



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**MÓDULO INTERACTIVO DE CONTROL DE NIVEL EN TIEMPO REAL
UTILIZANDO INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL PARA LOS LABORATORIOS
DE MECATRÓNICA**

AUTOR: Andrés Marcelo Vargas Muñoz

DIRECTOR: ING. Gabriela Verdezoto

Ibarra – Ecuador

2014



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100321401-0		
APELLIDOS Y NOMBRES:	VARGAS MUÑOZ ANDRÉS MARCELO		
DIRECCIÓN:	HERNÁN GONZALES DE SAA 4-328		
E-MAIL:	andres.vargas.innovatec@gmail.com		
TELÉFONO MOVIL:	062 651 206	TELÉFONO MOVIL:	0999835246
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	MÓDULO INTERACTIVO DE CONTROL DE NIVEL EN TIEMPO REAL UTILIZANDO INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL PARA LOS LABORATORIOS DE MECATRÓNICA.		
AUTOR:	VARGAS MUÑOZ ANDRÉS MARCELO		
FECHA:	2014/03/27		
PROGRAMA:	PREGRADO		
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA		
DIRECTOR:	ING. GABRIELA VERDEZOTO		

Firma: 

Nombre: Andrés Marcelo Vargas Muñoz

Cedula: 100321401-0

Ibarra, Junio 23 del 2014

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Vargas Muñoz Andrés Marcelo; con cedula de identidad Nro. 100321401-0, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.

Firma:.....

Nombre: Andrés Marcelo Vargas Muñoz

Cedula: 1003214010

Ibarra, Junio 23 del 2014

Firma:.....

Nombre: Andrés Marcelo Vargas Muñoz

Cedula: 1003214010

Ibarra, Junio 23 del 2014

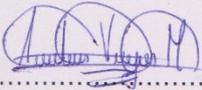


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA DE CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Yo, Vargas Muñoz Andrés Marcelo; con cedula de identidad Nro. 1003214010, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículos 4,5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado **“MÓDULO INTERACTIVO DE CONTROL DE NIVEL EN TIEMPO REAL UTILIZANDO INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL PARA LOS LABORATORIOS DE MECATRÓNICA”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica en La Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital en la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Firma:.....

Nombre: Andrés Marcelo Vargas Muñoz

Cedula: 1003214010

Ibarra, Junio 23 del 2014



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Certifico que bajo mi dirección el trabajo **MÓDULO INTERACTIVO DE CONTROL DE NIVEL EN TIEMPO REAL UTILIZANDO INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL PARA LOS LABORATORIOS DE MECATRÓNICA** fue desarrollado en su totalidad por el Sr. Estudiante Andrés Marcelo Vargas Muñoz siendo un trabajo inédito.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la

En la ciudad de Ibarra, Junio 23 del 2014

Ibarra, a los 23 días del mes de Junio del 2014

EL AUTOR

Ing. Gabriela Verdezoto

DIRECTOR DE PROYECTO

Andrés Marcelo Vargas Muñoz

C.I. 100321401-0



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS**

CONSTANCIAS

Una especial dedicación a mi novia Diana Chamorro por su paciencia y gran apoyo incondicional, parte importante de mi vida.

Yo, Andrés Marcelo Vargas Muñoz declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Ibarra, a los 23 días del mes de Junio del 2014

EL AUTOR

(Faint signature)

Andrés Marcelo Vargas Muñoz

(Handwritten signature in blue ink)

Andrés Marcelo Vargas Muñoz

C.I. 100321401-0

DEDICATORIA

mi novia Diana Chamorro, por su incansable apoyo y dedicación durante el desarrollo de todo el proyecto.

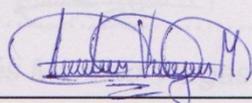
Una especial dedicatoria a mi novia Diana Chamorro por su paciencia y gran apoyo incondicional, parte importante de mi vida.

especial reconocimiento al Ing. Jorge Terán y a la Ing. Gabriela Verdezoto por

A mis padres, un pilar importante en mi carrera universitaria.

todos los amigos que influyeron de manera directa o indirecta en la elaboración

A mis sobrinitos/as por llenar de felicidad mis días.



Andrés Marcelo Vargas Muñoz

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

El trabajo detallado a continuación se fundamenta en la calibración de compensadores PID para controlar una variable física en un sistema real a través de un sistema de instrumentación virtual, ayudando así a complementar el

A mi novia Diana Chamorro, por su incansable apoyo y dedicación durante el desarrollo de todo el proyecto.

A mis padres y hermanos, por brindarme su apoyo constante y no dejarme vencer por las adversidades.

Especial reconocimiento al Ing. Jorge Terán y a la Ing. Gabriela Verdezoto por su apoyo y guía en el desarrollo del presente trabajo.

A todos los amigos que influyeron de manera directa o indirecta en la elaboración del proyecto.

La interfaz gráfica del módulo didáctico de control de nivel cuenta con menús desplegables donde se puede elegir el tipo de control a ejecutarse, además de contar con controles e indicadores de los estados de los diferentes sensores y actuadores del sistema. También se encarga de generar las señales que comandan los elementos de control.

Cuenta con un manual de usuario de prácticas sugeridas para el aprendizaje de los controles previamente implementados.

Con el módulo didáctico de control de nivel realiza los diferentes tipos de controladores automáticos tales como ON-OFF, P, PI, PD, PID y FEED-



.....
Andrés Marcelo Vargas Muñoz

RESUMEN

El trabajo detallado a continuación se fundamenta en la calibración de compensadores PID para controlar una variable física en un sistema real a través de un sistema de instrumentación virtual, ayudando así a complementar el aprendizaje de los estudiantes de sistemas de control.

Para cumplir lo requerido se realiza el diseño mecánico del módulo didáctico de control de nivel para posteriormente implementar los elementos de control, tanto sensores y actuadores y por último se implementa una interfaz gráfica que interactúa en tiempo real con la planta, realizando las operaciones necesarias para su buen funcionamiento.

La interfaz gráfica del módulo didáctico de control de nivel cuenta con menús desplegables donde se puede elegir el tipo de control a ejecutarse, además de contar con controles e indicadores de los estados de los diferentes sensores y actuadores del sistema. También se encarga de generar las señales que comandan los elementos de control.

Cuenta con un manual de usuario de prácticas sugeridas para el aprendizaje de los controles previamente implementados.

Con el módulo didáctico de control de nivel realiza los diferentes tipos de controladores automáticos tales como ON-OFF, P, PI, PD, PID y FEED-FORWARD.

ABSTRACT

The work detailed below is based on the calibration of PID compensators to control a physical variable in a real system through a virtual instrumentation system, helping to complement the learning of control systems students.

To comply the requirements, was developed as follows. First performed the mechanical design of the training module level control and then implement the control elements, both sensors and actuators and finally implementing a graphical interface that interacts in real time with the plant performing the operations necessary for its proper functioning.

The GUI of the level control training module has drop down menus where you can choose the type of control to execute, in addition to having controls and indicators of states of different sensors and actuators of the system. It is also responsible for generating the signals that command the control elements.

It has a user manual with suggested practices for learning previously implemented controls.

The training module of level control makes the different types of automatic controllers such as ON-OFF, P, PI, PD, PID and FEED-FORWARD.

INDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	PAGINA
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	II
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD	III
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	IV
CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	V
CONSTANCIAS	VI
DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT	X
INDICE DE CONTENIDOS.....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	XVIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIX
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XX

CAPÍTULO I	1
MÉTODOS DE MEDICIÓN Y CONTROL DE NIVEL	1
1.1. INTRODUCCIÓN A LOS LÍQUIDOS.....	1
1.1.1. <i>CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS</i>	1
1.1.1.1. Densidad	2
1.1.1.2. Compresión y Expansión	2
1.1.1.3. Forma y Volumen	2
1.1.1.4. Tensión Superficial.....	2
1.1.1.5. Viscosidad	2
1.1.1.6. Fluidez.....	2
1.1.1.7. Cavitación.....	2
1.1.1.8. Flujo	3
1.1.1.9. Presión.....	3
1.2. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA	4
1.2.1. <i>MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS</i>	4
1.2.1.1. Tipos de medidores de nivel.....	5
1.2.2. <i>MEDICIÓN DE CAUDAL DE LÍQUIDOS</i>	6
1.2.2.1. Tipos de medidores de caudal.....	6
1.2.3. <i>ELEMENTOS FINALES DE CONTROL</i>	8
1.2.3.1. Válvulas para control de fluidos.....	8
1.2.3.2. Válvulas de solenoide o electroválvulas	9
1.2.3.3. Bomba de agua.....	10
1.2.4. <i>SISTEMAS DE CONTROL</i>	11
1.2.4.1. Componentes de un sistema de control.....	11
1.2.4.2. Clasificación de los sistemas de control	11
1.2.4.3. Tipos de controladores	12
1.3. HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y CONTROL DE DATOS	17
1.3.1. <i>HARDWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS</i>	17
1.3.2. <i>HARDWARE DE CONTROL DE DATOS</i>	19
1.3.2.1. Tipos de microcontroladores.....	20
1.3.2.2. Recursos de los microcontroladores	20
1.4. INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL.....	22
1.4.1. <i>PROGRAMACIÓN GRÁFICA</i>	23
1.4.1.1. Diagrama de bloques	25

CAPÍTULO II	27
DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL	27
2.1. EQUIPO A CONSTRUIR	27
2.1.1. <i>DISEÑO DE LA PLANTA DE CONTROL DE NIVEL</i>	28
2.1.1.1. Diseño de tanques	28
2.1.1.2. Selección del espesor del vidrio	31
2.1.2. <i>ANÁLISIS DE ESTRUCTURA MECÁNICA</i>	31
2.1.3. <i>DISEÑO DE TUBERÍAS</i>	33
2.1.3.1. Análisis de pérdidas	34
2.2. SELECCIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES	43
2.2.1. <i>SELECCIÓN DE SENSORES</i>	43
2.2.1.1. Sensor de nivel	43
2.2.1.2. Sensor de flujo	45
2.2.1.3. Bombas de agua	47
2.2.1.4. Válvulas de bola	47
2.2.1.5. Electroválvula	48
2.2.1.6. Servoválvulas	49
2.3. <i>DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DE LA PLANTA DE CONTROL DE NIVEL</i>	50
2.3.1. <i>CIRCUITO DE CONTROL</i>	50
2.3.2. <i>TRATAMIENTO DE SEÑAL DEL SENSOR DEL NIVEL</i>	50
2.3.3. <i>TRATAMIENTO DE SEÑAL PARA LA SERVOVÁLVULA</i>	52
2.3.4. <i>CIRCUITO DE FUERZA</i>	58
2.3.4.1. Dimensionamiento de potencia de las bombas	58
2.3.4.2. Dimensionamiento de potencia para la servoválvula	59
2.3.4.3. Dimensionamiento de potencia para la electroválvula	59
CAPÍTULO III	61
IMPLEMENTACIÓN	61
3.1. IMPLEMENTACIÓN DE ESTRUCTURA Y TUBERÍAS	61
3.1.1. <i>CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA</i>	61
3.1.2. <i>CONSTRUCCIÓN DE TANQUES DE AGUA</i>	63
3.1.3. <i>INSTALACIÓN DE TUBERÍAS</i>	64
3.2. IMPLEMENTACIÓN DE HARDWARE	67
3.3. IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE	68
3.3.1. <i>LECTURA Y VISUALIZACIÓN DEL SENSOR DE NIVEL</i>	70
3.3.2. <i>LECTURA Y VISUALIZACIÓN DEL SENSOR DE CAUDAL</i>	71

3.3.3.	<i>ACTIVACIÓN DE SERVOVÁLVULAS</i>	72
3.3.4.	<i>VISUALIZACIÓN Y CONTROL DE BOMBAS Y ELECTROVÁLVULA</i>	73
3.3.5.	<i>SELECCIÓN DEL TIPO DE CONTROL</i>	74
3.3.5.1.	Manual.....	74
3.3.5.2.	On – Off.....	75
3.3.5.3.	PID.....	75
CAPÍTULO IV		78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		78
4.1.	CONCLUSIONES.....	78
4.2.	RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA		81

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: LENGUAJE DEL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR

ANEXO B: FACTOR K DE ACCESORIOS DE TUBERÍA

ANEXO C: FACTOR K DE VÁLVULAS Y ACCESORIOS

ANEXO D: CARACTERÍSTICAS DEL TUBO HIDRO 3 (VERDE)

ANEXO E: CARACTERÍSTICAS DEL SERVOMOTOR S777CG/6BB

ANEXO F: CARACTERÍSTICAS DE LA VALVULA DE BOLA

ANEXO G: CARACTERÍSTICAS DE LA ELECTROVÁLVULAS

ANEXO H. VALORES NORMALIZADOS CABLES A.W.G

ANEXO I. TABLA DE PROPIEDADES DEL AGUA

ANEXO J. ÁNGULOS DE HIERRO DE LADOS IGUALES

ANEXO K. DIAGRAMA DE MOODY

ANEXO L. PROGRAMACIÓN DE LABVIEW

ANEXO M. DIAGRAMA DE CONTROL

ANEXO N. PLANOS

ANEXO L. MANUAL DE PRÁCTICAS

ANEXO O. MODELADO MATEMÁTICO

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: CONTROL ON – OFF	13
FIGURA 2: CONTROL ON – OFF CON HISTERESIS.....	13
FIGURA 3: CONTROL PROPORCIONAL	14
FIGURA 4: CONTROL PROPORCIONAL DERIVATIVO VS. CONTROL PROPORCIONAL.....	15
FIGURA 5: CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL.....	15
FIGURA 6: CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO	16
FIGURA 7: TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS USB - 6009	17
FIGURA 8: CONTROLES E INDICADORES.....	24
FIGURA 9: PALETA DE CONTROLES	24
FIGURA 10: PALETA DE FUNCIONES.....	25
FIGURA 11: TANQUE DE CONTROL	29
FIGURA 12: TANQUE SUMIDERO	30
FIGURA 13: TRAMO DE INGRESO DE AGUA AL TANQUE PRINCIPAL.....	34
FIGURA 14: TRAMO 1 TUBERIA 1"	34
FIGURA 15: TRAMO 1 TUBERIA 1/2"	35
FIGURA 16: TRAMO 2 SALIDA DE AGUA DEL TANQUE DE CONTROL	40
FIGURA 17: TRAMO 2 TUBERÍA DE 1"	41
FIGURA 18: TRAMO 2 TUBERÍA DE 1/2"	42
FIGURA 19: SENSOR DE NIVEL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	44
FIGURA 20: RANGO DE OPERACIÓN DEL SENSOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	45
FIGURA 21: SENSOR DE FLUJO DE PALETAS	46
FIGURA 22: VÁLVULA DE BOLA.....	48
FIGURA 23: ELECTROVÁLVULA	49
FIGURA 24: SERVO – VÁLVULA	50
FIGURA 25: CURVA DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE NIVEL	52

FIGURA 26: SEÑAL DE PULSO PARA CONTROLAR LA SERVOVÁLVULA.....	53
FIGURA 27: DIAGRAMA DE CONEXIONES DE SERVOVÁLVULAS	55
FIGURA 28: COMPORTAMIENTO DE LA SERVOVÁLVULA	57
FIGURA 29 DIAGRAMA DE CONEXIONES DE LA PLACA DE RELÉS	59
FIGURA 30: DIAGRAMA DE CONEXIONES DE ELECTROVÁLVULA.....	59
FIGURA 31: APLICACIÓN REALIZADA EN LABVIEW PARA LA PLANTA DE CONTROL DE NIVEL	69
FIGURA 32: CICLO DE LECTURA DEL SENSOR DE NIVEL	70
FIGURA 33: BLOQUE DE FÓRMULA.....	70
FIGURA 34: TANQUE DE CONTROL	70
FIGURA 35: CICLO DE LECTURA DEL SENSOR DE CAUDAL	71
FIGURA 36: TRANSFORMACIÓN DE PULSOS A SU EQUIVALENTE EN CAUDAL.....	71
FIGURA 37: VISUALIZACIÓN DE LOS SENSORES DE CAUDAL	72
FIGURA 38: CICLO DE ACTIVACIÓN DE SERVOVÁLVULAS	72
FIGURA 39: TRANSFORMACIÓN DE ÁNGULO A VOLTAJE.....	72
FIGURA 40: FÓRMULA DE CAUDAL VS ÁNGULO DE APERTURA (SERVOVÁLVULA).....	73
FIGURA 41: CONTROL DE BOMBAS Y ELECTROVÁLVULA	73
FIGURA 42: REPRESENTACIÓN DEL CONTROL DE LAS BOMBAS	74
FIGURA 43: REPRESENTACIÓN DEL CONTROL DE LA ELECTROVÁLVULA.....	74
FIGURA 44: REPRESENTACIÓN DEL CONTROL DE LA SERVOVÁLVULA.....	74
FIGURA 45: CONTROL ON - OFF	75
FIGURA 46: CONTROL PID	75
FIGURA 47: ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL.....	77

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

DIAGRAMA 1: CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS	1
DIAGRAMA 2: CLASIFICACIÓN DE SENSORES DE NIVEL.....	5
DIAGRAMA 3: CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES DE CAUDAL	7
DIAGRAMA 4: CLASIFICACIÓN DE LA BOMBAS ELÉCTRICAS.....	10
DIAGRAMA 5: DIAGRAMA DE UN SISTEMA DE CONTROL EN LAZO ABIERTO.....	12
DIAGRAMA 6: DIAGRAMA DE UN SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO	12
DIAGRAMA 7: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL DISPOSITIVO	18
DIAGRAMA 8: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN MICROCONTROLADOR	19
DIAGRAMA 9: SISTEMA BASADO EN INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL	23
DIAGRAMA 10: ESQUEMA DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE NIVEL.....	27
DIAGRAMA 11: FLUJOGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA.....	62
DIAGRAMA 12: FLUJOGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DE TANQUES DE AGUA.....	63
DIAGRAMA 13: FLUJOGRAMA DE INSTALACIÓN DE TUBERÍAS	65
DIAGRAMA 14: IMPLEMENTACIÓN DE PLACAS DE LOS CIRCUITOS DE CONTROL Y FUERZA.....	67
DIAGRAMA 15: FLUJOGRAMA DEL PROGRAMA PRINCIPAL DEL MICROCONTROLADOR.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. SENSORES DE CAUDAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.....	8
TABLA 2. TIPOS DE VÁLVULAS	9
TABLA 3: CARACTERÍSTICAS DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS NI USB-6009	18
TABLA 4: GAMAS DE MICROCONTROLADORES	20
TABLA 5: INSTRUMENTOS TRADICIONALES VS. VIRTUALES	22
TABLA 6: DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DEL MÓDULO	28
TABLA 7: SELECCIÓN DE GROSOR DE VIDRIO.....	31
TABLA 8: ACCESORIOS PARA LA INSTALACIÓN DE TUBERIAS.....	33
TABLA 9: CÁLCULO FACTOR K TUBERÍA 1" EN EL INGRESO DE AGUA AL TANQUE PRINCIPAL	34
TABLA10: CÁLCULO FACTOR K TUBERÍA ½" EN EL INGRESO DE AGUA AL TANQUE PRINCIPAL	35
TABLA 11: CÁLCULO FACTOR K TUBERÍA 1"	41
TABLA 12: CÁLCULO FACTOR K TUBERÍA ½"	41
TABLA 13: COMPARACIÓN DE SENSORES DE NIVEL.....	44
TABLA 14: CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE FLUJO.....	46
TABLA 15: BOMBA ELÉCTRICA DE CORRIENTE ALTERNA.....	47
TABLA 16. COMPARACIÓN DE VOLTAJE VS NIVEL EN EL TANQUE DE CONTROL.....	51
TABLA 17: RANGOS MÁXIMOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA SERVOVÁLVULA.....	53
TABLA 18: RANGO DE FUNCIONAMIENTO DE LA SERVOVÁLVULA EN EL SISTEMA.....	55
TABLA 19: CAUDAL VS ÁNGULO DE APERTURA DE LA SERVOVÁLVULA	56
TABLA 20: SIMBOLOGÍA DE LA NORMA ASME PARA DIAGRAMAS DE FLUJO.....	61
TABLA 21: CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA.....	62
TABLA 22: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TANQUE DE AGUA.....	64
TABLA 23: INSTALACIÓN DE TUBERÍAS	66
TABLA 24: IMPLEMENTACIÓN DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS.....	68

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1: PRESIÓN HIDROSTÁTICA	3
ECUACIÓN 2: PRESIÓN ATMOSFÉRICA	4
ECUACIÓN 3: PRESIÓN MANOMÉTRICA	4
ECUACIÓN 4: PESO.....	32
ECUACIÓN 5: MÁXIMO ESFUERZO CORTANTE	32
ECUACIÓN 6: ÁREA INTERNA DE LA TUBERÍA	36
ECUACIÓN 7: VELOCIDAD DE FLUJO EN LA TUBERÍA	36
ECUACIÓN 8: NÚMERO DE REYNOLDS.....	36
ECUACIÓN 9: RUGOSIDAD RELATIVA	37
ECUACIÓN 10: COEFICIENTE DE FRICCIÓN.....	37
ECUACIÓN 11: PÉRDIDA DE CARGA TOTAL.....	39
ECUACIÓN 12: ALTURA DINÁMICA.....	39
ECUACIÓN 13: POTENCIA TEÓRICA TRANSMITIDA.....	40
ECUACIÓN 14: POTENCIA REAL TRANSMITIDA.....	40
ECUACIÓN 15: PÉRDIDA DE CARGA TOTAL.....	42

CAPÍTULO I

MÉTODOS DE MEDICIÓN Y CONTROL DE NIVEL

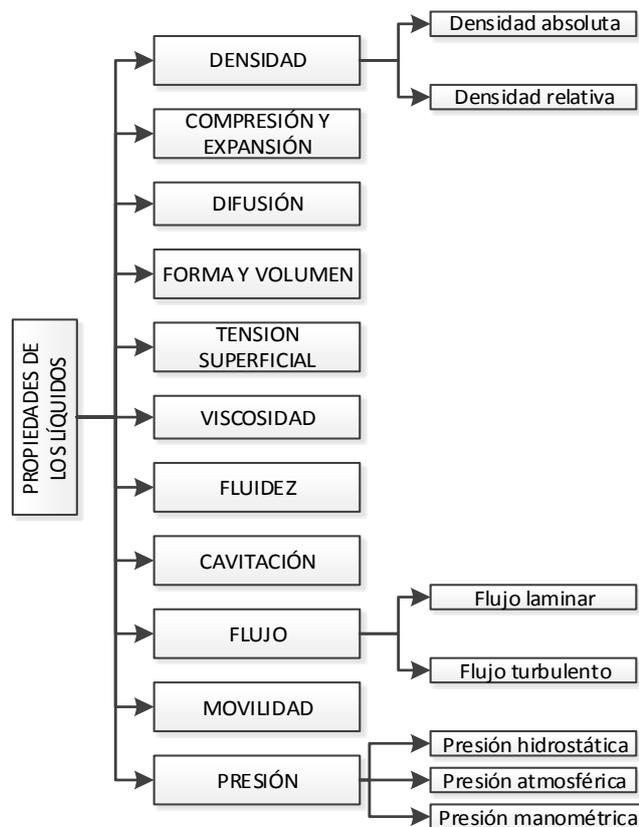
1.1. INTRODUCCIÓN A LOS LÍQUIDOS

“El líquido a una presión y temperatura determinadas ocupan un volumen determinado” (Mataix, 1986).

El líquido toma la forma del recipiente en el que es introducido, este adopta una superficie plana siempre que se mantenga una presión constante sobre la misma.

1.1.1. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS

Diagrama 1: Características y propiedades de los líquidos



Fuente: Autor

1.1.1.1. Densidad

La densidad expresa la masa por unidad de volumen de una sustancia.

1.1.1.2. Compresión y Expansión

Los líquidos son prácticamente incompresibles. *“El flujo es incompresible si la densidad permanece aproximadamente constante a lo largo de todo el flujo”* (Cengel & Cimbala). El volumen de un líquido no varía en gran cantidad al aplicarle una presión.

1.1.1.3. Forma y Volumen

“El volumen de un líquido permanece relativamente constante debido a las intensas fuerzas de cohesión entre ellas” (Cengel & Cimbala).

1.1.1.4. Tensión Superficial

“La tensión superficial se mide como el trabajo por unidad de área que se requiere para llevar las moléculas de la parte inferior hacia la superficie del líquido”. (Mott, 2006)

1.1.1.5. Viscosidad

“Se define al esfuerzo cortante, como la fuerza que se requiere para que una unidad de área de una sustancia se deslice sobre otra” (Mott, 2006)

1.1.1.6. Fluidez

La fluidez en los líquidos es la capacidad de moverse continuamente o pasar a través de orificios pequeños, siempre y cuando el orificio se encuentre en un nivel menor o igual al nivel contenido en el recipiente.

1.1.1.7. Cavitación

La cavitación es un fenómeno que consiste en la formación de burbujas de aire en la tubería que transporta el fluido debido al cambio de dirección del flujo.

La cavitación produce desgaste en la tubería y ocurre cuando la presión del flujo alcanza la presión de vapor de agua.

1.1.1.8. Flujo

El flujo se define como el paso de un fluido por unidad de superficie en una unidad de tiempo.

A. Flujo laminar

El régimen de flujo laminar se caracteriza por líneas de corriente suaves y movimiento sumamente ordenado.

B. Flujo turbulento

El flujo turbulento se caracteriza por fluctuaciones de velocidad y movimiento también desordenado.

1.1.1.9. Presión

Se define a la presión como una fuerza normal que ejerce el fluido por unidad de área.

A. Presión hidrostática

La presión hidrostática es la fuerza que ejerce el líquido de forma perpendicular sobre la superficie del objeto sumergido. La presión hidrostática se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = \rho \times g \times h + P_o \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

P es la presión hidrostática [Pa];

ρ es la densidad del líquido [Kg/m³];

g es la aceleración de la gravedad [m/s²];

h es la altura del fluido [m];

P_o es la presión atmosférica [Pa].

B. Presión atmosférica

La presión atmosférica es la fuerza que ejerce el aire atmosférico sobre todos los cuerpos que se encuentran en la superficie terrestre. Su valor es variable dependiendo de la altura sobre el nivel del mar y se mide con el barómetro por lo tanto varía de acuerdo a la altitud del lugar de medición.

$$P_{atmosférica} = h \times p_e \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

h : es la altura de la columna de mercurio [cm]

p_e : es el peso específico del mercurio= 13.6 [gf/cm²]

C. Presión manométrica

“La presión que arroja la medición de un fluido se llama presión manométrica” (Mott, 2006). La ecuación que relaciona los sistemas de medición de presión está dada por:

$$P_{absoluta} = P_{manométrica} + P_{atmosférica} \quad \text{Ecuación 3}$$

1.2. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

1.2.1. MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS

La medición, detección o monitoreo del nivel de líquidos es fundamental en la industria. Se puede medir el nivel de un líquido directa o indirectamente:

Medición directa: se determina la distancia existente entre una línea de referencia, comúnmente tomada como el fondo del recipiente, y la superficie del fluido.

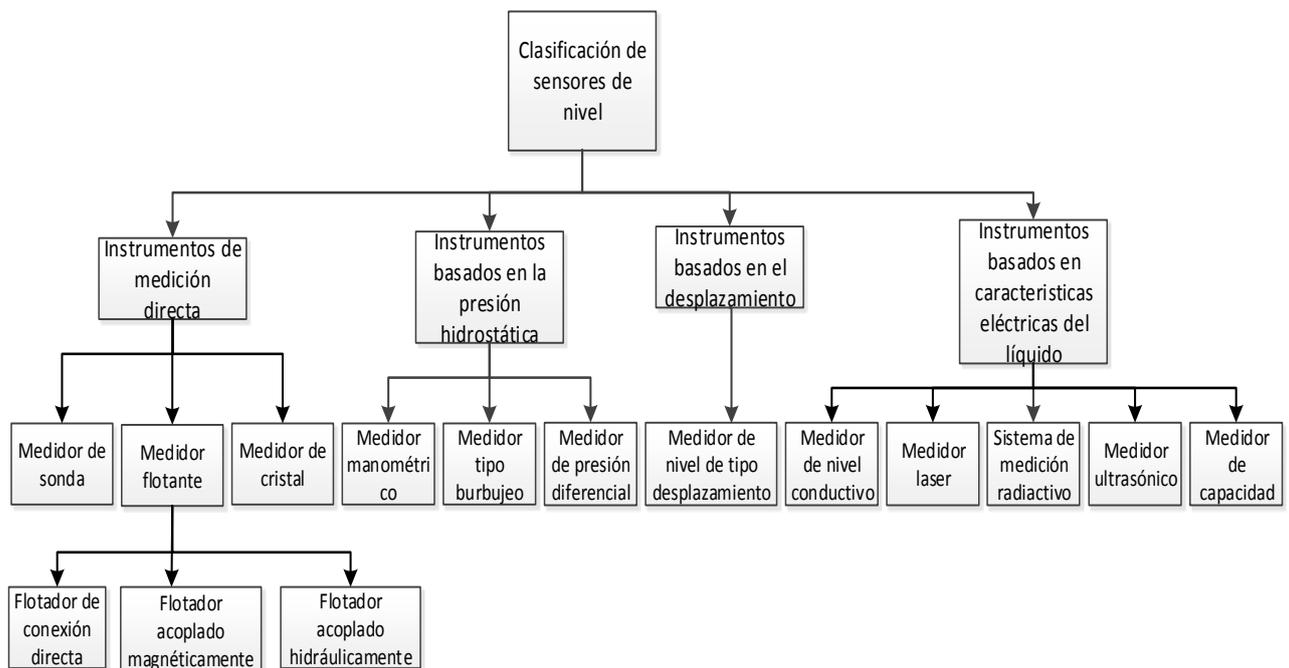
Medición indirecta: se determina mediante la medición de otra variable relacionada con la altura, como puede ser el peso del líquido contenido en un recipiente uniforme.

1.2.1.1. Tipos de medidores de nivel

El nivel es una variable física que puede ser medida fácilmente.

En el mercado existen varios tipos de instrumentos para medición de nivel dependiendo directamente de las características del fluido y de sus propiedades.

Diagrama 2: Clasificación de sensores de nivel



Fuente: Autor

Después de realizar una clasificación de sensores de nivel en el diagrama anterior, se mencionan las opciones que pueden ser implementados en este proyecto debido al tipo de señal que se necesita para el correcto control.

A. *Medidor de presión diferencial*

Es uno de los métodos más comunes de medición de nivel tanto para tanques abiertos como cerrados, permite una medición indirecta determinando la presión

de la columna de líquido proporcionando una salida continua en relación al nivel de líquido en el tanque.

B. Medidor de nivel de tipo desplazamiento

El medidor de nivel de tipo desplazamiento está conformado por un flotador sumergido en el líquido y transmite su movimiento a una resistencia variable, está basado en el principio de Arquímedes.

C. Medidor ultrasónico

Este medidor de nivel se basa en una emisión y recepción de un impulso ultrasónico a través del fluido siempre y cuando exista una superficie reflectante frente al sensor y sobre el nivel máximo del líquido. El eco dependiendo del tiempo de retardo en retornar permite saber el nivel del tanque. El líquido debe ser nítido para poder obtener una señal fiable ya que este es sensible a la densidad del fluido.

1.2.2. MEDICIÓN DE CAUDAL DE LÍQUIDOS

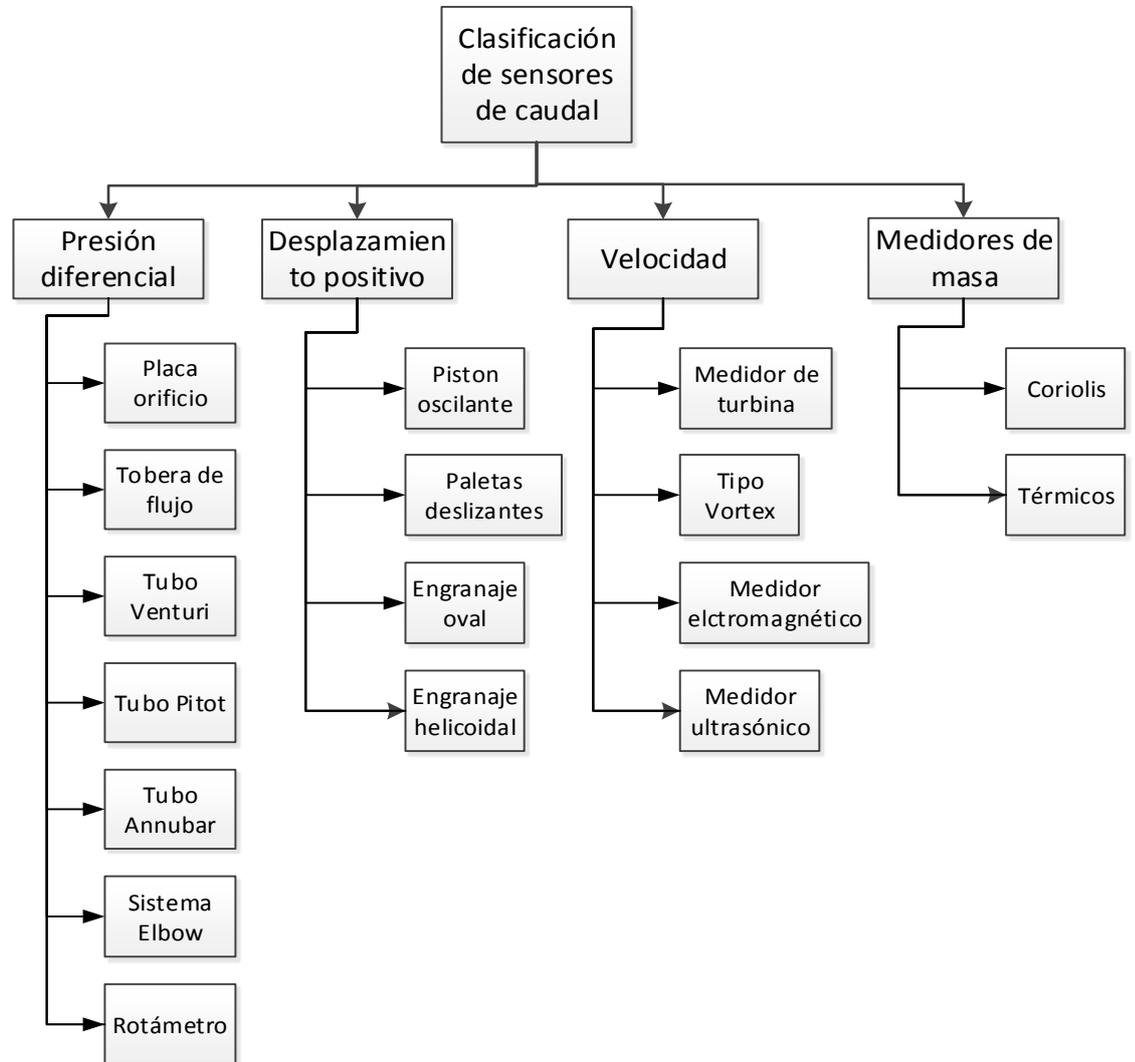
La medición de caudal es la acción de medir la velocidad, el flujo volumétrico o el flujo másico de cualquier líquido o gas.

1.2.2.1. Tipos de medidores de caudal

Para sistemas de tuberías cerradas, están disponibles numerosos tipos de medidores de caudal.

En general, los equipos pueden clasificarse de la siguiente manera:

Diagrama 3: Clasificación de los sensores de caudal

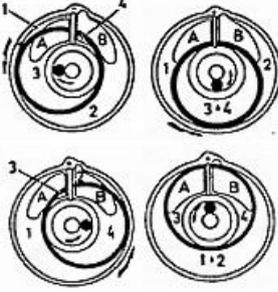
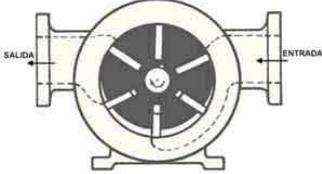
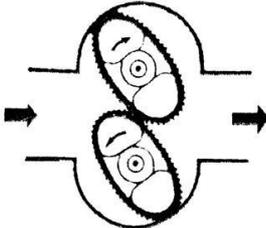


Fuente: Autor

A. Desplazamiento positivo

“Los medidores de desplazamiento positivo operan atrapando un volumen unitario y conocido de líquido, desplazándolo desde la entrada hasta la salida, y contando el número de volúmenes desplazados en un tiempo determinado” (Sánchez, 2003).

Tabla 1. Sensores de caudal de desplazamiento positivo

SENSORES DE CAUDAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO		
<p>Pistón oscilante</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Medidas precisas de pequeños caudales. - Se aplica en unidades de bombeo de distribución de petróleo 	
<p>Paletas deslizantes</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Medidas de líquidos de elevado coste. - Se aplica cisternas para la distribución de combustible. 	
<p>Engranaje oval</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Usado en aplicaciones sin suministro de energía eléctrica. - Se los encuentra en industrias alimenticia, química, petroquímica, laboratorios y automotriz. 	
<p>Engranaje helicoidal</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Funcionamiento similar al engranaje oval 	

Fuente: Autor

1.2.3. ELEMENTOS FINALES DE CONTROL

1.2.3.1. Válvulas para control de fluidos

“Las válvulas sirven para oponer una restricción al flujo de fluidos”. (Greene, 1985).

La válvula es un instrumento de control esencial en la industria, ciertas válvulas son adecuadas para servicio de paso y cierre, mientras otras están destinadas a estrangulación.

Tabla 2. Tipos de válvulas

TIPOS DE VALVULAS		
<p>Válvula de Compuerta</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vueltas múltiples. - Cierre de paso con disco vertical de cara plana. 	
<p>Válvula de bola.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vuelta de 1/4 de giro. - Cierre mediante una bola taladrada que gira entre asientos elásticos. 	
<p>Válvula de mariposa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vuelta de 1/4 de giro. - Cierre mediante un disco circular. 	
<p>Válvulas de Desahogo (Alivio)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Regulación automática de presión. - Se abre lentamente acorde aumenta la presión. 	

Fuente: Autor

1.2.3.2. Válvulas de solenoide o electroválvulas

La electroválvula o válvula de solenoide es un dispositivo operado eléctricamente, y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o cerrada.

La electroválvula está constituida por una bobina solenoide encajada en un núcleo fijo en forma de tubo cilíndrico, en cuyo interior desliza un núcleo móvil provisto en su extremo de un disco o tapón.

La bobina actúa como un electroimán, al activarse crea un campo magnético que atrae al núcleo móvil y vástago, mientras en la desconexión invierte la posición de éste gracias a un resorte que empuja el disco contra el asiento, cerrando así la válvula.

