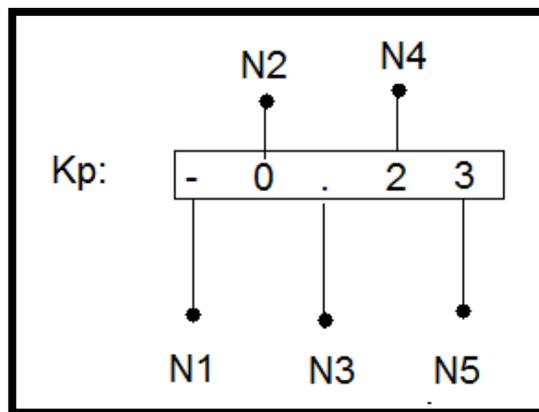


Figura 103 Ejemplo de ingreso de parámetros

**Tabla 17 Modelo de ingreso de parámetros de Laboratorio Remoto**

<b>Parámetros:</b>	<b>Número de Dígitos</b>	<b>Rango</b>	<b>Ejemplos:</b>
<b>Set point Nivel</b>	5	0 a 12.5	30
<b>Kp</b>	5	1 a 15	13.2
<b>Ti</b>	5	-10 a 10	4.42
<b>Td</b>	5	-10 a 10	-0.2
<b>Set Point Flujo</b>	5	0 a 40	30
<b>Ls</b>	5	0 a 1	0.500
<b>Li</b>	5	-1 a 0	-0.50
<b>DeltaDuty</b>	5	0 a 1	0.20

Es importante mencionar que:

- No se admiten Set Points negativos
- No se acepta el ingreso de letras como caracteres
- El signo negativo solo es aceptado en la ubicación del primer carácter.
- Se admite un solo punto por cada parámetro ingresado.
- Se puede ingresar un máximo de 5 caracteres por cada parámetro.
- Existen valores por defecto, es decir si el estudiante no ingresa un parámetro, se enviará un valor predefinido, alterando así el diseño del estudiante. Por ello es recomendable llenar todos los parámetros solicitados.

Se debe recordar que en función del valor de las constantes es posible la simulación de controladores PID, PI, ON – OFF y Proporcional.

## Materiales

- Computador con acceso al Laboratorio Virtual
- Usuario y clave de acceso
- Tarjeta de Adquisición de Datos

## Desarrollo

Este ítem queda a cargo del estudiante, aquí se deben presentar los diseños de los controladores PID para cada lazo de control y los resultados obtenidos. Para el cálculo de parámetros de desempeño de los controladores el estudiante podrá hacer uso de los resultados mostrados numéricamente en la interface.

**Tabla 18 Parámetros de diseño**

	<b>Kp</b>	<b>Ti</b>	<b>Td</b>
<b>NIVEL</b>			
	<b>Ls</b>	<b>Li</b>	<b><math>\Delta</math>Duty</b>
<b>FLUJO</b>			

## Conclusiones

Este ítem queda a cargo del estudiante, y las conclusiones deben ser presentadas en base a los objetivos propuestos en la práctica.

## Recomendaciones

Ítem a cargo del estudiante.

### 4.3. IMPLEMENTACIÓN

El proceso de implementación, tiene como aspecto importante la modularidad del sistema, debido a que la programación desarrollada en el entorno de simulación WEB y el entorno de cálculo numérico, constituye una base para el desarrollo de proyectos relacionados al uso de Laboratorios Virtuales y Remotos. Es así que es posible aplicar elementos desarrollados en este proyecto, para la creación y control de nuevas plantas. La modularidad del sistema puede ser comprendida en función de los siguientes parámetros detallados a continuación:

#### Comunicación

- **Envío Applet Java y Recepción Labview:** El Applet JAVA cuenta con dos métodos, que son parámetros y envío. El método parámetros recibe la dirección IP de servidor socket ubicado en LabVIEW y el puerto por el cual se realizará la comunicación, es así que para emplear otro servidor o puerto basta con modificar estos parámetros. La clase envío, recibe el dato que se desea enviar, para emplear este método en otro Applet, se debe considerar que el dato enviado al método es una cadena de caracteres, en la cual se concatena todos los datos que se requieren enviar.

Lo importante para el uso de este método consiste en definir el número de señales o datos a enviar, tomando en cuenta la longitud de cada cadena, para en función de esto, realizar la interpretación y desconcatenación en el software de cálculo numérico en el entorno LabVIEW.

