



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE LEVITADOR
NEUMÁTICO MEDIANTE CONTROL PID PARA EL
LABORATORIO DE CONTROL Y MANIPULACIÓN
AUTOMÁTICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Propuesta tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

AUTOR: SEGUNDO MANUEL PINTO POALACIN

DIRECTOR: Ing. PABLO ERNESTO MONTALVO JARAMILLO

Riobamba - Ecuador

2020

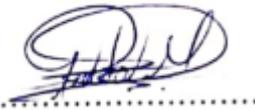
©2020, Segundo Manuel Pinto Poalacin.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Segundo Manuel Pinto Poalacin, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de julio de 2020



Segundo Manuel Pinto Poalacin

1500812209

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

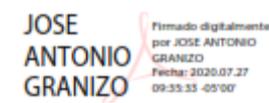
El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Propuesta Tecnológica, “**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE LEVITADOR NEUMÁTICO MEDIANTE CONTROL PID PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA**”, realizado por el señor: **SEGUNDO MANUEL PINTO POALACIN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. José Antonio Granizo PhD.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL


JOSE
ANTONIO
GRANIZO
Firmado digitalmente por JOSE ANTONIO GRANIZO
Fecha: 2020.07.27
09:35:35 -05'00'

2020-07-10

Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**


PABLO ERNESTO
MONTALVO
JARAMILLO
Firmado digitalmente por PABLO ERNESTO MONTALVO JARAMILLO
Fecha: 2020.07.26 21:19:13
-05'00'

2020-07-10

Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos

MIEMBRO DE TRIBUNAL


MARCO HERIBERTO
SANTILLAN
GALLEGOS
Firmado digitalmente por MARCO HERIBERTO SANTILLAN GALLEGOS
Fecha: 2020.07.26 21:19:13
-05'00'

2020-07-10

DEDICATORIA

Dedico el presente logro académico a mi madre y hermano: María Juana Poalacin Pullutasig y Segundo Miguel Pinto Poalacin, quienes en base a su trabajo, paciencia y enseñanzas me han proporcionado todo lo necesario para sellar esta nueva etapa en mi vida profesional.

A mis hermanas, familiares y amigos por ser personas valiosas quienes creyeron en mí.

Manuel

AGRADECIMIENTO

A Dios por la existencia.

A mi madre, familiares y amigos por su apoyo incondicional.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, por la oportunidad de acogerme y educarme a tal grado de ser un profesional con ética e integridad ante la sociedad.

De manera especial agradezco al Ing. Pablo Montalvo e Ing. Marco Santillán, quienes han sido los mentores y responsables para la culminación exitosa del presente trabajo de titulación.

Manuel

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Justificación y actualidad.....	2
1.4 Objetivos.....	2
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la neumática.....	3
2.2 Automatización neumática.....	3
2.3 Ingeniería del control.....	3
2.3.1 <i>Definiciones básicas</i>	4
2.4 Teoría de control.....	4
2.5 Sistema de control.....	5
2.5.1 <i>Sistema de control de lazo abierto</i>	5
2.5.2 <i>Sistema de control de lazo cerrado</i>	5
2.6 Control Proporcional Integral y Derivativo (PID)	6
2.6.1 <i>Señal de referencia</i>	7
2.6.1.1 <i>Ganancia proporcional</i>	7
2.6.1.2 <i>Acción de control integral</i>	7
2.6.1.3 <i>Acción de control derivativa</i>	8
2.7 Adquisición de datos.....	8
2.7.1 <i>Sensores</i>	9
2.7.1.1 <i>Sensor Sharp</i>	9
2.7.2 <i>Tarjeta NI myRIO para la adquisición de datos</i>	10

2.7.2.1	<i>Descripción de la tarjeta NI myRIO</i>	11
2.7.2.2	Pines de conexión	12
2.7.3	Comunicación entre la NI myRIO y una PC	12
2.8	Software para procesar datos	12
2.8.1	LabVIEW 2018	12
2.8.1.1	<i>Entorno a LabVIEW 2018</i>	13
2.8.1.2	<i>Instrumentos virtuales (VI)</i>	13
2.8.1.3	<i>Bloque NI PID lead-lag</i>	14
2.8.1.4	<i>Características del LabVIEW 2018</i>	15
2.8.1.5	<i>Beneficios del LabVIEW 2018</i>	15
2.8.2	Matlab R2017B	15
2.9	Levitación	16
2.9.1	Tipos de levitación	17
2.9.1.1	<i>Levitación magnética</i>	17
2.9.1.2	<i>Levitación acústica</i>	17
2.9.1.3	<i>Levitación óptica</i>	17
2.9.1.4	<i>Levitación neumática</i>	18
3.	METODOLOGÍA	
3.1	Diseño, construcción y montaje de elementos para el módulo de control	19
3.1.1	Estructura modular	20
3.1.1.1	<i>Diseño y características</i>	20
3.1.1.2	<i>Instalación</i>	20
3.1.2	Soportes	21
3.1.2.1	<i>Diseño y características</i>	21
3.1.2.2	<i>Instalación</i>	21
3.1.3	Ducto	22
3.1.3.1	<i>Diseño y características</i>	22
3.1.3.2	<i>Instalación</i>	22
3.1.4	Esfera	23
3.1.4.1	<i>Diseño y características</i>	23
3.1.4.2	<i>Instalación</i>	23
3.1.5	Sensor Sharp 2Y0A21 F 74	23
3.1.5.1	<i>Diseño y características</i>	23
3.1.5.2	<i>Instalación</i>	24
3.1.6	Ventilador	24

3.1.6.1	<i>Diseño y características</i>	24
3.1.6.2	<i>Instalación</i>	24
3.1.7	Blower	25
3.1.7.1	<i>Diseño y características</i>	25
3.1.7.2	<i>Instalación</i>	25
3.1.8	Placa	26
3.1.8.1	<i>Diseño y características</i>	26
3.1.9	NI myRIO-1900	27
3.1.9.1	<i>Diseño y características</i>	27
3.1.9.2	<i>Instalación de software para la comunicación de la tarjeta NI myRIO con la PC</i>	27
3.1.10	Computadora portátil (PC)	28
3.1.10.1	<i>Diseño y especificaciones</i>	28
3.1.10.2	<i>Instalaciones</i>	28
3.1.11	MATLAB R2017B	28
3.1.11.1	<i>Diseño e interfaz</i>	28
3.1.11.2	<i>Instalación</i>	29
3.1.12	NI LabVIEW 2018	29
3.1.12.1	<i>Diseño e interfaz</i>	29
3.1.12.2	<i>Instalación</i>	29
3.2	Programación del módulo de control	30
3.2.1	Creación de un proyecto en LabVIEW 2018 myRIO Toolkit	30
3.2.2	Procesamiento del primer sensor (SETPPOINT LABVIEW)	33
3.2.2.1	<i>Procesamiento del bloque Analog In</i>	33
3.2.2.2	<i>Procesamiento del bloque Add Shift Register</i>	34
3.2.2.3	<i>Procesamiento del bloque filtro</i>	34
3.2.2.4	<i>Procesamiento del bloque fórmula</i>	35
3.2.2.5	<i>Procesamiento de la regresión lineal mediante MATLAB R2017B</i>	36
3.2.2.6	<i>Procesamiento del bloque conversor de datos dinámicos</i>	39
3.2.3	Procesamiento del segundo sensor (SETPPOINT SENSOR)	39
3.2.3.1	<i>Procesamiento del bloque Analog In</i>	39
3.2.3.2	<i>Procesamiento del bloque Add Shift Register</i>	40
3.2.3.3	<i>Procesamiento del bloque filtro</i>	41
3.2.3.4	<i>Procesamiento del bloque fórmula</i>	41
3.2.3.5	<i>Procesamiento de la regresión lineal mediante Matlab R2017B</i>	42
3.2.3.6	<i>Procesamiento del bloque conversor de datos dinámicos</i>	45
3.2.4	Procesamiento del NI PID	46
3.2.4.1	<i>Control manual</i>	46