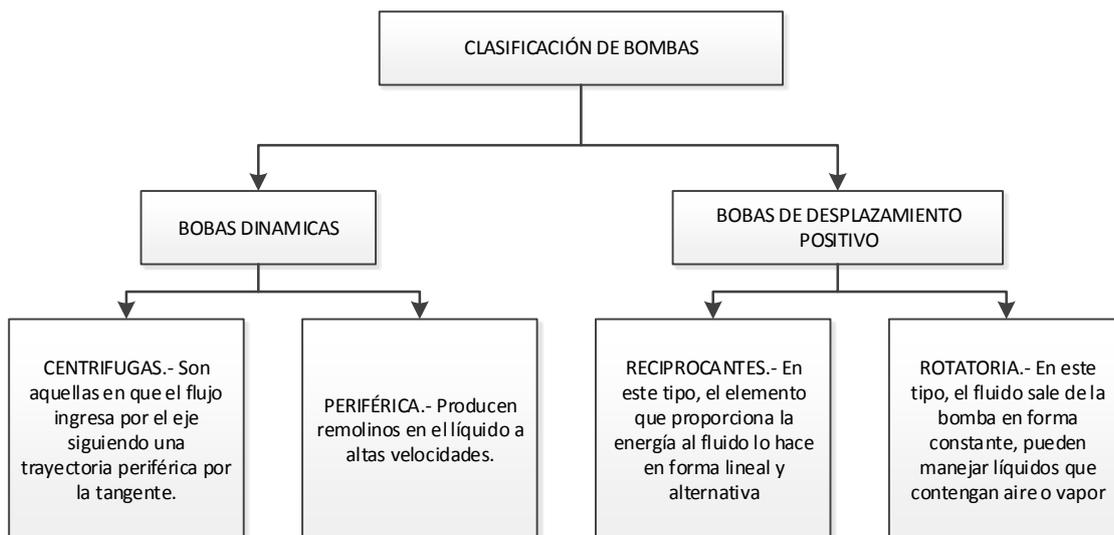
1.2.3.3. Bomba de agua

“Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad” (Zubicaray & Álvarez Fernandez, 1995).

En la mayoría de las aplicaciones de energía conferida por una bomba es una mezcla de las tres, (posición, presión y velocidad), las cuales se comportan con los principios de la mecánica de fluidos.

Existen varios tipos de bombas que se clasifican de la siguiente manera:

Diagrama 4: Clasificación de la bombas eléctricas



Fuente: Autor

1.2.4. SISTEMAS DE CONTROL

“Un sistema de control o proceso está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí que ofrecen señales de salida en función de señales de entrada o datos” (Geltru, 1997).

1.2.4.1. Componentes de un sistema de control

Valor de referencia: Se refiere al valor deseado de la variable de proceso a la cual el controlador debe mantener

Detección de error: Detecta el error en las variables del proceso

Controlador: Es el dispositivo que puede ser una computadora o un circuito electrónico, cuya función es examinar el error y determinar qué acción, de ser necesaria, debe realizarse.

Actuador: También denominado elemento de control, es el dispositivo que ejerce una influencia directa en el proceso, esto es, provee los cambios requeridos por la variable controlada, para llevar su magnitud al valor de referencia.

Proceso: Puede consistir en un conjunto complejo de fenómenos que se relacionan en alguna secuencia de manufactura`.

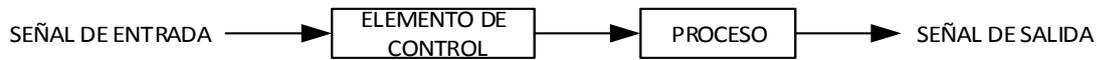
Elemento de medida: Se refiere a la transducción de una variable a alguna otra forma análoga de aquella, empleando para ello un sensor o transductor.

1.2.4.2. Clasificación de los sistemas de control

A. Sistema de control de lazo abierto

Un sistema de control en lazo abierto *“es aquel sistema en el cual la acción es, en cierto modo, independiente de la salida” (Hernández Gaviño, 2010).*

Diagrama 5: Diagrama de un sistema de control en lazo abierto

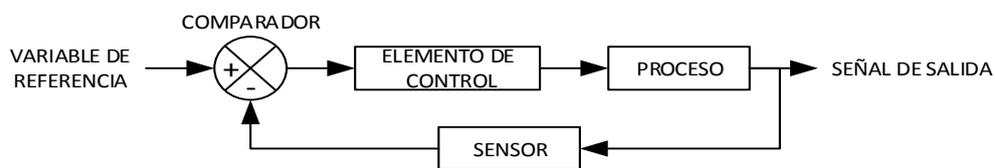


Fuente: Autor

B. Sistema de control de lazo cerrado

En un sistema de control en lazo cerrado, la acción de control depende de la salida. “La salida real se compara con respecto al comportamiento deseado, de tal forma que si el sistema lo requiere se aplica una acción correctora sobre el proceso por controlar” (Hernández Gaviño, 2010).

Diagrama 6: Diagrama de un sistema de control en lazo cerrado



Fuente: Autor

“La principal ventaja de los sistemas de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación hace al conjunto menos sensible a las perturbaciones externas y a las variaciones de los parámetros internos que los parámetros en lazo abierto” (Cataluña, 1998)

1.2.4.3. Tipos de controladores

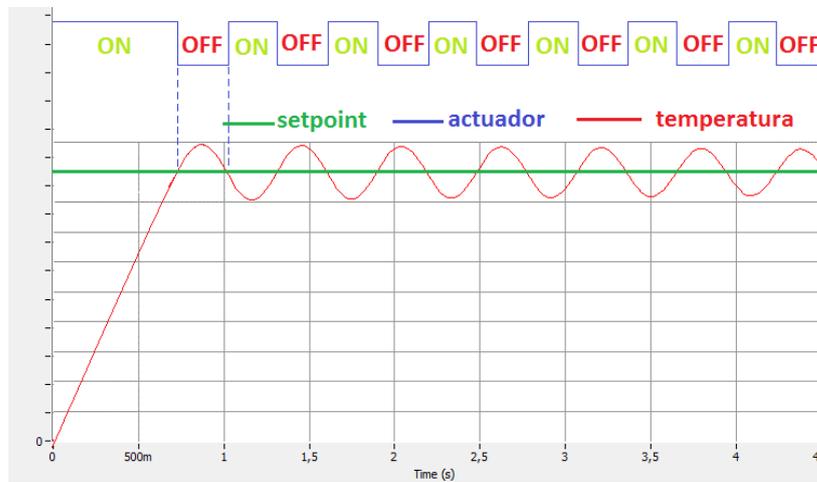
A. Control On - Off

En un sistema de control on - off, el elemento actuador tiene solo dos posiciones de operación.

Este controlador es el más simple y con menor precisión, el dispositivo corrector final cambia de una posición activa a una inactiva dependiendo del signo del error, como ejemplo se tiene que:

- Error positivo: dispositivo corrector inactivo.
- Error negativo: dispositivo corrector activo.

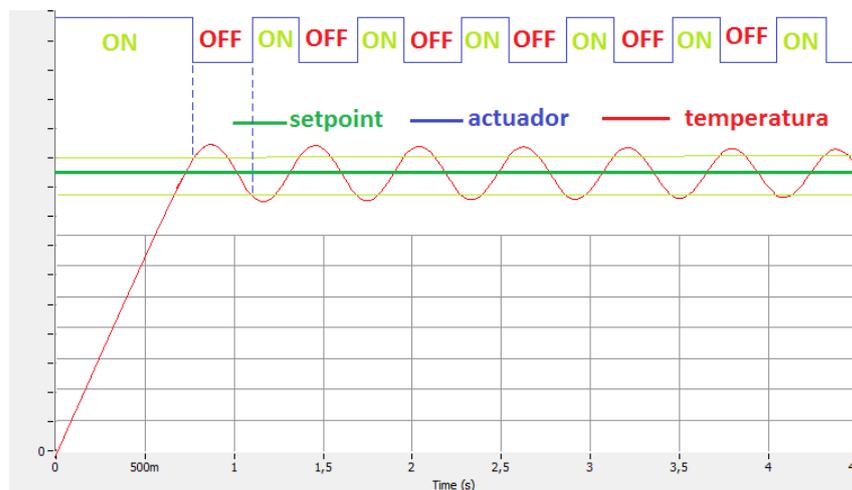
Figura 1: Control On – Off



Fuente: Autor

Normalmente, para evitar el desgaste del elemento final de control, se tiene una zona de tolerancia (GAP o histéresis), en la cual el elemento final de control mantiene el estado anterior; es decir, cambia de estado solo cuando está fuera de esta zona. Como se observa en la siguiente figura el actuador cambia de estado solo al encontrarse fuera de la zona de histéresis.

Figura 2: Control On – Off con histéresis



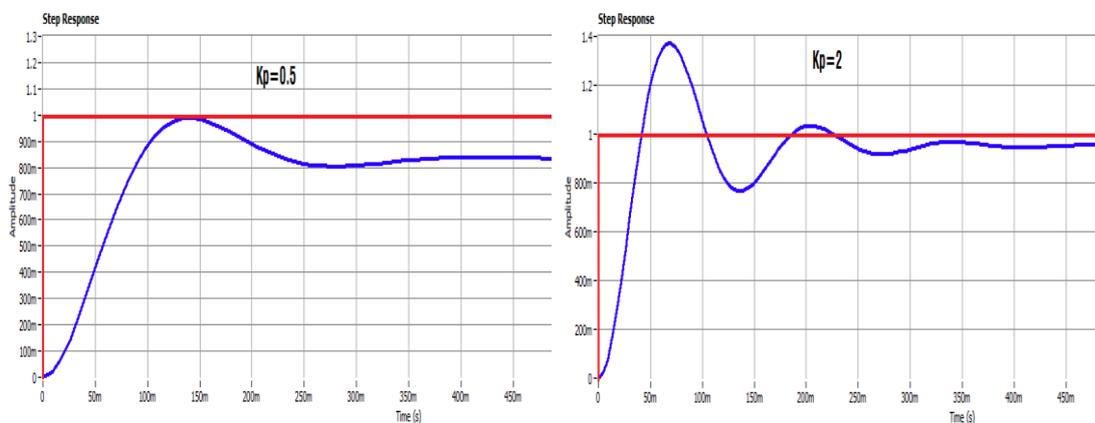
Fuente: Autor

B. Control Proporcional

El controlador proporcional permite generar una señal de control proporcional a la señal de error.

La variable a controlar en este tipo de control jamás se estabiliza justo en el valor deseado sino que se tiene un "error estacionario".

Figura 3: Control Proporcional



Fuente: Autor

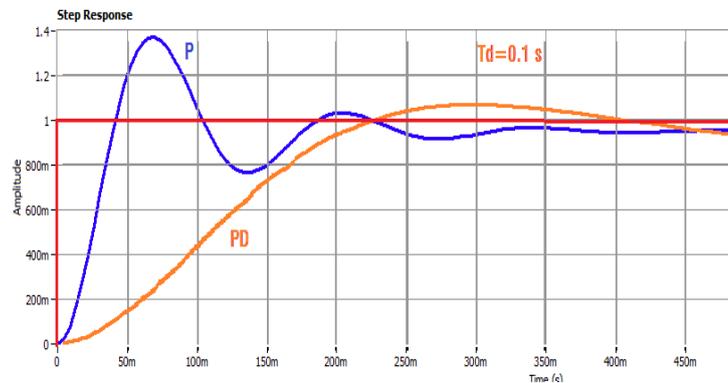
El error estacionario se puede reducir aumentando la acción proporcional, pero aumentarla demasiado volverá oscilatorio el sistema. Al disminuir la acción proporcional para eliminar las oscilaciones, el control pierde efectividad para responder rápidamente a perturbaciones externas. Además existe un límite inferior y siempre habrá algo de error estacionario.

“Cualquiera que sea el mecanismo real y la forma de la potencia de operación, el controlador proporcional es, en esencia, un amplificador con ganancia ajustable” (Cataluña, 1998)

C. Control Proporcional Derivativo PD

“El control derivativo mediante la derivada de la señal de error ‘conoce’ sus características dinámicas (crecimiento o decrecimiento), produciendo una corrección antes de que la señal de error sea excesiva” (Geltru, 1997).

Figura 4: Control Proporcional Derivativo vs. Control Proporcional



Fuente: Autor

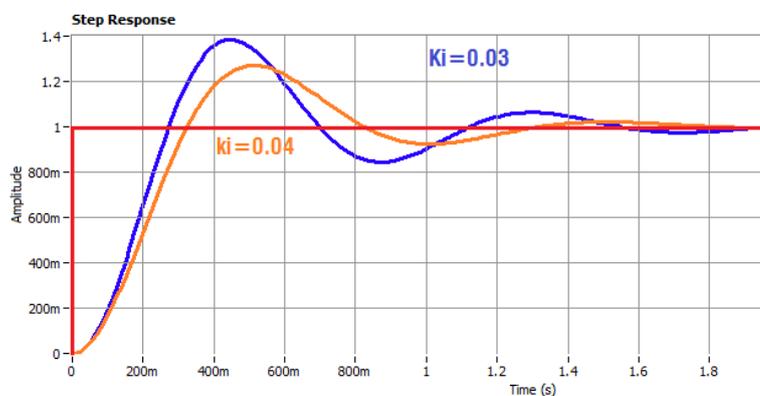
El control PD proporciona una mayor estabilidad relativa al sistema dando como resultado una respuesta transitoria con menor sobreimpulso. Permite obtener una variable muy estable y sin oscilaciones.

Se obtiene una respuesta demasiado lenta cuando la influencia del control PD es muy grande.

D. Control Proporcional Integral PI

El control proporcional integral (PI) “combina las ventajas de la acción proporcional e integral; la acción integral elimina el error estacionario, mientras que la acción proporcional reduce el riesgo de inestabilidad que conlleva la introducción de la propia acción integral” (Geltru, 1997).

Figura 5: Control Proporcional Integral

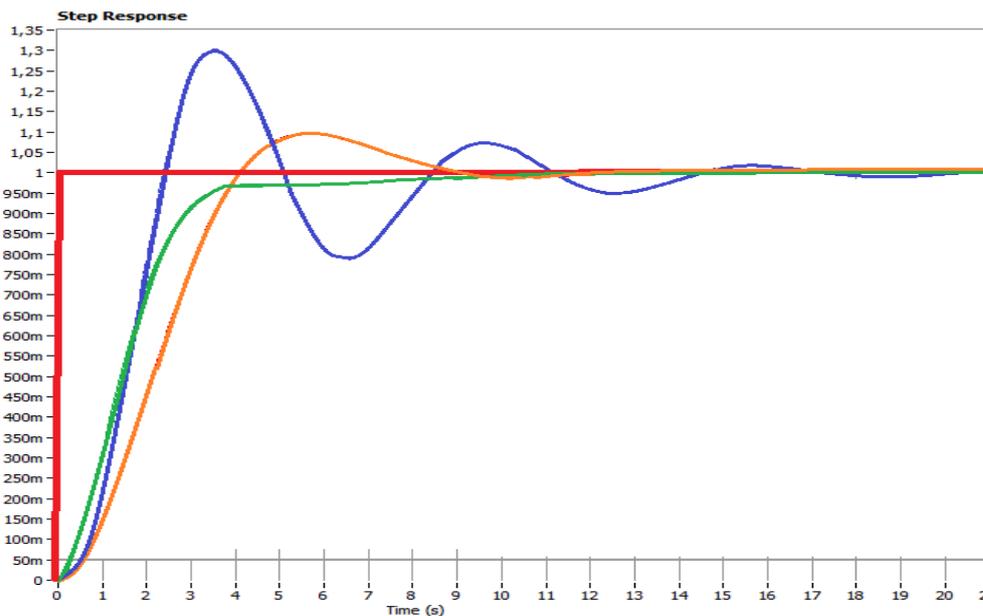


Fuente: Autor

E. Control Proporcional Integral Derivativo PID

Un controlador PID es un controlador proporcional con acción derivativa y acción integral simultáneamente.

Figura 6: Control Proporcional Integral Derivativo



Fuente: Autor

Es necesario que el sistema de control sea estable, por lo tanto, para las condiciones de estabilidad existen tres tipos de comportamiento.

- Control sub-amortiguado

Se obtiene una buena velocidad de respuesta pero en ocasiones aparecen varias oscilaciones antes que la variable llegue a un valor estable. Suele ocurrir cuando la constante derivativa K_D es chica y la constante de integración I grande.

- Control con amortiguamiento crítico

En este caso el sistema es bastante estable y la velocidad de respuesta es la mejor que se puede lograr. A esta condición corresponden los valores óptimos de los parámetros P , I , D .

- Control sobre-amortiguado.

El sistema tiene una velocidad de respuesta lenta, es muy estable y no adquiere comportamientos oscilatorios indeseables. Esta condición se debe a una constante derivativa K_D muy grande.

1.3. HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y CONTROL DE DATOS

1.3.1. HARDWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El hardware utilizado para la adquisición de datos y acondicionamiento de señales de los diferentes elementos de la planta de control de nivel es la tarjeta de adquisición de datos USB-6009 de National Instruments.

Figura 7: Tarjeta de adquisición de datos USB - 6009

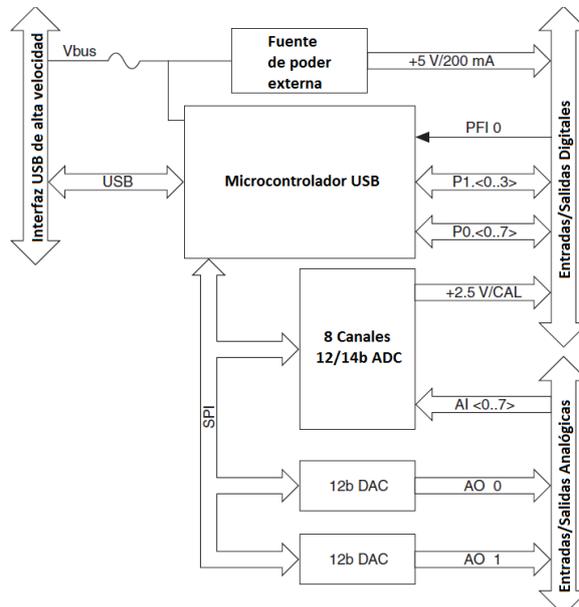


Fuente: *Guía de usuario y especificaciones NI USB 6009.* (2004-2012). Texas: National Instruments.

La tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009 proporciona conexiones de:

- 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s)
- 2 salidas analógicas (12 bits a 150 S/s)
- 12 E/S digitales
- Contador de 32 bits
- Energizado por bus para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada
- Compatible con LabVIEW, LabWindows™/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET

Diagrama 7: Diagrama de bloques del dispositivo



Fuente: *Guía de usuario y especificaciones NI USB 6009.* (2004-2012). Texas: National Instruments.

El NI USB-6009 es un dispositivo de adquisición de datos con conectividad fácil por tornillos y un factor de forma pequeño. Con USB plug-and-play, este dispositivo es suficientemente simple para mediciones rápidas, pero suficientemente versátil para aplicaciones de medición más complejas.

Tabla 3: Características de la tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009

Característica	
Resolución de la entrada analógica	14 bits diferencial 12 bits común
Máxima velocidad de muestreo, un canal.	48 kS/s
Máxima velocidad de muestreo, múltiples canales	42 kS/s
Configuración de entradas y salidas digitales	Colector abierto o active drive

Fuente: *Guía de usuario y especificaciones NI USB 6009.* (2004-2012). Texas: National Instruments.

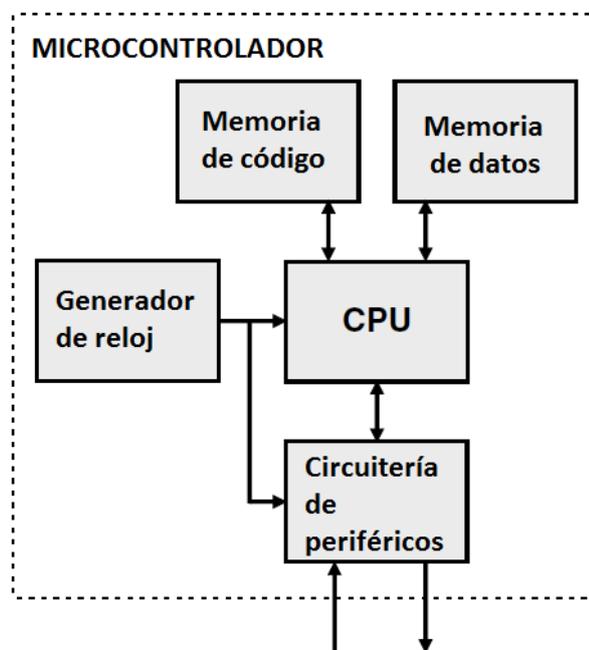
1.3.2. HARDWARE DE CONTROL DE DATOS

Un microcontrolador es un circuito integrado que nos ofrece las posibilidades de un pequeño computador.

Un microcontrolador dispone de las siguientes características:

- *Unidad de E/S.*
- *CPU unidad de control*
- *Memoria RAM*
- *Memoria ROM*
- *Memoria EEPROM*
- *ALU Unidad Aritmética Lógica*
- *Unidad de salida*
- *Generador de reloj*

Diagrama 8: Diagrama de bloques de un microcontrolador

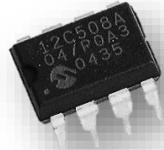


Fuente: Bishop, R. H. (2008). *Sistemas Mecatrónicos, sensores y actuadores*. U.S.A: CRC Press Taylor & Francis Group.

1.3.2.1. Tipos de microcontroladores

Los microcontroladores se clasifican de acuerdo a las prestaciones que ofrecen en las diferentes gamas, ya sean baja, media y alta.

Tabla 4: Gamas de microcontroladores

Gama	Repertorio de instrucciones	Memoria de programa	Memoria de datos	Recursos	Apariencia
Baja	33 de 12 bits	2048 de 12 bits. Organizada en páginas de 512 palabras	Registros de 8 bits. Bancos de 32 registros cada uno	<ul style="list-style-type: none"> – No tiene interrupciones – Entradas y salidas limitadas – 1 comparador – 1 temporizador 	
Media	35 de 14 bits	8192 de 14 bits. Organizada en palabras de 2k	Registros de 8 bits. Bancos de 120 registros cada uno	<ul style="list-style-type: none"> – Contiene un vector de interrupción – Varios puertos de entradas y salidas – Comparadores – Temporizadores 	
Alta	58 de 16 bits	65536 de 16 bits.	Registros de 8 bits		

Fuente: Autor

1.3.2.2. Recursos de los microcontroladores

Independientemente de la marca o fabricante los microcontroladores tienen características básicas y comunes basadas en la estructura interna de los mismos, como son:

A. Procesador o CPU

El procesador se encarga del procesamiento de la información proveniente del exterior, permite coordinar las operaciones del sistema y los dispositivos periféricos.

B. Memoria

En los microcontroladores es el lugar donde se almacenan todas las instrucciones del programa de control.

Para su correcto funcionamiento es necesario que el microcontrolador posea diferentes tipos de memorias que son:

- Memoria RAM (Random Access Memory)
- Memoria ROM (Read Only Memory)
- Memoria EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)
- Memoria EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory)
- Memoria Flash

C. Líneas de Entrada/Salida

También llamados puertos, se emplean para comunicar el cerebro del microcontrolador con los diferentes periféricos para su lectura o escritura según sea el caso.

D. Reloj principal

“Todos los microcontroladores PIC disponen de un oscilador interno que es el que determina la frecuencia de los impulsos de reloj” (Aguayo, 2004).

E. Compilador

Un compilador es un programa que permite convertir a lenguaje máquina las instrucciones escritas en otro lenguaje, para que así sean entendibles por el microcontrolador.

F. Simulador

Un simulador es un programa informático que permite probar un sistema de forma virtual antes de realizarlo en la realidad. Se trata de una herramienta que permite verificar el correcto funcionamiento del programa.

1.4. INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

La instrumentación virtual es el uso de software personalizable y hardware de medición modular para crear sistemas definidos por el usuario, llamados instrumentos virtuales.

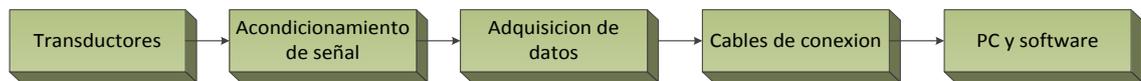
Tabla 5: Instrumentos Tradicionales vs. Virtuales

Instrumento tradicional	Instrumento virtual
Definido por el fabricante	Definido por el usuario
Funcionalidad específica, con conectividad limitada.	Funcionalidad ilimitada, orientado a aplicaciones, conectividad amplia.
Hardware es la clave	Software es la clave
Alto costo/función	Bajo costo/función, variedad de funciones, reusable.
Arquitectura “cerrada”	Arquitectura “abierta”
Lenta incorporación de nuevas tecnologías.	Rápida incorporación de nuevas tecnologías, gracias a la plataforma PC.
Bajas economías de escala, alto costo de mantenimiento.	Altas economías de escala, bajos costos de mantenimiento.

Fuente: Rivera, R. R. (2010). *Instrumentación virtual aplicada al estudio de sistemas complejos*. Universidad Nacional de Mar de Plata.

Las aplicaciones basadas en instrumentación virtual, tienen una estructura que se divide en tres componentes fundamentales: hardware de adquisición de datos y acondicionamiento de señal, computador personal y software. Además son necesarios algunos elementos para interconectar los sistemas, organizándose de la siguiente manera:

Diagrama 9: Sistema basado en instrumentación virtual



Fuente: Autor

1.4.1. PROGRAMACIÓN GRÁFICA

Una de las plataformas utilizadas en los sistemas de instrumentación virtual es LABVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench). Se trata de una interfaz gráfica de usuario y programación visual basada en instrumentación computarizada. Para crear aplicaciones se utiliza iconos en lugar de líneas de texto, permitiendo crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla.

La programación de LABVIEW puede ser definido como capas de hardware y software, añadido a un ordenador personal de tal manera que el ordenador actúa como un instrumento de diseño personalizado.

Lo que los programas realizados en LABVIEW se llaman Instrumentos Virtuales o VI (por sus siglas en inglés). La instrumentación virtual es un campo interdisciplinario que combina la detección y las tecnologías de hardware y software con el fin de crear instrumentos sofisticados para aplicaciones de control y monitoreo.

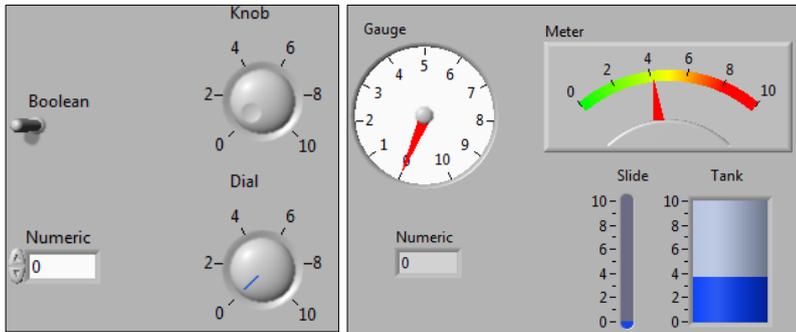
Cada VI usa funciones que manipulan entradas de la interfaz de usuario u otras fuentes y muestran la información o mueven esta hacia otros archivos o Panel frontal.

La interfaz de usuario del VI se conoce como el panel frontal, la construcción del panel frontal se realiza con controles e indicadores, los cuales permiten de forma interactiva generar respectivamente entradas y salidas del VI.

Los controles permiten simular de dispositivos de entrada para alimentar datos a los diagramas de bloque del VI.

Los indicadores simulan instrumentos de dispositivos de salida y permiten visualizar datos que se adquieren en el diagrama de bloques.

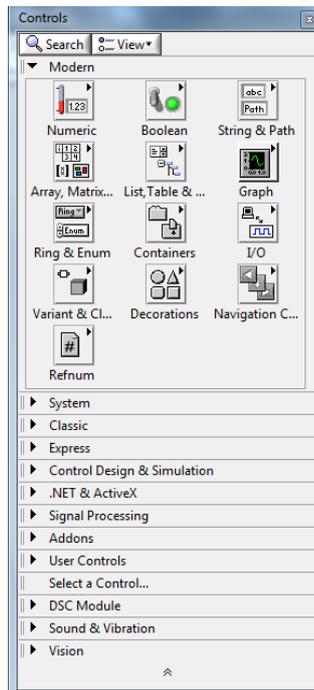
Figura 8: Controles e indicadores



Fuente: Autor

Para colocar terminales en el panel frontal se utiliza la paleta de controles.

Figura 9: Paleta de controles



Fuente: Autor

Cualquier elemento del panel frontal puede ser utilizado como control o indicador, e incluso se puede modificar las propiedades como son tamaño, ubicación entre otras mientras se encuentra en la simulación.

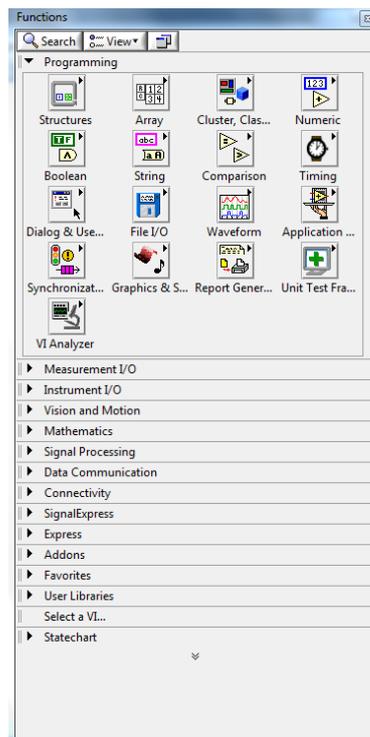
1.4.1.1. Diagrama de bloques

Después de realizar la construcción y personalización del panel frontal, LABVIEW permite añadir código mediante una representación gráfica de funciones.

El diagrama de bloques contiene el código gráfico, cada objeto del panel frontal aparece como un terminal en el diagrama de bloques, además también es permitida la inserción de código C y bloques de fórmulas de MATLAB, entre otros.

Para colocar terminales en el diagrama de bloques se utiliza la paleta de funciones.

Figura 10: Paleta de funciones



Fuente: Autor

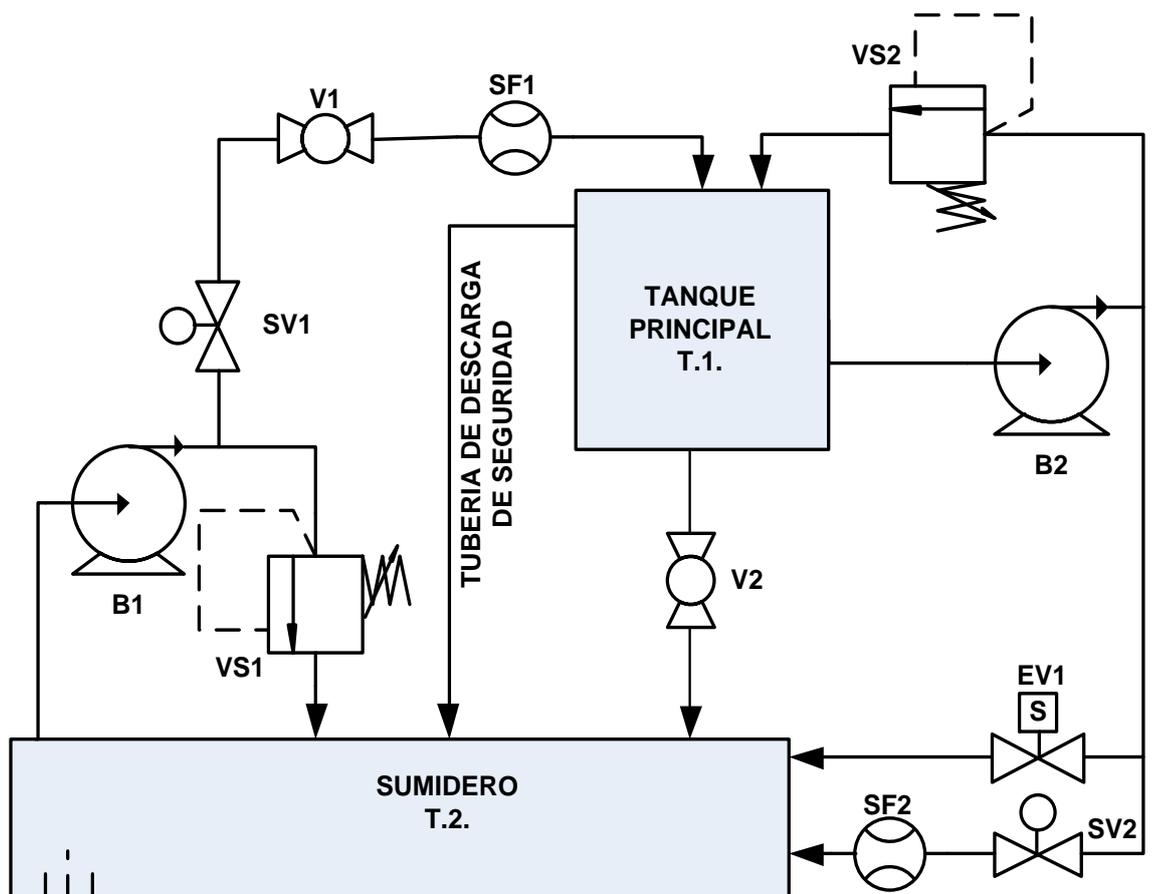
CAPÍTULO II

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL

2.1. MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE NIVEL

El módulo didáctico para control de nivel de líquidos, tiene como objetivo fundamental complementar el aprendizaje de los estudiantes de sistemas de control mediante la calibración de compensadores PID, control manual y control ON-OFF con histéresis, para controlar una variable física en un sistema real a través de un sistema de instrumentación virtual.

Diagrama 10: Esquema del módulo didáctico de control de nivel



Fuente: Autor

Tabla 6: Descripción y características de los principales elementos del módulo

Código	Descripción	Características
T.1.	Tanque control	23 litros de capacidad
T.2.	Tanque sumidero	26 litros de capacidad
S.F.1.	Sensor de flujo 1	2 a 40 [l/min]
S.F.2.	Sensor de flujo 2	2 a 40 [l/min]
SV-1	Servo válvula	0-5 [V]
SV-2	Servo válvula	0-5 [V]
Ev-1.	Electroválvula	12 [V]
V-1	Válvula de bola	Control manual
V-2	Válvula de bola	Control manual
B-1	Bomba de llenado	120 V AC, 60Hz
B-2	Bomba de vaciado	120 V AC, 60Hz
VS-1	Válvula de seguridad	
VS-2	Válvula de seguridad	

Fuente: Autor

2.1.1. DISEÑO DE LA PLANTA DE CONTROL DE NIVEL

En esta sección se diseña la parte mecánica del sistema de medición de nivel, la misma que está conformada por:

- Tanque de control
- Tanque sumidero
- Estructura mecánica
- Sistema de tuberías

2.1.1.1. Diseño de tanques

Para el diseño de los tanques se tomaron en cuenta las siguientes variables:

- Volumen a controlar.
- Tipo de fluido.
- Tipo de material y
- Distribución de los elementos de tubería.

A. *Tanque de control.*

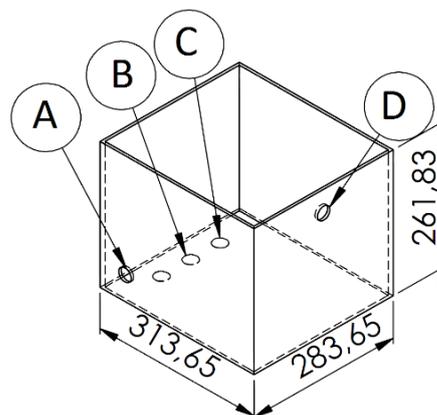
En el tanque de control se visualizará la variable principal que es el nivel del líquido, al estar dirigido el presente proyecto a uso didáctico se decide realizar los tanques de vidrio, ya que facilita la visualización de la variable controlada.

Para el dimensionamiento del tanque de control, se toma en cuenta la distribución de las entradas y salidas de tubería, en el mercado existen acoples para tanque con su diámetro mínimo de 8 [cm] aproximadamente y además es necesario dejar espacio entre uno y otro para realizar la instalación. El tanque tiene las siguientes dimensiones:

- Ancho: 28.36 [cm]
- Largo: 31.36 [cm]
- Alto: 26.18 [cm]

Para evitar que el líquido se desborde se realiza un orificio para descarga de seguridad a una altura de 20 [cm], limitando el volumen a controlar a 17.8 [l]

Figura 11: Tanque de control



Fuente: Autor

- A) Orificio de ingreso de líquido.
- B) Un ingreso controlado de perturbación y un ingreso controlado y medido de perturbaciones
- C) Un ingreso manual de perturbaciones.
- D) Orificio para ubicar la descarga de seguridad.

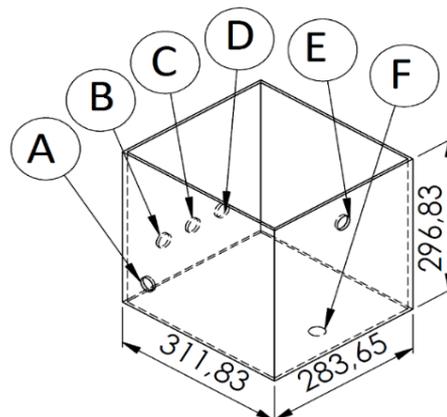
B. Tanque sumidero.

La función principal del tanque sumidero es almacenar el agua para ser enviada hacia el tanque de control, por lo cual debe tener una capacidad mayor y está diseñado con las siguientes dimensiones:

- Ancho: 283.65 [cm]
- Largo: 311.83 [cm]
- Alto: 296.83 [cm]

Con estas dimensiones se tiene una capacidad total de agua de 26.25 [l], a continuación se ilustra la ubicación de los orificios y su descripción.

Figura 12: Tanque sumidero



Fuente: Autor

- A) Orificio de succión para elevar el agua al tanque de control.
- B) Retorno de agua desde el tanque principal mediante una electroválvula
- C) Retorno de agua desde el tanque principal mediante una servoválvula
- D) Retorno de agua desde el tanque principal mediante una válvula manual.
- E) Descarga de seguridad.
- F) Desagüe para mantenimiento

2.1.1.2. Selección del espesor del vidrio.

Para la selección del espesor del vidrio se debe conocer la presión ejercida por el líquido en la base del tanque, para lo cual se hace uso de la ecuación 1.

$$P = \rho \times g \times h$$

$$P = 1000 \times 9.8 \times 0.26$$

$$P = 2548 [Pa]$$

Esta presión será lo máximo que deberá soportar los tanques.

Tabla 7: Selección de grosor de vidrio

Altura h (cm)	LONGITUD DEL TANQUE (cm)				
	30	40	50	60	70
80	10 mm	10 mm	10 mm	12 mm	12 mm
70	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm
60	6 mm	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm
50	6 mm	6 mm	6 mm	10 mm	10 mm
40	6 mm	6 mm	6 mm	6 mm	6 mm
30	5 mm	5 mm	6 mm	6 mm	6 mm
20	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm

Fuente: Autor

Se toma en cuenta que se diseña en base al tanque de mayor capacidad, el cual es el tanque sumidero, se puede observar de la tabla anterior que es necesario utilizar un vidrio de 5 [mm] de espesor para soportar la presión máxima ejercida por el líquido, tomando en cuenta que en la tabla ya está considerado un factor de seguridad adecuado.

2.1.2. ANÁLISIS DE ESTRUCTURA MECÁNICA

El diseño de la estructura mecánica se realizó tomando en cuenta las cargas a las que está sometida la estructura.