Para comprender el uso de los métodos se muestra el envío de dos datos de la manera empleada en el desarrollo del proyecto, recordando que para fines particulares, se definió cada dato con una longitud de cinco caracteres. Se pretende enviar los siguientes datos:

**Dato uno:** 4

**Dato dos:** 45

Como primer aspecto se convirtió los valores numéricos a cadenas de caracteres y se completó el número de caracteres especificados, por medio del método validación, así tenemos:

**Dato uno:** 00004

**Dato dos:** 00045

Después se concatenan los datos en una sola cadena y se emplea el método enviar:

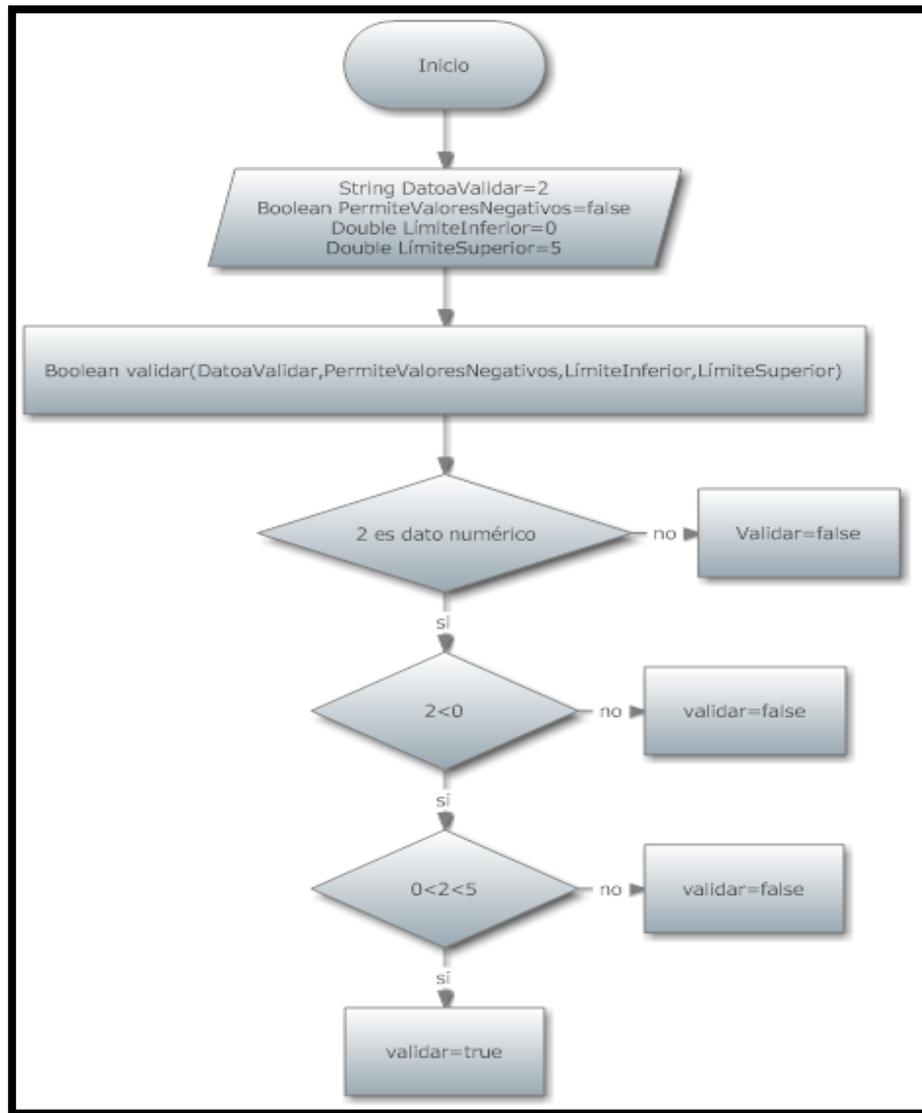
**Dato a enviar:** 0000400045

envia (Dato a enviar);

Para el uso de estos datos en el software de cálculo numérico, se considera una desconcatenación cada cinco caracteres, para obtener los dos datos y convertirlos a valores numéricos, que pueden ser empleados en el proceso de control.

Para la validación de datos enviados, se cuenta con dos métodos, validar y getdato. Estos métodos fueron desarrollados para el envío de datos numéricos

con longitud de cinco caracteres. El uso del método validar orientado a un ejemplo se muestra en la Figura 104.



**Figura 104** El diagrama de flujo para la validación

El método getdato, se emplea si el método validar es TRUE, y devuelve el dato en con la longitud de cinco caracteres. Así para el ejemplo anterior, la función getdato devolverá el string 00002.

- **Recepción Apples JAVA y envío LabVIEW:** Para la recepción el Applet cuenta con los métodos parámetros, recepción y getseñales. Al igual que en el caso del envío el método parámetros permite definir la dirección IP del servidor LabVIEW y el puerto de comunicación.

Si se desea recibir tres datos 2, 4, 5, deben ser convertidos a caracteres para su posterior concatenación. La aplicación desarrollada en LabVIEW realiza estas acciones intercalando el símbolo '/', entre cada cadena o dato. Así la cadena de caracteres enviada desde LabVIEW se: 2/4/5.

Para recibir el string, el Applet Java emplea el método recepción, donde se especifica el número de señales a recibir, la sintaxis dentro del Applet sería: recepción (3); este método separa el string en datos independientes para almacenarlos en un arreglo. Finalmente el método getsaños devuelve un arreglo de decimales donde cada elemento constituye un dato recibido.