3.2.4.2	<i>Opciones del SetPoint</i>	47
3.2.4.3	<i>Slider</i>	47
3.2.4.4	<i>PID gains</i>	49
3.3	Cálculo del método de sintonización lambda (λ) para la obtención de constantes	49
3.3.1	<i>Fórmula de la Kc</i>	50
3.3.2	<i>Fórmula de λ</i>	50
3.3.3	<i>Fórmula de la Kp</i>	51
3.3.3.1	<i>Determinación de la altura de trabajo del controlador</i>	51
3.3.4	<i>Procedimiento para encontrar el tiempo de retardo (Td)</i>	51
3.3.5	<i>Procedimiento para encontrar el tiempo integral (Ti)</i>	52
3.3.6	<i>Cálculo del factor lambda (λ)</i>	52
3.3.7	<i>Cálculos de la Kp</i>	52
3.3.8	<i>Cálculo del Kc</i>	54
3.4	Output (Salidas)	55
3.5	Señales de proceso	55
4.	GESTIÓN DEL PROYECTO	
4.1	Cronograma	57
4.2	Recursos y materiales: humanos, equipo, financiamiento:	57
4.2.1	<i>Presupuesto:</i>	57
4.2.2	<i>Talento humano:</i>	58
4.2.3	<i>Recursos materiales:</i>	58
5.	CONCLUSIONES	59
6.	RECOMENDACIONES	60
	GLASARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Modelos de sensores Sharp	10
Tabla 1-3: Dimensiones de la base	20
Tabla 2-3: Dimensiones de la altura desde la superficie superior de la base	20
Tabla 3-3: Características del blower.....	25
Tabla 4-3: Datos de las variables del sensor 1	36
Tabla 5-3: Datos del coeficiente con un límite de confianza del 95%	37
Tabla 6-3: Datos de las variables del sensor 2	42
Tabla 7-3: Coeficiente con un límite de confianza del 95%	44
Tabla 8-3: Fórmulas del método de sintonización lambda	49
Tabla 9-3: Tiempos obtenidos para el cálculo del Td y Ti	52
Tabla 1-4: Propuesta del proyecto	49
Tabla 2-4: Talento humano del proyecto	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Sistemas de control de temperatura	4
Figura 2-2: Sistema de control con retroalimentación negativa	4
Figura 3-2: Elementos de un sistema de control de lazo abierto	5
Figura 4-2: Elementos de un sistema de control de lazo cerrado	6
Figura 5-2: Elementos de control PID	6
Figura 6-2: Tarjeta de adquisición de datos.....	8
Figura 7-2: Método de triangulación: emisor-objeto-receptor.....	9
Figura 8-2: Partes de la tarjeta NI myRIO	10
Figura 9-2: Diagrama de bloques de la tarjeta NI myRIO	11
Figura 10-2: Señales primarias/secundarias en los conectores MXP A y B	12
Figura 11-2: LabVIEW 2018.....	13
Figura 12-2: Partes de un VI.....	14
Figura 13-2: Entradas y salidas de un bloque NI PID lead-lag.....	14
Figura 14-2: Interfaz de MATLAB R2017B	16
Figura 15-2: Módulo de levitación	16
Figura 16-2: Sistema de levitación neumática.....	18
Figura 1-3: Base y estructura	19
Figura 2-3: Acople del sensor Sharp 2Y0A21 F 74.....	21
Figura 3-3: Acople del ducto de aire en la parte inferior	22
Figura 4-3: Ensamblaje del sensor Sharp 2Y0A21 F 74.....	24
Figura 5-3: Ensamblaje del ventilador.....	25
Figura 6-3: Ensamblaje del blower en la base de la estructura.....	26
Figura 7-3: Montaje de la tarjeta NI myRIO-1900 en la estructura Al.....	27
Figura 8-3: Comunicación entre la PC, NI myRIO y levitador neumático.....	29
Figura 9-3: Interfaz de inicio del LabVIEW 2018 myRIO Toolkit	30
Figura 10-3: Creación de un proyecto compatible para la tarjeta NI myRIO	30
Figura 11-3: Interfaz de la configuración del nuevo proyecto myRIO.....	31
Figura 12-3: Comunicación entre la tarjeta NI myRIO con LabVIEW 2018.....	31
Figura 13-3: Verificación de la conexión entre la PC y NI myRIO	32
Figura 14-3: Creación del VI.....	32
Figura 15-3: Diagrama de bloques y panel frontal	32
Figura 16-3: Creación del bloque Analog In	33
Figura 17-3: Diagrama de conexión de bloque Analog In.....	33
Figura 18-3: Creación del bloque Add Shift Register	34

Figura 19-3: Creación del bloque filtro	35
Figura 20-3: Creación del bloque de la fórmula	35
Figura 21-3: Ingreso de las variables en la interfaz de MATLAB.....	36
Figura 22-3: Curva de la ecuación del modelo general racional	37
Figura 23-3: Bloque de la fórmula.....	38
Figura 24-3: Ingreso de la ecuación al bloque de fórmula.....	38
Figura 25-3: Creación de bloque del conversor de datos dinámicos	39
Figura 26-3: Bloque Analog In	40
Figura 27-3: Diagrama de conexión de bloque Analog In.....	40
Figura 28-3: Bloque Add Shift Register	40
Figura 29-3: Bloque del filtro	41
Figura 30-3: Bloque de la fórmula.....	41
Figura 31-3: Ingreso de las variables en la interfaz de MATLAB.....	43
Figura 32-3: Diagrama de la curva de la ecuación del modelo general racional	44
Figura33-3: Bloque de la fórmula.....	44
Figura 34-3: Ingreso de la ecuación al bloque de fórmula.....	45
Figura 35-3: Bloque del conversor de datos dinámicos.....	46
Figura 36-3: Bloque NI_PID	46
Figura 37-3: Bloque del control manual	46
Figura 38-3: Portada de la programación LabVIEW	47
Figura 39-3: Creación del bloque Slider	47
Figura 40-3: Configuración del rango de escalas del Slider	48
Figura 41-3: Apariencia de los Slider	48
Figura 42-3: Método de sintonización lambda (λ).....	49
Figura 43-3: Altura de trabajo del controlador	51
Figura 44-3: Señales de proceso	55
Figura 1-4: Cronograma de actividades para el desarrollo del Trabajo de Titulación.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
PID	Proporcional, Integral y Derivativo
VI	Instrumento Virtual
NI	National Instruments
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench.
AI	Entrada analógica (Analogic Input)
AO	Salida analógica (Analogic Ouput)
LED	Diodo Emisor de Luz
IREL	Diodo Emisor de Infrarrojo
PSD	Detector sensible a la posición

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE LEVITACIÓN NEUMÁTICA EN EL SOFTWARE LABVIEW 2018 Y NI MYRIO-1900.

ANEXO B: TOMA DE DATOS.

ANEXO C: DISEÑO DE SOPORTES PARA EL SISTEMA DE LEVITACIÓN NEUMÁTICA.

ANEXO D: MONTAJE E INSTALACIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS, MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS EN LA BASE Y ESTRUCTURA.

ANEXO E: PLAN DE MANTENIMIENTO DEL LEVITADOR NEUMÁTICO.

ANEXO F: MANUAL DE OPERACIÓN DEL LEVITADOR NEUMÁTICO.

ANEXO G: GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO.

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realizó la construcción e implementación de un módulo de levitador neumático mediante control Proporcional Integral Derivativo (PID) para el laboratorio de Control y Manipulación Automática de la Facultad de Mecánica. En este se recabó información acerca del control y estabilización de la levitación neumática mediante el método de sintonización lambda, siendo éste el punto de partida que permitirá el control del posicionamiento de una esfera, la cual estará suspendida en el aire. Para el desarrollo de este trabajo se diseñó y construyó una estructura de perfil de aluminio cuadrado que hace de base para el montaje de los elementos del sistema, además se incluyó en el sistema a un ducto transparente de plástico donde se encuentra la esfera que será el objeto levitante, que hace uso de 2 sensores Sharp: el primero realiza la medición de la distancia en la que se encuentra la esfera y el segundo envía una señal la cual será el punto de referencia a la que se desee que la esfera se posicione (SetPoint). Para la programación del control PID y del procesamiento de las señales se utilizó el software de la LabVIEW versión 2018 y para la obtención y tratamiento de las señales de los sensores a través de regresión lineal se hizo uso de MATLAB R2017b. Para la estabilización del sistema se realizó un análisis matemático y técnico, que ayudará a determinar la distancia en función del voltaje de entrada del sensor, posterior a los cálculos realizados se obtiene la estabilización del sistema la cual fue menos sensible a cambios, pero con mayor robustez. La tarjeta myRIO ayudó a mitigar el ruido provocado por los componentes, dando como resultado de ello una estabilización compacta del sistema.

PALABRAS CLAVE: <CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID)>, <LEVITACIÓN NEUMÁTICA>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <MATLAB (SOFTWARE)>, <MÉTODO DE SINTONIZACIÓN LAMBDA>, <MYRIO (HARDWARE)>

REVISADO

27 FEB 2020

Ing. Jhonatan Parra's Usaitas, MSc.
ANALISTA DE BIBLIOTECA


ABSTRACT

In the present work, the construction and implementation of a pneumatic levitator module using Derivative Integral Proportional Control (PID) was carried out for the Automatic Control and Manipulation Laboratory of the Faculty of Mechanics. In this, information was collected about the control and stabilisation of pneumatic levitation by means of the lambda tuning method, this being the starting point will allow the control of the positioning of a sphere, which will be suspended in the air. For the development of this work, a square aluminum profile structure was designed and built as a base for the assembly of the system's elements. In addition, a transparent plastic duct was included in the system where the sphere that will be the levitating object is located, which makes use of 2 Sharp sensors: the first one measure the distance in which the sphere is located and the second one sends a signal which will be the reference point to which the sphere is to be positioned (SetPoint). For the programming of the PID control and signal processing, the LabVIEW version 2018 software was used and for obtaining and processing the sensor signals through linear regression, MATLAB R2017b was used. A mathematical and technical analysis was carried out to stabilize the system, which will help to determine the distance as a function of the sensor input voltage. After the calculations, the system stabilization was obtained, which was less sensitive to changes, but more robust. The myRIO card helped to mitigate the noise caused by the components, resulting in a compact system stabilization.