Peso producido por el tanque de control:

$$Peso_{H_2O} = \rho \times V \times g \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

ρ : Densidad $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

V : Volumen $[m^3]$

g : Gravedad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

$$Peso_{H_2O} = 1000 \times 0.02 \times 9.8$$

$$Peso_{H_2O} = 196 [N]$$

Peso producido por el tanque de sumidero:

$$Peso_{H_2O} = 1000 \times 0.026 \times 9.8$$

$$Peso_{H_2O} = 254.8 [N]$$

Con estos pesos calculados, se procede a calcular el máximo esfuerzo cortante que soporta la estructura mecánica, para ello asumiremos un ángulo estructural ASTM36 cuyas características son:

- Dimensiones: 1/1/1/8"
- Resistencia a la tensión: 70 [Ksi], 480 [Mpa]
- Resistencia a la fluencia: 50 [Ksi], 345 [Mpa]

$$\tau_{max} = \frac{3V}{2A} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

τ_{max} : Esfuerzo cortante máximo [MPa]

V : Fuerza de corte [N]

A : Área transversal del soporte $[m^2]$

$$\tau_{max} = \frac{3 \times (254.8 + 196)}{2 \times (0,003171)} = 0,108 [MPa]$$

De los cálculos anteriores se puede deducir que el ángulo estructural seleccionado ASTM36 tiene características de resistencia superiores a lo que la estructura tiene que soportar.

2.1.3. DISEÑO DE TUBERÍAS

Para la instalación de tuberías se utilizó Hidro 3 la cual soporta una presión hidrostática de hasta 19 Bares (Véase ANEXO D).

Para la realización de las conexiones entre los tanques se utiliza los siguientes elementos:

Tabla 8: Accesorios para la instalación de tuberías

		
Codo 90° roscable 1/2 y 3/4 in	Te de 90° roscable 1/2 in	Adaptador roscable 1/2 in
		
Unión de reducción roscable 3/4 a 1/2 in	Unión universal roscable 1/2 in	Neplo roscable 1/2 y 3/4 in

Fuente: Autor

Para la instalación de tubería

- Cortar la tubería en la distancia adecuada.
- Realizar la rosca en la tubería.
- Sellar con cinta teflón las uniones roscadas de PVC.
- Ajustar manualmente o mediante llave de tubo.

2.1.3.1. Análisis de pérdidas

A. Ingreso de agua al tanque principal

Figura 13: Tramo de ingreso de agua al tanque principal



Fuente: Autor

El primer tramo consta de tubería de 1", con una longitud total de 0.5m, con los siguientes accesorios:

Tabla 9: Cálculo factor k tubería 1" en el ingreso de agua al tanque principal

Accesorio	Cantidad	Factor k	Factor k total
Ampliación de 1/2" a 1"	1	0.44	0.44
Codo 90° 1"	2	0.75	1.50
Reductor de 1" a 1/2"	1	0.16	0.16
			2.10

Fuente: Autor

Figura 14: Tramo 1 tubería 1"



Fuente: Autor

Además consta de tubería de ½”, con una longitud total de 1.3m, con los siguientes accesorios:

Tabla10: Cálculo factor k tubería ½” en el ingreso de agua al tanque principal

Accesorio	Cantidad	Factor k	Factor k total
Salida brusca del tanque	1	0.78	0.78
Codo 90° ½”	2	0.81	1.62
Unión T flujo recto	1	0.54	0.54
Válvula de bola	2	0.08	0.16
Entrada brusca del tanque	1	1	1
			4.10

Fuente: Autor

Figura 15: Tramo 1 tubería 1/2”



Fuente: Autor

A continuación se realiza el cálculo del caudal máximo de 40 l/min y la obtención de la altura dinámica necesaria para elevar dicho caudal.

Tubería de 1”

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

A: área transversal del paso de flujo [m²]

D: diámetro interno de la tubería [m]

$$A = \frac{\pi(0.023965)^2}{4}$$

$$A = 4.5 \times 10^{-4} [m^2]$$

Después de obtener el área se procede a calcular la velocidad media en la tubería.

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

V: velocidad del flujo [m/s]

Q: caudal [m^3/s]

A: área interna de la tubería [m^2]

$$V = \frac{6.67 \times 10^{-4}}{4.5 \times 10^{-4}}$$

$$V = 1.48 [m/s]$$

A continuación se calcula el número de Reynolds, se obtiene la viscosidad y densidad de la tabla de propiedades del agua (Véase ANEXO I).

$$N_R = \frac{\rho V D}{\mu} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

N_R : Número de Reynolds

ρ : Densidad del líquido [$\frac{Kg}{m^3}$]

V: Velocidad [$\frac{m}{s}$]

D: Diámetro interno de la tubería [m]

μ : Viscosidad dinámica del fluido [$\frac{Ns}{m^2}$]

$$N_R = \frac{997 \times 1.48 \times 0.0239}{8.91 \times 10^{-4}}$$

$$N_R = 39687.76$$

Se calcula la rugosidad relativa:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

ε_r : Rugosidad relativa

ε : Rugosidad del material [m]

D: Diámetro interno de la tubería [m]

$$\varepsilon_r = \frac{0.00000152}{0.023965}$$

$$\varepsilon_r = 0,00006342$$

Al tener el número de Reynolds y la rugosidad relativa se puede obtener el coeficiente de fricción con la ayuda del diagrama de Moody (Véase ANEXO K).

$$f = 0.02 \quad \text{Ecuación 10}$$

Tubería de 1/2"

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0.0145)^2}{4}$$

$$A = 1.65 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Después de obtener el área se procede a calcular la velocidad media en la tubería.

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

$$V = \frac{6.67 \times 10^{-4}}{1.65 \times 10^{-4}}$$

$$V = 4.03 \text{ [m/s]}$$

A continuación se calcula el número de Reynolds, se obtiene la viscosidad y densidad de la tabla de propiedades del agua.

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

$$N_R = \frac{997 \times 4.03 \times 0.0145}{8.91 \times 10^{-4}}$$

$$N_R = 65504.07$$

Se calcula la rugosidad relativa:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D}$$

$$\varepsilon_r = \frac{0.00000152}{0.0145}$$

$$\varepsilon_r = 0,0001048$$

Al tener el número de Reynolds y la rugosidad relativa se puede obtener el coeficiente de fricción con la ayuda del diagrama de Moody.

$$f = 0.022$$

Al obtener todos los resultados podemos calcular la pérdida de carga total que es la suma de las pérdidas primarias y secundarias en cada diferente diámetro de tubería.

$$h_l = \frac{1}{2 * g} \left[\left(\frac{Q_1}{A_1} \right)^2 \left(f \frac{L_1}{D_1} + k \right) + \left(\frac{Q_2}{A_2} \right)^2 \left(f \frac{L_2}{D_2} + k \right) \right] \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

g: Gravedad [$\frac{m}{s^2}$]

D: Diámetro interno de la tubería [m]

$$h_l = \frac{1}{2 \times 9.8} \left[\left(\frac{6.67 \times 10^{-4}}{4.5 \times 10^{-4}} \right)^2 \left(0.02 \frac{0.5}{0.02395} + 2.10 \right) + \left(\frac{6.67 \times 10^{-4}}{1.65 \times 10^{-4}} \right)^2 \left(0.022 \frac{1.3}{0.0145} + 4.10 \right) \right]$$

$$h_l = 5.344[m]$$

Se calcula la altura dinámica del sistema:

$$h_a = h_l + (z_2 - z_1) \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

z_2 : Altura del orificio de ingreso de agua al tanque principal [m]

z_1 : Altura del orificio de salida de agua del tanque sumidero [m]

$$h_a = 5.344 + 0.30$$

$$h_a = 5.644[m]$$

Para la determinación de la potencia transmitida por la bomba al fluido, se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_{teórica} = h_a * \rho * g * Q_t \quad \text{Ecuación 13}$$

h_a : Altura dinámica del sistema [m]

ρ : Densidad [$\frac{kg}{m^3}$]

g: gravedad [$\frac{m^2}{s}$]

Q_t : Caudal total en la tubería [$\frac{m^3}{s}$]

$$P_{teórica} = 6.066 \times 1000 \times 9.8 \times 6.67 \times 10^{-4}$$

$$P_{teórica} = 39.651 [W]$$

Considerando que 1 HP equivale a 745 W se tiene que:

$$P_{teórica} = \frac{39.651}{745}$$

$$P_{teórica} = 0.053 [HP]$$

Para el cálculo de la pérdida de carga real, se considera el rendimiento mínimo de la bomba que es del 30%, por lo que se tiene:

$$P_{real} = P_{teórica} / 0.3 \quad \text{Ecuación 14}$$

$$P_{real} = \frac{0.053}{0.3}$$

$$P_{real} = 0.17 [HP]$$

B. Salida de agua del tanque de control

Figura 16: Tramo 2 salida de agua del tanque de control



Fuente: Autor

El primer tramo consta de tubería de 1", con una longitud total de 0.385m, con los siguientes accesorios:

Tabla 11: Cálculo factor k tubería 1"

Accesorio	Cantidad	Factor k	Factor k total
Ampliación de ½" a 1"	1	0.44	0.44
Codo 90° 1"	1	0.75	0.75
Reductor de 1" a ½"	1	0.16	0.16
			1.35

Fuente: Autor

Figura 17: Tramo 2 Tubería de 1"



Fuente: Autor

Además consta de tubería de ½", con una longitud total de 2.565 [m], con los siguientes accesorios:

Tabla 12: Cálculo factor k tubería ½"

Accesorio	Cantidad	Factor k	Factor k total
Salida brusca del tanque	1	0.78	0.78
Codo 90° ½"	10	0.81	8.1
Unión T flujo recto	2	0.54	1.08
Unión T en flujo perpendicular	2	1.62	3.24
Válvula de bola	1	0.08	0.08
Entrada brusca del tanque	1	1	1
			15

Fuente: Autor

Figura 18: Tramo 2 Tubería de 1/2"



Fuente: Autor

De los cálculos anteriores ya se obtuvo el valor de caudal, área, número de Reynolds por lo cual solo se reemplaza nuevos valores de resistencia en la fórmula de pérdida de carga total.

$$h_l = \frac{1}{2 * g} \left[\left(\frac{Q_1}{A_1} \right)^2 \left(f \frac{L_1}{D_1} + k \right) + \left(\frac{Q_2}{A_2} \right)^2 \left(f \frac{L_2}{D_2} + k \right) \right] \quad \text{Ecuación 15}$$

$$h_l = \frac{1}{2 * 9.8} \left[\left(\frac{6.67 \times 10^{-4}}{4.5 \times 10^{-4}} \right)^2 \left(0.02 \frac{0.385}{0.02395} + 1.35 \right) + \left(\frac{6.67 \times 10^{-4}}{1.65 \times 10^{-4}} \right)^2 \left(0.022 \frac{2.65}{0.0145} + 15 \right) \right]$$

$$h_l = 16.045[m]$$

Se calcula la altura dinámica del sistema:

$$h_a = h_l + (z_2 - z_1)$$

$$h_a = 16.045 - 0.30$$

$$h_a = 15.745[m]$$

Para la determinación de la potencia de la bomba se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_{teórica} = h_a * \rho * g * Q_t$$

$$P_{teórica} = 15.745 \times 1000 \times 9.8 \times 6.67 \times 10^{-4}$$

$$P_{teórica} = 102.918 [W]$$

Considerando que 1 HP equivale a 745 W se tiene que:

$$P_{teórica} = \frac{102.918}{745}$$

$$P_{teórica} = 0.138 [HP]$$

Para el cálculo de la pérdida de carga real, se considera el rendimiento mínimo de la bomba que es del 30%, por lo que se tiene:

$$P_{real} = P_{teórica}/0.3$$

$$P_{real} = \frac{0.138}{0.3}$$

$$P_{real} = 0.46 [HP]$$

2.2. SELECCIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES

2.2.1. SELECCIÓN DE SENSORES

2.2.1.1. Sensor de nivel

Es necesario tener una medida adecuada del nivel para que las acciones de control sean óptimas; por tanto, la selección de los sensores a utilizarse para la medición debe ser cuidadosa. Para la selección del sensor de nivel se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de líquido a medir
- Rango de medida
- Precisión
- Velocidad de respuesta
- Señal de salida
- Costos

Para la selección del sensor de nivel se realiza la siguiente tabla.

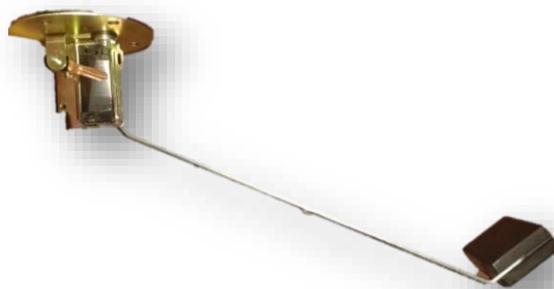
Tabla 13: Comparación de sensores de nivel

Tipo	Punto fijo		Continua	Precisión	Tanques		Desventajas	Ventajas
	Alta	Baja			Abiertos	Cerrados		
Ultrasónicos	Si	Si	Si	0,5~1%	Si	Si	Coste Medio	Materiales Opacos y transparentes, a prueba de explosión.
Presión diferencial	-	-	Si	-	Si	Si	Coste medio, posible obturación	Respuesta rápida.
Medidor de tipo desplazamiento	Si	Si	Si	0,5~1%	Si	Si	Expuesto a corrosión	Coste bajo, respuesta rápida, fácil limpieza.

Fuente: Autor

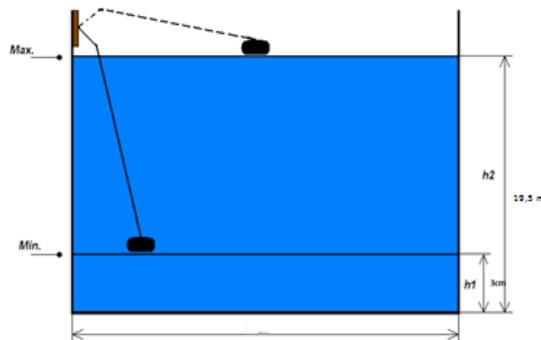
De acuerdo al análisis realizado en la tabla anterior se decide utilizar un sensor de desplazamiento positivo. Este tipo de sensor se usa para medir gasolina en los tanques de los automóviles, siendo de fácil acceso y de bajo costo.

Figura 19: Sensor de nivel de desplazamiento positivo



Fuente: Autor

Figura 20: Rango de operación del sensor de desplazamiento positivo



Fuente: Autor

C. Características del sensor de nivel utilizado:

- Se puede usar en tanques abiertos y cerrados.
- La operación de este dispositivo se basa en el principio de Arquímedes.
- La variación de la resistencia del sensor varía exponencialmente con la variación del nivel del líquido.
- Está constituido por un flotador pendiente de un brazo metálico conectado a una resistencia variable a quien transmite su movimiento.
- La resistencia variable tiene un rango de 10 a 30 [Ω].

Con el sensor de nivel de desplazamiento positivo se puede leer una variación de resistencia, voltaje o corriente, dependiendo del tipo de conexión que se realice. Para el desarrollo de este proyecto se decidió realizar una medición de nivel mediante la variación de voltaje en el sensor.

2.2.1.2. Sensor de flujo

Para tener una retroalimentación y un control más preciso de la planta se utilizó un sensor de flujo de paletas modelo MR-168, el cual nos sirve para medir la cantidad de agua que ingresa y sale del tanque de control y de esta manera realizar el accionamiento adecuado de los elementos de control.

El flujómetro genera un tren de pulsos dependiendo de la velocidad de flujo que atraviesa por el mismo, utilizando el principio de turbina.

Figura 21: Sensor de flujo de paletas



Fuente: Autor

Tabla 14: Características del sensor de flujo

Nº	Ítem	Parámetro	Comentario
1	Material del cuerpo	Nylon de fibra de vidrio	
2	Precisión	(2-40 [l/min])±10%	
3	Tensión nominal	DC=5 [V]	
4	Resistencia a la presión hidráulica	≤1.75 [MPa]	
5	Voltaje de operación	DC 5-24 [V]	Opcional
6	Resistencia de aislamiento	>100 [mΩ]	
7	Pulso de flujo	F=(7.8Q-3)	Q=L/min
8	Máxima tensión de salida por pulso	>DC4.7V(voltaje de entrada DC 5V)	
9	Mínima tensión de salida por pulso	<DC0.5V(voltaje de entrada DC 5V)	
10	Pulso de salida: ciclo de trabajo	50%±10%	
11	Salida	Digital	
12	Tamaño de interfaz	G ½" o (D=19mm)	

Fuente: Hoja de datos del sensor de caudal MR-168

2.2.1.3. Bombas de agua

La función de la bomba de agua es permitir al líquido del sistema fluir a través de las tuberías.

Para seleccionar la bomba de agua es necesario tomar en cuenta la mayor potencia calculada en el análisis de pérdidas del sistema, en este caso es de 0.46 HP. Visto que en el mercado no se encuentra bombas de esta potencia, se toma un motor de ½ HP lo cual cumple satisfactoriamente los requerimientos del sistema.

Para la selección se toma en cuenta los siguientes aspectos:

- Modelo QB-60
- Capacidad Máxima 40 [l/min]
- Cabezal máximo (Altura máxima de descarga) 40 [m]
- Potencia ½ [HP]

Tabla 15: Bomba eléctrica de corriente alterna

	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">MILANO WATER PUMP</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PUMP QB - 60 n. B</td> </tr> <tr> <td>Q. 5 ÷ 40 l./min.</td> <td>H. 38 ÷ 5 m</td> </tr> <tr> <td>H.max. 40 m.</td> <td>Q. max 40 l./min</td> </tr> <tr> <td>V. 110</td> <td>Hz 60 3450 min⁻¹</td> </tr> <tr> <td>kW. 0.37 HP 0.5</td> <td>In. 5.5 A 550 W.max</td> </tr> <tr> <td>C. 20 µF V. 300 v</td> <td>I.CI. B I.P. 44</td> </tr> <tr> <td>CE continuous duty</td> <td>thermally protected</td> </tr> </table>	MILANO WATER PUMP		PUMP QB - 60 n. B		Q. 5 ÷ 40 l./min.	H. 38 ÷ 5 m	H.max. 40 m.	Q. max 40 l./min	V. 110	Hz 60 3450 min ⁻¹	kW. 0.37 HP 0.5	In. 5.5 A 550 W.max	C. 20 µF V. 300 v	I.CI. B I.P. 44	CE continuous duty	thermally protected
MILANO WATER PUMP																	
PUMP QB - 60 n. B																	
Q. 5 ÷ 40 l./min.	H. 38 ÷ 5 m																
H.max. 40 m.	Q. max 40 l./min																
V. 110	Hz 60 3450 min ⁻¹																
kW. 0.37 HP 0.5	In. 5.5 A 550 W.max																
C. 20 µF V. 300 v	I.CI. B I.P. 44																
CE continuous duty	thermally protected																
Bomba seleccionada	Características de operación																

Fuente: Autor

2.2.1.4. Válvulas de bola

“Una válvula es un dispositivo mecánico destinado a controlar, retener, regular o dar paso a un fluido” (Smith, 2004).

Para la selección de la válvula se toma en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de fluido
- Material
- Presión
- Temperatura
- Diámetro

Figura 22: Válvula de bola



Fuente: Autor

Las válvulas de bola se utilizan para diferentes tipos de fluidos, permiten un cierre rápido mediante un giro 90° en la palanca. La válvula posee un orificio completo igual al diámetro de la misma, y su cierre se produce mediante una semiesfera en su interior.

La válvula de bola permite tener una baja caída de presión, y está construida con material metálico.

En el proyecto se utilizó tres válvulas de bola de ½ [in], para la introducción de perturbaciones manuales, para regulación manual de flujo a la entrada del tanque de control y para mantenimiento.

2.2.1.5. Electroválvula

Se utiliza una electroválvula con la finalidad de poder implementar mayores funcionalidades al sistema de control de nivel, en este proyecto se la utiliza para ingresar perturbaciones de manera controlada.

Para la selección de la electroválvula se toma en cuenta el diámetro de la tubería donde va a estar instalada, siendo este de $\frac{1}{2}$ ”, en el mercado se la encuentra con un accionamiento de 12 [V].

Figura 23: Electroválvula



Fuente: Autor

2.2.1.6. Servoválvulas

La servoválvula se la emplea para realizar un control en el flujo a través de la tubería, tanto a la entrada como a la salida del tanque de control.

Para la selección de la servoválvula de control se consideran los siguientes parámetros:

- El tipo de fluido que se utiliza es agua limpia
- La presión máxima ejercida por la bomba a la servoválvula es de 51 [PSI]
- El caudal máximo en la tubería es de 40 [l/min]

La servoválvula en el mercado rodean un valor de 1200 dólares, para fines didácticos se optó por construir una servoválvula, formada por una válvula de bola (actuador), un servomotor (parte motriz) que servirá para controlar la apertura de la válvula de control, entre 0% y 100% de su apertura.

Figura 24: Servo – válvula



Fuente: Autor

2.3. DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DE LA PLANTA DE CONTROL DE NIVEL

2.3.1. CIRCUITO DE CONTROL

La planta de control de nivel requiere para su buen funcionamiento la adquisición y control de las siguientes variables:

- Dos salidas analógicas que serán necesarias para controlar el ángulo de apertura de dos servoválvulas.
- Dos entradas digitales para la lectura de los pulsos generados por los flujómetros de paletas.
- Una salida digital para el control de la electroválvula.
- Dos salidas digitales para el control de las bombas eléctricas.
- Una entrada analógica para la lectura del sensor resistivo de nivel.

Para cumplir con los requerimientos se utilizó:

- La tarjeta DAQ-6009
- El microcontrolador PIC18F2550

2.3.2. TRATAMIENTO DE SEÑAL DEL SENSOR DEL NIVEL

El sensor de nivel va a ser alimentado con un voltaje de 5 VCD suministrado por la tarjeta DAQ-6009. Dando una variación de 0-5 V, en relación al nivel del

líquido. El sensor está conectado en la entrada ADC A0 ubicada en el pin 2 de la DAQ.

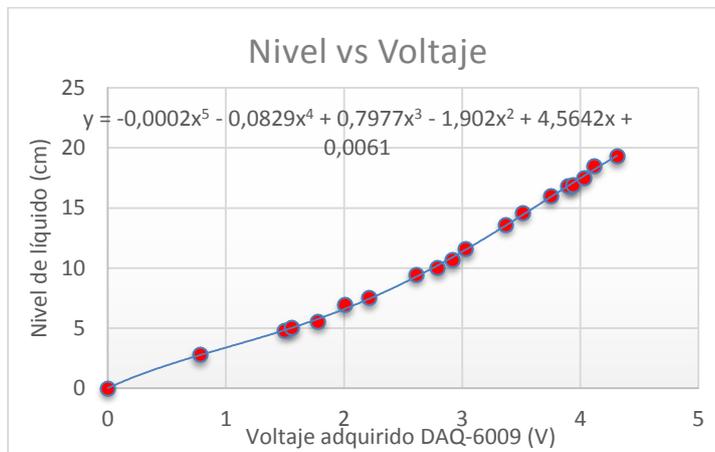
La señal entregada por el sensor no es lineal, debido a esto es necesario realizar una curva de equivalencias. En la siguiente tabla se detalla los datos del sensor de nivel.

Tabla 16. Comparación de Voltaje vs Nivel en el tanque de control

Voltaje [V]	Nivel [cm]
0	0
0,78	2,8
1,5	4,8
1,56	5
1,78	5,55
2,01	6,9
2,21	7,5
2,61	9,45
2,795	10
2,92	10,65
3,03	11,6
3,37	13,6
3,51	14,6
3,75	16
3,9	16,8
3,94	16,9
4,03	17,5
4,12	18,5
4,31	19,3

Fuente: Autor

Figura 25: Curva de funcionamiento del sensor de nivel



Fuente: Autor

Como se puede apreciar en la gráfica, el sensor de nivel resistivo no es totalmente lineal por lo que es necesario encontrar una curva de funcionamiento usando una regresión polinómica mediante las herramientas de Excel, dándonos por resultado:

$$h = -0.0002v^5 - 0.0829v^4 + 0.7977v^3 - 1.902v^2 + 4.5642v + 0.0061$$

Donde:

h : Altura del nivel de líquido en el tanque de control.

v : Voltaje suministrado por el sensor a la entrada ADC de la DAQ-6009.

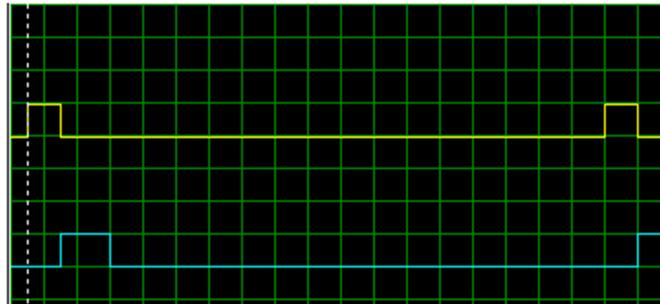
Con la linealización, el sensor de nivel tiene una medida precisa del nivel del líquido.

2.3.3. TRATAMIENTO DE SEÑAL PARA LA SERVOVÁLVULA

Para el accionamiento de las servoválvulas es necesario una generación especializada de pulsos con una variación entre 1000us y 2000us, LabVIEW no es capaz de generar el tren de pulso necesario para el correcto funcionamiento de las servoválvulas debido a que el reloj interno del computador es de 1KHz proporcionándonos variaciones de tiempo en el sistema de un mínimo de 1ms,

de tal manera que la servoválvula solo podría tener dos estados de funcionamiento; cerrado o abierto. Para la generación del tren de pulsos se utilizó el microcontrolador PIC18F2550 el cual envía la señal de control para la servoválvula.

Figura 26: Señal de pulso para controlar la servoválvula



Fuente: Autor

La señal de pulsos del servomotor trabaja en los siguientes rangos:

Tabla 17: Rangos máximos de funcionamiento de la servoválvula

Ángulo	Pulso en alto	Pulso en bajo
0°	0.5 ms	10-20ms
90°	1.5 ms	10-20ms
180°	2.5 ms	10-20ms

Fuente: Autor

Los ángulos intermedios se pueden obtener mediante la interpolación entre los valores mínimo y máximo.

En el sistema es necesario trabajar en el rango de 0°-90° debido a que la válvula de bola necesita $\frac{1}{4}$ de giro para pasar de cerrada a completamente abierta. Para eso el microcontrolador necesita generar una variación en el tren de pulsos para tener un giro total de 90°, se decidió tomar el rango de 45°-135° en el caso de corregir errores por defectos de fábrica de la válvula de bola.

Para generar el tren de pulsos, en el microcontrolador se utilizaron los siguientes recursos:

- Módulo ADC
- Timers

El módulo ADC (conversión analógica digital por sus siglas en inglés) nos permite tomar la señal generada por la DAQ-6009 la cual está en un rango de 0-5vdc, señal que debe ser acondicionada por el microcontrolador.

Una vez adquirida la señal analógica está es transformada a su equivalente en valor digital, como se usó un conversor ADC de 10 bits se tiene un rango de variación de 0-1023, este dato se lo utiliza en el temporizador.

Los temporizadores son recursos especiales del microcontrolador que sirven para generar tiempos sin interferir con el flujo del programa principal, antes de generar un tiempo es necesario saber las condiciones de trabajo del microcontrolador como son la frecuencia de trabajo y la configuración del temporizador mismo.

Para generar el tiempo se usa la siguiente ecuación:

$$T0 = 65536 - \frac{f_{osc} \times t}{4 \times preescaler} \quad \text{ecuación 18}$$

Donde:

f_{osc}: frecuencia de oscilación del microcontrolador [MHz]

t: tiempo programado [us]

En el primer caso de ubicar el servomotor en 45° se necesita un tiempo en alto de 1[ms], por lo tanto tenemos:

$$T0 = 65536 - \frac{48 \times 1000}{4 \times 4}$$

$$T0 = 65536 - 3000$$

$$T0 = 62536$$

En el caso de ubicar al servomotor en 135° se necesita un tiempo en alto de 2 [ms], por lo tanto tenemos:

$$T0 = 65536 - \frac{48 \times 2000}{4 \times 4}$$

$$T0 = 65536 - 6000$$

$$T0 = 59536$$

En el tiempo en bajo se decidió poner 15[ms], se calcula de la siguiente manera:

$$T0 = 65536 - \frac{48 \times 15000}{4 \times 4}$$

$$T0 = 65536 - 45000$$

$$T0 = 20536$$

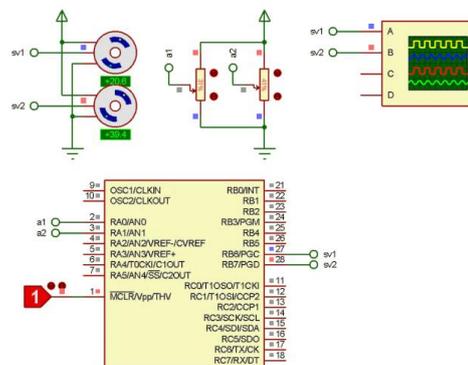
Así tenemos:

Tabla 18: Rango de funcionamiento de la servoválvula en el sistema

Ángulo [°]	Tiempo [ms]	Temporizador
45	1	62536
135	2	59536
apagado	15	20536

Fuente: Autor

Figura 27: Diagrama de conexiones de Servoválvulas



Fuente: Autor

Al momento de manejar el servomotor hay que tomar en cuenta el comportamiento de la válvula de bola a la que está acoplado, ya que no se tiene una variación lineal del flujo de agua que atraviesa la válvula en relación al ángulo de apertura de la misma. Para eso se tomó mediante datos experimentales los valores de caudal correspondientes a cada ángulo en el que se ubica la servoválvula, obteniendo lo siguiente:

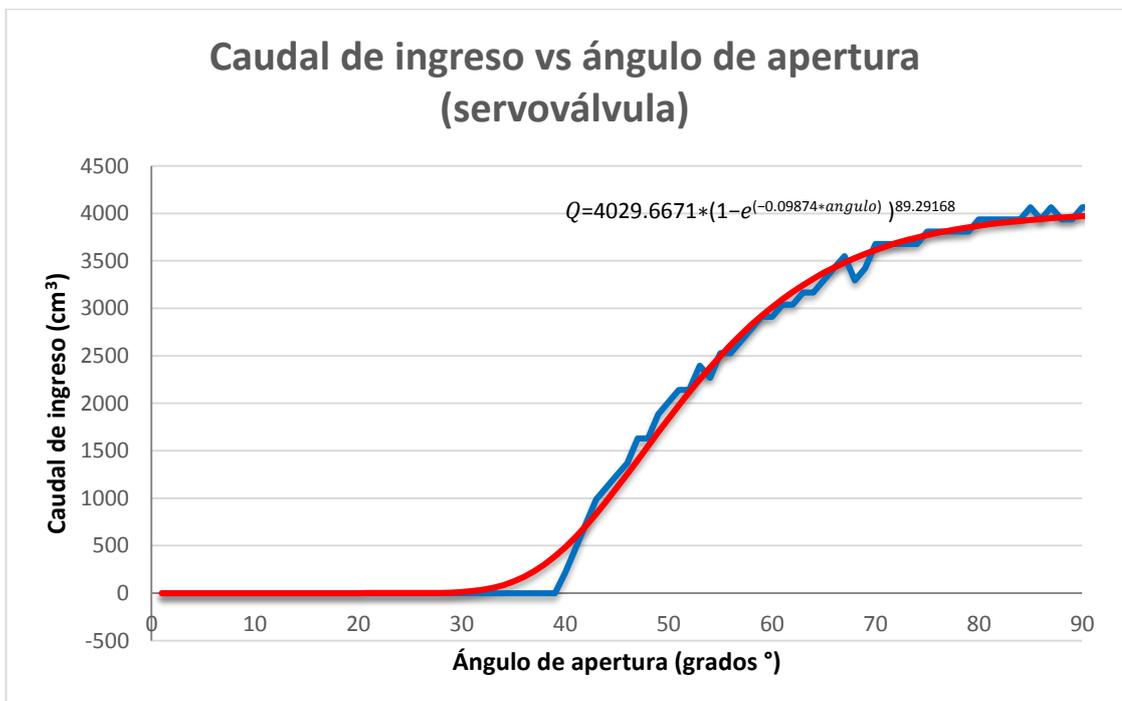
Tabla 19: Caudal vs ángulo de apertura de la servoválvula

Angulo [°]	Q [cm ³ /min]	Angulo [°]	Q [cm ³ /min]	Angulo [°]	Q [cm ³ /min]
0	0	30	0	60	3038
1	0	31	0	61	3167
2	0	32	0	62	3167
3	0	33	0	63	3,295
4	0	34	0	64	3423
5	0	35	0	65	3551
6	0	36	0	66	3295
7	0	37	0	67	3423
8	0	38	218	68	3679
9	0	39	474	69	3679
10	0	40	731	70	3679
11	0	41	987	71	3679
12	0	42	1115	72	3679
13	0	43	1244	73	3808
14	0	44	1372	74	3808
15	0	45	1628	75	3808
16	0	46	1628	76	3808
17	0	47	1885	77	3808
18	0	48	2013	78	3936
19	0	49	2141	79	3936
20	0	50	2141	80	3936

Angulo [°]	Q [cm ³ /min]	Angulo [°]	Q [cm ³ /min]	Angulo [°]	Q [cm ³ /min]
21	0	51	2397	81	3936
22	0	52	2269	82	3936
23	0	53	2526	83	4064
24	0	54	2526	84	3936
25	0	55	2654	85	4064
26	0	56	2782	86	3936
27	0	57	2910	87	3936
28	0	58	2910	88	4064
29	0	59	3038	89	4064
				90	4064

Fuente: Autor

Figura 28: Comportamiento de la servoválvula



Fuente: Autor

Al analizar los datos obtenidos se puede observar que se tiene un rango óptimo de funcionamiento es de desde los 38° hasta los 90°.

Con los datos se realiza una regresión exponencial para obtener una ecuación de la curva, la cual queda de la siguiente manera:

$$Q = 4029.6671 \times (1 - e^{-0.09874 \times \text{angulo}})^{89.29168}$$

Mediante esta curva se puede realizar un control de flujo óptimo, es decir que el sistema tendrá una mayor estabilidad al momento de modificar el ángulo de la servoválvula.

2.3.4. CIRCUITO DE FUERZA

Para la alimentación se ha requerido utilizar la tensión monofásica 110V AC, ya que los motores de las bombas y la fuente requieren de este tipo de alimentación, para obtener los voltajes de corriente continua se utiliza la fuente de computadora la que nos entrega 5 y 12 VDC para los dispositivos de control.

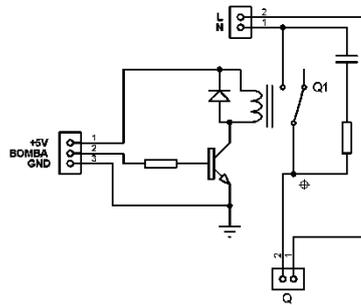
2.3.4.1. Dimensionamiento de potencia de las bombas

Para la conexión eléctrica desde el tablero de control a las bombas cuyo motor tiene una potencia de 0,5 [HP], se utilizó cable #14 ya que soporta una corriente de hasta 8.2 [A] que sobrepasa el requerimiento de los motores los cuales consumen 5.5 [A] cada uno.

Para el accionamiento se usó un contactor de 9 [A] y un relay térmico de 6 a 9 configurado a 6 [A], y a la vez esté conectado a un breaker de 16 [A] ya que está conectado en paralelo con los demás componentes de potencia que se irán detallando más adelante.

Para las señales de control dadas de la tarjeta de relays se usó cable #18.

Figura 29 Diagrama de conexiones de la placa de relés



Fuente: Autor

2.3.4.2. Dimensionamiento de potencia para la servoválvula

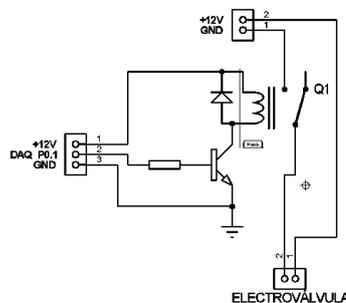
Para la conexión eléctrica desde el tablero de control a la servoválvula se usó un cable #18 que soporta una corriente de hasta 3.2 [A] (Anexo H) que sobrepasa el requerimiento de la misma.

2.3.4.3. Dimensionamiento de potencia para la electroválvula

Para la conexión eléctrica de la electroválvula desde el tablero de control se usó un cable #18 que soporta una corriente de hasta 3.2 [A] que sobrepasa el requerimiento de la misma.

La señal de control para la electroválvula está dada por un relé que nos permite conectar o desconectar una fuente de 12 [V] dada por la fuente de computadora. La señal del relé es activada mediante una salida digital de la DAQ-6009.

Figura 30: Diagrama de conexiones de electroválvula



Fuente: Autor

CAPÍTULO III

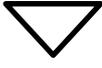
IMPLEMENTACIÓN

3.1. IMPLEMENTACIÓN DE ESTRUCTURA Y TUBERÍAS

3.1.1. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA

Simbología utilizada para la construcción del sistema de nivel.

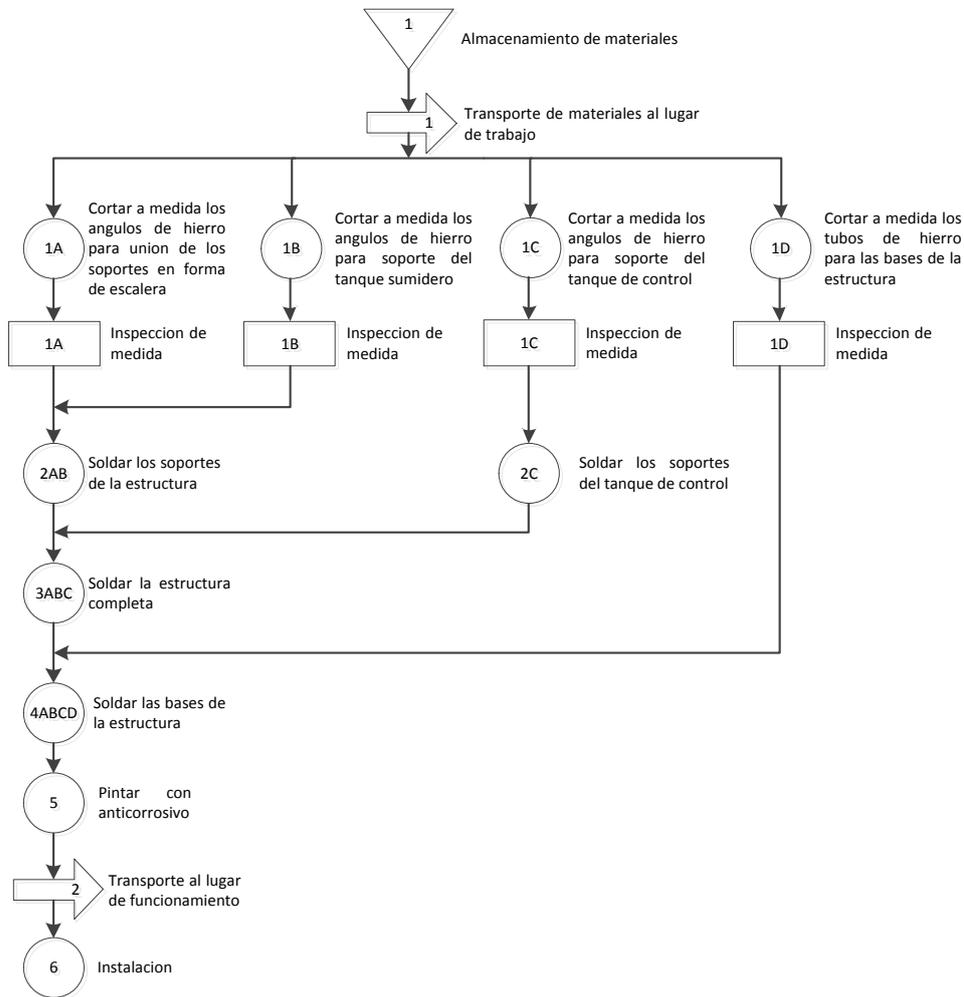
Tabla 20: Simbología de la norma ASME para diagramas de flujo

ACTIVIDAD	SIMBOLOGIA
Operación: Indica las fases del proceso.	
Inspección: Verificación de calidad y/o cantidad.	
Desplazamiento o Transporte: Movimiento de empleados, material y equipo de un lugar a otro.	
Depósito provisional o espera: Indica demora en el desarrollo de los hechos.	
Almacenamiento permanente: Indica depósito de un documento o información dentro de un archivo u objeto cualquiera en un almacén.	