- **Animaciones:** Con los datos recibidos de la aplicación en LabVIEW, el Applet Java actualiza las gráficas en dos dimensiones y la animación de la planta. Se recibe 7 señales que corresponden a los puntos de referencia de cada lazo de control, las variables manipuladas flujo y nivel, las señales de control independientes de cada lazo y el tiempo de simulación el cual se usa para la sincronización de las gráficas con el lazo de simulación de LabVIEW.
- **Creación de modelos de simulación:** El modelo de la planta de transmisión de Fluidos utilizada en el Laboratorio Virtual, es propia del proceso de identificación de dicha planta, sin embargo si se desea utilizar la herramienta del Laboratorio Virtual y Remoto para la

aplicación con otra planta, basta con modificar la función de transferencia en los bloques de la aplicación LabVIEW desarrollada.

- **Control LabVIEW:** Los bloques de control empleados en la aplicación de LabVIEW, pueden ser modificados si se desea emplear otros mecanismos de control, o incluso reemplazados por la función de transferencia del controlador independientemente del mecanismo que se empleé.

Para el proceso de implementación se comprobó la conectividad de la red, entre el servidor socket y el cliente y se ejecutó la aplicación WEB empleando el servidor Glassfish. Se realizó pruebas desarrollando las prácticas evidenciando el funcionamiento del sistema y su respuesta ante el envío de parámetros.

## CAPÍTULO 5

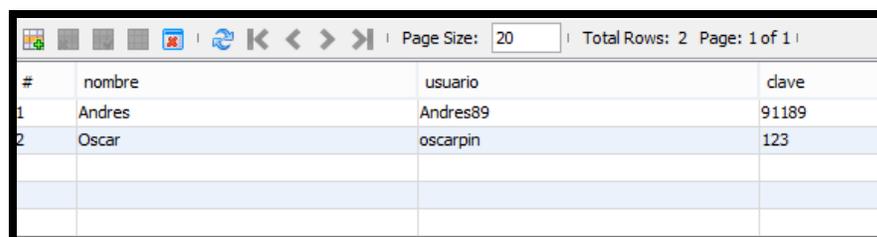
### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el análisis de resultados se abordará por etapas, desde el ingreso y gestión administrativa de la base de datos por arte de la aplicación WEB, hasta el uso del Laboratorio en cada una de las prácticas. Estableciendo la funcionalidad de cada etapa analizando la respuesta del sistema en cuanto a las acciones que el usuario realice.

##### 5.1.1. ACCESO Y FUNCIONES DEL USUARIO PROFESOR

El usuario profesor es registrado en la base de datos por el administrador. Para el análisis de acceso, se registró dos profesores en la base de datos.



The image shows a screenshot of a database table with the following data:

#	nombre	usuario	clave
1	Andres	Andres89	91189
2	Oscar	oscarpin	123

The screenshot also shows a table interface with a toolbar at the top containing icons for refresh, back, forward, and search. The toolbar also displays 'Page Size: 20', 'Total Rows: 2', and 'Page: 1 of 1'.

**Figura 105 Base de datos de los usuarios profesor.**

El profesor es registrado con nombre, usuario y clave, para su ingreso al sistema y ejecución de sus funciones administrativas deberá ingresar los últimos dos parámetros usuario y clave.

**Figura 106 Base de datos de los usuarios profesor**

Se comprobó que el sistema no permite el acceso a un usuario no registrado o que haya ingresado la clave incorrecta, mostrando el error correspondiente especificado en el diseño de la aplicación WEB. Dentro de las funciones asignadas a un usuario profesor está el agregar, observar y eliminar un alumno a la base de datos. Se comprobó cada privilegio del usuario profesor, ingresando tres alumnos, dos con el usuario oscarpin y uno con el usuario Andres89.

NOMBRE	USUARIO	CONTRASEÑA
Andres	Andres	123456

**Figura 107 Agregar un alumno a la base de datos**

Se verificó que el registro fue actualizado en la base de datos, observando la tabla alumnos en base de datos MySQL.

#	nombre	usuario	clave	usuariop
1	Andres	Andres	123456	Andres89
2	Luis	Barros	852	oscarpin
3	Evelio	evel	456	oscarpin

**Figura 108 Base de datos de los usuarios profesor**

Al emplear el sistema para observar los registros alumnos de cada profesor, se comprobó que el usuario profesor puede observar únicamente los alumnos agregados por él a la base de datos.

Usuario: oscarpin



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

LABORATORIO VIRTUAL Y REMOTO - CONTROL DE PROCESOS

CONTROL EN PLANTA DE TRANSMISIÓN DE FLUIDOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE SUPERPOSICIÓN

NOMBRE	USUARIO	CONTRASEÑA	
Luis	Barros	852	<input checked="" type="checkbox"/> Marque para Eliminar
Evelio	evel	456	<input type="checkbox"/> Marque para Eliminar

ELIMINAR REGISTROS MARCADOS

[Regresar](#)

**Figura 109 Función Observar y Eliminar registros del usuario profesor**

Finalmente se verificó que el registro marcado fue eliminado de la base de datos.