KEY WORDS: <PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE CONTROL (PID)>, <PNEUMATIC ELEVATION>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <MATLAB (SOFTWARE)>, <LAMBDA TUNING METHOD>, <MYRIO (HARDWARE)>



1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de titulación presentado aborda la implementación de un módulo de levitador neumático mediante el control Proporcional Integral Derivativo (PID), con el objetivo de equipar el laboratorio de Control y Manipulación Automática de la Facultad de Mecánica, permitiendo a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento conocer técnicas de control utilizadas en la industria.

El interés de este trabajo viene dado porque hoy en día, el campo industrial utiliza controles PID en sistemas de control de fluido, temperatura, velocidad, posición y respuesta. Por ello, este módulo permitirá realizar prácticas de control y estabilización en tiempo real de un objeto suspendido dentro de un ducto cerrado, todo este proceso se controla desde una PC con el software NI LabVIEW 2018.

Este trabajo de titulación ofrece un material didáctico tanto para el docente como para estudiantes de las diferentes Carreras de la Facultad de Mecánica y de otras afines de la ESPOCH, con el propósito de ampliar la temática educativa y la familiarización con sistemas de control PID incorporados en los dispositivos comerciales encontrados en el campo laboral.

1.1 Antecedentes

En los últimos años la tecnología ha tenido un crecimiento acelerado, por tal motivo, el presente proyecto tecnológico tiene como finalidad la estabilización de una esfera dentro de un tubo transparente, el cual permanecerá levitando en tiempo real a diferentes alturas previamente establecidas con la sintonización del controlador Proporcional Integral Derivativo (PID).

Este módulo está destinado al entrenamiento del control PID permitiendo que los estudiantes del laboratorio de Control y Manipulación Automática de la Facultad de Mecánica adquieran conocimientos que van desde la programación y control del comportamiento de mecanismos prácticos hasta la utilización de sistemas modernos.

1.2 Planteamiento del problema

En la Facultad de Mecánica, en el laboratorio de Control y Manipulación Automática, se plantea dotar de un módulo que permita realizar prácticas de control Proporcional Integral Derivativo (PID), diversificando y modernizando el laboratorio.

En virtud de ello, el presente trabajo de titulación contribuirá a un cambio positivo permitiendo con ello que, los estudiantes de la cátedra de Control y Manipulación Automática mejore su nivel práctico y una familiarización con sistemas de control PID incorporados en los dispositivos comerciales encontrados en el campo laboral.

1.3 Justificación y actualidad

El levitador neumático representará una herramienta importante con fines académicos en consentimiento con la misión y visión de la Carrera, el cual será utilizado como un sistema de control neumático para aplicaciones didácticas, por ser un excelente medio de análisis y evaluación de las diferentes técnicas de control a nivel industrial.

Por tal razón, se propone realizar el diseño, construcción e implementación de un levitador neumático mediante control PID, con el fin de aportar con la diversificación y modernización del laboratorio de Control y Manipulación Automática correspondiente a la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Esta implementación dotará y contribuirá a la Carrera con una nueva técnica de enseñanza del control en forma clásica y avanzada, asistiendo con ello a la formación del estudiante tanto a nivel académico como profesional en sus diferentes acciones y funciones.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Implementar un módulo de levitador neumático mediante control PID para el laboratorio de Control y Manipulación Automática de la Facultad de Mecánica.

1.4.2 *Objetivos específicos*

Diseñar el módulo y dimensionar adecuadamente los elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos, para realizar el montaje de la estructura modular.

Programar el sistema de control usando el software LabVIEW versión 2018, para realizar pruebas de funcionamiento.

Elaborar un manual básico de operación y mantenimiento.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la neumática

La neumática es una ciencia que se deriva de la mecánica para el estudio y aplicaciones prácticas de fluidos gaseosos (aire comprimido, nitrógeno, entre otros), con el fin de transmitir energía para desplazar y hacer funcionar mecanismos.

La neumática moderna con sus grandes beneficios se inicia en Europa a partir de la mitad del siglo XX, debido a la urgente necesidad de una automatización racional de trabajo. Desde entonces ha ido evolucionando, y lo seguirá haciendo según las necesidades de la industria (Guillén Salvador, 1993 pág. 8).

El aire comprimido es el tipo de energía que más se emplea en la mayoría de los sistemas neumáticos, el cual posee cualidades positivas, entre las cuales se cita las siguientes:

- El aire es abundante y económico.
- Es limpio, no contamina y carece de problemas de combustión con la temperatura.
- Fácil de almacenar y transportar (Guillén Salvador, 1993 pág. 8).

2.2 Automatización neumática

La automatización neumática es la que se realiza usando las propiedades de aire comprimido. Las señales deben traducirse a ausencia o presencia de presión neumática (Guillén Salvador, 1993 pág. 8).

2.3 Ingeniería del control

El control automático desempeña un papel importante en el avance de la ciencia e ingeniería, cabe resaltar su gran importancia en: sistemas de vehículos espaciales, guiado de misiles, sistemas robóticos y análogos. El control automático se ha convertido en una parte importante e integral en operaciones industriales, tales como: control de presión, temperatura, humedad, viscosidad y flujo (Ogata, 2003 pág. 1)..

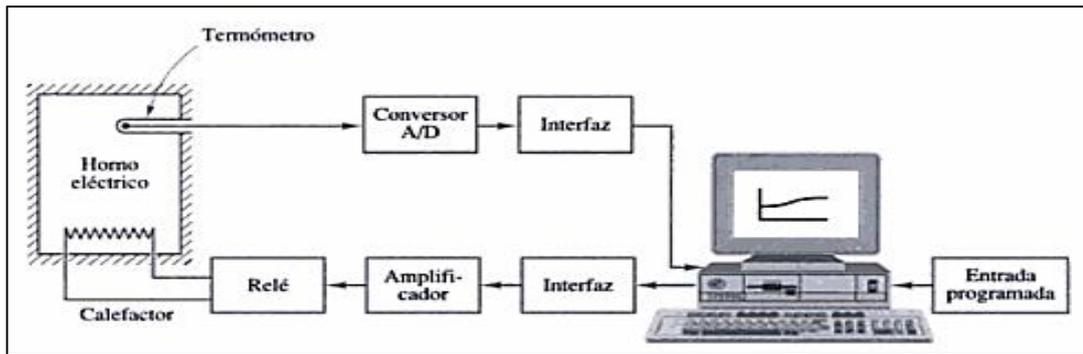


Figura 1-2: Sistemas de control de temperatura

Fuente: (Ogata, 2003 pág. 4)

En la figura 1-2, se detalla un ejemplo de un sistema de control de temperatura, en la cual se muestra los elementos principales del mencionado sistema.

2.3.1 Definiciones básicas

- **Sistema:** Agrupación de medios materiales tangibles e intangibles unificados de tal manera que desarrollen una función específica en respuesta a una necesidad deseada.
- **Control:** Utilización de un grupo de magnitudes o acciones para obtener una respuesta deseada.
- **Proceso:** Conjunto de componentes que actúan entre sí para darle al sistema capacidades dinámicas o temporales.
- **Proceso y sistema:** Desarrollo en un procedimiento, en el que sus elementos son materia, energía o información.

2.4 Teoría de control

La teoría de control estudia el comportamiento de los sistemas dinámicos, en donde una o más variables de salida de un sistema cualesquiera siguen una salida de referencia, ver figura 2-2.

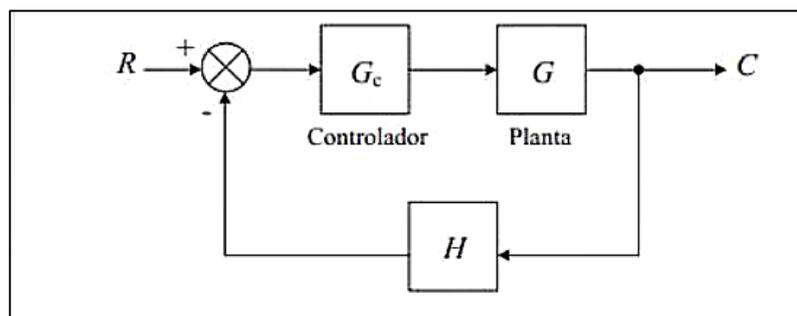


Figura 2-2: Sistema de control con retroalimentación negativa

Fuente: (Guijarro Solórzano, y otros, 2015 pág. 9)

La figura 2-2, muestra un sistema de control con retroalimentación negativa, en donde: (G) es la función del sistema o planta, (G_c) es la función del controlador PID, y (H) es la función de la retroalimentación, la cual es la ganancia del sensor.