Fuente: *Guía para la elaboración de Diagramas de Flujo.* (2009). MIDEPLAN.

A continuación se detalla el proceso tecnológico necesario para la construcción de cada elemento constituyente del módulo didáctico de control de nivel de líquidos, las dimensiones estarán expuestas en los respectivos planos.

Diagrama 11: Flujograma de construcción de la estructura mecánica



Fuente: Autor

Tabla 21: Construcción de la estructura mecánica

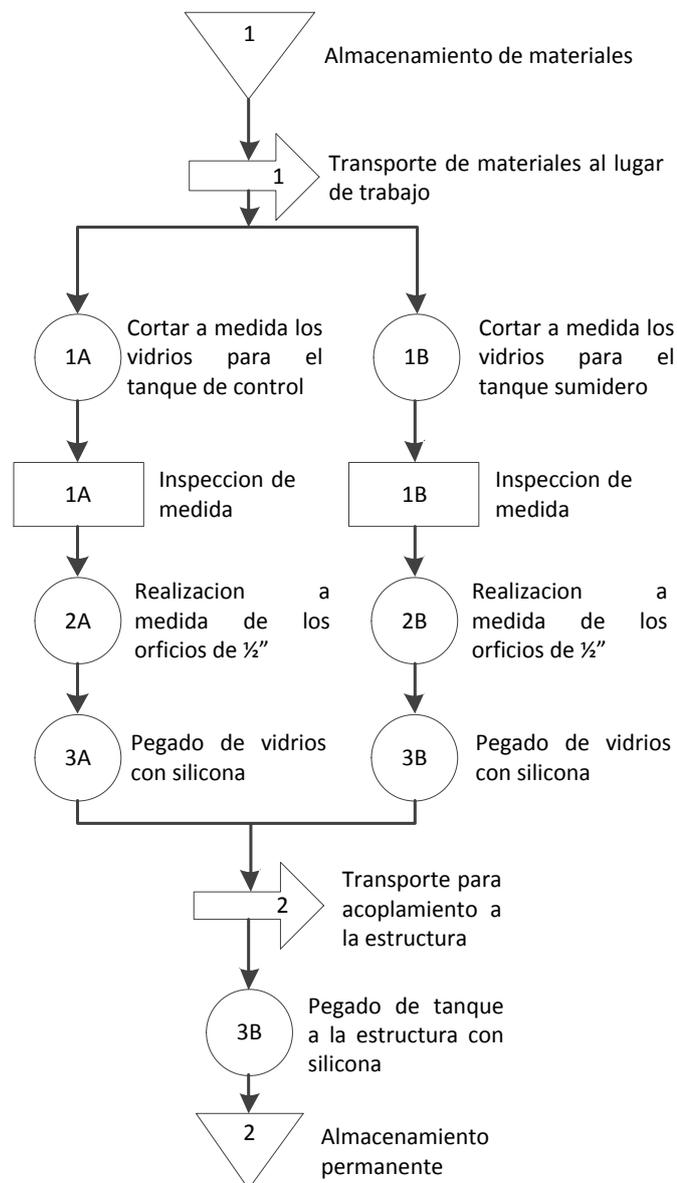
	
<p>1. Diseño 3D de la estructura mecánica</p>	<p>2. Construcción de la estructura mecánica</p>

Fuente: Autor

3.1.2. CONSTRUCCIÓN DE TANQUES DE AGUA

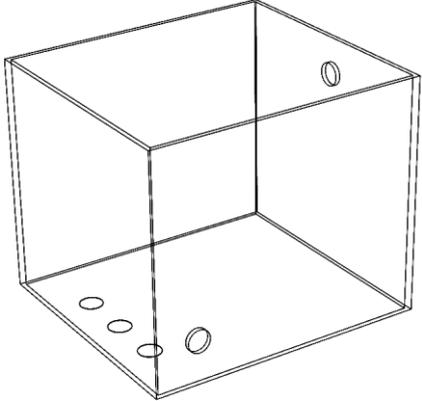
Para la construcción de los tanques de agua ya sea de control y el sumidero se utilizó vidrio de espesor de 5mm para tener la facilidad de observación del nivel del líquido a controlar, a continuación se expone en un diagrama de flujo las actividades más sobresalientes del proceso de construcción de los mismos.

Diagrama 12: Flujograma de construcción de tanques de agua



Fuente: Autor

Tabla 22: Diseño y construcción de tanque de agua

 Un diagrama de un tanque rectangular con líneas de trazo que indican su estructura tridimensional. Hay un pequeño círculo en la parte superior de la pared trasera y cuatro círculos más grandes en la parte inferior de la base.	<p>1) Diseño de tanques</p>
 Una fotografía de un tanque rectangular hecho de metal negro, con una estructura de tubos que forman un marco. El tanque está vacío y se ve el fondo de un espacio interior.	<p>2) Construcción de tanques</p>

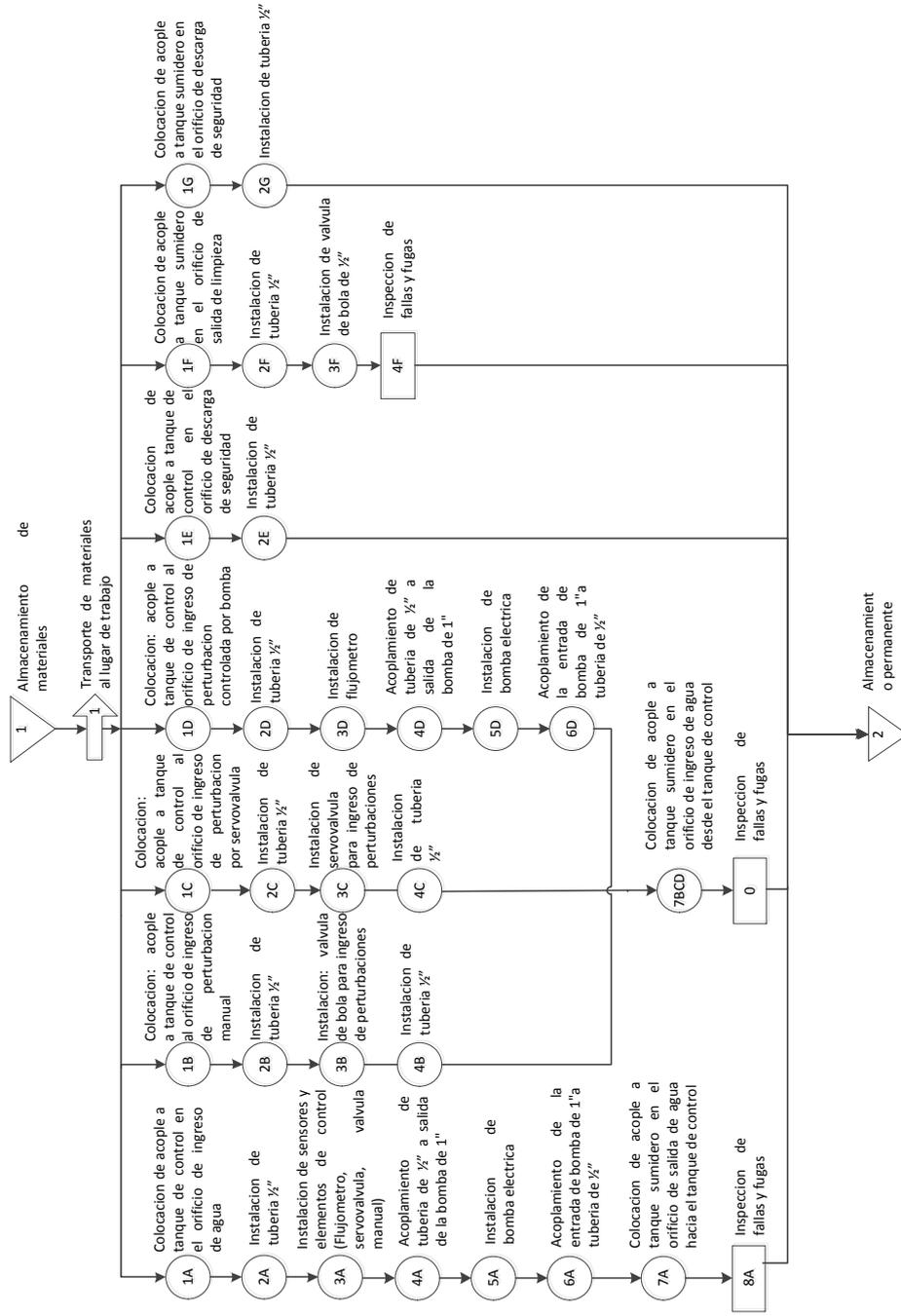
Fuente: Autor

3.1.3. INSTALACIÓN DE TUBERÍAS

Para la instalación se utilizó tubería Hidro 3, teflón y sellador en cada unión.

En cada sección se utilizó un acople universal, a continuación se detalla en el diagrama de flujo los pasos más importantes para la instalación de la tubería.

Diagrama 13: Flujograma de instalación de tuberías



Fuente: Autor

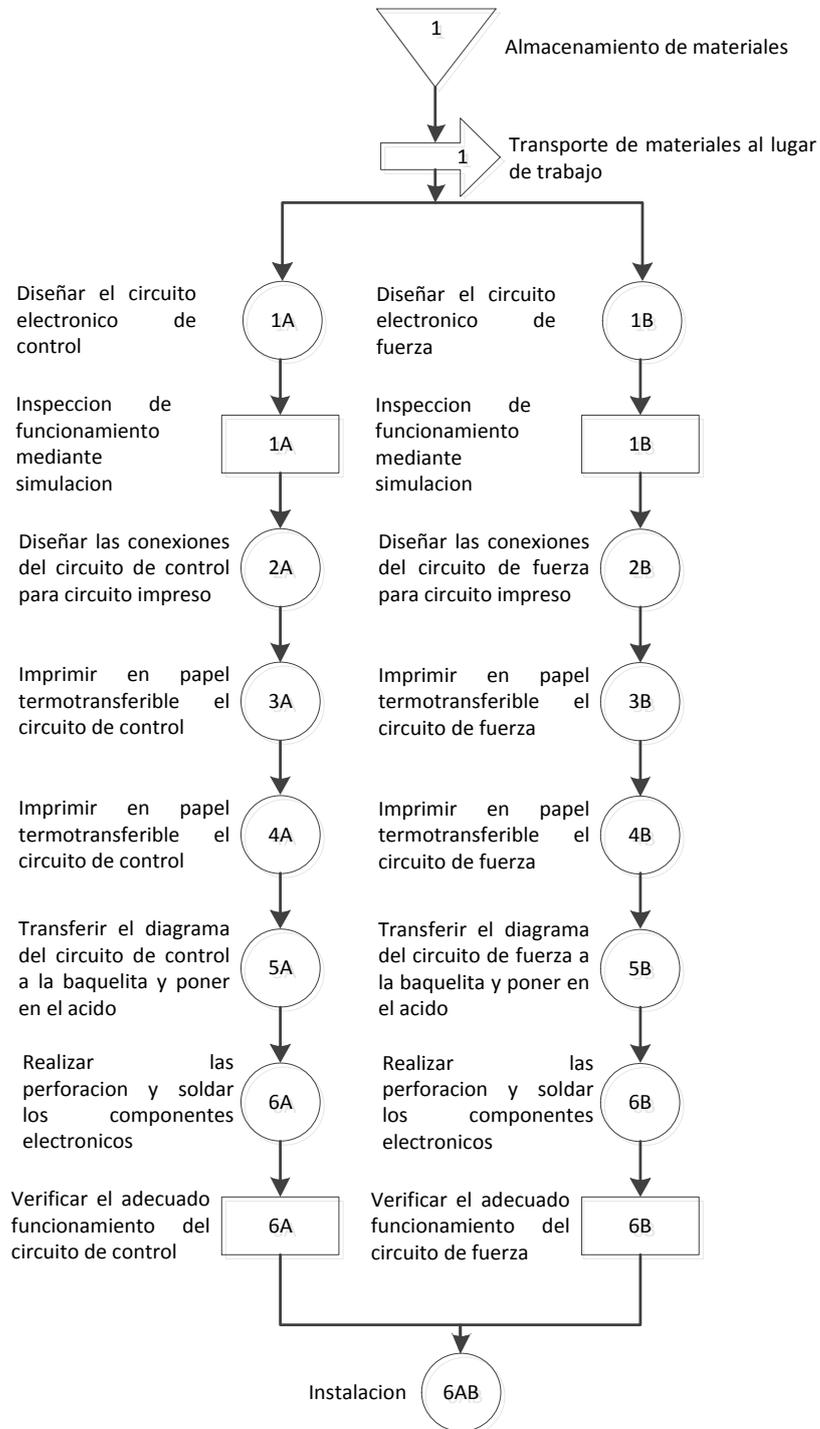
Tabla 23: Instalación de tuberías

	1) Instalación de acoples a los tanques
	2) Acople de reducción de tubería de 1" a 1/2"
	3) Instalación de tuberías
	4) Tubería instalada

Fuente: Autor

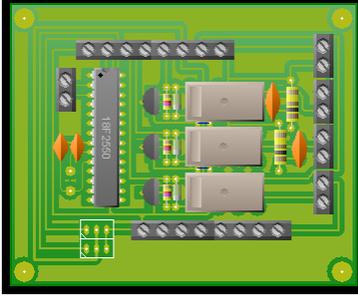
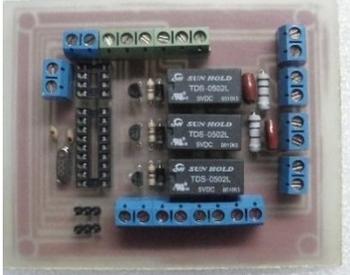
3.2. Implementación de hardware

Diagrama 14: Implementación de placas de los circuitos de control y fuerza



Fuente: Autor

Tabla 24: Implementación de circuitos electrónicos

	
<p>1) Diseño del circuito de control</p>	<p>2) Circuito de control implementado</p>
	
<p>3) Tablero de control</p>	<p>4) Circuito de fuerza implementado</p>

Fuente: Autor

3.3. Implementación de software

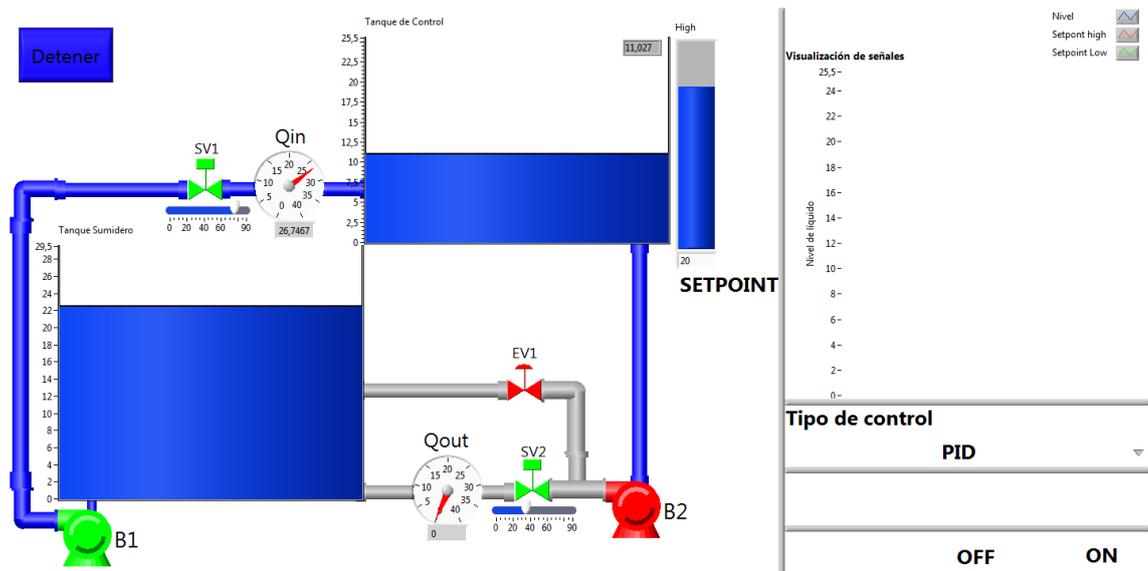
Para el diseño de control se utilizó la plataforma LabVIEW, mediante la cual se realizó la interfaz gráfica del módulo interactivo de control de nivel.

Dentro de la pantalla de la planta existe la opción de elegir el tipo de control a realizar ya sea manual o automático.

- **Control manual:** en este modo el usuario será capaz de manipular el funcionamiento de los diferentes actuadores, mientras sigue observando las señales obtenidas de todos los sensores.

- **Control automático:** dentro de este modo se puede seleccionar el tipo de control automático que se desea realizar ON-OFF y PID.

Figura 31: Aplicación realizada en Labview para la planta de control de nivel



Fuente: Autor

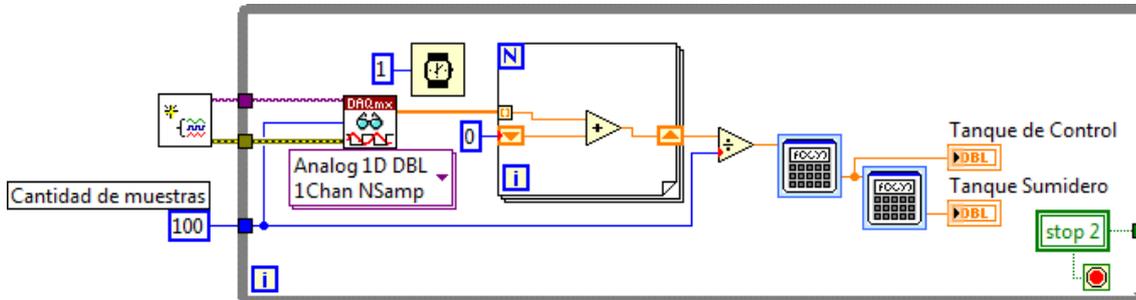
Elementos constitutivos del sistema de control

- 1) Botón para detener el funcionamiento del sistema
- 2) Indicadores de flujo de entrada y salida en L/min
- 3) Slider para ingresar el valor del SETPOINT de nivel máximo
- 4) Slider para ingresar el valor del SETPOINT de nivel mínimo
- 5) Indicador del nivel del tanque
- 6) Tipo de control seleccionado
- 7) Estado de bombas On-Off
- 8) Estado de la electroválvula
- 9) Estado de las servoválvulas (mostrando el ángulo de apertura)
- 10) Visualización de las señales de entrada y setpoints

La programación en LABVIEW se la realiza mediante diagramas de bloques interconectados, y dependiendo de las necesidades se puede insertar código de diferentes lenguajes de programación.

3.3.1. LECTURA Y VISUALIZACIÓN DEL SENSOR DE NIVEL

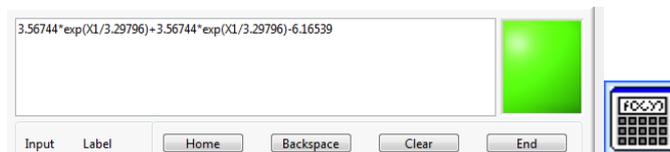
Figura 32: Ciclo de lectura del sensor de nivel



Fuente: Autor

El sensor de nivel está conectado a una entrada analógica (AI0), configurada como lectura de voltaje. Para mejorar la estabilidad de lectura se realizó un promedio a 100 muestras para proceder a la linealización del sensor mediante un diagrama de bloques denominado FÓRMULA, dentro del bloque se inserta la ecuación de linealización del sensor de nivel.

Figura 33: Bloque de FÓRMULA



Fuente: Autor

Seguidamente se procede a realizar directamente la visualización en el tanque de control.

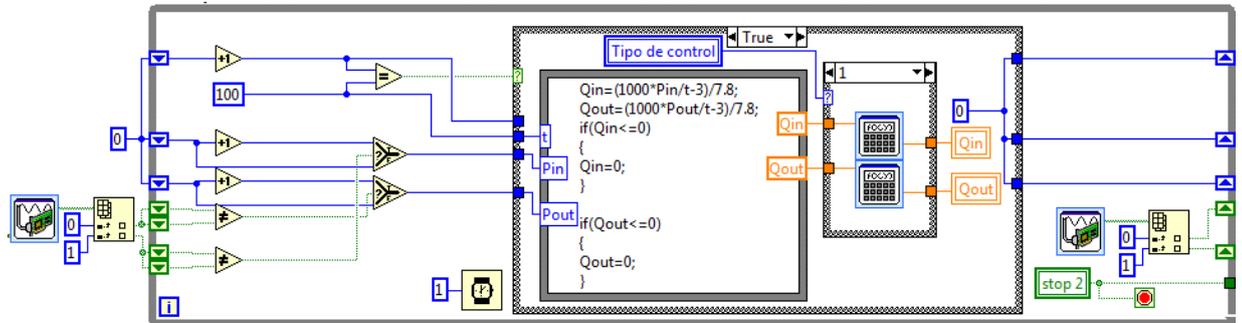
Figura 34: Tanque de control



Fuente: Autor

3.3.2. LECTURA Y VISUALIZACIÓN DEL SENSOR DE CAUDAL

Figura 35: Ciclo de lectura del sensor de caudal

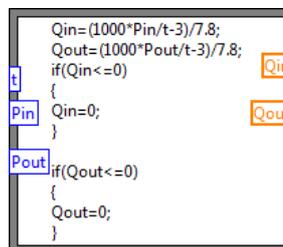


Fuente: Autor

Los sensores de caudal de entrada y salida de líquido del tanque principal están conectados en las entradas digitales P1.0 y P1.1 de la DAQ respectivamente.

Se realiza la lectura de pulsos mediante el constante muestreo de las entradas, dando un conteo positivo cada vez que se detecte un cambio de estado en el puerto, seguidamente se utiliza un FÓRMULA NODE, mediante el cual se puede ingresar código C, en este se realiza la transformación de los datos de pulsos en su equivalente a caudal mediante la ecuación dada por el fabricante y se realiza un filtro en caso de datos falsos dados en velocidades menores al límite diseñado.

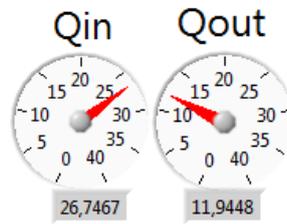
Figura 36: Transformación de pulsos a su equivalente en caudal



Fuente: Autor

Seguidamente se procede a realizar directamente la visualización en los correspondientes indicadores.

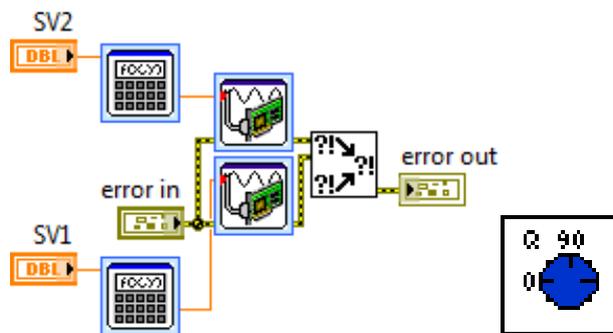
Figura 37: Visualización de los sensores de caudal



Fuente: Autor

3.3.3. ACTIVACIÓN DE SERVOVÁLVULAS

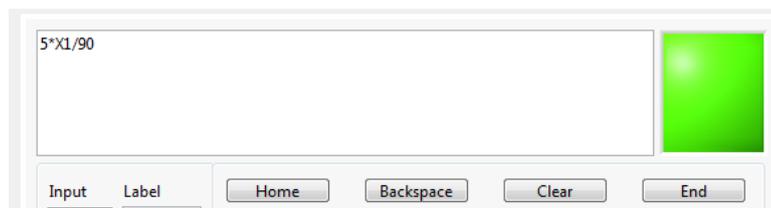
Figura 38: Ciclo de activación de servoválvulas



Fuente: Autor

Para la activación de las servoválvulas se utilizó SLIDERS con una variación de 0° a 90°, es necesario realizar la transformación en un rango reconocible por la DAQ, en nuestro caso 0 – 5V, por lo cual se acondicionó la señal de salida a la DAQ de la siguiente manera:

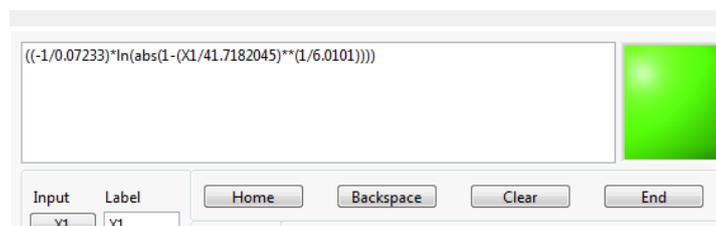
Figura 39: Transformación de ángulo a voltaje



Fuente: Autor

Al momento de activar la servoválvula, es necesario seleccionar el tipo de control a realizarse. En el caso de realizarse un control manual se utiliza simplemente la transformación de ángulo a voltaje, pero en el caso de realizarse un control automático es necesario utilizar la fórmula obtenida de los datos de caudal por cada grado de apertura de la servoválvula, de esta manera el control de flujo se estabiliza y deja de ser un sistema oscilatorio.

Figura 40: Fórmula de Caudal vs Ángulo de apertura (servoválvula)

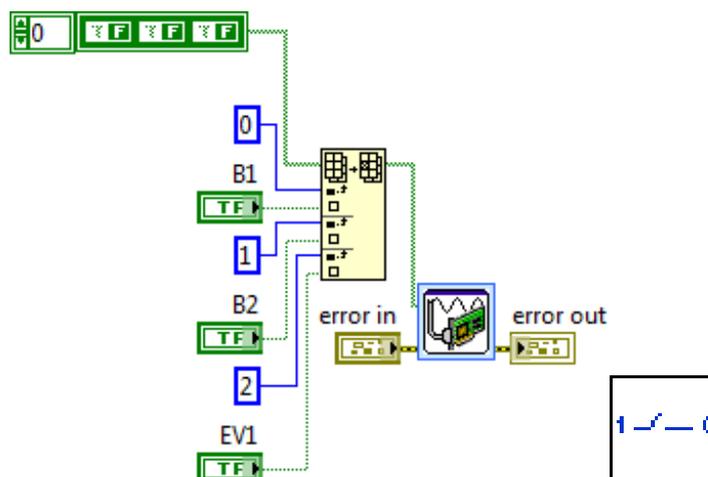


Fuente: Autor

3.3.4. VISUALIZACIÓN Y CONTROL DE BOMBAS Y ELECTROVÁLVULA

Las bombas de agua de entrada y salida de líquido al tanque principal y la electroválvula son controladas mediante las salidas digitales P0.0, P0.1 y P0.2 de la DAQ respectivamente, mediante su debida interfaz de potencia.

Figura 41: Control de bombas y electroválvula



Fuente: Autor

A. *Bombas de ingreso y salida de agua del tanque principal*

Figura 42: Representación del control de las bombas



Fuente: Autor

B. *Electroválvula para salida de agua*

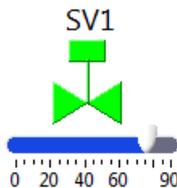
Figura 43: Representación del control de la electroválvula



Fuente: Autor

C. *Servoválvulas para ingreso y salida de agua*

Figura 44: Representación del control de la servoválvula



Fuente: Autor

3.3.5. SELECCIÓN DEL TIPO DE CONTROL

Los tipos de controles que se pueden realizar son:

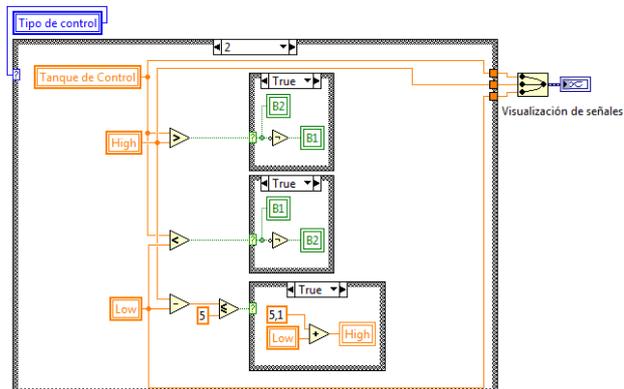
3.3.5.1. Manual

En el control manual, se puede modificar directamente el estado de cualquiera de los controladores mencionados anteriormente mientras se visualiza los efectos en el sistema.

3.3.5.2. On – Off

En el control On – Off, los únicos controles que pueden ser modificadas manualmente son el ángulo de las servoválvulas y la apertura o cierre de la electroválvula. Las bombas de agua se encienden y apagan automáticamente dependiendo de los setpoints establecidos por el usuario.

Figura 45: Control On - Off

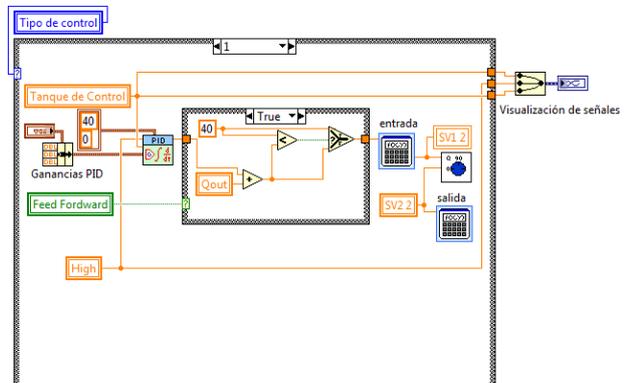


Fuente: Autor

3.3.5.3. PID

En el control PID, podemos controlar manualmente todos los controladores de salida, debido a que con estos ingresamos perturbaciones al sistema y así poder visualizar el comportamiento del mismo.

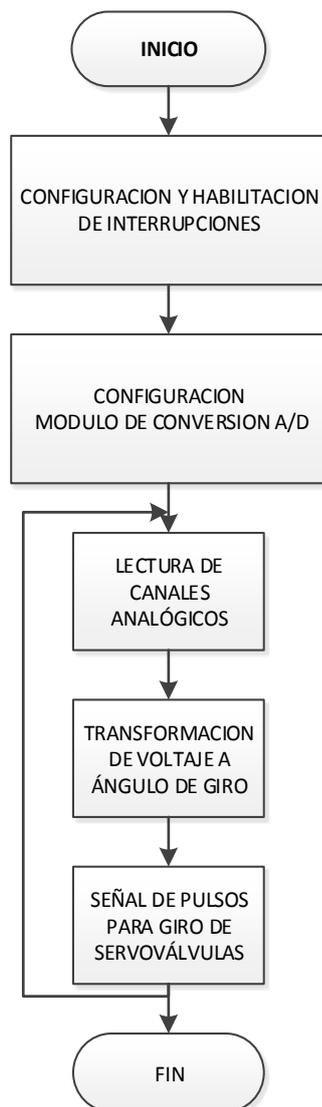
Figura 46: Control PID



Fuente: Autor

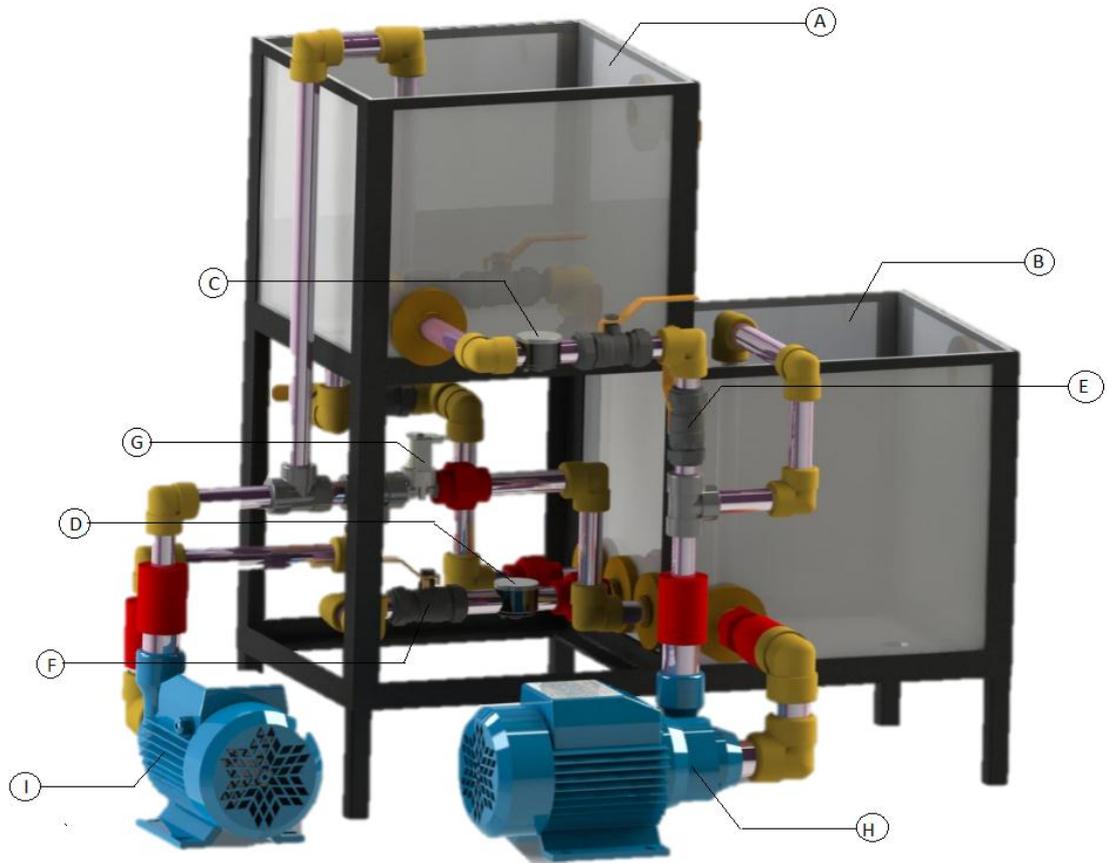
En el caso de que el switch de activación del control Feed-Forward se active, el sistema suma la variable de caudal que se está controlando con el caudal de salida leído y escribe la suma en el puerto analógico de la servoválvula de entrada para aumentar la velocidad de respuesta para de esta manera hacer más eficiente el sistema.

Diagrama 15: Flujograma del programa principal del microcontrolador



Fuente: Autor

Figura 47: Elementos constitutivos del módulo de control de nivel



Fuente: Autor

Las partes constitutivas de este módulo son:

- a) Tanque de control
- b) Tanque sumidero
- c) Flujómetro de paletas (medir la cantidad de flujo de ingreso)
- d) Flujómetro de paletas (medir la cantidad de flujo de desalojo)
- e) Servoválvula (entrada de perturbación)
- f) Servoválvula (control de flujo al ingreso)
- g) Electroválvula (control de salida)
- h) Bomba de agua (ingreso de agua)
- i) Bomba de agua (salida de agua)

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Con el módulo didáctico de control de nivel se logró implementar diferentes tipos de controladores tales como ON-OFF, P, PI, PD, PID y FEED-FORWARD, mediante un programa de instrumentación virtual con interacción en tiempo real, para que los estudiantes pueden realizar diversas prácticas de laboratorio y verificar el funcionamiento de los diferentes tipos de sensores y actuadores.
- El proyecto diseñado, construido y analizado proporciona un sistema funcional, flexible y capaz de incrementar los conocimientos a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica sobre la medición y control de nivel agua.
- Las instalaciones del módulo didáctico de control de nivel presentan gran adaptabilidad para la implementación de los diferentes tipos de control de nivel debido a que las señales de control para la activación de los diferentes actuadores son totalmente reprogramables.
- La interfaz computacional permite al usuario manejar de manera dinámica y sencilla los diferentes actuadores como son bombas, electroválvulas y servoválvulas, también la correcta visualización de los sensores de flujo y nivel de líquido.
- El sistema de tanques permite variar el nivel de agua contenida en ellos, utilizando bombas de agua y servoválvulas para poder regular la cantidad de agua que ingresa y sale del tanque de control.
- El tiempo de respuesta de los componentes utilizados influye directamente en la velocidad y exactitud de respuesta, en el caso de las servoválvulas el acoplamiento mecánico reduce la velocidad de respuesta de las mismas.

- Para la medición de nivel se utilizó un sensor resistivo de los tanques de gasolina el cual mediante una boya ubicada en el extremo mide la variación en el nivel del líquido, el sensor no es comparable con los transmisores comerciales pero tiene una buena función de transferencia teniendo un error mínimo en la lectura.
- En la medición de caudal se utilizó un sensor de paletas que tiene una zona no utilizable para caudales menores a 2 lt/min en el que el valor de frecuencia en la salida es variable, el cual no es un inconveniente para el sistema debido al filtro por software que se le da para evitar estos errores.
- El uso de la válvula de seguridad es necesaria en el sistema de control de nivel de líquidos debido a que ayuda a la evacuación de agua cuando se encuentra obstruido el paso principal del líquido evitando daños tanto en las tuberías como en las bombas.