#	nombre	usuario	clave	usuariop
1	Andres	Andres	123456	Andres89
2	Evelio	evel	456	oscarpin

**Figura 110 Tabla alumnos después de eliminar un registro.**

### 5.1.2. ACCESO DEL USUARIO ALUMNO

Se verificó que el sistema únicamente permite el ingreso de alumnos registrado por un usuario profesor, mostrando el error correspondiente en el caso que sea un usuario no registrado o se haya ingresado la clave incorrecta.

Figura 111 Ingreso del usuario alumno registrado.

### 5.1.3. ANÁLISIS DE LAS PRÁCTICAS

El análisis de la práctica uno inicia verificando el estado de la comunicación, para esto se ingresan las constantes de los controladores PID independientes ara cada lazo, en función del diseño presentado en el estudio del arte. Al presionar el botón enviar, se inicia el hilo de simulación comprobando que las gráficas en dos dimensiones XY, se actualizan paulatinamente, y de forma sincronizada.

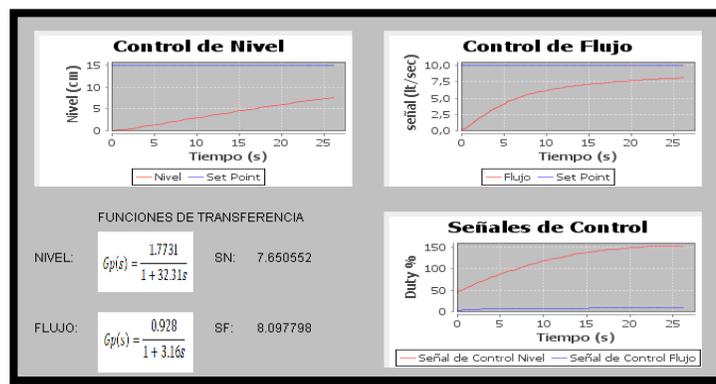
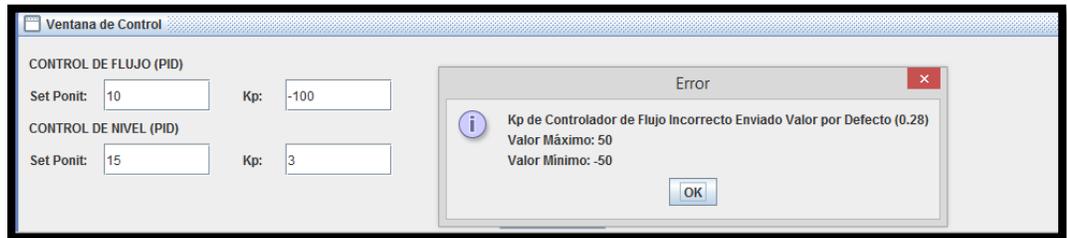


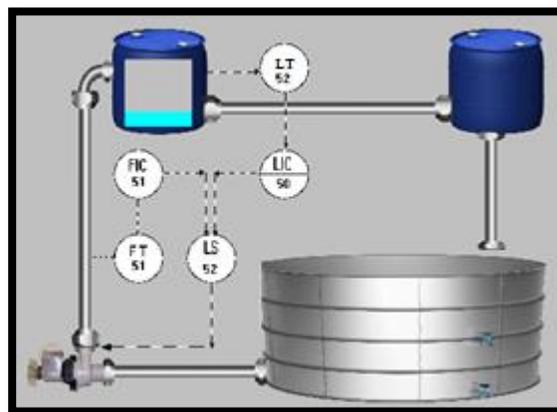
Figura 112 Gráficas de respuesta en dos dimensiones XY.

Se comprueba además la validación de parámetros ingresando valores no numéricos o fuera de los límites establecidos, mostrándose una ventana auxiliar informativa donde se indican los límites del valor ingresado de forma incorrecta y se informa al usuario del valor enviado por defecto.



**Figura 113 Mensaje de error en la validación de datos**

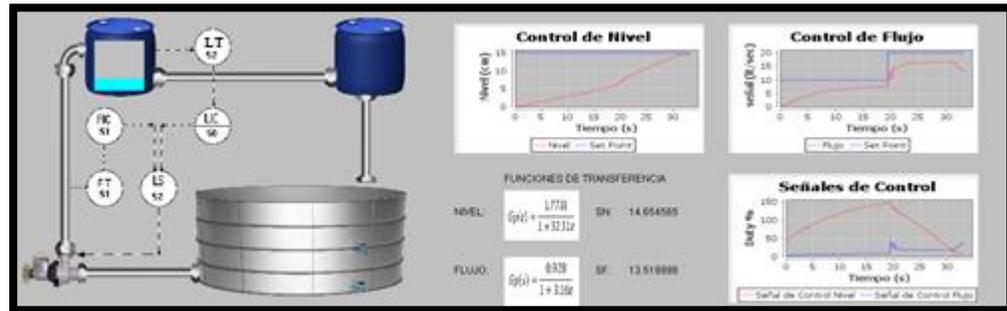
En el transcurso de la simulación, se pudo observar la actualización del gráfico virtual de la planta, notando como el nivel del tanque incrementa y se mantiene en los valores deseados especificados en los puntos de referencia o Set Points.