2.5 Sistema de control

Un sistema de control es aquel sistema cuyo objetivo es controlar las salidas en alguna forma prescrita mediante las entradas a través de sus elementos.

2.5.1 Sistema de control de lazo abierto

Son sistemas que no pueden satisfacer requerimientos de desempeños críticos. Los elementos de este sistema de control se dividen en 2 partes: el controlador y el proceso automático, como se muestra en la siguiente figura (Kuo., 1996 pág. 9).

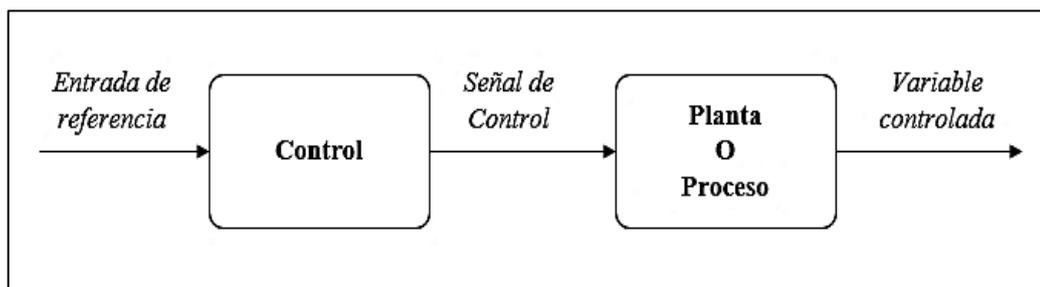


Figura 3-2: Elementos de un sistema de control de lazo abierto

Fuente: (Gomáriz Castro, y otros, 1998 pág. 17)

De la figura 3-2, muestra un sistema de control de lazo abierto donde la salida del proceso a controlar no afecta a la acción del control, haciendo que el control de lazo abierto sea muy sensible a perturbaciones y variaciones (Angulo Bahón, y otros, 2004 pág. 34).

2.5.2 Sistema de control de lazo cerrado

El control de lazo cerrado, realimentado o feedback traducido al inglés, es el mecanismo que usa una diferencia de señales, comparando el valor real de la variable de proceso con el deseado, con el único objetivo de corregir el error que pudiera existir.

La salida del proceso es utilizada para regular la amplitud de su entrada, razón por la que se denomina sistema de control de lazo cerrado, ver figura 4-2 (Angulo Bahón, y otros, 2004 pág. 34).

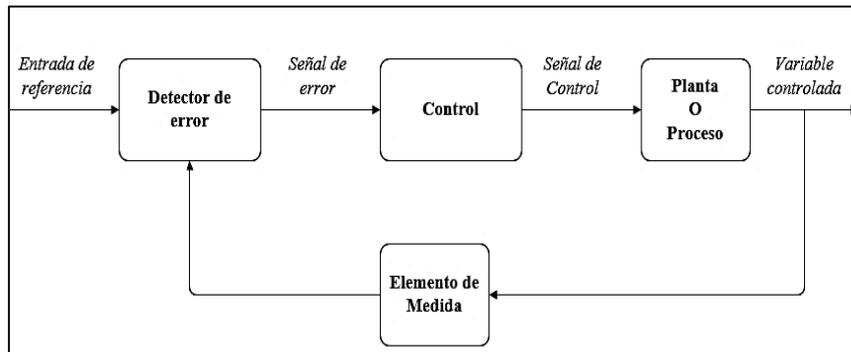


Figura 4-2: Elementos de un sistema de control de lazo cerrado

Fuente: (Gomáriz Castro, y otros, 1998 pág. 18)

La principal ventaja de los sistemas de control de lazo cerrado es, el uso de la realimentación, haciendo al conjunto menos sensible a las perturbaciones externas y a las variaciones de los parámetros internos, que los sistemas de lazo abierto carecen (Gomáriz Castro, y otros, 1998 pág. 18).

2.6 Control Proporcional Integral y Derivativo (PID)

El control PID es un dispositivo que permite regular un sistema de lazo cerrado, a través de una retroalimentación, en la cual se puede controlar magnitudes como: velocidad, temperatura, presión, flujo, entre otras variables de cualquier proceso.

Este controlador está conformado por tres elementos que son:

- Ganancia proporcional (P).
- Tiempo integral (I).
- Tiempo derivativo (D).

Debido a la unión de la primera letra de cada palabra de los 3 elementos (Proporcional, Integral y Derivativo), recibe el nombre de control PID.

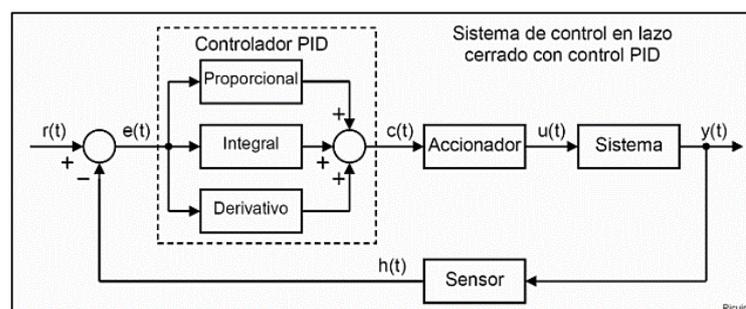


Figura 5-2: Elementos de control PID

Fuente: (Pardo., 2019)

2.6.1 Señal de referencia

La señal de referencia, denominada $r(t)$ indica el estado que se pretende obtener en la salida $y(t)$ del sistema.

En la figura 5-2, se observa la entrada de la señal de error $e(t)$ al controlador PID. Esta señal indica al controlador la diferencia entre: el estado deseado o de referencia $r(t)$, y el estado real medido del sistema por el sensor $h(t)$.

2.6.1.1 Ganancia proporcional

Es aquella que, es proporcional a la señal de error $e(t)$, es decir, la señal proporcional denominada por una constante K_p se multiplica por la señal de error y su fórmula está definida de la siguiente manera:

$$\mathbf{Psal} = K_p * e(t) \quad (1)$$

Donde:

Psal = Ganancia proporcional.

Kp = Constante proporcional.

e(t) = Señal de error.

2.6.1.2 Acción de control integral

Esta acción de control calcula la integral de la señal de error $e(t)$, siendo esta integral como la suma o almacenamiento de señal de error y su fórmula está definida de la siguiente manera:

$$\mathbf{Isal} = \frac{K_p}{T_i} * \int_0^t e(t) dt \quad (2)$$

Donde:

Isal = Acción de control integral.

Kp = Constante proporcional.

Ti = Constante de tiempo integral.

e(t) = Señal de error.

2.6.1.3 Acción de control derivativa

Esta acción es proporcional a la derivada de la señal de error, conocida también como velocidad de error.

Su fórmula está definida de la siguiente manera:

$$D_{sal} = K_p * T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Donde:

D_{sal} = Acción de control derivativa.

K_p = Constante proporcional.

T_d = Constante de tiempo derivativa.

e(t) = Señal de error.

2.7 Adquisición de datos

Es el proceso de medir un fenómeno físico o eléctrico (voltaje, presión, temperatura, entre otras), a través de una computadora personal (PC).

Para la adquisición de datos se ayuda de:

- Sensores.
- Hardware para la adquisición de datos.
- PC y software, quienes permiten la programación (Machado Villacrés, y otros, 2018 pág. 5).



Figura 6-2: Tarjeta de adquisición de datos

Fuente: (Machado Villacrés, y otros, 2018 pág. 18)

2.7.1 Sensores

El sensor, o también conocido en el mercado con el nombre de transductor, es un dispositivo que se utiliza para detectar acciones y convertir un fenómeno físico en una señal eléctrica que pueda ser medida.

La señal eléctrica dependiendo el tipo de sensor que se utilice puede ser medida en:

- Intensidad de corriente (A).
- Tensión de corriente eléctrica (V).
- Resistencia eléctrica (Ω).

2.7.1.1 Sensor Sharp

El sensor Sharp se utiliza para medir la distancia existente entre el sensor con un objeto de cualquier procedencia, para lograr este objetivo el sensor cuenta con: un emisor infrarrojo y un receptor, los cuales mediante el método de triangulación miden la distancia.