4.2. Recomendaciones

- Implementar un sensor de nivel en el tanque sumidero para incrementar la variedad de prácticas de laboratorio y mejorar la seguridad en el sistema de control de nivel mediante la detección de ausencia de líquido y evitar la succión de aire por las bombas.
- Aumentar sensores de presión para realizar un monitoreo constante desde la PC y así evitar daños tanto las tuberías como en los elementos de control, en este caso las bombas de agua las cuales pueden llegar a destruirse en el caso de que todos las válvulas se encuentren cerradas.
- Implementar otros tipos de control como pueden ser controladores discretos, control fuzzy e inclusive redes neuronales que ayuden a complementar los conocimientos teórico – prácticos de los estudiantes.
- Realizar nuevas prácticas utilizando diferentes tipos de sensores de nivel como son ultrasónico, infrarrojos, presión diferencial entre otros, los cuales ofrecen diferentes tipos de señales permitiendo al usuario ampliar sus conocimientos de instrumentación electrónica debido a que el sistema está sujeto a cambios.
- Verificar el correcto proceso de encendido del sistema, primero iniciar la interfaz virtual y después realizar la alimentación a los módulos del sistema mediante el tablero de control, debido a que la DAQ-6009 al ser alimentada mediante el USB genera valores aleatorios de voltajes.
- Comprobar que las válvulas de seguridad estén debidamente calibradas tanto a la entrada como a la salida de agua, asegurando la protección de las bombas de agua por una sobrepresión en la tubería.
- Utilizar el paro de emergencia en caso de fallos en el sistema y verificar que todos los componentes tengan un correcto funcionamiento antes de volver a iniciar el proceso.
- Comprobar que la alimentación de 110VAC tenga su respectiva conexión a tierra, para asegurar el debido funcionamiento del sistema y mantener protegido los componentes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bishop, R. H. (2008). *Sistemas Mecatrónicos, sensores y actuadores*. U.S.A: CRC Press Taylor & Francis Group.
- [2] Bishop, R. (s.f.). *Sistemas de control moderno*. Prentice Hill.
- [3] Blume, P. (2007). *The Labview Style Book*. EE.UU: Prentice Hall.
- [4] Cataluña, U. P. (1998). *Teoría de Control Diseño Electrónico*. Vilanova i la Geltrú: Edicions UPC.
- [5] Cengel, J., & Cimbala, J. (s.f.). *Mecánica de fluidos Fundamentos y Aplicaciones*. Mc GRAW HILL.
- [6] Cooper, W. (s.f.). *Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición*.
- [7] Crespo, A. (2006). *Mecánica de fluidos*. Madrid: THOMSON.
- [8] Creus, A. (2005). *Instrumentación Industrial*. España: Marcombo Ediciones.
- [9] Fernández Sarasol, A. (2007). *Control de los sistemas continuos*. Universidad de Oviedo.
- [10] Gañi, J. (2000). *ROBOTS, construye tu microbot*. Madrid: F&G Editores.
- [11] Geltru, V. i. (1997). *Teoría de control electrónico*.
- [12] Giles, R. (s.f.). *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. McGRAW-HILL.
- [13] Gratton, J. (s.f.). *Introducción a la mecánica de fluidos*. Buenos Aires.
- [14] Greene, R. (1985). *Válvulas. Selección, uso y mantenimiento*. McGRAW-HILL.
- [15] *Guía de usuario y especificaciones NI USB 6009*. (2004-2012). Texas: National Instruments.

- [16] *Guía para la elaboración de Diagramas de Flujo.* (2009). MIDEPLAN.
- [17] Helfrick, C. (s.f.). *Instrumentación electrónica modernas técnicas de medición.* México: Prentice Hall.
- [18] Hernández, J. (1976). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.* UNED.
- [19] Hernández Gaviño, R. (2010). *Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB.* México: PEARSON EDUCATION.
- [20] Jerome, J. (s.f.). *Virtual Instrumentation Using LABVIEW.*
- [21] Kuo, B. (s.f.). *Sistemas de Control automático.* México: Pearson Education.
- [22] Lajara, J. (2012). *Labview. Entorno gráfico de programación.* México: Editorial Alfaomega.
- [23] Lajara, J., & Sebastia, J. (s.f.). *LabVIEW Entorno grafico de Programacion.* México: Alfa & Omega.
- [24] Maraña, J. C. (2005). *Instrumentación y control de procesos.*
- [25] Mardiguan, M. (s.f.). *Interface Control in Computer and Microprocessor-Based Equipement.* Don White Consultants.
- [26] Massey, B. (1979). *Mecánica de los fluidos.* C.E.C.S.A.
- [27] Mataix, C. (1986). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.* Madrid: Ediciones del castillo S.A.
- [28] Mataix, C. (s.f.). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.* Madrid: Ediciones del castillo.
- [29] McDonald. (1989). *Introducción a la mecánica de fluidos.* McGraw Hill.

- [30] Moreno, L., Garrido, S., & Balaguer, C. (s.f.). *Ingeniería De Control, Modelado Y Control De Sistemas Dinámicos*. España: Ciencia Ariel.
- [31] Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Prnetice Hall.
- [32] Navarro, R. (2004). *Ingeniería de Control Analógica y Digital*. cGraw-Hill.
- [33] Ogata, K. (s.f.). *Ingeniería de Control Moderna*. España: Pearson Education.
- [34] Pallas Areny, R. (1993). *Adquisición y Distribución de señales*. Marcombo.
- [35] Pallas Areny, R. (1998). *Sensores y Acondicionadores de Señal*. Marcombo.
- [36] Rivera, R. R. (2010). *Instrumentación virtual aplicada al estudio de sistemas complejos*. Mar de Plata.
- [37] Roberson, J. (1983). *Mecánica de fluidos*. Interamericana.
- [38] S, S. (s.f.). *LABVIEW based Advanced Instrumentation System*. Springer.
- [39] Sánchez, J. A. (2003). *Control Avanzado de Procesos: (Teoría y Práctica)*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- [40] Shames, I. (s.f.). *Mecánica de fluidos*. McGRAW-HILL.
- [41] Smith, P. (2004). *Valve Selection Handbook*. Elsevier.
- [42] Travis, J. (2006). *Labview for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun*. EE.UU: Prentice Hall.
- [43] White, F. (2008). *Mecánica de fluidos*. McGraw Hill.
- [44] Zubicaray, M. V., & Álvarez Fernandez, J. (1995). *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. México: LIMUSA S.A.

LINKOGRAFÍA

- [1] Antioquía, E. d. (18 de junio de 2014). *Pérdidas en válvulas*. Obtenido de <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/accesorioshidraulicos/valvulas/valvulas.html>
- [2] Automática, D. d. (18 de Junio de 2014). *Sintonía experimental de controladores*. Obtenido de <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/174/13/Cap%C3%ADulo%206.pdf>
- [3] Avibert. (18 de junio de 2014). *Cálculo de pérdidas de carga y trabajo de bombeo*. Obtenido de <http://avibert.blogspot.com/2011/05/calculo-de-perdidas-de-carga-y-trabajo.html>
- [4] Aycock, S. (22 de 04 de 2014). *Computación y electrónica*. Obtenido de Tipos de microcontroladores: http://www.ehowenespanol.com/tipos-microcontroladores-info_207081/
- [5] *Características del sensor de flujo*. (07 de Agosto de 2012). Obtenido de http://yinyitong.en.alibaba.com/product/276216219-209699172/Flow_Sensor.html.
- [6] Electrónicos, C. d. (18 de junio de 2014). *Tabla de equivalencias: AWG - milimétricas*. Obtenido de <http://www.comunidadelectronicos.com/articulos/awg.htm>
- [7] Hernández Gaviño, R. (2010). *Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB*. México: PEARSON EDUCATION.
- [8] Industria, E. (18 de junio de 2014). *¿Qué es la Instrumentación Virtual?* Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=471>

- [9] Instruments, N. (18 de junio de 2014). *Introducción a NI LabVIEW*. Obtenido de <http://www.ni.com/gettingstarted/labviewbasics/esa/>
- [10] Instruments, N. (22 de 04 de 2014). *NI USB-6009*. Obtenido de DAQ Multifunción de Bajo Costo de 14 bits, 48kS/s: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>
- [11] Maján, F. G. (2002). *El principio de Arquímedes*. Obtenido de <http://xtec.cat/~fgonzal2/arquimedes1.html#principio2>
- [12] México, C. (6 de junio de 2011). *Construcción de tanques de agua*. Obtenido de <http://www.ciclidomexico.com/CalculoTanque/CalculoTanque.html>
- [13] Miliarium. (18 de junio de 2014). *Cálculo de pérdidas de carga en tuberías*. Obtenido de <http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp>
- [14] Palacio, S. (25 de Octubre de 2013). *Simuladores*. Obtenido de http://prezi.com/g_ycamglfrbq/simuladores/
- [15] Profesorado, I. N. (18 de junio de 2014). *Servomotores*. Obtenido de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/sistema/motor es_servo.htm
- [16] Saladillo, I. (18 de junio de 2014). *CATÁLOGO: TUBOS SALADILLOH3*. Obtenido de <http://www.saladilloh3.com.ar/tubos.php>
- [17] Suárez, I. J. (18 de 06 de 2014). *Medición de nivel*. Obtenido de <http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/teoria/nivel/nivel1.htm>
- [18] Travis, J. (2006). *Labview for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun*. EE.UU: Prentice Hall.

- [19] Valvias. (18 de junio de 2014). *¿Qué es una válvula?* Obtenido de <http://www.valvias.com/basico.php>
- [20] Valvias. (18 de junio de 2014). *Definición de Coeficiente de Caudal.* Obtenido de <http://www.valvias.com/coeficiente-de-caudal.php>
- [21] Vesbo. (18 de junio de 2014). *Coeficiente de Perdidas z de los accesorios de Vesbo.* Obtenido de http://www.vesbo.com/es/ppr_24.asp
- [22] Zubicaray, M. V., & Álvarez Fernandez, J. (1995). *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones.* México: LIMUSA S.A.

ANEXOS

**ANEXO A: LENGUAJE DEL
PROGRAMA DEL
MICROCONTROLADOR**

```

#include <18f2550.h>
/*****Configuración de fusibles e inicialización de variables*****/
#device adc=10
#fuses HSPLL,NOMCLR,NOWDT,NOPBADEN,NOVREGEN,
#use delay(clock=48M)
int32 x1=61036,x2=61036;
int flag=0;
float v1,v2;

/*****Interrupción de temporización para manejo de servos*****/
#int_rtcc
void servo()
{
    Tiempo en bajo de los servomotores
    if(!flag)
    {
        set_timer0(20536); //pausa 15ms
        output_b(0);
        flag=1;
    }
    else
    {
        switch(flag)
        {
            Tiempo en alto del servomotor de ingreso de agua
            case 1:
                output_b(1);
                set_timer0(x1);
                flag=2;
                break;
            Tiempo en alto del servomotor de salida de agua
            case 2:
                output_b(2);
                set_timer0(x2);
                flag=0;
                break;
        }
    }
}

```

```

/*****PROGRAMA PRINCIPAL*****/
void main()
{
    Configuración de canales analógicos
    setup_adc(adc_clock_internal);
    setup_adc_ports(an0_to_an1);

    Configuración de temporizadores
    setup_timer_0(rtcc_internal|rtcc_div_4);
    set_timer0(20536);

    Habilitación de interrupciones
    enable_interrupts(int_rda);
    enable_interrupts(int_rtcc);
    enable_interrupts(global);

    while(true)
    {
        Lectura de canales analógicos y transformación a angulo de apertura
        set_adc_channel(0);
        delay_us(10);
        v1=read_adc();
        v1=61036+v1*1500/1023;
        x1=v1;

        set_adc_channel(1);
        delay_us(10);
        v2=read_adc();
        v2=61036+v2*1500/1023;
        x2=v2;
    }
}

```

**ANEXO B: FACTOR K DE
ACCESORIOS DE TUBERÍA**

TABLA DEL FACTOR "K" (página 1 de 4)
Coeficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

("K" está basado en el uso de las tuberías cuyos números de cédula se dan en la página 2-10)

**FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS,
 DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA**

Diámetro mm	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200,250	300,400	450-600
Nominal pulg	½	¾	1	1¼	1½	2	2½, 3	4	5	6	8: 10	12-16	18-24
Factor de fricción (f_T)	.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

**FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR "K" PARA VÁLVULAS
 Y ACCESORIOS CON SECCIONES DE PASO REDUCIDO**

Fórmula 1

$$K_2 = \frac{0.8 \left(\text{sen} \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)}{\beta^4} = K_2$$

Fórmula 2

$$K_2 = \frac{0.5 (1 - \beta^2) \sqrt{\text{sen} \frac{\theta}{2}}}{\beta^4} = K_1$$

Fórmula 3

$$K_1 = \frac{2.6 \left(\text{sen} \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} K_1$$

Fórmula 4

$$K_2 = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = K_1$$

Fórmula 5

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 1} + \text{Fórmula 3}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \text{sen} \frac{\theta}{2} [0.8 (1 - \beta^2) + 2.6 (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

Fórmula 6

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + 0.5 \sqrt{\text{sen} \frac{\theta}{2}} (1 - \beta^2) t (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Fórmula 7

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} t \beta (\text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}), \text{ cuando } \theta = 180^\circ$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \beta [0.5 (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

$$\beta = \frac{d_1}{d_2}$$

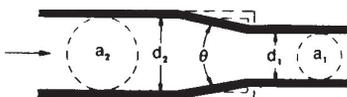
$$\beta^2 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = \frac{a_1}{a_2}$$

El subíndice 1 define dimensiones y coeficientes para el diámetro menor.

El subíndice 2 se refiere al diámetro mayor.

*Útese el valor de K proporcionado por el proveedor, cuando se disponga de dicho valor

ESTRECHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si: $\theta < 45^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 1}$
 $45^\circ < \theta \leq 180^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 2}$

ENSANCHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL

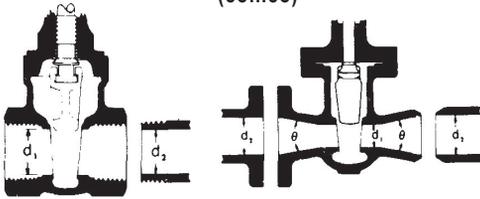


Si: $\theta < 45^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 3}$
 $45^\circ < \theta \leq 180^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 4}$

TABLA DEL FACTOR "K" (página 2 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

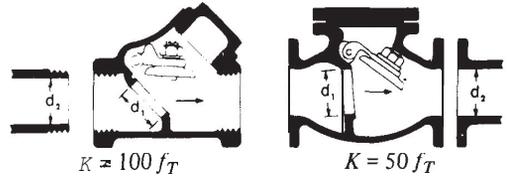
VÁLVULAS DE COMPUERTA

De cuña, de doble obturador o tipo macho (cónico)



Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots K_1 = 8 f_T$
 $\beta < 1$ y $\theta < 45^\circ \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 5}$
 $\beta < 1$ y $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 6}$

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO OSCILANTE



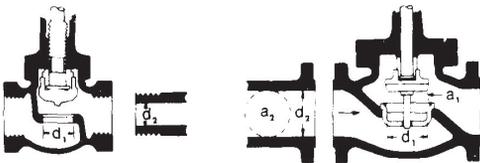
$K = 100 f_T$ $K = 50 f_T$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

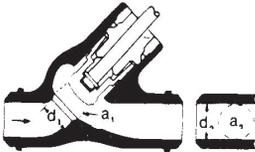
(m/seg) = $45 \sqrt{V}$ = $75 \sqrt{V}$
 (pie/seg) = $35 \sqrt{V}$ = $60 \sqrt{V}$

U/L Registradas = $120 \sqrt{V}$ = $100 \sqrt{V}$

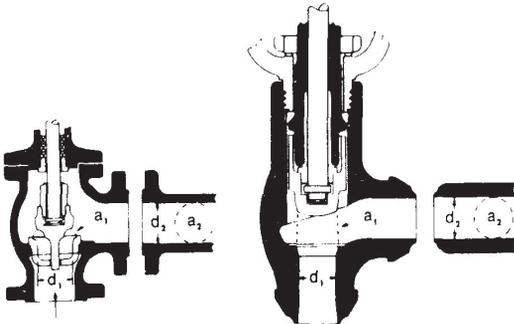
VÁLVULAS DE GLOBO Y ANGULARES



Si: $\beta = 1 \quad K_1 = 340 f_T$



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$

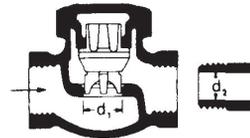


Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 150 f_T$ Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$

Todas las válvulas de globo y angulares con asiento reducido θ de mariposa

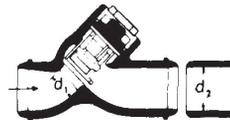
Si: $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

VALVULAS DE RETENCIÓN DE OBTURADOR ASCENDENTE



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 600 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

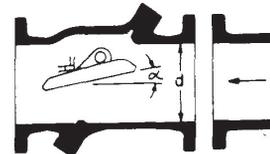
Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $50 \beta^2 \sqrt{V}$ m/seg $40 \beta^2 \sqrt{V}$ pie/seg



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $170 \beta^2 \sqrt{V}$ m/seg $140 \beta^2 \sqrt{V}$ pie/seg

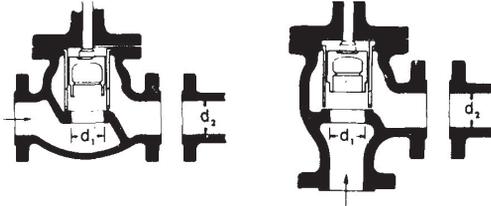
VALVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO BASCULANTE



Pasos	$\alpha = 5^\circ$	$\alpha = 15^\circ$
50 mm (2") a 200 mm (8")	$K = 40 f_T$	$120 f_T$
250 mm (10") a 350 mm (14")	$K = 30 f_T$	$90 f_T$
400 mm (16") a 1200 mm (48")	$K = 20 f_T$	$60 f_T$
Velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador = m/seg	$100 \sqrt{V}$	$40 \sqrt{V}$
pie/seg	$80 \sqrt{V}$	$30 \sqrt{V}$

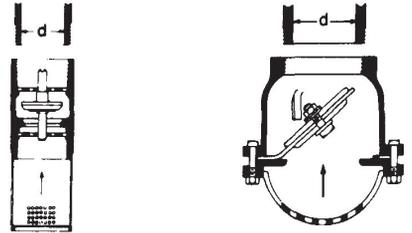
TABLA DEL FACTOR "K" (página 3 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

VÁLVULAS DE RETENCIÓN Y CIERRE
(Tipos recto y angular)

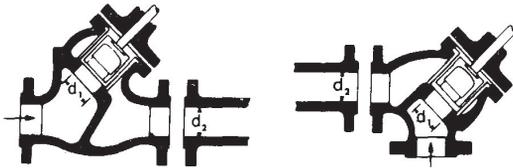


<p>Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 400 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $m/\text{seg} = 70 \beta^2 \sqrt{V}$ $\text{pie}/\text{seg} = 55 \beta^2 \sqrt{V}$</p>	<p>Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 200 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $m/\text{seg} = 95 \beta^2 \sqrt{V}$ $\text{pie}/\text{seg} = 75 \beta^2 \sqrt{V}$</p>
---	---

VÁLVULAS DE PIE CON FILTRO
Obturador ascendente Obturador oscilante

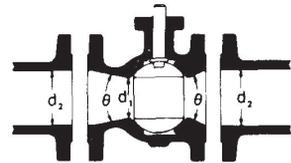


<p>$K = 420 f_T$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $m/\text{seg} = 20 \sqrt{V}$ $\text{pie}/\text{seg} = 15 \sqrt{V}$</p>	<p>$K = 75 f_T$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $m/\text{seg} = 45 \sqrt{V}$ $\text{pie}/\text{seg} = 35 \sqrt{V}$</p>
--	---



<p>Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 300 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador $m/\text{seg} = 75 \beta^2 \sqrt{V}$</p>	<p>Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 350 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ $\text{pie}/\text{seg} = 60 \beta^2 \sqrt{V}$</p>
--	--

VÁLVULAS DE GLOBO

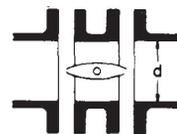


Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots K_1 = 3 f_T$
 $\beta < 1$ y $\theta < 45^\circ \dots K_2 = \text{Fórmula 5}$
 $\beta < 1$ y $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots K_2 = \text{Fórmula 6}$



<p>$\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $m/\text{seg} = 170 \beta^2 \sqrt{V}$</p>	<p>$\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ $(\text{pie}/\text{seg}) = 140 \beta^2 \sqrt{V}$</p>
--	---

VÁLVULAS DE MARIPOSA



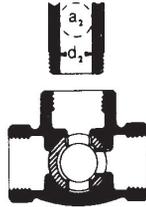
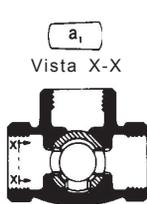
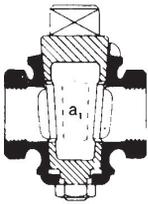
Diámetro 50 mm (2") a 200 mm (8") $K = 45 f_T$
 Diámetro 250 mm (10") a 350 mm (14") $K = 35 f_T$
 Diámetro 400 mm (16") a 600 mm (24") $K = 25 f_T$

TABLA DEL FACTOR "K" (página 4 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

VÁLVULAS DE MACHO Y LLAVES

Paso directo

tres entradas



Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 18 f_T$

Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 30 f_T$

Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 90 f_T$

Si: $\beta < 1$ $K_2 = \text{Fórmula 6}$

CODOS ESTÁNDAR

90°

45°

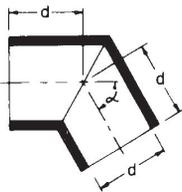


$K = 30 f_T$



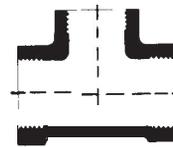
$K = 16 f_T$

**CURVAS EN ESCUADRA
O FALSA ESCUADRA**



α	K
0°	2 f_T
15°	4 f_T
30°	8 f_T
45°	15 f_T
60°	25 f_T
75°	40 f_T
90°	60 f_T

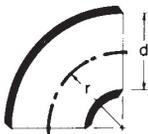
CONEXIONES ESTÁNDAR EN "T"



Flujo directo $K = 20 f_T$

Flujo desviado a 90° . . . $K = 60 f_T$

**CURVAS Y CODOS DE 90° CON BRIDAS
O CON EXTREMOS PARA
SOLDAR A TOPE**



r/d	K	r/d	K
1	20 f_T	8	24 f_T
1.5	14 f_T	10	30 f_T
2	12 f_T	12	34 f_T
3	12 f_T	14	38 f_T
4	14 f_T	16	42 f_T
6	17 f_T	20	50 f_T

El coeficiente de resistencia K_{B1} , para curvas que no sean de 90° puede determinarse con la fórmula:

$$K_B = (n - 1) \left(0.25 \pi f_T \frac{r}{d} + 0.5 K \right) + K$$

n = número de curvas de 90°

K = coeficiente de resistencia para una curva de 90° (según tabla)

ENTRADAS DE TUBERÍA

Con resalte
Hacia el interior

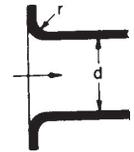


$K = 0.78$

r/d	K
0.00*	0.5
0.02	0.28
0.04	0.24
0.06	0.15
0.10	0.09
0.15 y más	0.04

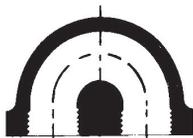
*de cantos vivos

A tope



Véanse los valores de K en la tabla

CURVAS DE 180° DE RADIO CORTO



$K = 50 f_T$

SALIDAS DE TUBERÍA

Con resalte De cantos vivos Redondeada



$K = 1.0$



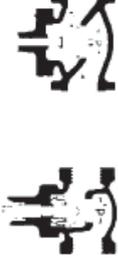
$K = 1.0$



$K = 1.0$

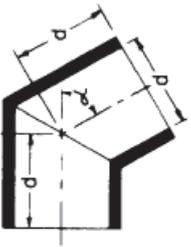
ANEXO C: FACTOR K DE VÁLVULAS Y ACCESORIOS

Coeficientes de resistencia K para válvulas

Fitting	L/D	Nominal pipe size														
		K value														
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2-3	4	6	8-10	12-16	18-24			
Gate Valves 	8	0.22	0.20	0.18	0.18	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10
Globe Valves 	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1			
Angle Valves 	55	1.48	1.38	1.27	1.21	1.16	1.05	0.99	0.94	0.83	0.77	0.72	0.66			
Angle Valves 	150	4.05	3.75	3.45	3.30	3.15	2.85	2.70	2.55	2.25	2.10	1.95	1.80			
Ball Valves 	3	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04			

Coeficientes de resistencia K para Accesorios

Fitting	L/D	Nominal pipe size											
		K value											
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2-3	4	6	8-10	12-16	18-24
Butterfly Valve 							0.86	0.81	0.77	0.68	0.63	0.35	0.30
	18	0.49	0.45	0.41	0.40	0.38	0.34	0.32	0.31	0.27	0.25	0.23	0.22
Plug Valve straightway 													
	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
Plug Valve 3-way thru-flo 													
	90	2.43	2.25	2.07	1.98	1.89	1.71	1.62	1.53	1.35	1.26	1.17	1.08
Plug Valve branch-flo 													
	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
Standard elbow 	90°	0.43	0.40	0.37	0.35	0.34	0.30	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	45°	0.43	0.40	0.37	0.35	0.34	0.30	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	long radius 90°	0.43	0.40	0.37	0.35	0.34	0.30	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19

Fitting	Type of bend	L/D	Nominal pipe size											
			K value											
			1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2-3	4	6	8-10	12-16	18-24
Close Return Bend 	thru flo	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.90	0.85	0.75	0.70	0.65	0.60
	thru branch	60	1.62	1.50	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.90	0.84	0.78	0.72
Standard Tee 	rid = 1	20	0.54	0.50	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.30	0.28	0.26	0.24
	rid = 2	12	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.14
	rid = 3	12	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.14
	rid = 4	14	0.38	0.35	0.32	0.31	0.29	0.27	0.25	0.24	0.21	0.20	0.18	0.17
	rid = 6	17	0.46	0.43	0.39	0.37	0.36	0.32	0.31	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20
	rid = 8	24	0.65	0.60	0.55	0.53	0.50	0.46	0.43	0.41	0.36	0.34	0.31	0.29
	rid = 10	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
	rid = 12	34	0.92	0.85	0.78	0.75	0.71	0.65	0.61	0.58	0.51	0.48	0.44	0.41
	rid = 14	38	1.03	0.95	0.87	0.84	0.80	0.72	0.68	0.65	0.57	0.53	0.49	0.46
	rid = 16	42	1.13	1.05	0.97	0.92	0.88	0.80	0.76	0.71	0.63	0.59	0.55	0.50
	rid = 18	46	1.24	1.15	1.06	1.01	0.97	0.87	0.83	0.78	0.69	0.64	0.60	0.55
	rid = 20	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.90	0.85	0.75	0.70	0.65	0.60
Mitre Bends 	$\alpha = 0^\circ$	2	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
	$\alpha = 15^\circ$	4	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	
	$\alpha = 30^\circ$	8	0.22	0.20	0.18	0.18	0.17	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10
	$\alpha = 45^\circ$	15	0.41	0.38	0.35	0.33	0.32	0.29	0.27	0.26	0.23	0.21	0.20	0.18
	$\alpha = 60^\circ$	25	0.68	0.63	0.58	0.55	0.53	0.48	0.45	0.43	0.38	0.35	0.33	0.30
	$\alpha = 75^\circ$	40	1.09	1.00	0.92	0.88	0.84	0.76	0.72	0.66	0.60	0.56	0.52	0.48
	$\alpha = 90^\circ$	60	1.62	1.50	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.90	0.84	0.78	0.72

**ANEXO D: CARACTERÍSTICAS
DEL TUBO HIDRO 3 (verde)**

Características de las tuberías Tricapa HYDRO-3 Verde y Azul



Capa externa marrón

Alta resistencia al medio externo

- Resiste la exposición solar, las altas y bajas temperaturas atmosféricas y los malos tratos de obra.
- El contacto con la cal, el cemento y otras sustancias corrosivas, no se corroe ni envejece.

Capa central blanca

Alta resistencia mecánica

- Soporta presiones de agua superiores a los 100 kg/cm²
- Resiste el roscado. Las fibrillas de vidrio presentes en su formulación exclusiva, brindan filetes de rosca de alta tenacidad, que garantizan un excelente acople y sellado.
- El bajo índice de fluencia y elevado punto de ablandamiento del Polipropileno Homopolímero Isotáctico asegura la perfecta fusión molecular.

Capa interna verde o azul

Alta conductividad de fluidos

- Soporta la hipercloración.
- Es inerte y atóxica. No afecta el color, olor o sabor del agua transportada.
- Resiste la corrosión indefinidamente.
- Soporta el agua hirviendo y puede conducir ácidos y álcalis. (Hasta 100°C y PH-1 a PH-14)
- Su superficie, libre de porosidades, no favorece las incrustaciones de sarro, asegurando valores máximos y constantes de caudal y presión por más de 50 años.



Descripción tipo:

PP-H ISOTÁTICO, según DIN 8077/78 3capas, capa externa marrón, capa central blanca, capa interna verde.

Las presiones y temperaturas de servicio son:

10° C - 22,3 BAR - 100 años	70° C - 7,6 BAR - 50 años
20° C - 19,0 BAR - 100 años	80° C - 5,8 BAR - 25 años
50° C - 12,4 BAR - 50 años	95° C - 4 BAR - 10 años

Fuente: Catálogo técnico Hidro 3

**ANEXO E: CARACTERÍSTICAS
DEL SERVOMOTOR S777CG/6BB**

Dimensions

Size:	65.0 x 32.0 x 70.4 mm
Weight:	190 g

General specifications

Digital?:	N
Speed @ 6V:	0.12 sec/60°
Stall torque @ 6V:	42 kg·cm
Speed @ 4.8V:	0.15 sec/60°
Stall torque @ 4.8V:	35 kg·cm
Lead length:	270 mm
Hardware included?:	Y



**ANEXO F: CARACTERÍSTICAS
DE LA VALVULA DE BOLA**

VALVULA DE BOLA ROSCADA Y ENCAJE SOLDADO

ANSI, JIS, KS



- **Tamaño** 1/2" ~ 2"
 - **Capacidad** 1000 WOG
 - **Materiales** CF8, CF8M, A105, LF2, F304, F316
 - **Configuración** Cuerpo de 1-Pieza, 2-Piezas y 3-Piezas
 - **Aplicaciones** Química, petroquímica, Gas Natural, Electricidad de Potencia, Servicio sanitario
- Actuadores de operación automática

	2	NEUMATICA	2-04-40
11-05			VALVULAS DE BOLA

1. VALVULAS DE BOLA, 2 vías (CONTROL DEVICES INC. - U.S.A.)
 Características: Paso total, accionada por palanca de 1/4 vuelta (90°).
 Presión máxima: 400 psi. Rango de Temperatura: -20 a 80°C.
 Uso: Aire comprimido, agua, aceite, gas.

Digito	Catálogo	Conexión NPT
0204718-6	FPC-25	1/4"
0204714-4	FPC-38	3/8"
0204715-2	FPC-50	1/2"
0204716-0	FPC-75	3/4"
0204717-9	FPC-100	1"
0204718-7	FPC-120	1-1/4"
0204719-5	FPC-150	1-1/2"
0204720-9	FPC-200	2"



2. VALVULA DE BOLA, 2 vías (STEUBY-COMBRACO - U.S.A.)
 Características: Paso total, accionada por palanca de 1/4 vuelta (90°).
 Cuerpo de bronce y bola cromada. Rango de Temperatura: de 10°C a +100°C.
 Sello: VTFE. Rango de presión: Vacío (29"HG) a 400 WOG; 125 PSI para vapor saturado.
 Uso: Aire, aceite, agua y gases.

Digito	Catálogo	Conexión NPT
0204743-8	824-014	1/4"
0204744-6	824-038	3/8"
0204745-4	824-012	1/2"
0204746-2	824-084	3/4"
0204747-0	824-010	1"
0204748-9	824-114	1 1/4"
0204749-7	824-112	1 1/2"
0204750-0	884-020	2"



3. VALVULA DE BOLA, 3 vías (SCHRADER-BELLOWS - INGLATERRA)
 Características: Rango de presión: Vacío a 580 psi (40Kg/cm2).
 Uso: líneas de aire en donde se debe dejar la línea de trabajo sin aire, al despacharla a la atmósfera. Sólo con aire. Descarga a la atmósfera.

Digito	Catálogo	Conexión NPT	Paso Flujo
0204721-7	707	1/4"	13 mm.
0204724-1	708	3/8"	13 mm.
0204728-4	709	1/2"	16 mm.
0204732-2	710	3/4"	18 mm.
0204733-0	711	1"	20 mm.

4. VALVULAS DE PASO, 3 vías (CHELIC)
 Características: De acción lineal. Presión Máxima 300 Psi. Cómoda y segura para intermpir el paso de aire al sistema. Por su forma constructiva representan una muy buena alternativa para ahorrar espacio (no cuenta con palanca). Pueden utilizarse antes de las unidades preparadoras de aire, permitiendo con ello sacar de servicio a toda la línea, despachando el aire que pudiera haber quedado en ella.

Digito	Catálogo	Conexión NPT	Capacidad PCM	Para F-R-L Chelic
0204982-1	MAV-02	1/8" Hembra	15	Serie A
0204983-K	MAV-02	1/4" Hembra	20	Serie A
0204972-4	MBV-02	1/4" Hembra	28	Serie B
0204974-0	MBV-03	3/8" Hembra	35	Serie B
0204975-9	MCV-04	1/2" Hembra	40	Serie C
0204977-5	MCV-06	3/4" Hembra	58	Serie C

Nota
 Pedir Listas separadas por: Válvulas direccionales, cilindros, accesorios neumáticos, compresores, bombas de vacío, motores de aire, fittings reusables, tubo de nylon, etc.
 Para circuitería use tubos nylon y conectores Nycoll y Chelic.

VALPARAISO	SANTIAGO	VALDIVIA	ANTOFAGASTA	PUNTO BOLT
Tel: 5621111 Fax: 5621110 Email: vgnval@vignola.cl	Tel: 5621100 Fax: 5621099 Email: vgnstan@vignola.cl	Tel: 5621000 Fax: 5621000 Email: vgnval@vignola.cl	Tel: 5621000 Fax: 5621000 Email: vgnant@vignola.cl	Tel: 5621000 Fax: 5621000 Email: vgnpnt@vignola.cl

**ANEXO G: CARACTERÍSTICAS
DE LA ELECTROVÁLVULAS**

12v solenoid valve NO plastic solenoid valve small solenoid valve



Quick Details

Standard or Nonstandard: Standard	Structure: Control	Pressure: Medium Pressure
Power: Solenoid	Material: Plastic	Temperature of Media: Normal Temperature
Media: Water	Place of Origin: Zhejiang China (Mainland)	Model Number: FPD-270I
Brand Name: CNKB		

Packaging & Delivery

Packaging Detail: EXPORT CARTON
Delivery Detail: 3WEEKS AFTER RECEIPT OF PAYMENT

Specifications

rated voltage:DC12V DC24V
has CCC,CE,CQC,TUV
normally open

rated voltage:DC12V DC24V
water pressure:0.02-0.8mpa
working life:over 100000times
amounting:G1/2

flow characteristic:
water pressure:0.02Mpa 0.1Mpa 0.3Mpa 0.8Mpa
flow rate: >3L/Min >5L/min >10L/min <25L/min

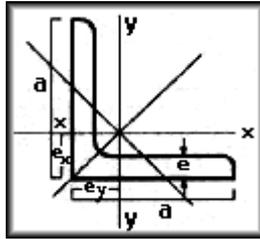
**ANEXO H. VALORES
NORMALIZADOS CABLES A.W.G**

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (O/Km.)	Capacidad (A)
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	56,4	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,16	20,0	1,44	106,2	0,46
26	0,4049	0,13	22,8	1,14	130,7	0,37
27	0,3606	0,10	25,6	0,91	170,0	0,29
28	0,3211	0,08	28,4	0,72	212,5	0,23
29	0,2859	0,064	32,4	0,57	265,6	0,18
30	0,2546	0,051	35,6	0,45	333,3	0,15

**ANEXO I. TABLA DE
PROPIEDADES DEL AGUA**

TEMPERATURA (°C)	Peso especifico γ (N / m ³)	Densidad ρ (kg / m ³)	Viscosidad dinámica μ (Pa -s)	Viscosidad cinemática ν (m ² / s)
0	9810	1000	$1,75 \times 10^{-3}$	$1,75 \times 10^{-6}$
5	9810	1000	$1,52 \times 10^{-3}$	$1,52 \times 10^{-6}$
10	9810	1000	$1,30 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-6}$
15	9810	1000	$1,15 \times 10^{-3}$	$1,15 \times 10^{-6}$
20	9790	998	$1,02 \times 10^{-3}$	$1,02 \times 10^{-7}$
25	9780	997	$8,91 \times 10^{-4}$	$8,94 \times 10^{-7}$
30	9770	996	$8,00 \times 10^{-4}$	$8,03 \times 10^{-7}$
35	9750	994	$7,18 \times 10^{-4}$	$7,22 \times 10^{-7}$
40	9730	992	$6,51 \times 10^{-4}$	$6,56 \times 10^{-7}$
45	9710	990	$5,94 \times 10^{-4}$	$6,00 \times 10^{-7}$
50	9690	988	$5,41 \times 10^{-4}$	$5,48 \times 10^{-7}$
55	9670	986	$4,98 \times 10^{-4}$	$5,05 \times 10^{-7}$
60	9650	984	$4,60 \times 10^{-4}$	$4,67 \times 10^{-7}$
65	9620	981	$4,31 \times 10^{-4}$	$4,39 \times 10^{-7}$
70	9590	978	$4,02 \times 10^{-4}$	$4,11 \times 10^{-7}$
75	9560	975	$3,73 \times 10^{-4}$	$3,83 \times 10^{-7}$
80	9530	971	$3,50 \times 10^{-4}$	$3,60 \times 10^{-7}$
85	9500	968	$3,30 \times 10^{-4}$	$3,41 \times 10^{-7}$
90	9470	965	$3,11 \times 10^{-4}$	$3,22 \times 10^{-7}$
95	9440	962	$2,92 \times 10^{-4}$	$3,04 \times 10^{-7}$
100	9400	958	$2,82 \times 10^{-4}$	$2,94 \times 10^{-7}$