**Figura 114 Actualización del gráfico virtual de la Planta**

Se pudo analizar también la aplicación de la técnica por superposición, notando que al existir un cruce de las señales de control, el selector de baja

actúa escogiendo la de menor magnitud, definiendo el lazo que controlará el actuador.



**Figura 115 Aplicación de la técnica por Superposición.**

La validez de la técnica de control, impide que el nivel del tanque sobrepase un nivel crítico fijado como Set Point, lo cual contribuye a evitar eventos no deseados, principalmente en el práctica dos.

En la primera práctica por tratarse de modelos de simulación, puede existir respuestas lentas por parte del software del cálculo numérico en función de las acciones del alumno, es así que se observó que el sistema responde de forma lenta al configurarse nuevos Set Points al momento del cruce de las señales de control, o al definir constantes del controlador desproporcionadas. Por esta razón es recomendable esperar a que termine el tiempo de simulación (60 segundos) antes de fijar nuevos puntos de referencia.

Para la práctica dos, se puede observar que el sistema responde en tiempo de simulación aceptable controlando la Planta de forma continua y adquiriendo la señal de los sensores para la actualización de las animaciones y gráficas.

En el análisis de los resultados del desempeño de los controladores se emplea los datos entregados por la interface para obtener un modelo

matemático de segundo orden del Lazo de Nivel, utilizando la herramienta Ident de Matlab. Es importante mencionar que para evaluar cada lazo, se desarrolla una aplicación que permita la simulación de cada lazo de control de forma independiente. Los resultados entregados por esta aplicación son la entrada, la salida y el tiempo de simulación. En la Figura 116, se muestran los datos obtenidos para el lazo de control de Nivel.

Valor Actual de Variable Manipulada:	0.9595...	Tiempo	Entrada	Variable Manipulada
		1.0E-6	1.0	0.0
		1.0E-6	1.0	0.0
		1.0E-6	1.0	0.0
		1.0E-6	1.0	0.0
		6.0E-6	1.0	1.0E-6
		9.0E-6	1.0	1.0E-6
		1.1E-5	1.0	2.0E-6
		1.1E-5	1.0	2.0E-6

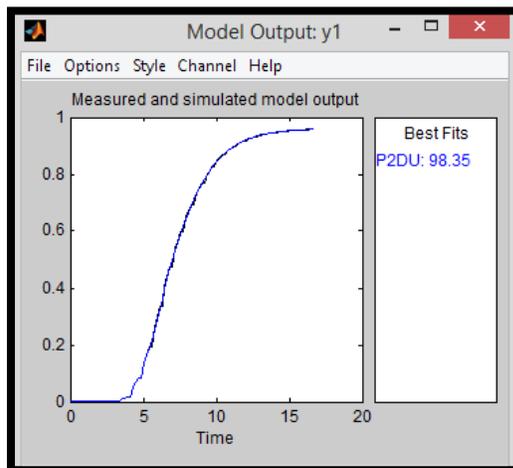
**Figura 116 Datos obtenidos en la simulación de Nivel**

La función de transferencia obtenida, es de forma mostrada en la Figura 117:

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + (2 \text{ Zeta } T_w) s + (T_w s)^2)} \longrightarrow \exp(-5.4*s) * \frac{0.3551}{s^2 + 1.184 s + 0.3699}$$

**Figura 117 Función de transferencia de Nivel**

La aproximación del modelo obtenido en Matlab en relación a los datos entregados por la aplicación es de 98.35% como se observa en la Figura 118.



**Figura 118 Gráfica del modelo obtenido**

Con el modelo calculado, se obtuvo la respuesta ante una entrada Escalón Unitario y los parámetros de la respuesta transitoria y en estado estable, para compararlas con los valores impuestos en el diseño. Los resultados se muestran en la Tabla 19.

**Tabla 19 Resultados del controlador Lazo de Nivel.**

Parámetros	Teórico	Experimental	Error (%)
ess (%)	0	4	4 %
Mp (%)	0.001	0.000	1 %
Ts (s)	15	14.5	3.33%

Los resultados obtenidos, presentan un error de +/- 4 % respecto a los valores teóricos, lo que permite validar los modelos de simulación diseñados en LabVIEW, para la implementación del controlador PID de Nivel.

En el análisis de los resultados del desempeño de los controladores se emplea los datos entregados por la interface para obtener un modelo matemático de segundo orden del Lazo de Flujo, utilizando la herramienta Ident

de Matlab. En la Figura 119, se muestran los datos obtenidos para el lazo de control de Nivel.