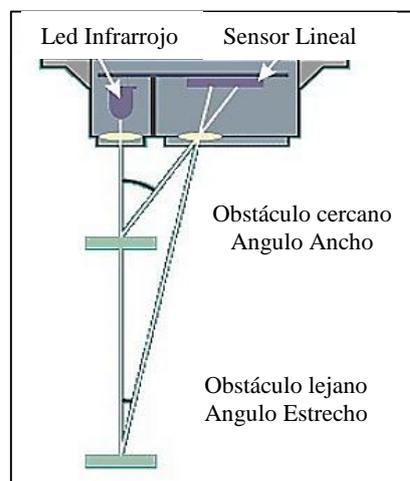


Figura 7-2: Método de triangulación: emisor-objeto-receptor

Fuente: (Sharp., 2016)

En la figura 7-2, se observa el método de triangulación, el cual consiste en, medir uno de los ángulos que forma el triángulo con los elementos entre: el emisor y receptor u objeto. El rango del sensor está delimitado por la óptica y geometría de éste.

En la actualidad existen diferentes modelos de sensores de tipo Sharp, los cuales se diferencian por el rango de distancia. Cada uno de estos sensores se detallan en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Modelos de sensores Sharp

Modelo	Rango (cm)	Figura
GP2Y0A21	10 - 80	
GP2Y0A02	20 - 150	
GP2Y0A710	100 - 550	

Fuente: (Sharp., 2016)

Realizado por: Pinto, S. 2020

2.7.2 Tarjeta NI myRIO para la adquisición de datos

La tarjeta NI myRIO es una herramienta de desarrollo de múltiples prototipos de proyectos, consta de algunas partes como un Xilinx FPGA y procesador dual-core ARM Cortex-A9, habilidades inalámbricas, interfaz para conexión UART, I2C, entre otros.

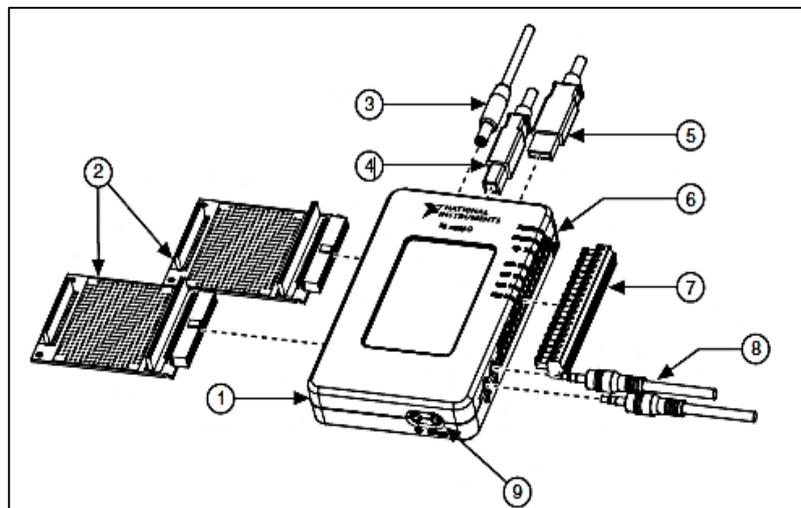


Figura 8-2: Partes de la tarjeta NI myRIO

Fuente: (myRIO-1900, 2016 pág. 1)

Donde:

1. Tarjeta NI myRIO.
2. Salidas.
3. Cable de fuente de alimentación.

4. Cable USB.
5. Cable USB host.
6. Leds.
7. Conector del terminal de puerto MSP.
8. Cables de entrada y salida de audio.
9. Botón 0.

2.7.2.1 Descripción de la tarjeta NI myRIO

La tarjeta NI myRIO proporciona una entrada analógica (AI), salida analógica (AO), entrada y salida digital (DIO), audio y salida de potencia en un dispositivo compacto integrado. La NI myRIO se conecta a una PC host a través de USB e inalámbrico 802.11b, g, n (myRIO-1900, 2016 pág. 3).

La siguiente figura muestra la disposición y funciones de los componentes NI myRIO.

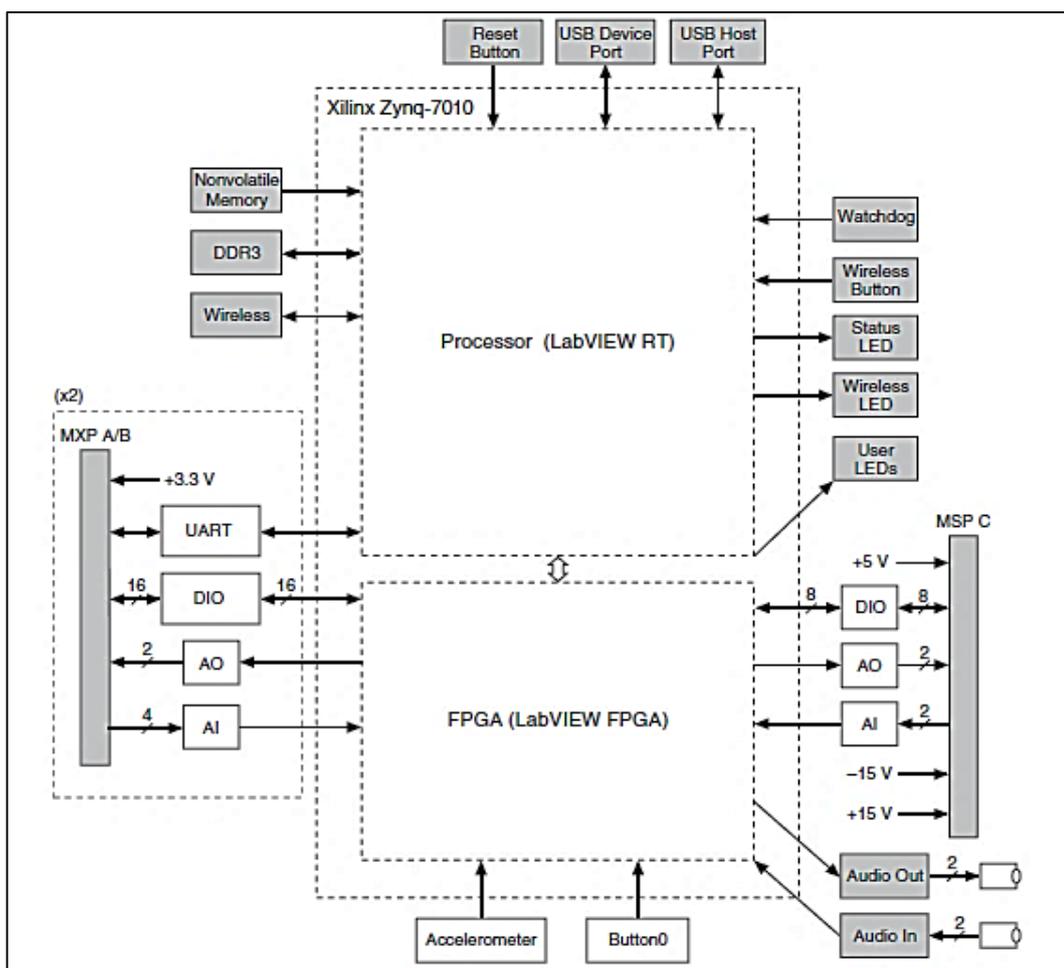


Figura 9-2: Diagrama de bloques de la tarjeta NI myRIO

Fuente: (myRIO-1900, 2016 pág. 3)



Figura 11-2: LabVIEW 2018

Realizado por: Pinto, S. 2020

2.8.1.1 Entorno a LabVIEW 2018

Originalmente este programa estaba orientado para aplicaciones de control de equipos electrónicos usados en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentos virtuales.

Por este motivo, los programas creados en LabVIEW se guardan en ficheros llamados VI (Virtual Instrument), y con la misma extensión. (Lajara Vízcaíno, y otros, 2011 pág. 22)

2.8.1.2 Instrumentos virtuales (VI)

En LabVIEW a los programas se los denomina instrumentos virtuales (VI) y están constituidos por las siguientes partes:

- Panel frontal.
- Diagrama de bloques.
- Conector de entrada/salida (E/S).
- Ícono.