**ANEXO J. ÁNGULOS DE HIERRO
DE LADOS IGUALES**

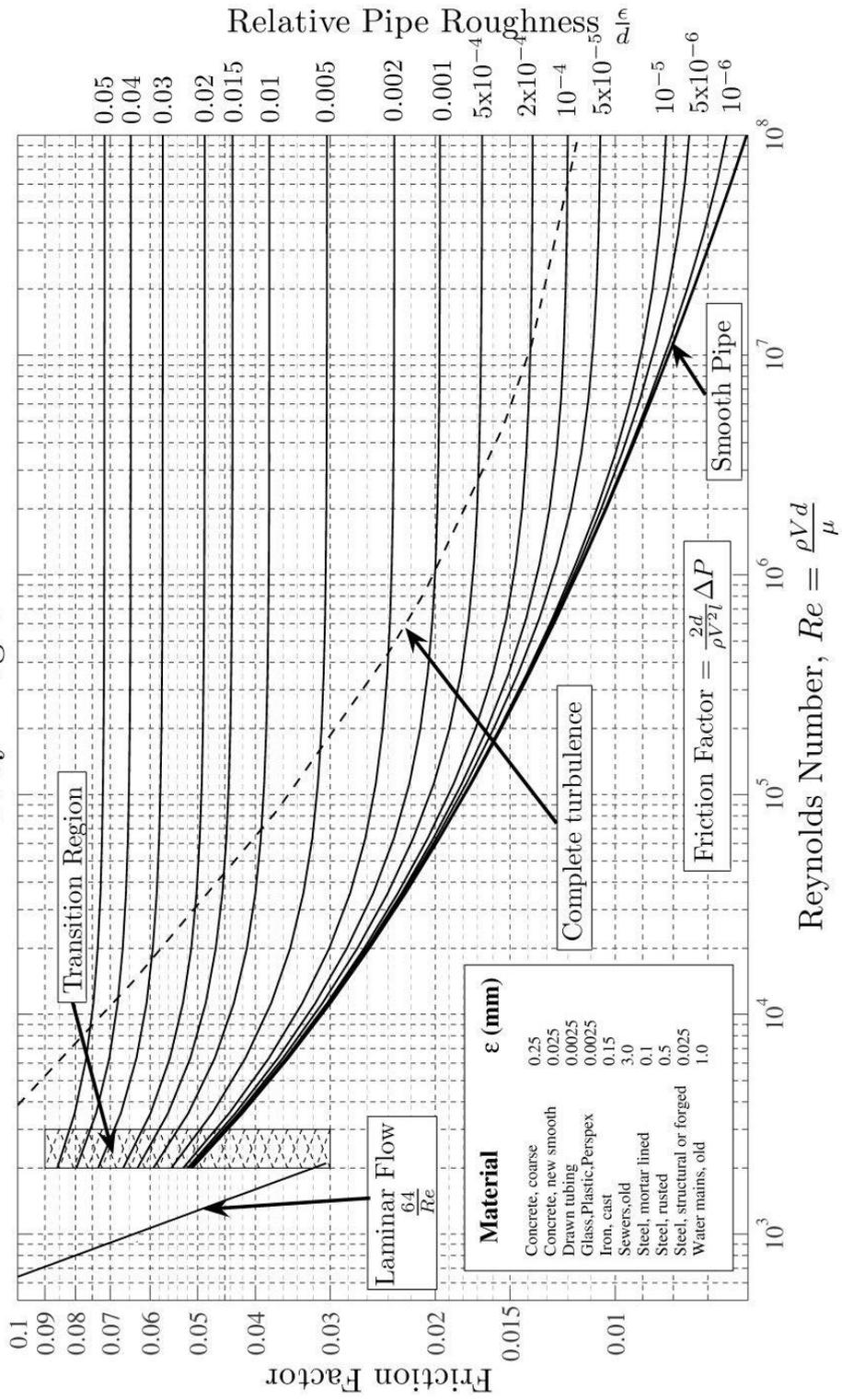


Ángulos	Dimensiones			Sección	Peso	Valores estáticos		
	a	e	ex=ey			F	G	Jx=Jy
	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ³	cm ³	cm ³
5/8" x 1/8"	15,9	3,2	0.51	0.91	0.7	0.20	0.09	0.31
3/4" x 1/8"	19,1	3,2	0.58	1.11	0.9	0.37	0.17	0.57
7/8" x 1/8"	22,2	3,2	0.66	1.31	1.0	0.58	0.31	0.94
1" x 1/8"	25,4	3,2	0.75	1.51	1.2	0.91	0.38	1.44
1" x 3/16"	25,4	4,8	0.81	2.19	1.8	1.25	0.55	1.96
1" x 1/4"	25,4	6,4	0.85	2.81	2.2	1.50	0.67	2.33
1 1/4" x 1/8"	31,7	3,2	0.91	1.92	1.5	1.83	0.74	2.93
1 1/4" x 3/16"	31,7	4,8	0.97	2.80	2.2	2.54	1.08	4.07
1 1/4" x 1/4"	31,7	6,4	1.01	3.67	2.9	3.13	1.37	4.9
1 1/2" x 1/8"	38,1	3,2	1.07	2.32	1.8	3.25	1.30	5.17
1 1/2" x 3/16"	38,1	4,8	1.13	3.40	2.7	4.58	1.86	7.26
1 1/2" x 1/4"	38,1	6,4	1.18	4.44	3.4	5.78	2.43	9.09
1 3/4" x 1/8"	44,4	3,2	1.23	2.73	2.1	5.24	2.11	8.35
1 3/4" x 3/16"	44,4	4,8	1.29	4.00	3.25	7.45	3.03	11.84
2" x 1/8"	50,8	3,2	1.39	3.13	2.52	7.91	3.18	12.64

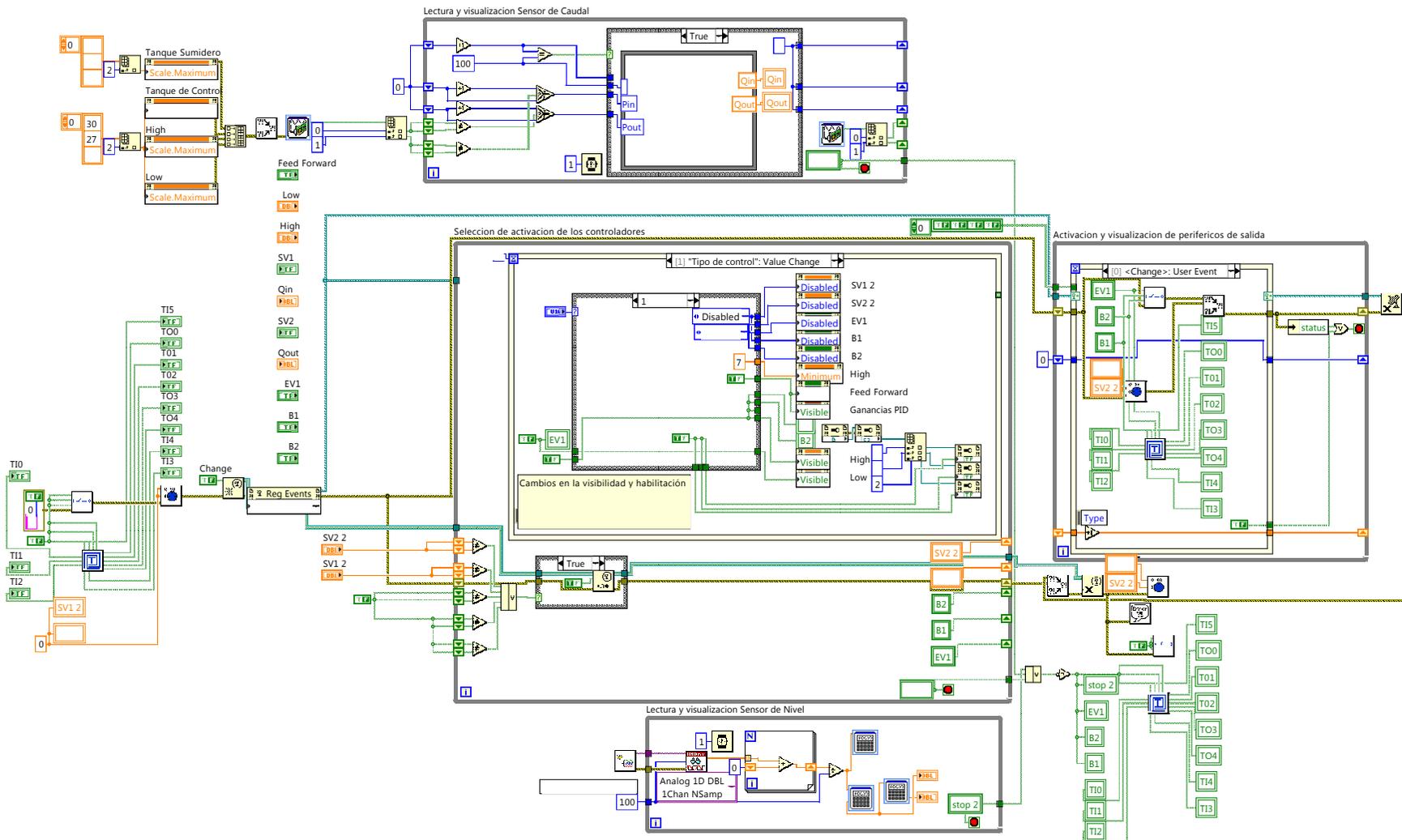
2" x 3/16"	50,8	4,8	1.45	4.61	3.6	11.33	4.61	18.05
2" x 1/4"	50,8	6,4	1.50	6.05	4.7	14.48	5.93	22.96
2 1/4" x 3/16"	57,1	4,8	1.60	5.21	4.1	16.23	6.52	26.12
2 1/4" x 1/4"	57,1	6,4	1.68	6.85	5.4	21.23	8.62	33.40
2 1/2" x 3/16"	63,5	4,8	1.76	5.82	4.6	22.77	9.22	36.28
2 1/2" x 1/4"	63,5	6,4	1.82	7.66	6.1	29.26	12.00	46.59
3" x 1/4"	76,2	6,4	2.14	9.27	7.3	51.60	20.90	82.58
3" x 5/16"	76,2	7,9	2.20	11.47	9.1	62.80	25.83	100.03
3" x 3/8"	76,2	9,5	2.26	13.60	10.7	73.20	30.21	116.21
3 1/2" x 1/4"	88,9	6,4	2.46	10.89	8.6	83.60	33.76	133.47
3 1/2" x 5/16"	88,9	7,9	2.51	13.49	10.7	101.90	41.28	162.42
3 1/2" x 3/8"	88,9	9,5	2.57	16.02	12.6	119.40	48.44	189.55
4" x 1/4"	101,6	6,4	2.75	12.48	9.8	124.23	50.03	198.44
4" x 5/16"	101,6	7,9	2.84	15.50	12.2	154.60	62.54	246.68
4" x 3/8"	101,6	9,5	2.90	18.44	14.6	181.30	73.80	288.43
4" x 1/2"	101,6	12,7	3.00	24.19	19.0	231.40	95.79	367.43

ANEXO K. Diagrama de MOODY

Moody Diagram



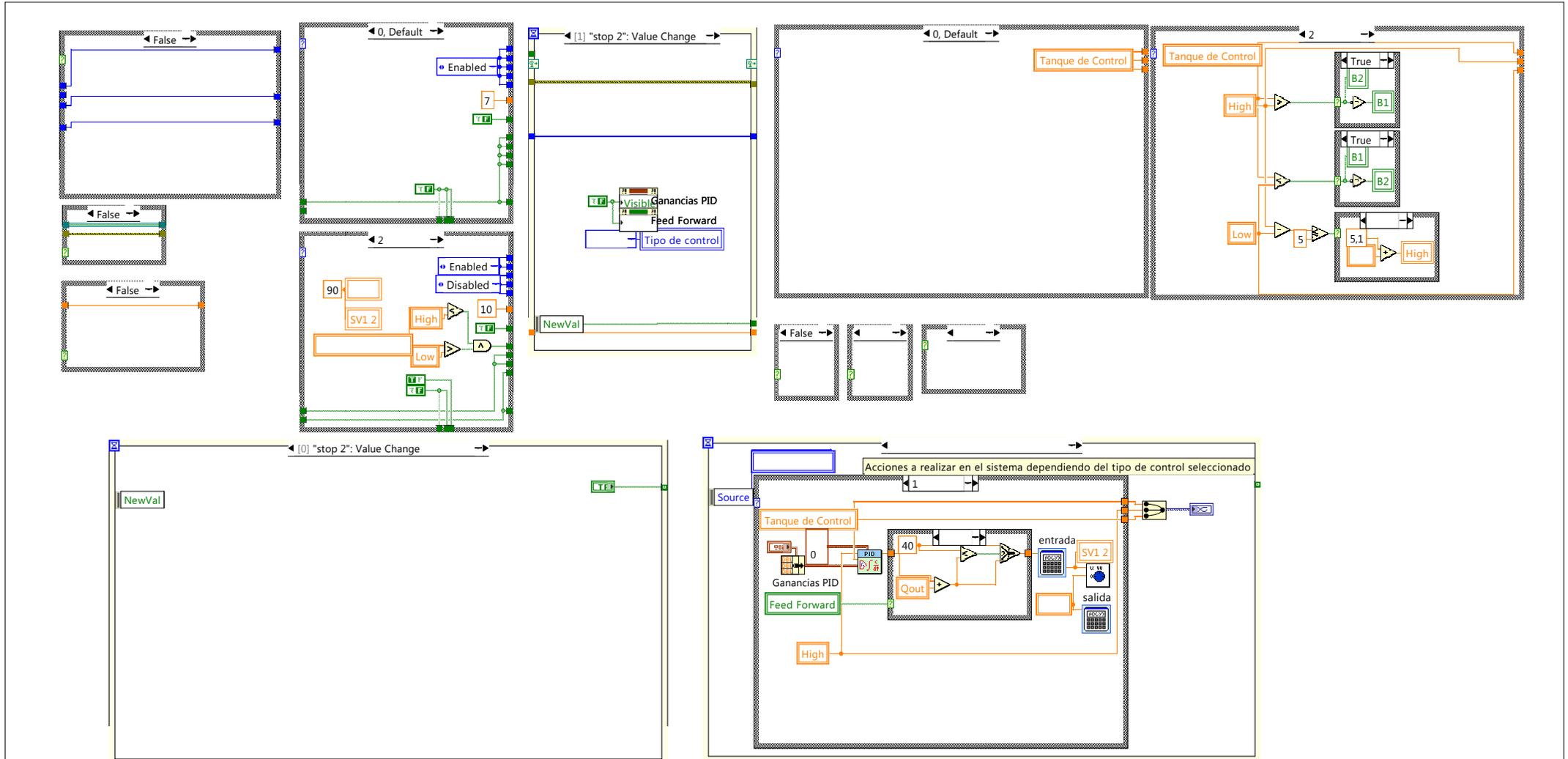
ANEXO L. PROGRAMACIÓN DE LABVIEW



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE
 CARRERA DE ING. MECATRONICA
 CONTROL DE NIVEL

PROGRAMA IMPLEMENTADO EN LABVIEW
 MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL

ANDRÉS VARGAS	
16 - 06 -2014	Revisado
Cod: Programa	Lamina Nº 1 de 2

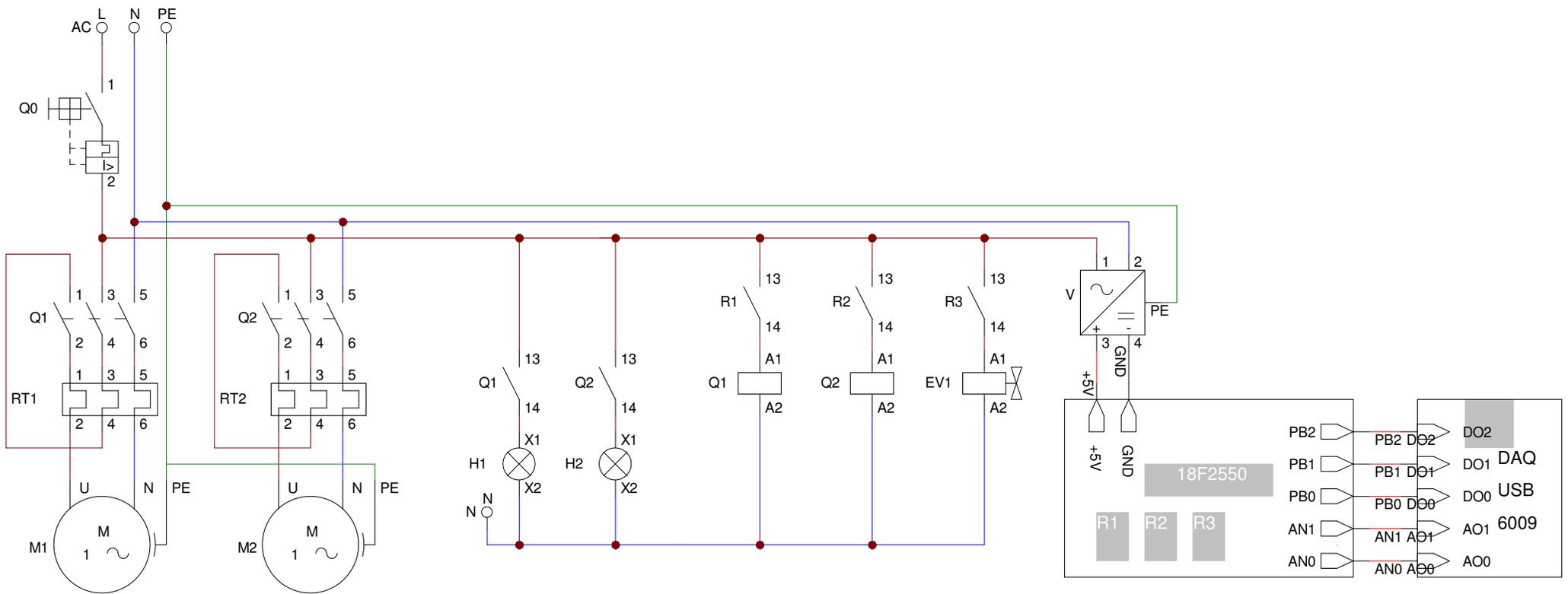


UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE
 CARRERA DE ING. MECATRONICA
 CONTROL DE NIVEL

PROGRAMA IMPLEMENTADO EN LABVIEW
 MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL

ANDRÉS VARGAS
 16 - 06 -2014
 Cod: Programa
 Revisado
 Lamina Nº 2 de 2

ANEXO M. DIAGRAMA DE CONTROL



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

CARRERA DE ING. MECATRONICA

CONTROL DE NIVEL

CIRCUITO DE FUERZA

MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL

ANDRÉS VARGAS

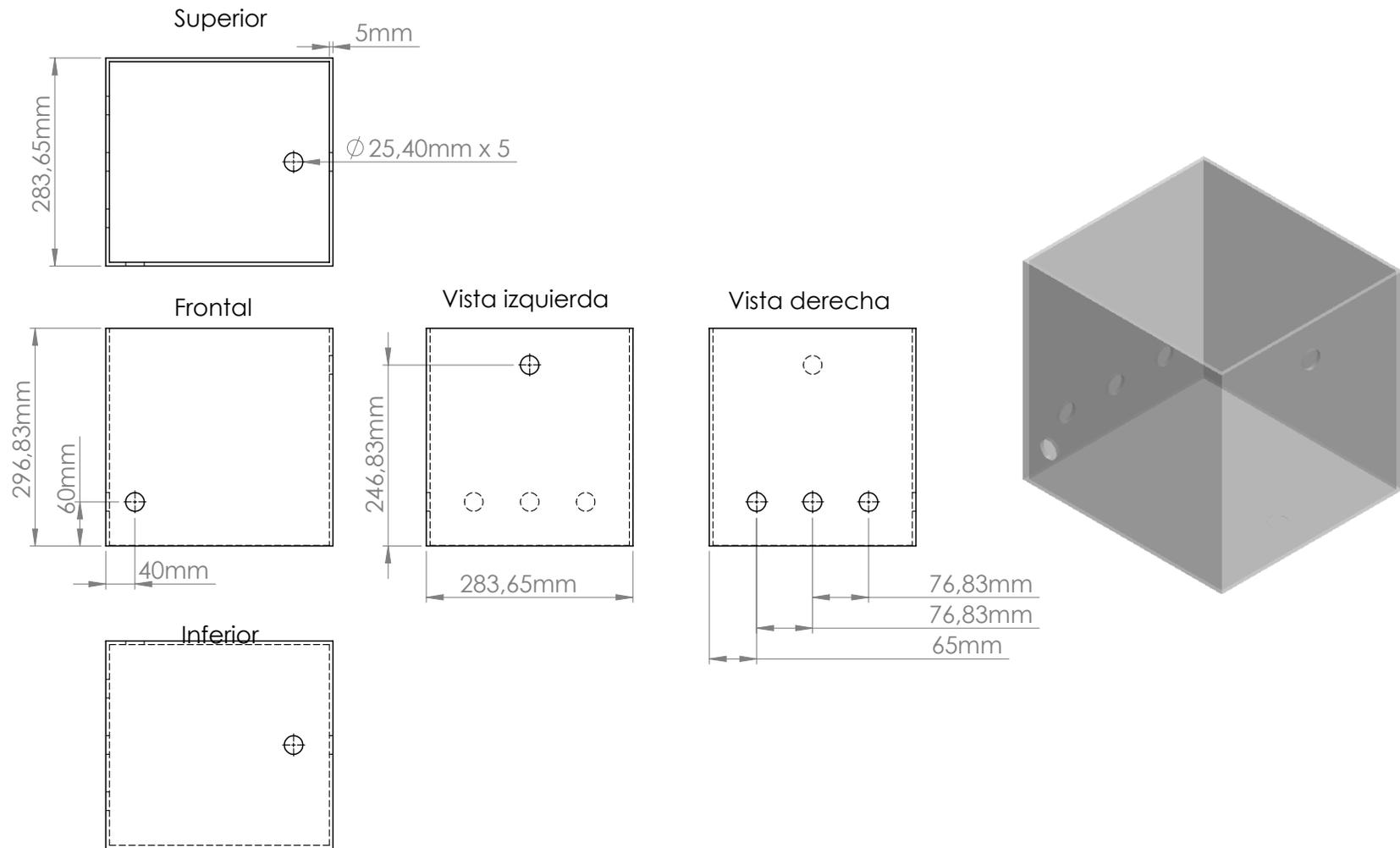
16 - 06 -2014

Cod: Control

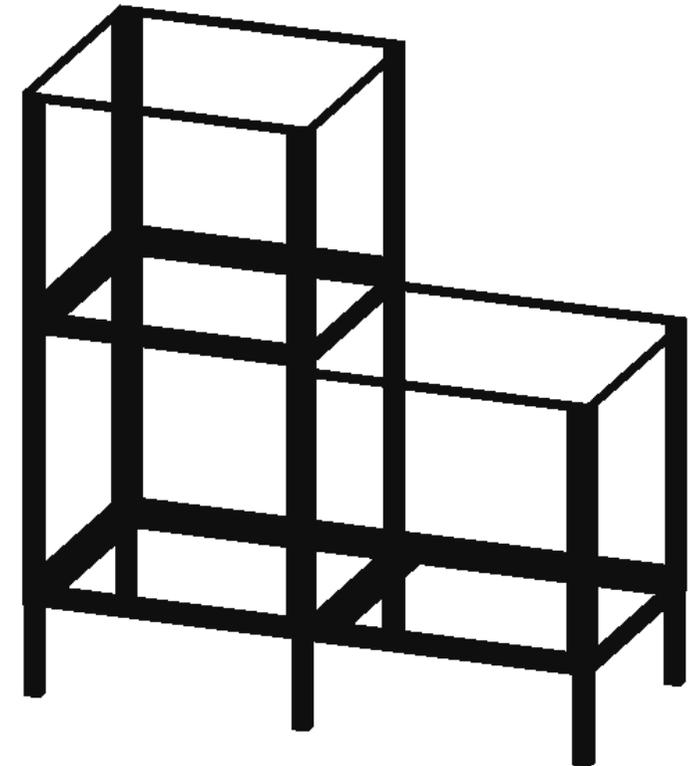
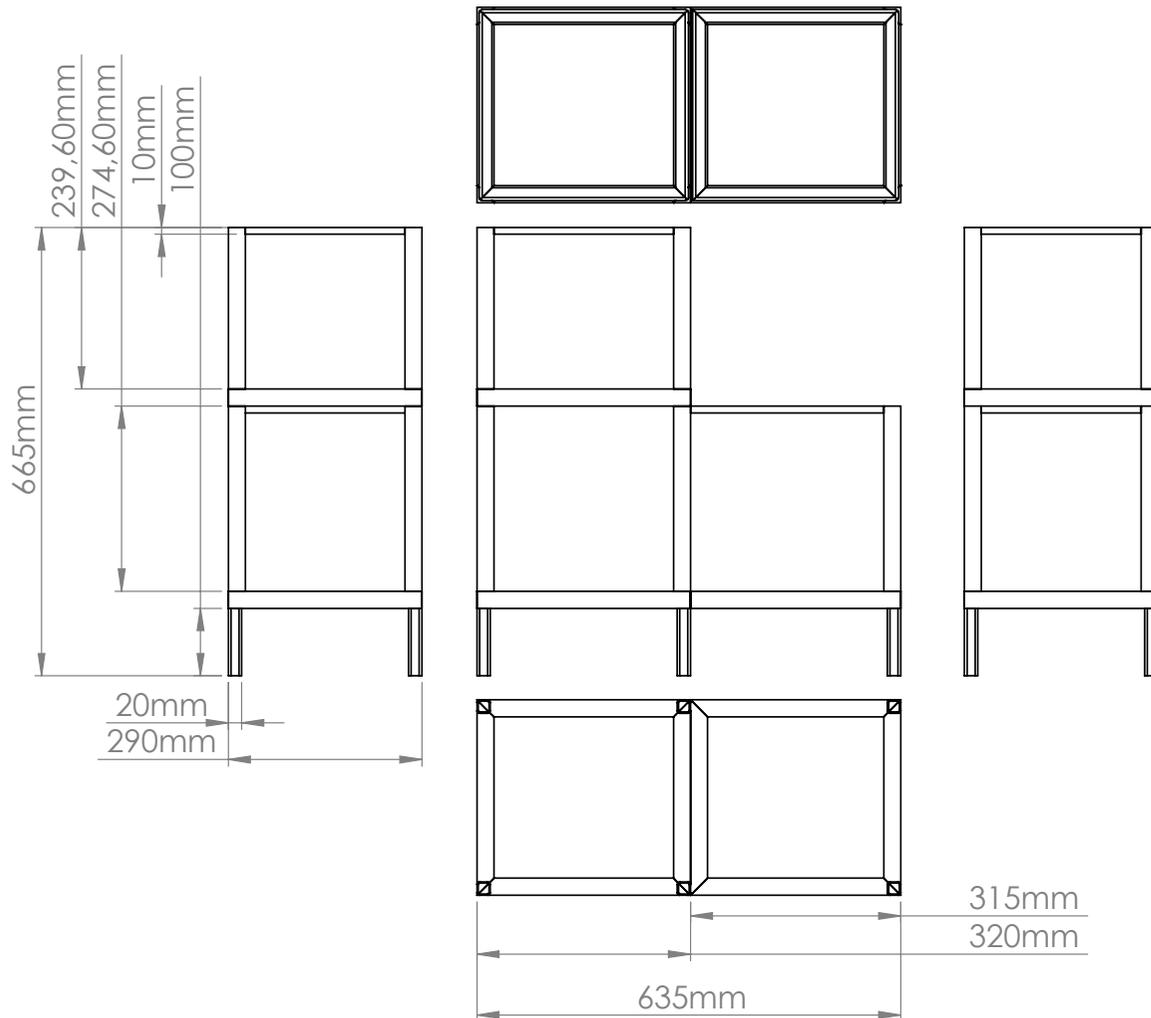
Revisado

Lamina N° 1 de 1

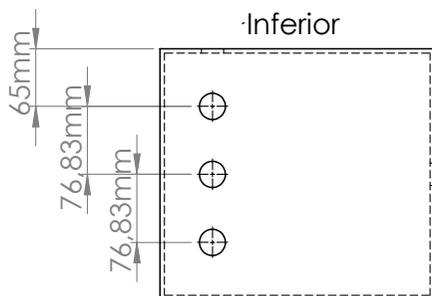
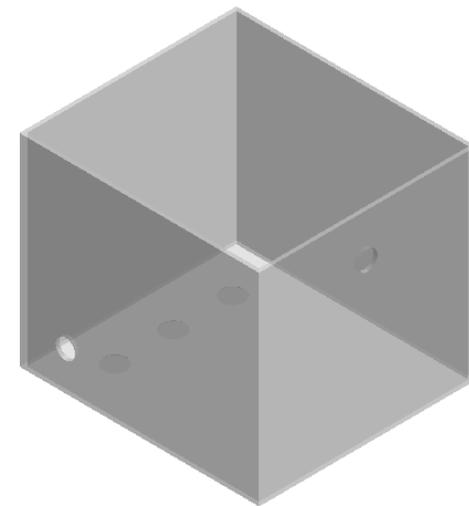
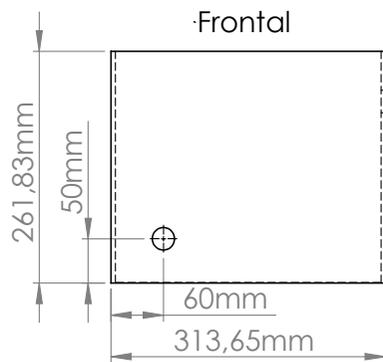
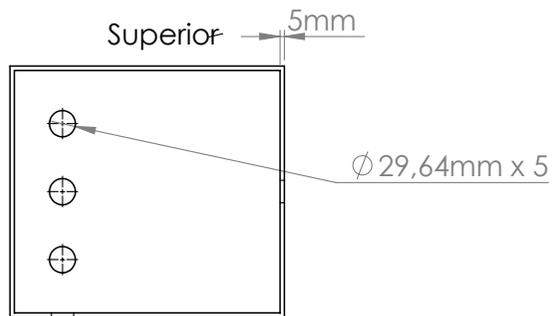
ANEXO N. PLANOS



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	TANQUE SUMIDERO MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL	ANDRÉS VARGAS	
CARRERA DE ING. MECATRONICA		16 - 06 -2014	Revisado
CONTROL DE NIVEL		Cod:	Lamina Nº 1 de 3



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	ESTRUCTURA MECÁNICA MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL	ANDRÉS VARGAS	
CARRERA DE ING. MECATRONICA		16 - 06 -2014	Revisado
CONTROL DE NIVEL		Cod:	Lamina Nº3 de 3



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

CARRERA DE ING. MECATRONICA

CONTROL DE NIVEL

TANQUE DE CONTROL

MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL

ANDRÉS VARGAS

16 - 06 -2014

Cod:

Revisado

Lamina Nº 2 de 3

**ANEXO L. MANUAL DE
PRÁCTICAS**

OBJETIVO

- Comprobar el funcionamiento de los diferentes tipos de sistemas de control entre los cuales están los PID, ON-OFF Y FEEDFORWARD.

INSTALACIÓN EXPERIMENTAL



La Planta de Nivel de Agua es un sistema compuesto por un circuito hidráulico y la instrumentación necesaria para efectuar el control del nivel de agua en uno de los tanques del sistema.

El sistema consta de: un tanque de vidrio grande para el almacenamiento del agua denominado tanque sumidero, dos bombas periféricas, tubería PVC, un tanque de vidrio pequeño, válvulas de bola de accionamiento manual, dos servo-válvulas de control del flujo, dos sensores del flujo de agua, un transmisor de nivel implementado por medio de un transmisor resistivo.

Adicionalmente posee un selector que aplica alimentación de 120 V AC al sistema, y botón de hongo para realizar un paro de emergencia.

La planta funciona haciendo circular el agua del tanque sumidero hacia el tanque de control bajo el impulso de la bomba 1 y volviendo al tanque sumidero mediante la bomba 2 o la válvula manual. De esta manera es posible configurar procesos de control de nivel de primer orden.

PRACTICA 1

1. OBJETIVO

- Observar la relación entre el flujo y el nivel en la planta

2. MARCO TEÓRICO

Para encontrar la constante de relación entre el nivel de líquido/caudal de salida usaremos la siguiente formula.

$$k = \frac{h_1}{q_0}$$

Donde

h_1 : altura del líquido

q_0 : caudal de salida

3. MATERIALES.

- Labview
- Módulo de control de nivel

4. PROCEDIMIENTO.

- 4.1. Inicie la interfaz en LABVIEW y asegúrese que la casilla de selección de tipo de control se encuentre en modo manual.
- 4.2. Revisar que las válvulas de seguridad estén correctamente calibradas.
- 4.3. Abrir las todas las válvulas excepto la servoválvula de ingreso de agua al tanque de control.
- 4.4. Encienda la bomba 1 para que el agua circule.
- 4.5. Cierre completamente la servoválvula 1 que controla el flujo del agua que entra al Tanque de control, de tal manera que el nivel del agua sea el mínimo (3 cm). Anote el nivel y el flujo.
- 4.6. Abra lentamente la servoválvula 1 de entrada al Tanque 1 hasta que el nivel se sitúe alrededor de los 6 cm. Deje que el nivel se estabilice y anote el nivel en el tanque y el flujo que circula tanto a la entrada como a la salida del tanque de control.
- 4.7. Repita el procedimiento anterior, cada vez aumentando el nivel en pasos de 2 cm aproximadamente, hasta que obtenga unas 7 lecturas de nivel y flujo. Anote los datos.
- 4.8. Apague la bomba y detenga la interfaz.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS:

- 5.1. Coloque en una tabla los resultados de las mediciones realizadas en los puntos 6 y 7 del procedimiento de la Práctica 1.

Altura (cm)	caudal de ingreso (lts/min)	caudal de salida (lts/min)
5		
7		
9		
11		
13		
15		
17		
19		

- 5.2. Grafique la relación Nivel vs Flujo con los datos de la tabla. Utilice estos datos para obtener una ecuación aproximada del comportamiento Nivel/Flujo del tanque (puede usar LabVIEW u otro lenguaje para este propósito).
- 5.3. Encontrar la ecuación de la curva de la tabla anterior, y encuentre su punto medio

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7. ANEXOS

PRACTICA 2

1. OBJETIVO. Observar el efecto de la válvula de control en el flujo de agua.

2. MARCO TEÓRICO

Para la toma de datos debemos estar claros que dependiendo del ángulo de apertura de la servoválvula el flujo de ingreso va a variar, la servoválvula está controlada mediante LABVIEW así que se facilita la ubicación angular de la misma.

3. MATERIALES.

- LABVIEW
- Módulo de control de nivel

4. PROCEDIMIENTO.

- 4.1. Inicie la interfaz en LABVIEW y asegúrese que la casilla de selección de tipo de control se encuentre en modo manual.
- 4.2. Revisar que las válvulas de seguridad estén correctamente calibradas.
- 4.3. Abrir las todas las válvulas (de entrada y salida) excepto la servoválvula de ingreso de agua al tanque de control.
- 4.4. Verificar que el tanque de control este en su nivel mínimo, que es 3 cm.
- 4.5. Encienda la bomba 1 para que circule agua hacia el tanque de control.
- 4.6. Llene en tanque de control cerca de los 10cm para poder iniciar el proceso.
- 4.7. Varíe el ángulo en la servoválvula en pasos de 5°. Anote el flujo que circula y el ángulo aplicado a la servoválvula, si el nivel del líquido es demasiado alto, puede encender la bomba de salida para sacar un poco de agua y mantener a un nivel intermedio.
- 4.8. Repita el procedimiento anterior hasta obtener muestras de todo el rango de variación de la servoválvula desde 0° a 90°.
- 4.9. Repita los puntos 6 y 7 anteriores, pero ahora empezando con la válvula completamente abierta hasta que la válvula esté completamente cerrada. Tome las anotaciones pertinentes.
- 4.10. Apague la bomba y detenga la interfaz.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS:

5.1. Coloque los resultados de las mediciones realizadas en los puntos 7 al 8 del procedimiento de la práctica en la siguiente tabla.

Angulo de la servoválvula	Caudal de ingreso (abriendo)	Caudal de ingreso (cerrando)	Diferencia de caudales
5			
10			
15			
20			
25			
30			
35			
40			
45			
50			
55			
60			
65			
70			
75			
80			
85			
90			

5.2. Compare los valores del flujo para voltajes iguales en la servoválvula.

5.3. Realice una tabla con la diferencia entre estos valores en una nueva tabla. La diferencia entre los valores del flujo se denomina Histéresis de la válvula. ¿Cree usted que la diferencia en el flujo debería ser cero? Si no es cero, ¿A qué se debe?

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7. ANEXOS.

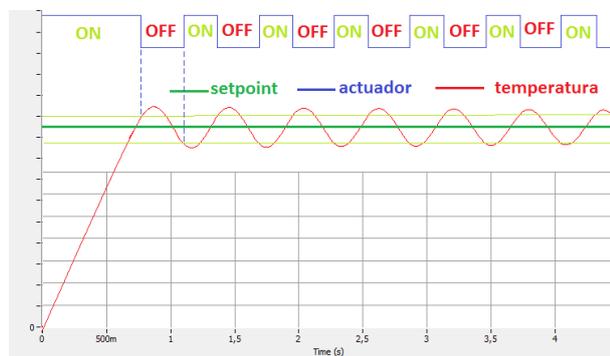
PRACTICA 3

1. **OBJETIVO.** Comprobación de funcionamiento de un control de nivel tipo ON/OFF.

2. MARCO TEÓRICO.

En el control ON-OFF el actuador final tiene solamente dos posiciones o estados de operación. Si la señal de error es positiva, el controlador envía el dispositivo corrector final a una de las dos posiciones. Si la señal de error es negativa, el controlador envía el dispositivo corrector final a la otra posición

Figura 2: Control On – Off con histéresis



Normalmente, para evitar el desgaste del elemento final de control, se tiene una zona de tolerancia o histéresis, en la cual el elemento final de control mantiene el estado anterior; es decir, cambia de estado solo cuando está fuera de esta zona.

3. MATERIALES.

- LABVIEW
- Módulo de control de nivel

4. PROCEDIMIENTO.

- 4.1. Inicie la interfaz en LABVIEW y asegúrese que la casilla de selección de tipo de control se encuentre en modo ON-OFF.
- 4.2. Revisar que las válvulas de seguridad estén correctamente calibradas.
- 4.3. Abrir las todas las válvulas.
- 4.4. Realice varias pruebas en el sistema, cambiando el setpoint y observando el comportamiento del sistema.
- 4.5. Apague la bomba y el resto del sistema.
 - Que puede visualizar en tipo de control.
 - Realice una tabla de datos variando los SETPOINT y tomando datos del tiempo de llenado y vaciado, para diferentes rangos de histéresis

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

histéresis	Set Point	tiempo de llenado	tiempo de vaciado
5	5		
8			
10			
5	10		
8			
10			
5	15		

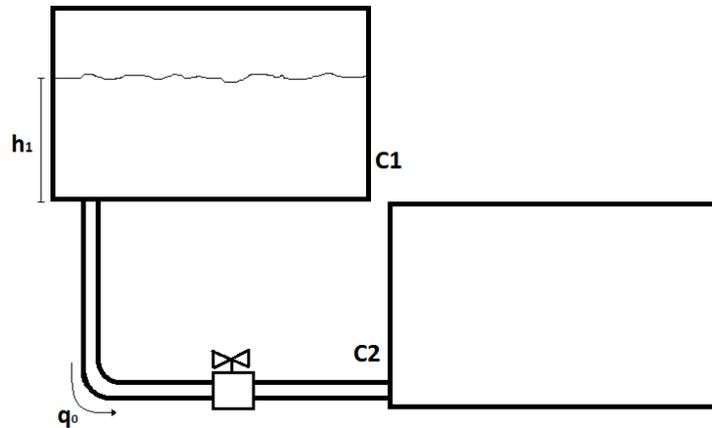
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7. ANEXOS.

PRACTICA 4

1. **OBJETIVO.** Modelado matemático del sistema de control de nivel
2. **MARCO TEÓRICO**

Modelado matemático



C1 y C2 son el área del tanque de control y sumidero respectivamente, en el caso de estudio es la multiplicación del largo por el ancho del tanque.

Es necesario representar el sistema de forma matemática mediante ecuaciones diferenciales.