Valor Actual de Variable Manipulada:	0.7581...	17.165763	1.0	0.737495
		17.415763	1.0	0.74052
		17.415763	1.0	0.74052
		17.915763	1.0	0.745942
		18.165763	1.0	0.748243
		18.415763	1.0	0.75101
		18.415763	1.0	0.75101
		18.915763	1.0	0.755983
		19.165763	1.0	0.758113

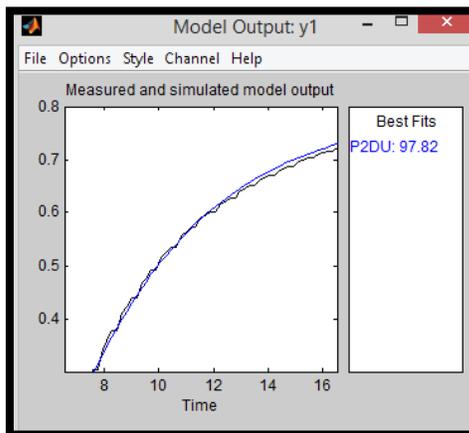
**Figura 119 Datos obtenidos en la simulación de Flujo**

La función de transferencia obtenida, es de forma mostrada en la Figura 120:

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + (2 \text{ Zeta } T_w) s + (T_w s)^2)} \longrightarrow \exp(-5.33*s) * \frac{0.2101}{s^2 + 1.399 s + 0.2637}$$

**Figura 120 Función de transferencia de Flujo**

La aproximación del modelo obtenido en Matlab en relación a los datos entregados por la aplicación es de 97.82% como se observa en la Figura 121.



**Figura 121 Gráfica del modelo obtenido**

Con el modelo calculado, se obtuvo la respuesta ante una entrada Escalón Unitario y los parámetros de la respuesta transitoria y en estado estable, para compararlas con los valores impuestos en el diseño. Los resultados se muestran en la Tabla 20.

**Tabla 20 Resultados del controlador Lazo de Flujo.**

Parámetros	Teórico	Experimental	Error (%)
ess (%)	0	5	5 %
Mp (%)	0.001	0.000	1 %
Ts (s)	15	14.45	3,67 %

Los resultados obtenidos, presentan un error de +/- 16.66 % respecto a los valores teóricos, lo que permite validar los modelos de simulación diseñados en LabVIEW, para la implementación del controlador PID de Flujo.

## CAPÍTULO 6

### DISCUSIÓN

#### 6.1. CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un Laboratorio Virtual y Remoto para el desarrollo de dos prácticas de control de procesos, empleando lenguaje de programación JAVA para la creación de Applets y aplicación WEB y el software comercial LabVIEW para el control local, definiendo una arquitectura cliente – servidor en base al protocolo TCP / IP y permitiendo el acceso WEB en una red de área local mediante el uso del software servidor Glassfish. En sistemas netamente virtuales es común encontrar aplicaciones que empleen Applets, en la mayoría de estas aplicaciones el procesamiento se lleva a cabo en el lado del cliente, para lo cual se emplea modelos de simulación basados en ecuaciones diferenciales. El beneficio de emplear un Applet que no realice el procesamiento sino solo despliegue la información mediante una comunicación directa con el servidor de cálculo es que el servidor puede emplear algoritmos mucho más complejos y robustos, como en el presente proyecto el software Labview se encarga del procesamiento y control y envía los datos para ser visualizados en interfaces WEB. Sin embargo estos beneficios presentan pérdidas en velocidad de respuesta y requieren de certificados para su libre distribución que garanticen que la aplicación es segura para el usuario.

El uso de plantas diseñadas en base a estándares, cuyo funcionamiento sea confiable y estable y presente además restricción y limitación de movimientos facilita la implementación de sistema de control Remoto, por las características de la planta de Transmisión de Fluidos, es posible la aplicación de las técnicas y métodos de control clásico, para su virtualización y posterior

aplicación en entornos remotos. Se fundamentó el marco general de una Laboratorio Virtual y Remoto, creando así la base sobre la cual se sustentó la implementación.

El software LabVIEW facilita el diseño de sistemas de control para plantas reales mediante el uso de tarjetas de adquisición de datos, además es un software muy robusto y confiable utilizado incluso en el ámbito industrial. LabVIEW permite la aplicación de protocolos abiertos y estándar para la comunicación con otros entornos de programación especializados en la distribución WEB de la aplicación, por esta razón es necesario definir una arquitectura de red para el Laboratorio Virtual y Remoto. La arquitectura empleada fue analizada, desde el punto de vista de velocidad de respuesta, por esta razón se cuenta con dos servidores, uno para la comunicación TCP/IP entre la aplicación WEB y la aplicación para el control local de la planta desarrollada en LabVIEW y otro servidor WEB que permite el uso y distribución de las páginas en la red de datos.