Las partes de un VI se muestran en la siguiente figura:

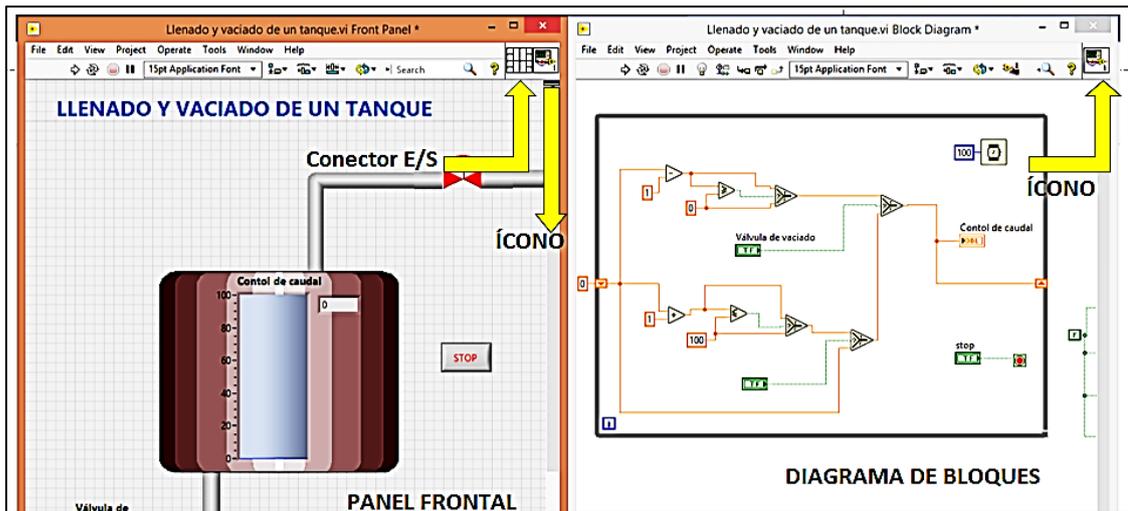


Figura 12-2: Partes de un VI

Realizado por: Pinto, S. 2020

En la figura 12-2, se observa que el panel frontal y el diagrama de bloques están conectados a través de los terminales (elementos que sirven como entradas o salidas de datos) (Lajara Vízcaino, y otros, 2011 pág. 22).

2.8.1.3 Bloque NI PID lead-lag

Es un controlador PID con una función de avance/retardo y se utiliza como un compensador dinámico en los esquemas de control anticipativo (Guijarro Solórzano, y otros, 2015 pág. 13).

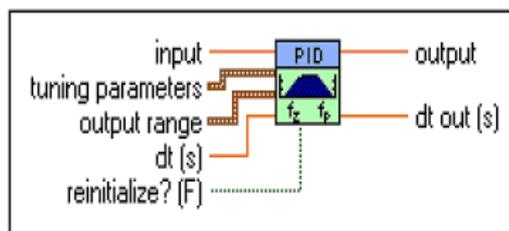


Figura 13-2: Entradas y salidas de un bloque NI PID lead-lag

Fuente: (Guijarro Solórzano, y otros, 2015 pág. 13)

Donde:

- **Input:** Indica el valor de la entrada.
- **Tuning parameters:** Indica los parámetros de ajuste.
- **Lag time:** Indica el aplazamiento de fase en el lapso de un tiempo en minutos. Un valor de cero desactiva el aplazamiento.
- **Output:** Regresa la salida del sistema del control PID que se inserta al proceso controlado.

- **Output high:** Es el máximo valor de la salida del controlador. El valor por defecto es 100.
- **Output low:** Indica el valor mínimo de la salida del controlador. El valor por defecto es 100.
- **Output range de salida:** Especifica el rango al que coaccionar a la salida de control. El rango predeterminado es de 100 a 100, lo que corresponde a los valores especificados en términos de porcentaje de la escala total (Guijarro Solórzano, y otros, 2015 pág. 13).

2.8.1.4 *Características del LabVIEW 2018*

Las características principales se puntualizan a continuación:

- Posee una extensa compatibilidad con versiones anteriores y posteriores.
- Visualiza, analiza, ejecuta y comparte datos.
- Posee un lenguaje de programación gráfico enfocado a tareas de instrumentación electrónica.
- Reduce costes de implementación (National Instruments., 2017).

2.8.1.5 *Beneficios del LabVIEW 2018*

Brinda la flexibilidad de un potente lenguaje de programación sin la complejidad de los entornos de desarrollo tradicionales, es fácil de aprender y utilizar, su funcionalidad es completa con capacidades de E/S integradas, perfecta interacción con hardware para diseñar experimentos y además cuenta con una plataforma abierta para establecer interfaz con otras herramientas de ingeniería (National Instruments., 2017).

2.8.2 *Matlab R2017B*

Matlab es un sistema cuyo elemento básico de información es una matriz que no requiere de dimensionamiento. Este sistema permite la resolución de muchos problemas numéricos en apenas una fracción de tiempo, tiempo que emplearía en escribir un programa similar en los lenguajes de programación Fortran, Basic o C (Silva Acuña, 2014 pág. 1).

Aplicaciones:

- Cálculos numéricos.
- Desarrollo de algoritmos.
- Modelo, simulación y prueba de prototipos.
- Análisis de datos, exploración y visualización.

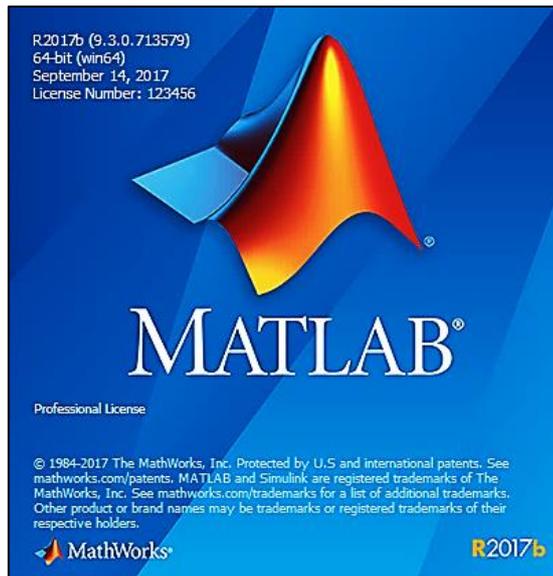


Figura 14-2: Interfaz de MATLAB R2017B

Realizado por: Pinto, S. 2020

Cuando Matlab se carga, se muestran 2 ventanas: la ventana de comandos (Comand Windows) y la ventana de gráfica (Graphic Windows). La ventana de comandos se activa cuando se inicia Matlab, y el “prompt” estándar (») se muestra en cada pantalla (Silva Acuña, 2014 pág. 1).

2.9 Levitación

Se denomina levitación al efecto que permite a un cuerpo suspenderse en el aire sin contacto físico, siendo el resultado una fuerza que contrarresta el peso del cuerpo u objeto levitante.

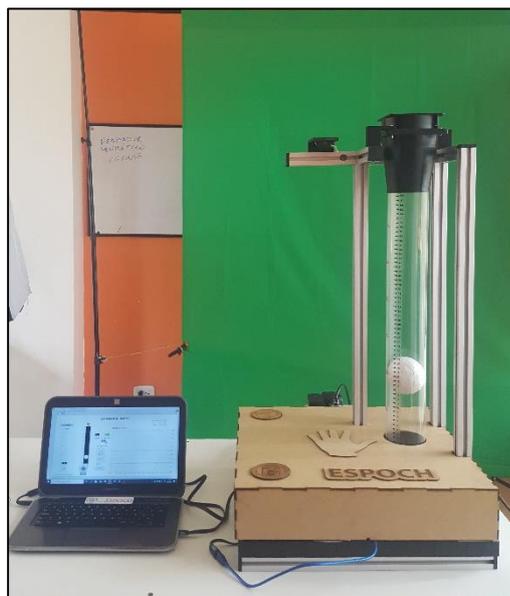


Figura 15-2: Módulo de levitación

Realizado por: Pinto, S. 2020

En otras palabras, la levitación consiste en suspender en el aire un cuerpo rígido en un campo abierto o cerrado como se muestra la figura 15-2, sin la necesidad de la aplicación de una fuerza física externa sobre el cuerpo rígido.

2.9.1 *Tipos de levitación*

Dependiendo del medio que genera la fuerza de empuje existen diferentes tipos de levitación, los más conocidos se detallan a continuación:

- Magnética.
- Acústica.
- Óptica.
- Neumática.

Estas diferentes clases de levitación cumplen el mismo objetivo, el cual es suspender cuerpos en el aire, pero con diferentes características.

2.9.1.1 *Levitación magnética*

También conocida por sus siglas en inglés como Maglev, es un método por el cual un objeto es mantenido a flote por acción únicamente de un campo magnético, es decir, la presión magnética se contrapone a la gravedad. Cualquier objeto puede ser levitado siempre y cuando el campo magnético sea lo suficientemente mayor.

2.9.1.2 *Levitación acústica*

Es un fenómeno por el cual se puede mantener un objeto suspendido en el aire mediante ondas sonoras. Las fuerzas de las ondas sonoras deben ser de alta intensidad para crear efectos no lineales.

2.9.1.3 *Levitación óptica*

Un material levita contra la fuerza de la gravedad por medio de una fuerza en sentido contrario procedente de una transferencia de momentos fotónicos. Típicamente la presión de la radiación fotónica procedente de un rayo láser vertical convenientemente dirigido y enfocado permite contrarrestar la fuerza gravitatoria para permitir mantener pequeñas partículas en suspensión (Díaz, 2008a: pp. 56-57).

2.9.1.4 Levitación neumática

En la levitación neumática operan las variaciones de presión ejercida por gases, en este caso el aire, para mantener objetos suspendidos en posición estable.