La diferencia entre el caudal de entrada y salida es igual a la variación de cantidad de líquido dentro del tanque de control.

$$q_i - q_o = \frac{dV}{dt}$$

El volumen de agua puede expresarse como la multiplicación del área del tanque por la altura:

$$q_i - q_o = C_1 \frac{dh_1}{dt}$$

El caudal de salida se lo puede tomar como una constante el cual depende de la altura del líquido en el tanque de control que se lo encuentra experimentalmente tomando datos de altura y caudal diferentes:

$$k = \frac{h_1}{q_o}$$

Reemplazando en la ecuación

$$q_i - \frac{h_1}{k} = C_1 \frac{dh_1}{dt}$$

$$k \cdot C_1 \frac{dh_1}{dt} + h_1 = k \cdot q_i$$

Aplicando la transformada de Laplace

$$k \cdot C_1 \cdot s \cdot H(s) + H(s) = k \cdot Q(s)$$

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{k}{1 + k \cdot C_1 \cdot s}$$

3. MATERIALES.

- LABVIEW
- Módulo de control de nivel
- Calculadora

4. PROCEDIMIENTO.

- 4.1. Asegurarse de que todo el sistema esté apagado.
- 4.2. Tomar las dimensiones del tanque de control
- 4.3. Realizar las ecuaciones diferenciales del comportamiento de la altura en relación al caudal de entrada con los datos obtenidos anteriormente.
- 4.4. Aplicar la transformada de Laplace y obtener la función de transferencia del sistema.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS:

- 5.1. ¿Cuál es el orden del sistema?
- 5.2. ¿Cuáles son los tipos de controladores que pueden realizarse en este sistema?
- 5.3. ¿Qué tipo de respuesta tiene el sistema a una de entrada escalón unitario?

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7. ANEXOS.

PRACTICA 5

1. **OBJETIVO.** Diseño y comprobación de un control de nivel tipo P.

2. **MARCO TEORICO**

Control proporcional

En el diseño de un control proporcional se mejora el tiempo de establecimiento del sistema pero teniendo siempre un error en estado estacionario. El control proporcional no aumenta el grado del sistema.

La planta de control de nivel es:

$$C(s) = \frac{k}{1 + k \cdot C_1 \cdot s}$$

Y la función de transferencia del controlador proporcional es:

$$G_c(s) = k_p$$

La retroalimentación del sistema queda:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{G_c(s) \cdot C(s)}{1 + G_c(s) \cdot C(s)}$$

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{\frac{k_p \cdot k}{1 + k \cdot C_1 \cdot s}}{1 + \frac{k_p \cdot k}{1 + k \cdot C_1 \cdot s}}$$

Simplificando:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{\frac{k_p \cdot k}{1 + k_p \cdot k}}{1 + \frac{k_p \cdot C_1}{1 + k_p \cdot k} s}$$

De donde decimos que:

$$T_t = \frac{k_p \cdot C_1}{1 + k_p \cdot k}$$

$$k_t = \frac{k_p \cdot k}{1 + k_p \cdot k}$$

Quedando la función de transferencia de la siguiente manera:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{k_t}{1 + T_t \cdot s}$$

Quedando un sistema de primer orden donde podemos mejorar las características del sistema.

Para mejorar el tiempo de establecimiento del sistema se realiza:

$$t \leq 4 \cdot T_t$$

$$t \leq \frac{4 \cdot k \cdot C_1}{1 + k_p \cdot k}$$

$$k_p \geq \frac{4 \cdot k \cdot C_1 + 1}{t}$$

Para mejorar el error en estado estable en el sistema se realiza:

$$\frac{1}{1 + k_t} \leq e_p$$

$$k_t \geq \frac{1}{e_p} - 1$$

3. PROCEDIMIENTO.

- 3.1. Realice los cálculos necesarios según se indicó en la sección anterior para obtener un tiempo de establecimiento de 10s.
- 3.2. Revisar que las válvulas de seguridad estén correctamente calibradas.
- 3.3. Abrir la válvula manual de ingreso de agua al tanque principal.
- 3.4. Inicie la interfaz en LABVIEW y asegúrese que la casilla de selección de tipo de control se encuentre en modo PID.
- 3.5. Ingrese el valor de la constante proporcional y ponga en cero las otras constantes.
- 3.6. Pruebe diferentes valores de setpoint y compruebe que el tiempo de establecimiento sea el deseado.
- 3.7. Analice el comportamiento del sistema.
- 3.8. Apague el sistema.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS:

- 4.1. ¿Cuál es el error proporcional en cada setpoint seleccionado?
- 4.2. ¿Qué pasaría si se aumenta demasiado la constante proporcional?
- 4.3. Si se calcula un tiempo de establecimiento menor ¿Cuál sería el comportamiento del sistema?

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. ANEXOS

PRACTICA 6

1. **OBJETIVO.** Diseño y comprobación de un control de nivel tipo PI.

2. MARCO TEÓRICO

Control Proporcional-Integral

El controlador proporcional integral permite añadir al sistema un polo en cero para poder eliminar por completo el error estacionario.

La función de transferencia del controlador proporcional-integral es:

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

$$G_c(s) \cdot C(s) = k_p \left(\frac{1 + T_i s}{T_i s} \right) \frac{k}{1 + k \cdot C_1 \cdot s}$$

El controlador aumenta el tipo del sistema en 1, por lo cual una forma sencilla de diseño es usando $T_i = k \cdot C_1$, quedando de la siguiente manera:

$$G_c(s) \cdot C(s) = \frac{k_p \cdot k}{T_i s}$$

Retroalimentando el sistema se tiene:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{\frac{k_p \cdot k}{T_i s}}{1 + \frac{k_p \cdot k}{T_i s}}$$

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{1}{1 + \frac{T_i}{k_p \cdot k} \cdot s}$$

En la función de transferencia se puede observar que el error estacionario es del 0% y el tiempo de establecimiento se define como:

$$T = \frac{4 \cdot T_i}{k_p \cdot k}$$

3. PROCEDIMIENTO.

- 3.1. Realice los cálculos necesarios según se indicó sección anterior para obtener un tiempo de establecimiento de 10s.
- 3.2. Revisar que las válvulas de seguridad estén correctamente calibradas.
- 3.3. Abrir la válvula manual de ingreso de agua al tanque principal.
- 3.4. Inicie la interfaz en LABVIEW y asegúrese que la casilla de selección de tipo de control se encuentre en modo PID.
- 3.5. Ingrese el valor de las constantes proporcional e integral, encere la constante derivativa.

- 3.6. Pruebe diferentes valores de setpoint y compruebe que el tiempo de establecimiento sea el deseado.
- 3.7. Analice el comportamiento del sistema.
- 3.8. Apague el sistema.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- 4.1. ¿Existe error proporcional en el sistema?
- 4.2. ¿Qué pasaría si se aumenta demasiado la constante proporcional?
- 4.3. ¿Qué pasaría si aumenta demasiado la constante integral?
- 4.4. Si se calcula un tiempo de establecimiento menor ¿Cuál sería el comportamiento del sistema?

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. ANEXOS

**ANEXO O. MODELADO
MATEMÁTICO**

La resistencia R para el flujo de líquido en una tubería se define como el cambio en la diferencia de nivel para producir un cambio en una unidad en la velocidad de flujo, es decir:

$$R = \frac{h}{q_o}$$

La variación de líquido dentro del tanque de control se lo muestra con la siguiente ecuación:

$$q_i - q_o = C \frac{dh}{dt}$$

Donde:

C=área de la base del tanque contendor

Eliminando la variable de caudal de salida nos queda:

$$q_i - \frac{h}{R} = C \frac{dh}{dt}$$

Organizando las ecuaciones:

$$R \cdot C \frac{dh}{dt} + h = R \cdot q_i$$

Aplicando la transformada de Laplace

$$R \cdot C \cdot H(s) + H(s) = RQ(s)$$

Por lo cual la función de transferencia nos queda de la siguiente manera

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{R}{R \cdot C \cdot s + 1}$$

De la función de transferencia se deduce las características dinámicas de la planta de control de nivel

$T = R \cdot C$ Constante de tiempo del sistema

$Kc = R$ Ganancia de lazo abierto

Utilizando los datos reales de la planta obtenemos:

$$C = 889.998 \text{ cm}^2$$

$$R = 0.124138 \text{ seg/cm}^2$$

De esta manera la función de transferencia queda de la siguiente manera:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{0.124138}{110.48s + 1}$$

Realizando un análisis de la función de transferencia se puede deducir que el tiempo de establecimiento es de 441.92 seg y se tiene un error en estado estacionario del 87.58%, para mejorar la respuesta es necesario utilizar un sistema de control:

Control Proporcional:

Mediante la utilización de un control proporcional se puede mejorar el tiempo de establecimiento del sistema a un valor deseado o reducir el error en estado estacionario.

$$C(s) = k_p$$

Retroalimentando el sistema se tiene:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{C(s).G(s)}{C(s).G(s) + 1}$$

Por lo cual:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{\frac{R.K_p}{1 + R.K_p}}{\frac{T}{1 + R.K_p}s + 1}$$

Donde:

$$T_t = \frac{T}{1 + R.K_p}$$

$$K_t = \frac{R.K_p}{1 + R.K_p}$$

$$Err = \frac{1}{1 + R.K_p}$$

Para obtener en el sistema un error proporcional menor al 15%.

$$0.15 \geq \frac{1}{1 + 0.1241.K_p}$$

Por lo cual:

$$K_p \geq 45.64$$

Quedando una función de transferencia de:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{0.85}{16.572s + 1}$$

Nos queda un error proporcional del 15% y un tiempo de establecimiento de 66,28 seg.

Como se puede observar el sistema se tarda demasiado en llegar a su valor máximo, en el caso de requerir un tiempo de establecimiento menor de 5 seg, tenemos:

$$\begin{aligned} \text{tiempo} &\geq 4 \cdot T_t \\ 5 &\geq \frac{4 * 110.48}{1 + 0.1241 \cdot K_p} \\ K_p &\geq 703.92 \end{aligned}$$

En este caso nos queda una función de transferencia:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{0.9886}{1.25s + 1}$$

De esta manera se obtuvo un error en estado estacionario del 1.14% y un tiempo de establecimiento de 5 seg.

Como se puede notar, al incrementar la constante proporcional se puede mejorar el tiempo de estabilización del sistema y reducir el error en estado estacionario, pero todo depende de los límites del sistema, lo cual produce una saturación en la salida.

En el caso de nuestro sistema de control, el límite es el caudal del líquido el cual tiene como máximo 666.67 cm³/s.

Control Proporcional – Integral

Al añadir un controlador integral al sistema se reduce el error estacionario al 0%, por lo cual solo es necesario diseñar un controlador que permita mejorar el tiempo de establecimiento del sistema.

$$C(s) = k_p \frac{1 + T_i s}{T_i s}$$

$$C(s) \cdot G(s) = k_p \cdot \frac{1 + T_i s}{T_i s} \cdot \frac{R}{R \cdot C \cdot s + 1}$$

Para simplificar el proceso se selecciona $T_i = T$ quedando:

$$C(s) \cdot G(s) = k_p \cdot \frac{R}{T_i s}$$

Al retroalimentar el sistema se tiene:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{1}{1 + \frac{T_i}{R \cdot k_p} s}$$

De la función de transferencia podemos deducir:

$$T_T = \frac{T_i}{R \cdot k_p} s$$

$$Err = 0\%$$

En la función de transferencia del sistema para obtener un tiempo de establecimiento de 5 seg tenemos:

$$5T_T = \text{tiempo}$$

$$5 \frac{T_i}{R \cdot k_p} = \text{tiempo}$$

$$k_p \geq 5 \frac{T_i}{R \cdot \text{tiempo}}$$

$$k_p \geq 5 \frac{110.48}{0.124138 * 5}$$

$$k_p \geq 889.97$$

Quedando la función de transferencia:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{1}{1 + s}$$

Lo cual obtenemos un error en estado estacionario del 0% y un tiempo de establecimiento al 99% de 5 seg.

QAD VERDEZOTO

Handwritten signature in blue ink, possibly reading "Michael V. ...".



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

ARTÍCULO CIENTÍFICO

TEMA:

**MÓDULO INTERACTIVO DE CONTROL DE NIVEL EN TIEMPO REAL UTILIZANDO
INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL PARA LOS LABORATORIOS DE MECATRÓNICA**

AUTOR: ANDRÉS MARCELO VARGAS MUÑOZ

DIRECTOR: ING. GABRIELA VERDEZOTO

IBARRA – ECUADOR

2014

Módulo Interactivo De Control De Nivel En Tiempo Real Utilizando Instrumentación Virtual Para Los Laboratorios De Mecatrónica

Andrés VARGAS¹, Gabriela VERDEZOTO²

¹ Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de Julio 5-21, Ibarra, Imbabura

² Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de Julio 5-21, Ibarra, Imbabura

andres.vargas.innovatec@gmail.com, gaverdezoto@utn.edu.ec

Resumen. El trabajo detallado a continuación se fundamenta en la calibración de compensadores PID para controlar una variable física en un sistema real a través de un sistema de instrumentación virtual, ayudando así a complementar el aprendizaje de los estudiantes de sistemas de control.

La instrumentación virtual nace en base a la necesidad del usuario de tener una gran variedad de instrumentos reprogramables y reconfigurables, reemplazando equipos físicos por software con una interfaz hombre-máquina amigable.

La interfaz gráfica del módulo didáctico de control de nivel cuenta con menús desplegables donde se elige el tipo de control a ejecutarse, además cuenta con controles e indicadores de los estados de los diferentes sensores y actuadores del sistema.

Palabras Claves

Microcontroladores, sistemas de control, Interfaz Hombre-Máquina, LABVIEW, instrumentación Virtual, control de nivel.

1. MÉTODOS DE MEDICIÓN Y CONTROL DE NIVEL

1.1. INTRODUCCIÓN A LOS LÍQUIDOS

“El líquido a una presión y temperatura determinadas ocupan un volumen determinado” (Mataix, 1986).

El líquido toma la forma del recipiente en el que es introducido, este adopta una superficie plana siempre que se mantenga una presión constante sobre la misma.

1.2. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

a) Medición de nivel de líquidos

El nivel es una variable física que puede ser medida fácilmente. La medición, detección o monitoreo del nivel de líquidos es fundamental en la industria. Se puede medir el nivel de un líquido directa o indirectamente:

- **Tipos de medidores de nivel**

En el mercado existen varios tipos de instrumentos para medición de nivel dependiendo directamente de las características del fluido y de sus propiedades.

En este proyecto se usa el medidor de nivel de tipo desplazamiento.

El medidor de nivel de tipo desplazamiento está conformado por un flotador sumergido en el líquido y transmite su movimiento a una resistencia variable, está basado en el principio de Arquímedes.

b) Medición de caudal de líquidos

La medición de caudal es la acción de medir la velocidad, el flujo volumétrico o el flujo másico de cualquier líquido o gas.

- **Tipos de medidores de caudal**

Para sistemas de tuberías cerradas, están disponibles numerosos tipos de medidores de caudal.

En el presente proyecto se usa el medidor de caudal de paletas deslizantes.

Está constituido por un rotor el cual gira al paso del fluido mediante paletas, proporciona una señal de pulsos proporcional al caudal en la tubería.

c) Elementos finales de control

- *Válvula de bola*

El cierre se realiza mediante una bola taladrada que gira entre asientos elásticos, tiene un giro de 90° y tiene baja resistencia al paso de fluido.

- *Electroválvula*

La electroválvula está constituida por una bobina solenoide encajada en un núcleo fijo en forma de tubo cilíndrico, en cuyo interior desliza un núcleo móvil provisto en su extremo de un disco o tapón, opera en posición completamente abierta o cerrada

- *Bomba de agua*

“Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad” (Zubicaray & Álvarez Fernandez, 1995).

d) Sistemas de control

“Un sistema de control o proceso está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí que ofrecen señales de salida en función de señales de entrada o datos” (Geltru, 1997).

- **Clasificación de los sistemas de control**

- *Sistema de control de lazo abierto*

Un sistema de control en lazo abierto *“es aquel sistema en el cual la acción es, en cierto modo, independiente de la salida”* (Hernández Gaviño, 2010).

- *Sistema de control de lazo cerrado*

En un sistema de control en lazo cerrado, la acción de control depende de la salida.

“La salida real se compara con respecto al comportamiento deseado, de tal forma que si el sistema lo requiere se aplica una acción correctora sobre el proceso por controlar” (Hernández Gaviño, 2010).

- **Tipos de controladores**

- *Control On - Off*

En un sistema de control on - off, el elemento actuador tiene solo dos posiciones de operación, el dispositivo corrector final cambia de una posición activa a una inactiva dependiendo del signo del error.

- *Control Proporcional*

El controlador proporcional permite generar una señal de control proporcional a la señal de error. La variable a controlar en este tipo de control jamás se estabiliza justo en el valor deseado sino que se tiene un "error estacionario".

- *Control Proporcional Derivativo PD*

“El control derivativo mediante la derivada de la señal de error ‘conoce’ sus características dinámicas (crecimiento o decrecimiento), produciendo una corrección antes de que la señal de error sea excesiva” (Geltru, 1997). Se obtiene una respuesta demasiado lenta cuando la influencia del control PD es muy grande.

- *Control Proporcional Integral PI*

El control proporcional integral (PI) *“combina las ventajas de la acción proporcional e integral; la acción integral elimina el error estacionario, mientras que la acción proporcional reduce el riesgo de inestabilidad que conlleva la introducción de la propia acción integral”* (Geltru, 1997).

- *Control Proporcional Integral Derivativo PID*

Un controlador PID es un controlador proporcional con acción derivativa y acción integral simultáneamente.

1.3. HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y CONTROL DE DATOS

a) Hardware de adquisición de datos

El NI USB-6009 es un dispositivo de adquisición de datos con conectividad fácil por tornillos y un factor de forma pequeño. Con USB plug-and-play, este dispositivo es suficientemente simple para mediciones

rápidas, pero suficientemente versátil para aplicaciones de medición más complejas.

Figura 1: Tarjeta de adquisición de datos USB - 6009



Fuente: Guía de usuario y especificaciones NI USB 6009.

b) Hardware de control de datos

Un microcontrolador es un circuito integrado que nos ofrece las posibilidades de un pequeño computador, se clasifican de acuerdo a las prestaciones que ofrecen en las diferentes gamas, ya sean baja, media y alta.

Para la implementación de un programa en microcontrolador se necesita un compilador que es un programa que permite convertir a lenguaje máquina las instrucciones escritas en otro lenguaje, para que así sean entendibles por el microcontrolador.

1.4. INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

La instrumentación virtual es el uso de software personalizable y hardware de medición modular para crear sistemas definidos por el usuario, llamados instrumentos virtuales.

a) Programación gráfica

Una de las plataformas utilizadas en los sistemas de instrumentación virtual es LABVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench). Se trata de una interfaz gráfica de usuario y programación visual basada en instrumentación computarizada.

Para crear aplicaciones se utiliza iconos en lugar de líneas de texto, permitiendo crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla. La programación de LABVIEW puede ser definido como capas de

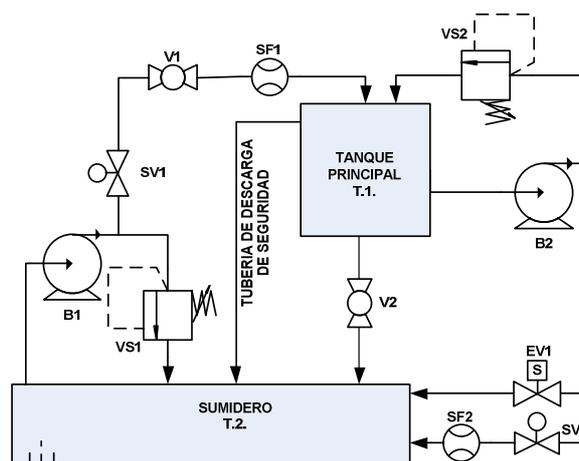
hardware y software, añadido a un ordenador personal de tal manera que el ordenador actúa como un instrumento de diseño personalizado.

2. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL

2.1. MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE NIVEL

El módulo didáctico para control de nivel de líquidos, tiene como objetivo fundamental complementar el aprendizaje de los estudiantes de sistemas de control mediante la calibración de compensadores PID, control manual y control ON-OFF con histéresis, para controlar una variable física en un sistema real a través de un sistema de instrumentación virtual.

Diagrama 1: Módulo de control de nivel



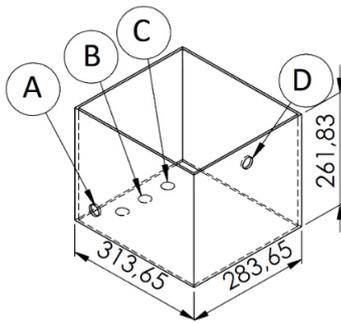
Fuente: Autor

a) DISEÑO DE LA PLANTA DE CONTROL DE NIVEL

- **Diseño de tanques**

- *Tanque de control.*

En el tanque de control se visualiza la variable principal que es el nivel del líquido, los tanques son de vidrio ya que facilita la visualización de la variable controlada. Para evitar que el líquido se desborde se realiza un orificio para descarga de seguridad a una altura de 20 [cm], limitando el volumen a controlar a 17.8 [l]

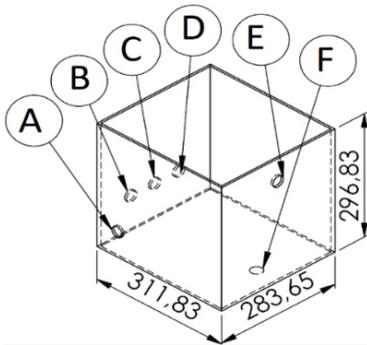
Figura 2: Tanque de control

Fuente: Autor

- A) Orificio de ingreso de líquido.
- B) Un ingreso controlado de perturbación y un ingreso controlado y medido de perturbaciones
- C) Un ingreso manual de perturbaciones.
- D) Orificio para ubicar la descarga de seguridad.

- *Tanque sumidero.*

La función del tanque sumidero es almacenar el agua para ser enviada hacia el tanque de control, por lo cual debe tener una capacidad mayor.

Figura 3: Tanque sumidero

Fuente: Autor

- A) Orificio de succión para elevar el agua al tanque de control.
- B) Retorno de agua desde el tanque principal mediante una electroválvula
- C) Retorno de agua desde el tanque principal mediante una servoválvula
- D) Retorno de agua desde el tanque principal mediante una válvula manual.
- E) Descarga de seguridad.
- F) Desagüe para mantenimiento

Con estas dimensiones se tiene una capacidad total de agua de 26.25 [l].

• Selección del espesor del vidrio.

Para la selección del espesor del vidrio se debe conocer la presión ejercida por el líquido en la base del tanque, para lo cual se hace uso de la ecuación 1.

$$P = \rho \times g \times h$$

$$P = 1000 \times 9.8 \times 0.26$$

$$P = 2548 \text{ [Pa]}$$

Esta presión será lo máximo que deberá soportar los tanques, por lo cual es necesario un espesor de 5mm.

b) Análisis de estructura mecánica

El diseño de la estructura mecánica se realiza tomando en cuenta las cargas a las que está sometida la estructura.

Peso producido por el tanque de control:

$$Peso_{H_2O} = 1000 \times 0.02 \times 9.8$$

$$Peso_{H_2O} = 196 \text{ [N]}$$

Peso producido por el tanque de sumidero:

$$Peso_{H_2O} = 1000 \times 0.026 \times 9.8$$

$$Peso_{H_2O} = 254.8 \text{ [N]}$$

Con estos pesos calculados, se procede a calcular el máximo esfuerzo cortante que soporta la estructura mecánica, para ello se asume un ángulo estructural ASTM36 cuyas características son:

- Dimensiones: 1/1/1/8"
- Resistencia a la tensión: 480 [Mpa]
- Resistencia a la fluencia: 345 [Mpa]

$$\tau_{max} = \frac{3 \times (254.8 + 196)}{2 \times (0,003171)} = 0,108 \text{ [MPa]}$$

Del cálculo se deduce que el ángulo estructural seleccionado ASTM36 tiene características de resistencia superiores a lo que la estructura tiene que soportar.

c) Diseño de tuberías

Para la instalación de tuberías se utiliza Hidro 3 la cual soporta una presión hidrostática de hasta 19 Bares. Para la instalación de tubería se debe:

- Cortar la tubería en la distancia adecuada.
- Realizar la rosca en la tubería.
- Sellar con cinta teflón las uniones roscadas de PVC.
- Ajustar manualmente o mediante llave de tubo.

d) Análisis de pérdidas

- *Ingreso de agua al tanque de control*

Figura 4: Tramo de ingreso de agua al tanque control



Fuente: Autor

El primer tramo consta de tubería de 1", con una longitud total de 0.5m.

Tabla 1: Factor k tubería 1" ingreso de agua al tanque principal

Accesorio	Cantidad	k	k total
Ampliación de ½" a 1"	1	0.44	0.44
Codo 90° 1"	2	0.75	1.50
Reductor de 1" a ½"	1	0.16	0.16
			2.10

Fuente: Autor

Además consta de tubería de ½", con una longitud total de 1.3m.

Tabla 2: Cálculo factor k tubería ½" en el ingreso de agua al tanque principal

Accesorio	Cantidad	k	k total
Salida brusca	1	0.78	0.78
Codo 90° ½"	2	0.81	1.62
Unión T flujo recto	1	0.54	0.54
Válvula de bola	2	0.08	0.16
Entrada brusca	1	1	1
			4.10

Fuente: Autor

- *Salida de agua del tanque de control*

Figura 5: Tramo de salida de agua del tanque de control



Fuente: Autor

El primer tramo consta de tubería de 1", con una longitud total de 0.38m

Tabla 3: Cálculo factor k tubería 1"

Accesorio	Cantidad	k	k total
Ampliación de ½" a 1"	1	0.44	0.44
Codo 90° 1"	1	0.75	0.75
Reductor de 1" a ½"	1	0.16	0.16
			1.35

Fuente: Autor

Además consta de tubería de ½", con una longitud total de 2.565 [m]

Tabla 4: Cálculo factor k tubería ½"

Accesorio	Cantidad	k	k total
Salida brusca	1	0.78	0.78
Codo 90° ½"	10	0.81	8.1
Unión T flujo recto	2	0.54	1.08
Unión T perpendicular	2	1.62	3.24
Válvula de bola	1	0.08	0.08
Entrada brusca	1	1	1
			15

Fuente: Autor

Después de realizar los cálculos de pérdidas de carga se procede a la determinación de la potencia de la bomba:

$$P_{teórica} = h_a * \rho * g * Q_t$$

$$P_{teórica} = 15.745 \times 1000 \times 9.8 \times 6.67 \times 10^{-4} = 102.918 [W]$$

Considerando que 1 HP equivale a 745 W se tiene que:

$$P_{teórica} = \frac{102.918}{745} = 0.138 [HP]$$

Para el cálculo de la pérdida de carga real, se considera el rendimiento mínimo de la bomba que es del 30%, por lo que se tiene:

$$P_{real} = P_{teórica}/0.3$$

$$P_{real} = \frac{0.138}{0.3} = 0.46 [HP]$$

e) Diseño eléctrico y electrónico de la planta de control de nivel

• Circuito de control

La planta de control de nivel requiere para su buen funcionamiento la adquisición y control de las siguientes variables:

- Dos salidas analógicas que serán necesarias para controlar el ángulo de apertura de dos servoválvulas.
- Dos entradas digitales para la lectura de los pulsos generados por los flujómetros de paletas.
- Una salida digital para el control de la electroválvula.
- Dos salidas digitales para el control de las bombas eléctricas.
- Una entrada analógica para la lectura del sensor resistivo de nivel.

Para cumplir con los requerimientos se utilizó:

- La tarjeta DAQ-6009
- El microcontrolador PIC18F2550

a) Tratamiento de señal para la servoválvula

Para el accionamiento de las servoválvulas es necesario la generación de pulsos con una variación entre 1000us y 2000us, se la realiza mediante un lectura análoga-digital tomada de la DAQ y es generada con el temporizador 0 del microcontrolador.

Los ángulos intermedios se pueden obtener mediante la interpolación entre los valores mínimo y máximo.

Tabla 5: Rango de funcionamiento de la servoválvula en el sistema

Ángulo [°]	Tiempo [ms]	Temporizador
45	1	62536
135	2	59536
apagado	15	20536

Fuente: Autor

• Circuito de fuerza

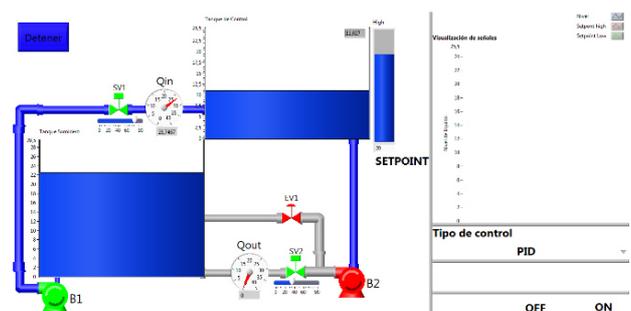
Para la alimentación se ha requerido utilizar la tensión monofásica 110V AC, ya que los motores de las bombas y la fuente requieren de este tipo de alimentación, para obtener los voltajes de corriente continua se utiliza la fuente de computadora la que nos entrega 5 y 12 VDC para los dispositivos de control.

3. IMPLEMENTACIÓN

3.1. Implementación de software

Para el diseño de control se utiliza la plataforma LABVIEW, mediante la cual se realiza la interfaz gráfica del módulo interactivo de control de nivel.

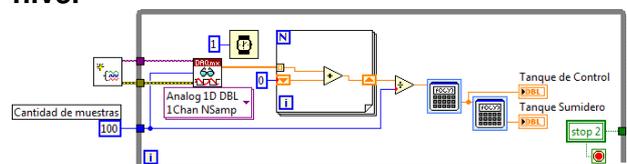
Figura 6: Simulación planta de control de nivel



Fuente: Autor

El sensor de nivel está conectado a una entrada analógica (AI0), configurada como lectura de voltaje.

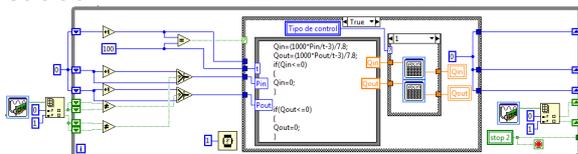
Figura 7: Ciclo de lectura del sensor de nivel



Fuente: Autor

Los sensores de caudal de entrada y salida de líquido del tanque principal están conectados en las entradas digitales P1.0 y P1.1 de la DAQ respectivamente.

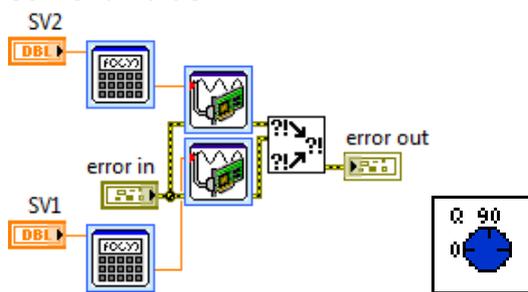
Figura 8: Ciclo de lectura del sensor de caudal



Fuente: Autor

Para la activación de las servoválvulas se utiliza SLIDERS con una variación de 0° a 90°.

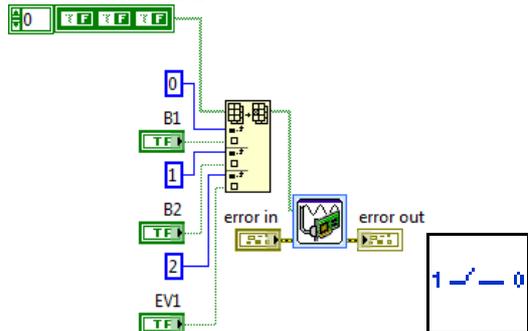
Figura 9: Ciclo de activación de servoválvulas



Fuente: Autor

Las bombas de agua de entrada y salida de líquido al tanque principal y la electroválvula son controladas mediante las salidas digitales P0.0, P0.1 y P0.2 de la DAQ respectivamente, mediante su debida interfaz de potencia.

Figura 10: Control de bombas y electroválvula



Fuente: Autor

3.2. SELECCIÓN DEL TIPO DE CONTROL

Los tipos de controles que se pueden realizar son:

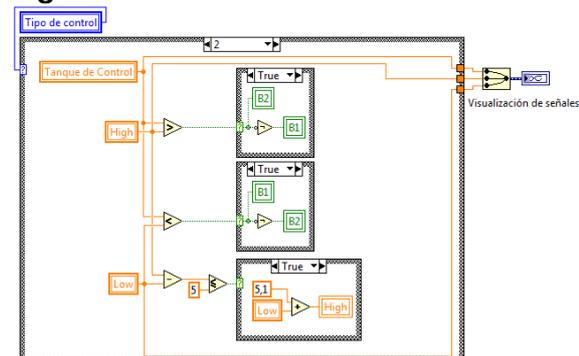
- **Manual**
En el control manual, se puede modificar directamente el estado de cualquiera de

los controladores mencionados anteriormente mientras se visualiza los efectos en el sistema.

- **On – Off**

En el control On – Off, los únicos controles modificables son el ángulo de las servoválvulas y la activación de la electroválvula. Las bombas de agua se encienden y apagan automáticamente dependiendo de los setpoints establecidos por el usuario.

Figura 11: Control On - Off

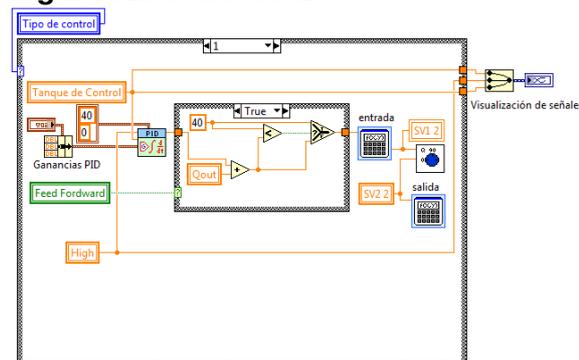


Fuente: Autor

- **PID**

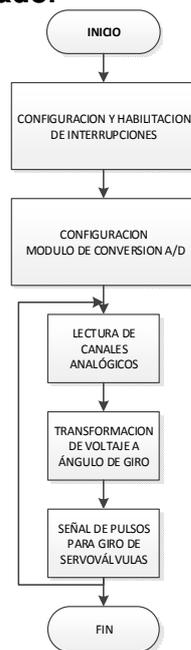
En el control PID se puede controlar manualmente todos los dispositivos de salida, debido a que con estos ingresamos perturbaciones al sistema y así poder visualizar el comportamiento del mismo.

Figura 12: Control PID



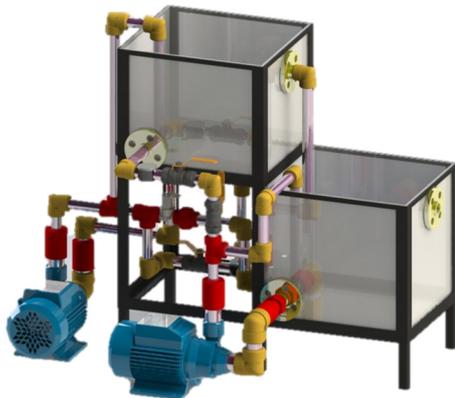
Fuente: Autor

Diagrama 2: Programa principal del microcontrolador



Fuente: Autor

Figura 13: Módulo de control de nivel



Fuente: Autor

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El proyecto diseñado, construido y analizado proporciona un sistema funcional, flexible y capaz de incrementar los conocimientos a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica sobre la medición y control de nivel agua.
- Las instalaciones del módulo didáctico de control de nivel presentan gran adaptabilidad para la implementación de los diferentes tipos de control de nivel debido a que las señales de control para la activación de los diferentes actuadores son totalmente reprogramables.
- La interfaz computacional permite al usuario manejar de manera dinámica y sencilla los diferentes actuadores como son bombas, electroválvulas y servoválvulas, también la correcta visualización de los sensores de flujo y nivel de líquido.
- El sistema de tanques permite variar el nivel de agua contenida en ellos, utilizando bombas de agua y servoválvulas para poder regular la cantidad de agua que ingresa y sale del tanque de control.
- El tiempo de respuesta de los componentes utilizados influye directamente en la velocidad y exactitud de respuesta, en el caso de las servoválvulas el acoplamiento mecánico reduce la velocidad de respuesta de las mismas.
- Para la medición de nivel se utilizó un sensor resistivo de los tanques de gasolina el cual mediante una boya ubicada en el extremo mide la variación en el nivel del líquido, el sensor no es comparable con los transmisores comerciales pero tiene una buena función de transferencia teniendo un error mínimo en la lectura.
- En la medición de caudal se utilizó un sensor de paletas que tiene una zona no utilizable para caudales menores a 2 lt/min en el que el valor de frecuencia en la salida es variable, el cual no es un inconveniente para el sistema debido al filtro por software que se le da para evitar estos errores.
- El uso de la válvula de seguridad es necesaria en el sistema de control de

- Con el módulo didáctico de control de nivel se logró implementar diferentes tipos de controladores tales como ON-OFF, P, PI, PD, PID y FEED-FORWARD, mediante un programa de instrumentación virtual con interacción en tiempo real, para que los estudiantes pueden realizar diversas prácticas de laboratorio y verificar el funcionamiento de los diferentes tipos de sensores y actuadores.

nivel de líquidos debido a que ayuda a la evacuación de agua cuando se encuentra obstruido el paso principal del líquido evitando daños tanto en las tuberías como en las bombas.

4.2. Recomendaciones

- Implementar un sensor de nivel en el tanque sumidero para incrementar la variedad de prácticas de laboratorio y mejorar la seguridad en el sistema de control de nivel mediante la detección de ausencia de líquido y evitar la succión de aire por las bombas.
- Aumentar sensores de presión para realizar un monitoreo constante desde la PC y así evitar daños tanto las tuberías como en los elementos de control, en este caso las bombas de agua las cuales pueden llegar a destruirse en el caso de que todos las válvulas se encuentren cerradas.
- Implementar otros tipos de control como pueden ser controladores discretos, control fuzzy e inclusive redes neuronales que ayuden a complementar los conocimientos teórico – prácticos de los estudiantes.
- Realizar nuevas prácticas utilizando diferentes tipos de sensores de nivel como son ultrasónico, infrarrojos, presión diferencial entre otros, los cuales ofrecen diferentes tipos de señales permitiendo al usuario ampliar sus conocimientos de instrumentación electrónica debido a que el sistema está sujeto a cambios.
- Verificar el correcto proceso de encendido del sistema, primero iniciar la interfaz virtual y después realizar la alimentación a los módulos del sistema mediante el tablero de control, debido a que la DAQ-6009 al ser alimentada mediante el USB genera valores aleatorios de voltajes.
- Comprobar que las válvulas de seguridad estén debidamente calibradas tanto a la entrada como a la salida de agua, asegurando la protección de las bombas de agua por una sobrepresión en la tubería.
- Utilizar el paro de emergencia en caso de fallos en el sistema y verificar que todos los componentes tengan un

correcto funcionamiento antes de volver a iniciar el proceso.

- Comprobar que la alimentación de 110VAC tenga su respectiva conexión a tierra, para asegurar el debido funcionamiento del sistema y mantener protegido los componentes.

5. AGRADECIMIENTOS

A mi novia Diana Chamorro, por su incansable apoyo y dedicación durante el desarrollo de todo el proyecto.

A mis padres y hermanos, por brindarme su apoyo constante y no dejarme vencer por las adversidades.

Especial reconocimiento al Ing. Jorge Terán y a la Ing. Gabriela Verdezoto por su apoyo y guía en el desarrollo del presente trabajo.