El uso de JAVA para el diseño y distribución de la aplicación WEB, es debido a que constituye un software libre, la aplicación desarrollada en NetBeans está creada bajo las licencias CDDL y GPL, las cuales permiten usar, estudiar, compartir (copiar) y modificar el software. El Laboratorio Virtual y Remoto, emplea Applets para el despliegue de información y manejo del laboratorio de manera remota. Netbeans facilita además la gestión de base de datos mediante el enlace con el software MySQL, también de libre distribución y uso junto con el servidor Glassfish.

Se desarrolló dos guías de Laboratorio, didácticamente comprensibles y de fácil uso para el estudiante, donde se muestra el estudio del arte necesario para aplicar la técnica de control por Superposición en un sistema virtual y remoto.

Además se muestra de manera detallada las instrucciones para el acceso y manejo adecuado del laboratorio, en función de cada una de las prácticas.

Después de haber cubierto todas las etapas de diseño e implementación del laboratorio, se realizaron pruebas del sistema, analizando los parámetros de comunicación y respuesta del sistema ante la configuración de los controladores. En el análisis de resultados se observó errores menores al 10% de la respuesta del sistema ante un controlador diseñado teóricamente. Estos errores fueron calculados en base a los datos obtenidos por la aplicación generando modelos que permitan obtener valores de eficiencia y desempeño. Además se comprobó las acciones que ejecuta cada usuario dentro de la aplicación WEB, realizando pruebas en el registro de usuarios y manejo integral de la base de datos, evidenciando los resultados mediante el empleo del software Workbench que permite gestionar y comprobar el estado de la base de datos MySQL.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda el desarrollo de una aplicación de escritorio JAVA, en el que se empleen las clases desarrolladas de forma ordenada y sistemática, para comprender su uso previo al desarrollo de Applets orientados a la WEB. Esto permite también la familiarización del desarrollador con clases para su posible uso en diferentes plantas o procesos.

Es recomendable el uso de un solo Applet para cada práctica de Laboratorio, debido a que el envío y recepción de datos, es usado globalmente para la creación de animaciones y visualización de parámetros. Si se desarrolla varios Applets independientes para cada segmento de la práctica cada uno

deberá enviar y recibir datos, generando congestión en la red y posibles pérdidas de información.

Es recomendable el uso de canales o puertos independientes para el envío y recepción de datos por medio del socket TCP/IP usados por la aplicación JAVA y la aplicación Labview. Es permite mayor velocidad de respuesta y evita posibles colisiones al emplearse un único puerto para el envío y recepción.

Se recomienda configurar la tarjeta de adquisición de datos para obtener el mayor número de muestras posibles, analizando la velocidad de respuesta. Es importante además tener en cuenta la sincronización entre el periodo de muestreo de la tarjeta MyDAQ y el muestreo del lazo de simulación y control de la aplicación Labview.

Es recomendable el uso de técnicas de control robustas que disminuyan el riesgo de eventos no deseados en equipos y plantas remotas. Considerando que los tiempos de respuesta en una red de datos, no permiten la visualización inmediata de la reacción del sistema ante una acción realizada, limitando al usuario a tomar acciones correctivas en caso de presentarse algún inconveniente.

Es recomendable limitar el tipo y rango de los valores de ingreso del estudiante, en la realización de las distintas prácticas, principalmente en entornos remotos, esto permite evitar el ingreso erróneo de un parámetro que pueda provocar un evento no deseado.

Es recomendable orientar los trabajos futuros al uso de software libre, ya que esto permite el mejoramiento continuo sin necesidad del pago de derechos o licencias y contribuye además al objetivo de un Laboratorio Virtual y Remoto reduciendo costos de implementación.

### 6.3. TRABAJOS FUTUROS

El desarrollo del presente proyecto constituye un cimiento estructural, funcional y técnico para el desarrollo de nuevos trabajos, orientados a la implementación de nuevos Laboratorios Virtuales y Remotos. Muchos de los aspectos técnicos presentados en el desarrollo del proyecto pueden ser utilizados y adaptados a nuevas plantas, para la enseñanza de otras técnicas de control. Para la aplicación de los diseños presentados en el proyecto se deberá realizar el estudio del arte en función de la nueva planta y mecanismos de control que se requieran utilizar, adaptando los algoritmos de simulación, aplicación WEB y cálculo numérico a los nuevos requerimientos. Como aspecto importante está el hecho de la retroalimentación visual que tiene el estudiante en el entorno remoto, en un trabajo futuro se debe abordar el uso de un sistema de video de transmisión WEB, esto permite comprobar que las acciones realizadas tienen un efecto real en la planta y ayuda a mejorar la percepción del estudiante en relación al experimento.

En trabajos futuros se puede considerar además el reemplazo del software comercial de cálculo numérico Labview, por un software de libre distribución u otros softwares especializados como Matlab, Silab, entre otros, o llegar incluso al manejo de la Planta mediante algoritmos digitales desarrollados bajo un lenguaje de programación abierto como JAVA, C#, C++, PHP, etc.