Figura 16-2: Sistema de levitación neumática

Fuente: (Mendoza Monjaraz, y otros, 2015 pág. 29)

Esta levitación tiende a garantizar sobre el objeto, que su fuerza contrarreste el peso del cuerpo (la fuerza de gravedad que actúa sobre el objeto que levita) y se halle en suspensión estable.

Aplicaciones en la industria:

- Transporte de carga y piezas sin rozamiento.
- Transporte de la nitroglicerina.
- Transporte de materia de granel.

3. METODOLOGÍA

El desarrollo del presente trabajo de titulación se implementará en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería de Mantenimiento, en el laboratorio de Control y Manipulación Automática, con el cual se realizará prácticas de control PID, ampliando la temática educativa en el laboratorio.

Para la implementación del módulo de levitación neumática, se realizará: el diseño, construcción, montaje y programación del sistema de control, todo lo mencionado anteriormente se detalla a continuación:

3.1 Diseño, construcción y montaje de elementos para el módulo de control

El módulo de control sirve para controlar el movimiento y estabilidad de la esfera levitante, para cumplir con este objetivo, el módulo estará conformado por:

Elementos: Estructura de aluminio, ducto, soportes en 3D y esfera.

Dispositivos: Sensores Sharp 2Y0A21-F74, ventilador, blower, NI myRIO y PC.

Softwares: NI LabVIEW 2018 y Matlab R290172B



Figura 1-3: Base y estructura

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.1.1 Estructura modular

La estructura sirve de soporte para el montaje de todos los elementos y dispositivos que conformará el módulo de levitación neumática. Además, permite ser transportada en un solo conjunto, evitando así desarmarlo y provocar daños en los elementos o dispositivos del módulo.

3.1.1.1 Diseño y características

El diseño de la estructura está hecho en su totalidad de aluminio (Al) perfilado, se ha tomado en consideración la dimensión y geometría de los elementos para determinar las medidas apropiadas, que a continuación se detallan:

Tabla 1-3: Dimensiones de la base

Base (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
50	50	6

Realizado por: Pinto, S. 2020

Tabla 2-3: Dimensiones de la altura desde la superficie superior de la base

Base (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
3	3	77

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.1.1.2 Instalación

Para la instalación se debe utilizar las herramientas y equipos de protección personal (EPP) apropiada, así como seguir los procedimientos según un plano de medidas y cortes. Las principales etapas del proceso son:

- Cortar los perfiles de Al con una sierra de calar a las dimensiones ya establecidas, acto seguido, con una lima retirar las fisuras de la zona de corte.
- Para complementar las uniones, se perfora los puntos de conexión y se ajustan con tornillos autorroscantes, obteniendo con ello, una estructura resistente a golpes, torsiones y vibraciones.
- Ensamblar las piezas una tras otra hasta obtener la base y altura de la estructura.
- Por último, se coloca los terminales de plástico.

En la figura 1-3, se tiene el diseño de la estructura en su totalidad de aluminio perfilado, la cual servirá de base para el montaje de todos los elementos y dispositivos.

3.1.2 *Soportes*

Los soportes son de crucial importancia para acoplar o sostener los elementos a instalar en el módulo del levitador neumático y con ello, formar una unidad sólida y compacta.

Por tanto, es necesario determinar un proceso de fabricación de los mismo, el cual debe ser fácil de ejecutar y debe generar una pieza robusta.

3.1.2.1 *Diseño y características*

El diseño de los soportes es estricta y específicamente para acoplar los extremos del ventilador, ducto, sensores y el blower. Cabe señalar que, los soportes están fabricados en su totalidad utilizando la técnica de impresión 3D, ver anexo C.

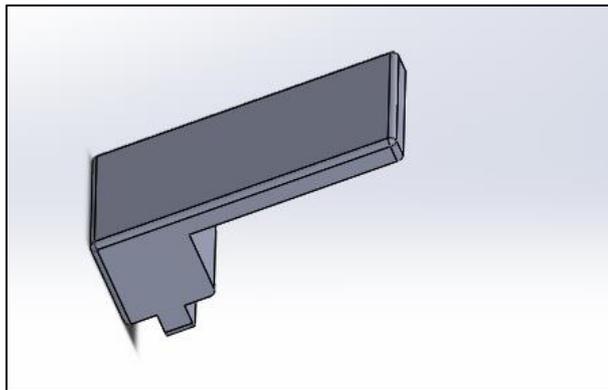


Figura 2-3: Acople del sensor Sharp 2Y0A21 F 74

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.1.2.2 *Instalación*

Los soportes, al ser fabricados por la técnica de impresión 3D se obtiene robustez y flexibilidad, por tanto, se puede instalar sin ningún inconveniente, mediante los siguientes pasos:

- Clasificar los soportes para cada elemento y dispositivo.
- Realizar el montaje de los soportes con la unidad de su correspondencia y en la ubicación especificada.

En la figura 2-3, se observa la utilización de los soportes para la instalación de los elementos y equipos destinados a usar este medio.

3.1.3 *Ducto*

El ducto cumple la función de alojar a la espera, por ende, será la cámara donde la esfera levite y se estabilice en tiempo real. Además de evitar que el caudal de aire suministrado se desvíe en otra dirección.

3.1.3.1 *Diseño y características*

El diseño del ducto es de plástico, por su facilidad de acople, sellando con ello una probabilidad nula de fugas, por lo que es ideal para el suministro de aire en este sistema a implementar.

La altura del ducto es de 600 mm, con un diámetro interior de 76,2 mm ($\varnothing = 3\text{in}$) y su espesor es de aproximadamente 2mm, lo cual ayuda a su resistencia contra golpes medrados.

3.1.3.2 *Instalación*

La instalación de este elemento se realiza de tal modo que, no exista inclinación facilitando con ello, la instalación de los otros elementos para formar el conjunto. Los pasos a seguir para su instalación son los siguientes:

- Seleccionar los soportes diseñados para el ducto.
- Adaptar los acoples en los extremos del ducto, tomando como punto de partida la parte inferior (acto seguido inserta la esfera dentro del ducto) y finalizando con el sellado de la parte superior.

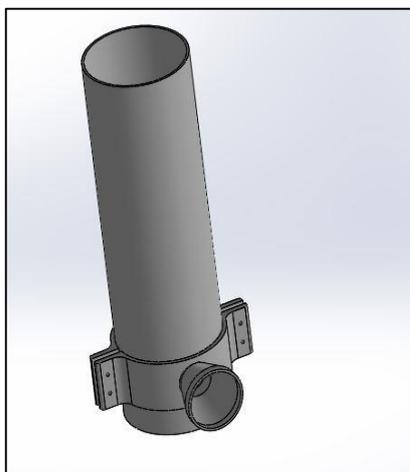


Figura 3-3: Acople del ducto de aire en la parte inferior

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.1.4 *Esfera*

La esfera es el objeto levitante, que permite saber si el sistema es estable o no, es decir, si la esfera al estar suspendida a una altura asignada por el usuario se estabiliza, el sistema sería estable, caso contrario, no.

3.1.4.1 *Diseño y características*

El diseño es circular compuesto por espuma de poliuretano, acoplándose al diseño del ducto, el cual posee un diámetro de 75 mm. Este elemento debe permitir el flujo de aire sin mayor rozamiento.

3.1.4.2 *Instalación*

- Se inserta dentro del ducto, antes que se dé el acople en la parte superior del ducto.

En la figura 1-3, se observa este objeto levitante, el cual será sometido a un flujo constante de aire, este flujo será suministrado de acuerdo con los valores requeridos por el sistema de levitación.

3.1.5 *Sensor Sharp 2Y0A21 F 74*

El sensor Sharp 2Y0A21 F 74, tiene por objetivo medir la distancia de la esfera en el punto de levitación.

3.1.5.1 *Diseño y características*

El diseño del sensor Sharp o de posicionamiento, se basa en el modelo 2Y0A21 F 74, el mismo que proporciona una lectura continua de la distancia medida como una tensión analógica dentro de un rango de (10 a 80) cm, y está compuesto por un: detector sensible a la posición (PSD), diodo emisor de infrarrojos (IRED) y el procesador de señales para realizar el cálculo de la distancia.

Para calcular la distancia en centímetros se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{distancia (cm)} = \frac{6787}{(\text{lectura en voltios}-3)} - 4 \quad (4)$$

3.1.5.2 *Instalación*

La sujeción de los sensores debe realizarse de manera que, permita enviar la información con la menor cantidad de perturbaciones, por ende, se sigue los siguientes pasos:

- Seleccionar los soportes respectivos para los dos sensores Sharp 2Y0A21 F 74.
- El primer sensor va anclado en un punto fijo entre el ventilador y el acople del ducto.
- El segundo sensor va anclado en un perfil, libre de otros elementos, proporcionando un lugar estable y sin perturbación para la lectura de distancia con la palma de la mano.



Figura 4-3: Ensamblaje del sensor Sharp 2Y0A21 F 74

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.1.6 *Ventilador*

El ventilador proporcionará el flujo de aire en sentido vertical hacia abajo, generando perturbación en el sistema de control PID del proceso de levitación.