A todos los amigos que influyeron de manera directa o indirecta en la elaboración del proyecto.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bishop, R. (s.f.). *Sistemas de control moderno*. Prentice Hall.
- [2] Blume, P. (2007). *The Labview Style Book*. EE.UU: Prentice Hall.
- [3] Greene, R. (1985). *Válvulas. Selección, uso y mantenimiento*. McGRAW-HILL.
- [4] *Guía de usuario y especificaciones NI USB 6009*. (2004-2012). Texas: National Instruments.
- [5] Jerome, J. (s.f.). *Virtual Instrumentation Using LABVIEW*.
- [6] Kuo, B. (s.f.). *Sistemas de Control automático*. México: Pearson Education.
- [7] Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Prnetice Hall.
- [8] Ogata, K. (s.f.). *Ingeniería de Control Moderna*. España: Pearson Education.
- [9] Zubicaray, M. V., & Álvarez Fernandez, J. (1995). *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. México: LIMUSA S.A.

Sobre los Autores

Andrés VARGAS

Nació en Ibarra provincia de Imbabura el 19 de Noviembre de 1985. Realizó sus estudios primarios en el Instituto Tecnológico José Tobar Tobar. En el año 2003, obtuvo el título de bachiller en especialización Físico-Matemático en la Academia Militar San Diego. Actualmente es egresado de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra.

Gabriela VERDEZOTO

Profesional en el área de Ingeniería en Electrónica de Control y automatización. Oriunda de la ciudad de Ibarra nació el 28 de Octubre de 1987. Graduada de la Escuela Politécnica del Ejército. Se desempeña como Docente a nivel superior en las materias de Análisis Matemático, Electrónica de Potencia, Sistemas de Control y Servomecanismos. Sus áreas de interés son Programación, Automatización e Inteligencia Artificial.



NORTHERN TECHNICAL UNIVERSITY

INGENEERING FACULTY IN APLIED CIENCES

MECHATRONICS ENGINEERING CAREER

CIENTIFIC ARTICLE

TOPIC:

**INTERACTIVE CONTROL LEVEL MODULE USING REAL TIME VIRTUAL
INSTRUMENTATION FOR MECHATRONICS LABS**

AUTHOR: ANDRÉS MARCELO VARGAS MUÑOZ

TUTOR: ING. GABRIELA VERDEZOTO

IBARRA – ECUADOR

2014

Interactive Control Level Module Using Real Time Virtual Instrumentation For Mechatronics Lab

Andrés VARGAS¹, Gabriela VERDEZOTO²

¹ Northern Technical University, Av. July 17th 5-21, Ibarra, Imbabura

² Northern Technical University, Av. July 17th 5-21, Ibarra, Imbabura

andres.vargas.innovatec@gmail.com, gaverdezoto@utn.edu.ec

Abstract. The work detailed below is based on the calibration of PID compensators to control a physical variable in a real system through a virtual instrumentation system, helping to complement the learning of control systems student.

The virtual instrumentation is born with the user's need to have a variety of reprogrammable and reconfigurable instruments, replacing physical machines by software with a friendly man-machine interface.

The graphical interface of the training module level control has dropdown menus where the control is selected to be executed, also has controls and indicators of the states of the different sensors and actuator of the system.

Keywords

Microcontrollers, Control System, Human – Machine Interface, LABVIEW, Virtual Instrumentation, Level Control.

1. METHODS OF LEVEL CONTROL AND MEASUREMENT

1.1. INTRODUCTION TO LIQUIDS

The liquid at a certain temperature and pressure occupies a certain volume.

The liquid takes the shape of the container in which it is introduced, this assumes a flat surface as long as constant pressure is maintained on the same.

1.2. ELECTRONIC INSTRUMENTATION

a) Liquid Level Measurement

The level is a physical variable that can be easily measured. The measurement,

detection or monitoring of liquid level in the industry is essential. The liquid level can be measured directly or indirectly:

• Types of level meters

There are several types of level measurement instruments in the market, depending directly on the characteristics of the fluid and its properties.

In the project the level meter displacement type is used.

The level meter displacement type consists of a float immersed in the liquid and transmits its motion to a variable resistor, it is based on the Archimedes principle.

b) Liquid Flow Measurements

Flow measurement is the act of measuring the velocity, volumetric flow or mass flow of any liquid or gas.

• Types of flow meters

For closed piping systems are available many types of flow meters.

In this project the sliding vane flow meter is used.

It consists of a rotor which rotates during fluid flow by palettes, it provides a pulse signal proportional to the flow in the pipe.

c) Final control elements

- *Ball Valve*

The closing is via a drilled ball that rotates between flexible seats, has a 90 degree turn and has low resistance to fluid flow.

- *Solenoid*

This is constituted by a solenoid coil fitted into a fixed core in the form of cylindrical

tube, inside a movable core provided at the end of a disc or plug slides, operates in a fully open or closed position Water pump

A pumping unit is a power transformer. Receives mechanical energy and converts it into energy acquired in a fluid form of pressure, velocity or position.

d) Control system

A control system consists of a series of interrelated elements that provide output signals based on input signals or data

- **Classification of control systems**

- *Open loop control system*

An open-loop control system is one in which the action is somehow independent of the output.

- *Closed loop control system*

In a system of closed loop control, the control action depends on the output.

Comparing the actual output from the desired behavior, such that if the system requires corrective action on the process is applied to control.

- **Types of controllers**

- *On - Off Control*

In an on - off control system, the actuator element has only two operating positions, the final correcting device change from an active to an inactive position depending on the sign of the error.

- *Proportional Control*

The proportional controller generates a proportional control signal to the error signal. The controlled variable in this type of control just never stabilizes at the desired value but has a steady state error.

- *Proportional Derivative Control PD*

The derivative control by the derivative of the error signal 'knows' its dynamic characteristics (growth or decline), producing a correction before the error signal is excessive. Too slow response is obtained when the influence of PD control is very large.

- *Proportional Integral Control PI*

The proportional integral control combines the advantages of the proportional and integral action; integral action eliminates the steady state error, while the proportional action reduces the risk of instability that involves the introduction of integral action itself.

- *Proportional Integral Derivative Control PID*

A PID controller is a proportional control controller with integral action and derivative action simultaneously.

1.3. CONTROL AND DATA ACQUISITION HARDWARE

a) Data acquisition hardware

The NI USB-6009 is a data acquisition device for easy connectivity with screws and a small form factor. With USB plug-and-play, this device is simple enough for quick measurements, but versatile enough for more sophisticated measurement applications.

Figure 1: Data acquisition board USB-6009



Source: User guide and specifications NI USB-6009.

b) Data control hardware

A microcontroller is an integrated system that offers the possibility of a small computer circuit, are classified according to the features offered in different ranges, whether low, medium and high.

To implement a program in microcontroller a compiler is needed, a compiler is a program that allows convert to machine language instructions written in another language, so that they are understandable by the microcontroller.

1.4. VIRTUAL INSTRUMENTATION

Virtual instrumentation is the use of customizable software and modular measurement hardware to create user-defined systems, called virtual instruments.

a) Graphic programming

One of the platforms used in virtual instrumentation systems is LABVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench). Is a graphical user interface and computer-based visual programming instrumentation.

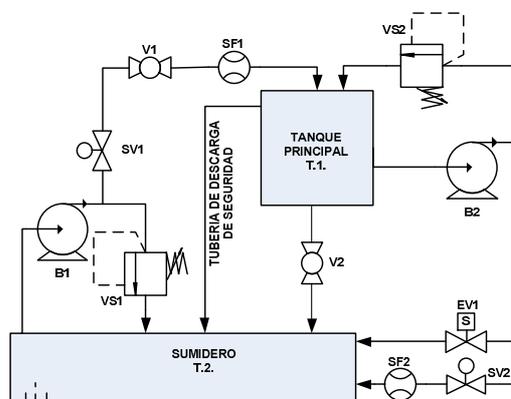
To create applications use icons instead of lines of text, allowing to create applications quickly and easily. LABVIEW programming can be defined as hardware and software layers, added to a personal computer so that the computer acts as a custom designed tool.

2. SYSTEM DESIGN OF LEVEL CONTROL

2.1. EDUCATIONAL MODULE OF LEVEL CONTROL

The training module for liquid level control, has the fundamental objective to complement the student learning control systems with PID compensators calibration, manual control and ON-OFF control with hysteresis to control a physical variable in a real system through a virtual instrumentation system.

Diagram 1: Level control module



Source: Author

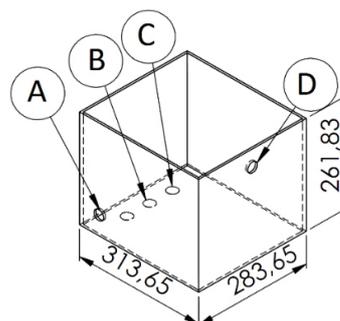
a) LEVEL CONTROL PLANT DESIGN

• TANKS DESIGN

- *Control tank.*

In the control tank the main variable which is the liquid level is displayed, the tanks are made of glass and permits easy viewing of the controlled variable. To prevent the liquid from overflowing an orifice for discharge was made up to a height of 20 [cm], limiting control to 17.8 [l]

Figure 2: Control tank

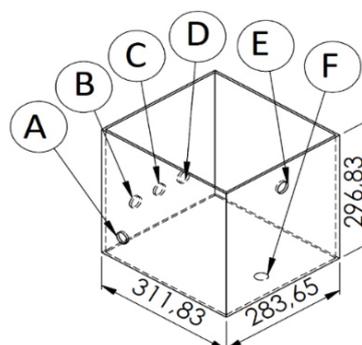


Source: Author

- Liquid input orifice.
- A controlled perturbation income and income from a controlled and measured disturbance
- A manual entry of disturbances.
- Hole to locate the security discharge.
- *Sump tank.*

The function of the sink tank is to store water to be sent to the control tank, so it should have a greater capacity.

Figure 3: Slump tank



Source: Author

- A) Suction orifice for raising the water to the control tank.
- B) Return water from the main tank by a solenoid valve

- C) Return water from the main tank by a servo valve
- D) Return water from the main tank through a manual valve.
- E) Security discharge.
- F) Drain Maintenance.

- **Selecting the glass thickness.**

For selection of the glass thickness must know the pressure of the liquid at the base of the tank, for which use of the equation 1 is made.

$$P = \rho \times g \times h$$

$$P = 1000 \times 9.8 \times 0.26$$

$$P = 2548 \text{ [Pa]}$$

This pressure will be the maximum that should withstand the tanks, so a thickness of 5mm is necessary.

b) Analysis of mechanical structure

The design of the mechanical structure is made taking into account the loads to which the structure is subjected.

Weight produced by the control tank:

$$Peso_{H_2O} = 1000 \times 0.02 \times 9.8$$

$$Peso_{H_2O} = 196 \text{ [N]}$$

Weight produced by the sink tank:

$$Peso_{H_2O} = 1000 \times 0.026 \times 9.8$$

$$Peso_{H_2O} = 254.8 \text{ [N]}$$

With these calculated weights, proceeds to calculate the maximum shear stress that supports the mechanical structure, a structural angle it assumes ASTM36 whose characteristics are:

Dimensions: 1/1/1/8"

- Tensile strength: 480 [Mpa]
- Yield strength: 345 [Mpa]

$$\begin{aligned} \tau_{max} &= \frac{3 \times (254.8 + 196)}{2 \times (0,003171)} \\ &= 0,108 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

Calculation shows that the selected angle ASTM36 has structural features which exceed the resistance structure has to bear.

c) Piping design

For piping is used Hydro 3 which supports a hydrostatic pressure of up to 19 bars. For installation of piping shall be:

- Cut the pipe at the proper distance.
- Perform pipe thread.
- Seal with Teflon tape threaded PVC joints.
- Adjust manually or using wrench.

d) Losses analysis

- *Control tank water entry*

Figure 4: Water entry to control tank



Source: Author

The first section consists of 1" pipe with a total length of 0.5m.

Table 1: Factor k pipe 1"

Accessory	Amount	k	Total k
Ampliación de ½" a 1"	1	0.44	0.44
Codo 90° 1"	2	0.75	1.50
Reductor de 1" a ½"	1	0.16	0.16
			2.10

Source: Author

Also includes ½" pipe, with a total length of 1.3m.

Table 2: Factor k pipe ½"

Accessory	Amount	k	Total k
Salida brusca	1	0.78	0.78
Codo 90° ½"	2	0.81	1.62
Unión T flujo recto	1	0.54	0.54
Válvula de bola	2	0.08	0.16
Entrada brusca	1	1	1
			4.10

Source: Author

- *Water output from control tank*

Figure 5: Water output from control tank



Source: Author

The first section consists of 1" pipe with a total length of 0.38m.

Table 3: Factor k 1" pipe

Accessory	Amount	k	Total k
Ampliación de ½" a 1"	1	0.44	0.44
Codo 90° 1"	1	0.75	0.75
Reductor de 1" a ½"	1	0.16	0.16
			1.35

Source: Author

Also includes ½" pipe, with a total length of 2,565 [m]

Table 4: Factor k ½" pipe

Accessory	Amount	k	Total k
Salida brusca	1	0.78	0.78
Codo 90° ½"	10	0.81	8.1
Unión T flujo recto	2	0.54	1.08
Unión T perpendicular	2	1.62	3.24
Válvula de bola	1	0.08	0.08
Entrada brusca	1	1	1
			15

Source: Author

After performing the calculations of losses is necessary to determine the pump power:

$$P_{teórica} = h_a * \rho * g * Q_t$$

$$P_{teórica} = 15.745 \times 1000 \times 9.8 \times 6.67 \times 10^{-4} = 102.918 [W]$$

Considering that 1 hp equals 745 W must be:

$$P_{teórica} = \frac{102.918}{745} = 0.138 [HP]$$

To calculate the actual head loss is considered the minimum output of the pump is 30%, so that it has:

$$P_{real} = P_{teórica} / 0.3$$

$$P_{real} = \frac{0.138}{0.3} = 0.46 [HP]$$

e) Electrical and electronic design of the level control plant

• Control circuit

For proper functioning of the level control plant is required the acquisition and control of the following variables:

- Two analog outputs that will be needed to control the angle of opening of two valves.
- Two digital inputs for reading the pulses generated by the vane flowmeters.
- A digital output for controlling the solenoid valve.
- Two digital outputs for controlling the electric pumps.
- An analog input for resistive sensor reading level.
- To meet the requirements was used:
 - The DAQ-6009 card
 - Microcontroller PIC18F2550

a) Signal processing for servo valve

For operating the servo valve a pulse generation with a variation of 2000us to 1000us is needed, it is performed by an analog-digital reading from the DAQ and is generated by the timer 0 in the microcontroller.

Intermediate angles can be obtained by interpolation between the minimum and maximum values.

Table 5: Servo valve operating range

Angle[°]	Time [ms]	Timer
45	1	62536
135	2	59536
Off	15	20536

Source: Author

• Strength circuit

For supplying has been required to use the single-phase voltage 110V AC, since the pump motors and Source require this type

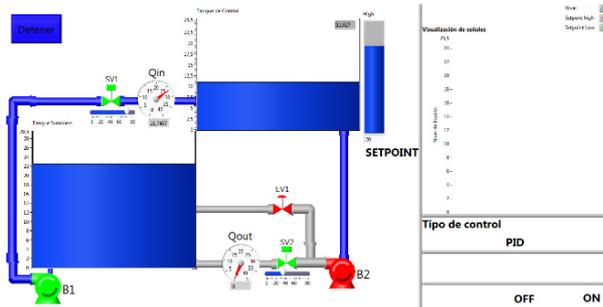
of source, to get the DC voltages the computer source is used which gives us 5 and 12 VDC for control devices.

3. IMPLEMENTATION

3.1. Software Implementation

For the control design LABVIEW platform is used, whereby the interactive GUI module level control is performed.

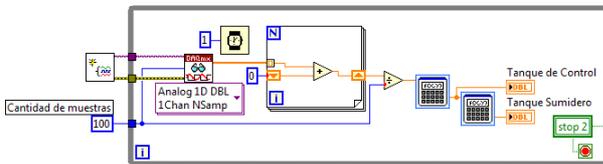
Figure 6: Control level plant simulation



Source: Author

The level sensor is connected to an analog input (AI0) configured as voltage reading.

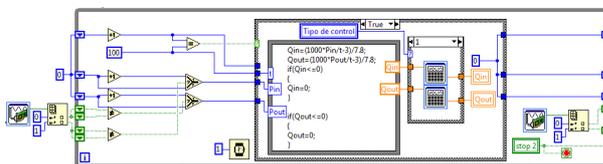
Figure 7: Level sensor read cycle



Source: Author

Liquid inflow and outflow sensors from the main tank are connected to the DAQ digital inputs P1.0 and P1.1 respectively.

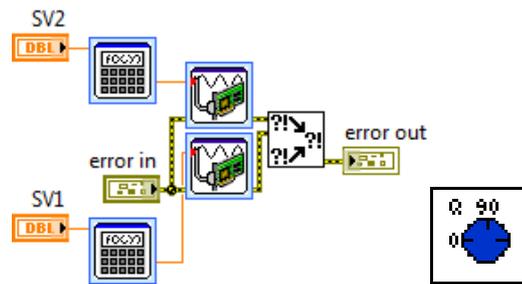
Figure 8: Flowmeter read cycle



Source: Author

For activation of the servovalves sliders are used with a variation from 0° to 90°.

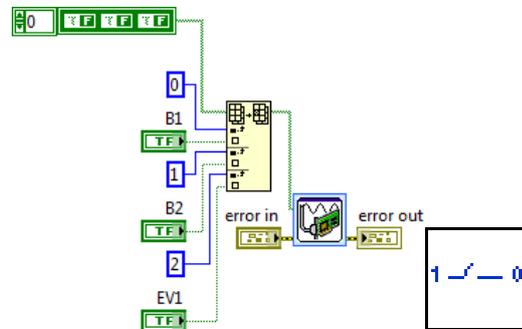
Figure 9: Servovalves activation cycle



Source: Author

In and out water pumps of the main tank and liquid solenoid valve are controlled by the P0.0, P0.1 and P0.2 DAQ digital output respectively by a proper power interface.

Figure 10: Pump and solenoids control



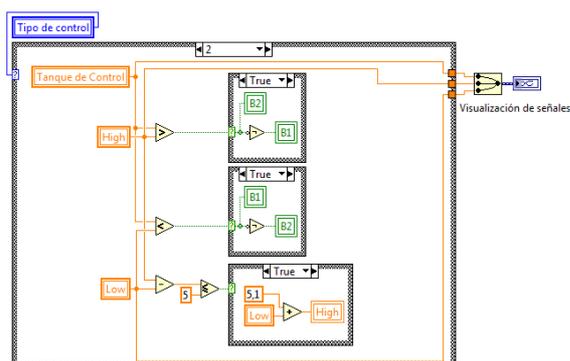
Source: Author

3.2. TYPE OF CONTROL SELECTION

The type of controllers are:

- Manual**
 In the manual control, one can directly change the status of any of the controllers while the effects mentioned above is displayed in the system.
- On – Off**
 In On-Off control, the only editable controls are the angle of the servo and the activation of the solenoid. Water pumps turn on and off depending on automatically depending on the set points set by the user.

Figure 11: On - Off control

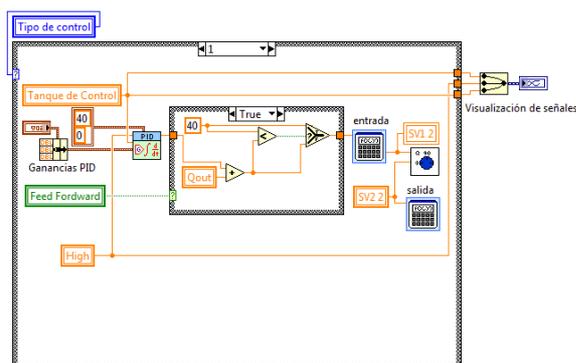


Source: Author

• PID

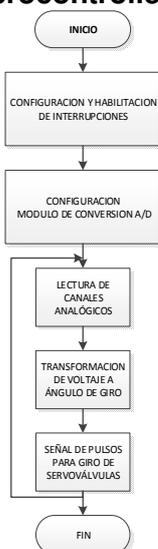
In PID control can manually control all output devices, because these controls enter disturbances to the system and be able to visualize the behavior of the same.

Figurw 12: PID control



Source: Author

Diagram 2: Microcontroller program



Source: Author

Figura 13: Level control module



Source: Author

4. CONCLUSIONS AND RECOMENDATIONS

4.1. Conclusions

- With the level control training module were able to implement different types of controllers such as ON-OFF, P, PI, PD, PID and FEED-FORWARD, through a program of virtual instrumentation with real-time interaction, so that students can perform various labs and verify the operation of different types of sensors and actuators.
- The project designed, built and analyzed provides a functional system, flexible and able to increase the knowledge of students in the Engineering and Mechatronics on measuring water level control system.
- Educational control level module have great adaptability to implement different types of level control because the control signals for the activation of different actuators are fully reprogrammable.
- The computer interface allows the user to dynamically manage the various actuators as pumps, valves and servo valves, also the correct visualization of the flow sensors and liquid level.
- The tanks system allows to vary the level of water in them, using water pumps and servo valves to regulate the amount of water that enters and leaves the control tank.
- The response time of the components used directly influences the speed and accuracy of response, in the case of

mechanically coupling the servo slows the response of the same.

- For level measurement a resistive sensor gas tanks was used, by a buoy on the end measures the change in the liquid level, the sensor is not comparable with commercial transmitters but has good transfer function having minimal error in reading.
- In flow measurement a sensor vanes was used, having an unusable area for lower flow to 2 [l/min] in which the of output frequency value is variable, which is inconvenient for the system due to the filter used software that is given to avoid these errors.
- The use of the safety valve is required in the control system for liquid level because it helps the evacuation of water when the main passage of the liquid is obstructed avoiding damage to both pipes and pumps.

4.2. Recommendations

- Implement a level sensor in the sump tank to increase the variety of laboratory practice and improve level control system security by detecting absence of liquid and prevent air suction pumps.
- Increase pressure sensors for constant monitoring from the PC to prevent damage to the piping and control elements, in this case water pumps which can even destroyed in the case all the valves are closed.
- Implement other controls as may be discrete controllers, fuzzy control and even neural network to help complement the theoretical - practical knowledge of students.
- Make new practices using different types of level sensors such as ultrasonic, infrared, differential pressure and others, which offer different types of signals allowing the user to expand their knowledge of electronic instrumentation because the system is subject to changes.
- Check the correct process on the system, start the virtual interface first and then perform the power modules of the system through the control panel,

because when powered the DAQ-6009 by the USB voltages generates random values.

- Check that the safety valves are properly calibrated both on entry and exit of water, to ensure the protection of water pumps by an overpressure in the pipe.
- Use the emergency stop in case of failures in the system and verify that all components are functioning correctly before starting the process again.
- Check that the 110VAC power have their respective grounding, to ensure the proper functioning of the system and keep components protected.

5. THANKS

My girlfriend Diana Chamorro, for their tireless support and dedication during the development of the entire project.

My parents and Brothers, for giving their constant support and not give in to adversity.

Special recognition to Ing. Jorge Terán and Ing. Gabriela Verdezoto for their support and guidance in the development of this work.

To all the friends who influenced directly or indirectly in the development of the project.

6. BIBLIOGRAFIC REFERENCES

- [1] Bishop, R. (s.f.). *Sistemas de control moderno*. Prentice Hall.
- [2] Blume, P. (2007). *The Labview Style Book*. EE.UU: Prentice Hall.
- [3] Greene, R. (1985). *Válvulas. Selección, uso y mantenimiento*. McGRAW-HILL.
- [4] Jerome, J. (s.f.). *Virtual Instrumentation Using LABVIEW*.
- [5] Kuo, B. (s.f.). *Sistemas de Control Authormático*. México: Pearson Education.
- [6] Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Prnetice Hall.
- [7] Ogata, K. (s.f.). *Ingeniería de Control Moderna*. España: Pearson Education.
- [8] Zubicaray, M. V., & Álvarez Fernandez, J. (1995). *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. México: LIMUSA S.A.

About Authors

Andrés VARGAS

Born in Ibarra province of Imbabura on November 19th 1985. Has completed his primary education at Technological Institute José Tobar Tobar. In 2003, he obtained a bachelor's degree in Physical-Mathematical specialization at Military Academy San Diego. Currently he is a graduate of the School of Mechatronics Engineering at the Northern Technical University.

Gabriela VERDEZOTO

Professional in the field of Electronic Engineering of Automation and Control. Originally from the city of Ibarra was born on October 28th 1987. Graduated from the Army Polytechnic School. He works as a Professor higher education at the areas of Mathematical Analysis, Power Electronics, Control Systems and Servo mechanisms. His areas of interest are Programming, Automation and Artificial Intelligence.



Andrés VARGAS

28 años

Hernán González de Saá 27-113, Ibarra-Ecuador

Tel: 0987668098-062651206

E-mail andres.vargas.innovatec@gmail.com

ESTUDIOS

2003
Ibarra-Ecuador Bachiller Físico-Matemático
Academia Militar San Diego

2014
Ibarra-Ecuador Ing. En Mecatrónica
Universidad Técnica del Norte

Programas manejados: SOLIDWORKS, INVENTOR, LABVIEW, MATLAB, LOGOSOFT, XC SERIES PROGRAM TOOL, PROTEUS, CODEVISION, PIC C COMPILER, MPLAB, FLOWCODE PIC Y AVR, PCB WIZARD, ALTIUM DESIGNER, CADe-SIMU, APP INVENTOR.

EXPERIENCIA LABORAL

De 10/09/2012 a 22/06/2014 Ibarra-Ecuador

FAJ SOLUTIONS, Av. 17 de Julio 4-328

Jefe de ejecución de proyectos

Tareas realizadas:

Programación de microcontroladores PIC y AVR

Programación de PLC's

Programación de variadores de frecuencia

Programación en ANDROID

Programación de módulos ARDUINO

Diseño y elaboración de circuitos impresos

Diseño y elaboración de tableros de control

Diseño mecánico de elementos 3D

FORMACIONES ADICIONALES E INTERESES

CURSOS Y SEMINARIOS

Seminario Internacional de ENERGÍAS ALTERNATIVAS, realizado del 8 al 10 de noviembre del 2006, con una duración de 30 horas.

Curso de AUTOCAD, realizado del 23 de octubre del 2004 al 5 de febrero del 2005, con una duración de 40 horas.

Curso de MANTENIMIENTO DE COMPUTADORAS, realizado del 29 de octubre al 26 de noviembre del 2005, con una duración de 20 horas.

Curso de MATLAB, realizado del 8 al 28 de abril del 2006, con una duración de 40 horas.

Curso de SIMULADORES Y ELABORACIÓN DE PCB's, realizado del 18 al 29 de septiembre del 2006, con una duración de 40 horas.

Curso de PROGRAMACIÓN CON INTERFACES DE HARDWARE, realizado del 24 de febrero al 17 de marzo del 2007, con una duración de 40 horas.

Curso de LABVIEW BÁSICO-INTERMEDIO, realizado del 21 de abril al 26 de mayo del 2007, con una duración de 40 horas.

Curso de PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES PIC CON PICBASIC – MICROCODE Y SIMULACIÓN CON PROTEUS (MÓDULO BÁSICO), con una duración de 40 horas.

Curso de PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES (MÓDULO AVANZADO), realizado del 2 al 13 de septiembre del 2008, con una duración de 40 horas.

Curso de DISEÑO MECÁNICO CON INVENTOR, realizado del 26 de octubre al 22 de noviembre del 2008, con una duración de 40 horas.

Curso de DISEÑO MECÁNICO AVANZADO CON INVENTOR, realizado del 22 de febrero al 5 de marzo del 2010, con una duración de 40 horas.

Curso de DISEÑO MECATRÓNICO, realizado del 26 de noviembre al 4 de diciembre del 2011, con una duración de 30 horas.

CERTIFICADOS

Instructor en el curso de ANÁLISIS MATEMÁTICO, con una duración de 40, en la empresa RED MICTEL CIA. LTDA.

Certificado de RECOGNOCIMIENTO AL SOCIO DESTACADO, concedido por el CLUB DE ROBÓTICA UTN

Asistente del taller de REFORMA UNIVERSITARIA FICA, realizado el 3 de abril del 2008, con una duración de 10 horas.

Certificado por DESTACADA PARTICIPACIÓN DEL 4TO CONCURSO ECUATORIANO DE ROBÓTICA CER-2008, realizado del 5 al 7 de noviembre en la ciudad de Riobamba.

Participación como EXPOSITOR, en los II SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN Y III EXPO-INVESTIGACIÓN, realizado del 15 al 17 de mayo del 2009, conferido por la Universidad Técnica del Norte.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

Confiere el Presente Certificado a:

Andrés Marcelo Vargas Muñoz

Por haber participado en el **Seminario Internacional** de:
ENERGÍAS ALTERNATIVAS

Realizado del 8 al 10 de noviembre del 2006, con una duración de 30 horas.

Ambato, noviembre 10 del 2006.



Ing. M. Sc. Luis Amoroso M.
RECTOR

Ing. M. Sc. Jorge León M.
DECANO



Dra. Ing. Mónica Chinchillas
INSTRUCTORA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

Confiere(n) el presente

CERTIFICADO

VARGAS MUÑOZ ANDRÉS MARCELO

A

Haber aprobado el curso de **Autocad** realizado el 23 de octubre del 2004 al 5 de febrero del 2005. Con una duración de 40 horas.

Por

5 de febrero del 2005

Ibarra,

Ciencia y técnica al servicio del pueblo

[Signature]
DECANO FICA

[Signature]
ING. CARLOS POZO
INSTRUCTOR



REPUBLICA DEL ECUADOR
MINISTERIO DE EDUCACION Y CULTURA

CONFIERE

ANDRÉS VARGAS

A

EL

CERTIFICADO DE CAPACITACION OCUPACIONAL

POR HABER APROBADO EL CURSO DE MANTENIMIENTO DE COMPUTADORES
P&M CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO INFORMÁTICO

EN EL CENTRO OCUPACIONAL

DEL 29 DE OCTUBRE AL 26 DE NOVIEMBRE DE 2005 POR 20 HORAS.

Lugar y fecha: IBARRA, 06 DE DICIEMBRE DE 2005

[Signature]
Jefe de la División Provincial
Educación Popular Permanente

[Signature]
Director del
Centro Ocupacional





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CENTRO DE CAPACITACIÓN CONTINUA

CERTIFICADO

A **VARGAS MUÑOZ ANDRÉS MARCELO**

Por Haber asistido y aprobado el curso de **MATLAB**, realizado del 8 al 28 de abril del 2006. Con una duración de 40 horas.



Msc. **Rodrigo Narayán Msc.**
DECANO

Ciencia y Técnica al Servicio del Pueblo

Msc. Ing. **Ángel Orquera**
COORDINADOR CCC-FICA



05 de Junio del 2006

Ing. **Gerardo Collahuazo**
INSTRUCTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CENTRO DE CAPACITACIÓN CONTINUA

CERTIFICADO

A **VARGAS MUÑOZ ANDRÉS MARCELO**

Por haber asistido y aprobado al curso de **SIMULADORES Y ELABORACION PCB's**, realizado del 18 al 29 de septiembre del 2006. Con una duración de 40 horas académicas.



Ing. **Rodrigo Narayán Msc.**
DECANO

Ciencia y Técnica al Servicio del Pueblo

MSc. Ing. **Miguel Orquera**
COORDINADOR CCC-FICA



24 de Octubre del 2006

Ing. **Gerardo Collaguazo**
INSTRUCTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CENTRO DE CAPACITACIÓN CONTINUA

CERTIFICADO

A **VARGAS MUÑOZ ANDRES MARCELO**

Por haber asistido y aprobado el curso de **PROGRAMACION CON INTERFACES DE HARDWARE**, realizado del 24 de febrero al 17 de marzo del 2007. Con una duración de 40 horas académicas.



04 abril del 2007

Ing. Rodrigo Narahay
DECANO

Ing. Gerardo Collaguazo
COORDINADOR CCC-FICA

Ing. Patricio Iles
INSTRUCTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CENTRO DE CAPACITACIÓN CONTINUA

CERTIFICADO

A **VARGAS MUÑOZ ANDRES MARCELO**

Por haber asistido y aprobado el curso de **LABVIEW BASICO-INTERMEDIO**, realizado del 21 de abril al 26 de mayo de 2007. Con una duración de 40 horas académicas.



13 de junio de 2007

Ing. Rodrigo Narahay
DECANO

MSc. Nelson Sotomayor
INSTRUCTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CENTRO DE CAPACITACIÓN CONTINUA

CERTIFICADO

A **VARGAS MUÑOZ ANDRES MARCELO**

Por haber asistido y aprobado el curso de *Programación de Microcontroladores PIC con PICBASIC - Microcode y simulación con PROTEUS (modulo básico)*, realizado del 28 de julio al 12 de agosto de 2007. Con una duración de 40 horas académicas.

02 de octubre de 2007



Ciencia y Técnica al Servicio del Pueblo



Msc.
Dr. Miguel Nararño
VICERECTOR ACADÉMICO

Ing. Gerardo Collaguazo
COORDINADOR CCC-FIC

Ing. Gerardo Collaguazo
COORDINADOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Centro de Capacitación Continua

CERTIFICADO

A **VARGAS MUÑOZ ANDRES MARCELO**

Por haber asistido y aprobado el curso de *PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES (MÓDULO AVANZADO)*, realizado del 2 al 13 de septiembre del 2008. Con una duración de 40 horas académicas.

Shamra, 12 de noviembre de 2008



Econ. **Winston Oviedo P. DECANO**

Ciencia y Técnica al Servicio del Pueblo



Dr. Miguel Nararño
VICERECTOR ACADÉMICO

Ing. Jaime Alvarado S. MSC
COORDINADOR CCC-FICA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas



Certificada

A VARGAS MUÑOZ ANDRES MARCELO

Por haber asistido y aprobado el curso de DISEÑO MECANICO CON INVENTOR, realizado del 26 de octubre al 22 de noviembre del 2008. Con una duración de 40 horas académicas.

Ciencia y Técnica al Servicio del Pueblo



Ibarra, 19 de diciembre de 2008

Econ. Winston Oviedo P.

Dr. Miguel Naranjo

Ing. Jaime Alvarado S. Msc



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CENTRO DE CAPACITACIÓN CONTINUA



CERTIFICADO

A VARGAS MUÑOZ ANDRÉS MARCELO

Por haber asistido y aprobado con un promedio de (8/10), el curso de "DISEÑO MECÁNICO AVANZADO CON INVENTOR" realizado del 22 de febrero al 05 de marzo del 2010. Con una duración de 40 horas académicas.

Universidad Técnica del Norte,
Centro de Transparencia y Desarrollo Tecnológico
de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Ciudadela Universitaria
Barrio el Olivo - Ibarra

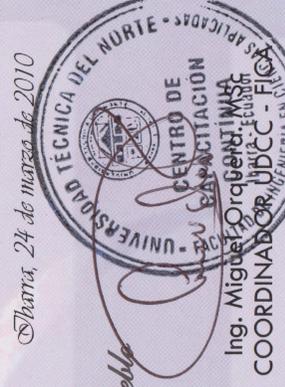
Ibarra, 24 de marzo de 2010

[Signature]
Econ. Winston Oviedo P. MSc
PRESIDENTE CTT - FICA

Ciencia y Técnica al Servicio del Pueblo

Ing. Gerardo Collaguazo
DIRECTOR EJECUTIVO CTT - FICA

Ing. Miguel Ojeda MSc
COORDINADOR UBCC - FICA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Confiere (n) el presente

Certificado

A **VARGAS MUÑOZ ANDRÉS MARCELO**

Por haber asistido al curso de "Diseño Mecatrónico".

realizado, del 26 de noviembre al 04 de diciembre de 2011, con una duración de 30 horas.

[Signature]
Dr. Antonio Posso S.
RECTOR



Ciencia y Técnica al Servicio del Pueblo



Ing. Félix Bonilla V.
INSTRUCTOR

Ibarra, 9 de diciembre de 2011

[Signature]

Ing. Carlos Merizalde
DIRECTOR - CEC

Ibarra, 12 de Septiembre de 2011



MICROCONTROLADORES, REDES Y TELECOMUNICACIONES

SE CONFIERE EL SIGUIENTE CERTIFICADO AL:
SR. ANDRÉS MARCELO VARGAS MUÑOZ

POR HABER PARTICIPADO COMO INSTRUCTOR EN EL CURSO DE

ANÁLISIS MATEMÁTICO

EN LA CIUDAD DE IBARRA Y CON UNA DURACIÓN DE 40 HORAS

[Signature]

Ing. Gabriela Placencia M.
GERENTE

[Signature]

Ing. Ramiro Valencia
JEFE DE EJECUCION DE PROYECTOS



CLUB ROBÓTICA



CONCEDE

A: **Sr. Andrés Vargas**

Reconocimiento al socio destacado.

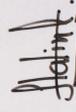
Por su rendimiento y contribución al club en beneficio de la comunidad universitaria y la sociedad.



Ibarra, 3 de diciembre del 2007


Andrés De La Cadena
PRESIDENTE


Carlos Andrés Obando
VICEPRESIDENTE


Stalin Arciniegas
SECRETARIO


Geovanny Almeida
TESORERO



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

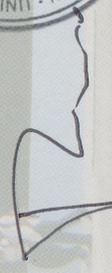
CERTIFICADO

A **VARGAS MUÑOZ ANDRES MARCELO**

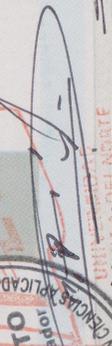
Por haber asistido al Taller Asamblea de REFORMA UNIVERSITARIA FICA,
realizado el 03 de abril del 2008. Con una duración de 10 horas

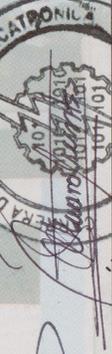
Ibarra, 11 de abril del 2008




Ing. Rodrigo Naratjio Masc.
DECANO




Diego Soto
PRESIDENTE FEUE-I


Alvaro Fuentes
PRESIDENTE ASO-CIENCIA



CLUB ROBÓTICA



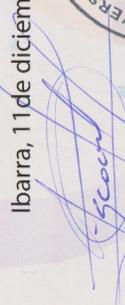
CERTIFICADO

A: Andrés Vargas

Por su destacada participación el 4to Concurso Ecuatoriano de Robótica CER – 2008 realizado en la ciudad de Riobamba del 5 al 7 de Noviembre de 2008.


Andrés De La Cadena
PRESIDENTE

Ibarra, 11 de diciembre de 2008


Ing. Gerardo Collaguazo
COORDINADOR CIME



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Vicerrectorado Académico
Centro Universitario de Investigación
Científica y Tecnológica

Otorga el presente

Certificado

A: Andrés Vargas

Por su participación como EXPOSITOR en:

III Semilleros de Investigación III Expo-Investigación

Evento Académico realizado en la ciudad de Ibarra, durante los días 15 - 16 y 17 de mayo de 2008


Dr. Antonio Posso S.
RECTOR


Dr. Miguel Naranjo T.
VICERECTOR ACADÉMICO


Ing. Carlos Aguirre
VICERECTOR ADMINISTRATIVO


Ing. Dennis Cazor
DIRECTOR CUIGT



CUIGT