Otro aspecto a tomar en cuenta en futuros trabajos es la optimización de la gestión administrativa en la aplicación WEB, de forma que incluya nuevos mecanismos de reserva y acceso al Laboratorio por parte de los estudiantes y permita así un ingreso más organizado y con mejor manejo de registros. Este aspecto debería estar a cargo de un diseñador WEB, programador o un Ingeniero en Sistemas, cuyos conocimientos le permitan mejorar no solo el acceso, sino el diseño completo de la aplicación WEB, para hacerla más

interactiva y completa, y se constituya en un sistema aplicable a la educación a nivel universitario.

## BIBLIOGRAFÍA

- Calvo, I., Zuleta, E., Gangoiti, U., & Loez, J. M. (2013). Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas. 3.
- Dormido, S. (2004). Control Learning: Present and Future. *Annual Reviews in Control*, 115-136.
- Dormido, S., & Esquembre, F. (2003). The Quadruple-Tank Process: An Interactive Tool for Control Education. *proceedings de 2003 Euroean Control*. Cambridge.
- Esquembre, F. (Marzo de 2009). *Easy Java Simulations - EJS*. Obtenido de <http://www.um.es/fem/EjsWiki/index.php/Main/PrintEs>
- Idrovo, J. P., & Valle, J. C. (2009). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENTRENAMIENTO PARA EL CONTROL DE NIVEL EN TANQUES ACOPLADOS UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA. Sangolquí, Pichincha, Ecuador: ESPE.
- Lugo, G. (2006). La importancia de los laboratorios. *Ingeniería - Construcción y Tecnología*.
- Martín Villalba, C., Urquía Moraleda, A., & Dormido Bencomo, S. (2008). EDUCACIÓN A DISTANCIA DEL PROFESORADO DE CIENCIAS EN EL DESARROLLO DE LABORATORIOS VIRTUALES. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 67-88.
- Monge-Nájera. (1999). Internet, multimedia and virtual laboratories in a "Third World" environment: how we solved the 21 basic problems in the Costa Rican Distance Education University. *X Congreso Internacional Sobre Tecnología Y Educación A Distancia*.
- NASA. (s.f.). *Virtual reality Virtual Object Manipulation*. Obtenido de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)
- National Instruments. (2014). NI myDAQ Manual. Texas, USA.
- OGATA, K. (1998). *INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA*. MINESSOTA: PRENTICE HALL.

- Oracle. (2014). *Java™ Platform*. Obtenido de <http://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/awt/Canvas.html>
- Polytechnic University . (1998). *Mechatronics Remote-Access Laboratory*. Obtenido de <http://mechanical.poly.edu/research/control/RemoteLab.htm>.
- U - GAGE ULTRASONIC SENSORS. (2014). Mineapolis, Estados Unidos.
- Universidad de Antioquia. (2003). *Seminarios Estudios de Usuarios*. Obtenido de [http://docencia.udea.edu.co/bibliotecologia/seminario-estudios-usuario/unidad4/estado\\_arte.html](http://docencia.udea.edu.co/bibliotecologia/seminario-estudios-usuario/unidad4/estado_arte.html)
- Universidad de Leon. (2008). *Laboratorio Remoto de Automática*. Obtenido de <http://ira.unileon.es/es>
- University Johns Hopkins. (s.f.). *Diffusion Processes Virtual Laboratory*. Obtenido de <http://www.jhu.edu/~virtlab/virtlab.html>
- University of British Columbia. (s.f.). *Virtual Hand Laboratory*. Obtenido de <http://www.cs.ubc.ca/nest/magic/projects/hands/home>
- University of Winnipeg. (s.f.). *The Virtual Microscope*. Obtenido de <http://www.uwinnipeg.ca/~simmons/index.htm>
- Valle - Idrovo. (24 de Junio de 2009). Diseño e Implementacion de un Sistema de Entrenamiento para Control de Nivel de Tanques Acoplados Utilizando Logica Difusa. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.
- Virtual Frog Dissection Kit 1.0*. (febrero de 2000). Obtenido de <http://www.cs.ubc.ca/nest/magic/hands/home>

**ACTA DE ENTREGA**

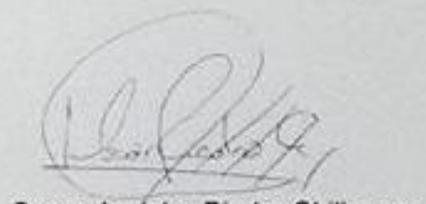
El proyecto de grado denominado "Diseño e implementación de un Laboratorio Virtual y Remoto para el desarrollo de prácticas de control de Procesos", fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, desde:

Sangolquí, <sup>15</sup> Mayo 2015

ELABORADO POR:

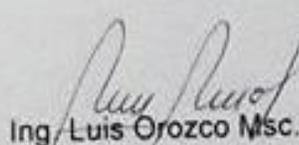


Rubén Andrés Arrieta Zapata  
1717913196



Oscar Andrés Piedra Chillagana  
1717779852

AUTORIDAD:



Ing. Luis Orozco Msc.



**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**