3.1.6.1 *Diseño y características*

El ventilador es alimentado con 115V de AC, el cual combina una gran cantidad de flujo de aire con un bajo nivel de ruido con una velocidad que va desde los (1000 a 3500) rpm. El flujo total de aire que genera es de 125 CFM.

3.1.6.2 *Instalación*

- Seleccionar el soporte diseñados para el ventilador.
- Identificar la posición de la flecha que está en un costado para su ubicación correcta.
- Adaptar los acoples de la parte superior de la estructura con los extremos del ventilador.

- Por último, se perfora los puntos de conexión y se ajustan con los tornillos respectivos, obteniendo con ello una estructura compacta

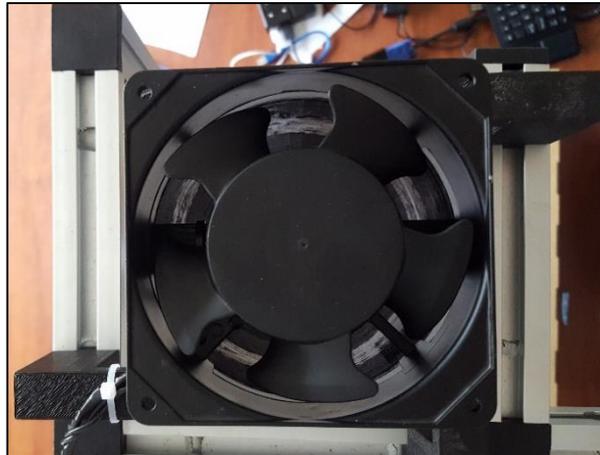


Figura 5-3: Ensamblaje del ventilador

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.1.7 *Blower*

El blower es el dispositivo encargado de suministrar la cantidad de aire deseado, logrando con ello, el ascenso o descenso de la esfera de manera controlada, mediante el control del rpm proveniente de la programación del PWM que trabaja desde 0 al 100 % respectivamente.

3.1.7.1 *Diseño y características*

El diseño del blower se basa en dispositivo electromecánico, es decir, es un equipo de producción estándar y posee los siguientes detalles:

Tabla 3-3: Características del blower

Parámetros	Unidades
Potencia	1875 W
Voltaje	120 V
Niveles de temperaturas	2
Número de velocidades	2

Fuente: (Ya está., 2018)

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.1.7.2 *Instalación*

La geometría del blower está considerada, de tal modo que no afecta el funcionamiento de los demás elementos y para el montaje se siguió los siguientes pasos:

- Seleccionar los soportes diseñados para el blower.
- Adaptar el blower a los acoples existentes en los puntos fijos entre la base de la estructura de aluminio y el acople del ducto inferior.
- Por último, se perfora los puntos de conexión y se ajustan con los tornillos respectivos, obteniendo con ello una estructura compacta.



Figura 6-3: Ensamblaje del blower en la base de la estructura

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.1.8 *Placa*

Para generar una señal troceada, depende de la modulación de ancho de pulso de la placa.

3.1.8.1 *Diseño y características*

La placa está diseñada como el complemento que permitirá la comunicación con: el blower, la myRIO y los sensores, como se observa en el ANEXO A.

Compuesta por:

2 resistencias 33 K Ω .

2 resistencias 10 K Ω .

1 resistencia 330 Ω .

2 puentes de 10 diodos.

1 transistor NPN tip41.

1 transistor PNP tip332.

1 mosfet IRF 32 (disipador).

2 autotransistores 4N25.

5 borneras de 2 pines.

3.1.9 *NI myRIO-1900*

La tarjeta de comunicación NI myRIO-1900, es el dispositivo electrónico emblemático que, se encargará de la recolección de las señales provenientes de los sensores del levitador neumático.

3.1.9.1 *Diseño y características*

NI myRIO-1900 posee un diseño compacto, al tener E/S reconfigurables. Además, permite la comunicación con la PC por medio de un USB y es compatible con el software LabVIEW 2018.

3.1.9.2 *Instalación de software para la comunicación de la tarjeta NI myRIO con la PC*

Para realizar la comunicación, se debe realizar una prueba de funcionamiento con la tarjeta, comprobar la integridad física y determinar la forma de conexión. Adicionalmente se debe seguir los siguientes pasos:

- Acoplar la NI myRIO en la base de la estructura de Al, luego conectar a la placa y sensores.
- Instalar en la PC el software LabVIEW 2018 y sus complementos: LabVIEW Real Time y LabVIEW 2018 myRIO Toolkit.
- Conectar a una fuente el cable de alimentación de la NI myRIO y de la PC de ser necesario.
- Conectar la NI myRIO a la PC por medio del cable USB.
- Una vez conectada la NI myRIO, seleccionar en la PC el asistente Getting Started Wizard.
- Esperar a que se instale completamente el software de la NI myRIO y reiniciar la PC para completar la instalación.
- Por último, proceder a comprobar los sensores y dispositivos.



Figura 7-3: Montaje de la tarjeta NI myRIO-1900 en la estructura Al

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.1.10 Computadora portátil (PC)

Es el dispositivo en el cual se instalarán los paquetes de software para tener una comunicación con el módulo, diseño de la estructura y visualización de las pruebas de funcionamiento.

3.1.10.1 Diseño y especificaciones

La PC es una DELL inspiron de arquitectura compacta y optimizada, la cual cuenta con:

- Windows 10 Pro con un Sistema Operativo de 64 bits.
- Procesador Inter Core TM I7 - 3517 CPU 1.90 GHz.
- 8 GB de Memoria RAM.

3.1.10.2 Instalaciones

Los paquetes de software dependen del proyecto a realizar, por tanto, para el: diseño, cálculo, procesamiento de señales e interfaz, se debe instalar:

- Software NI LabVIEW 2018 y sus complementos (para la programación del control PID).
- Software MATLAB R2017B (para hallar las ecuaciones mediante regresión lineal).
- Software SolidWorks (para diseñar los soportes y su posterior fabricación mediante la técnica de impresión 3D).

3.1.11 MATLAB R2017B

Es el software que permite la obtención y tratamiento de las señales de los sensores mediante gráficas.

3.1.11.1 Diseño e interfaz

MATLAB R2017B se basa en un lenguaje de programación gráfica y posee dos ventanas:

- La primera es la ventana de comando, interfaz que permite la resolución de las variables de voltaje y distancia.
- La segunda es la ventana de gráficos, interfaz que permite la visualización de la ecuación general, coeficientes y la gráfica las variables planteadas.

3.1.11.2 Instalación

- Instalar el software MATLAB R2017B para usar en este proyecto.

3.1.12 NI LabVIEW 2018

Es el software que permite la programación del procesamiento de las señales y control PID.

3.1.12.1 Diseño e interfaz

NI LabVIEW versión 2018 se basa en un lenguaje de programación gráfica y su interfaz cuenta de dos ventanas y éstos son:

Diagrama de bloques: Parte donde se llevará a cabo la programación, es de fondo blanco.

Panel frontal: Parte donde el usuario ejecutará la simulación de la programación, fondo gris.

3.1.12.2 Instalación

- Instalar el software LabVIEW 2018 y sus complementos en PC para usar en este proyecto.

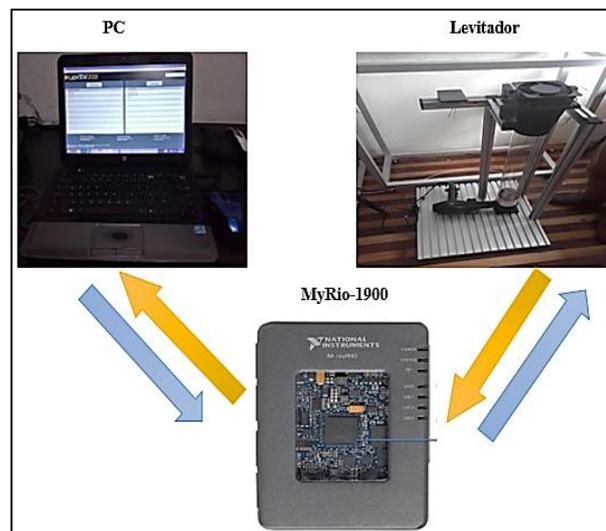


Figura 8-3: Comunicación entre la PC, NI myRIO y levitador neumático

Realizado por: Pinto, S. 2020

En la figura 8-3, se observa la comunicación existente entre los dispositivos del módulo con la PC, habilitando con ello la parte de la programación, la cual se revelará a detalle en el siguiente apartado.

3.2 Programación del módulo de control

3.2.1 Creación de un proyecto en LabVIEW 2018 myRIO Toolkit

Para crear un nuevo proyecto, ejecutar LabVIEW 2018 myRIO Toolkit y realizar lo siguiente:

- Dar clic en la opción de Create New Project. Como se muestra en la figura 9-3.

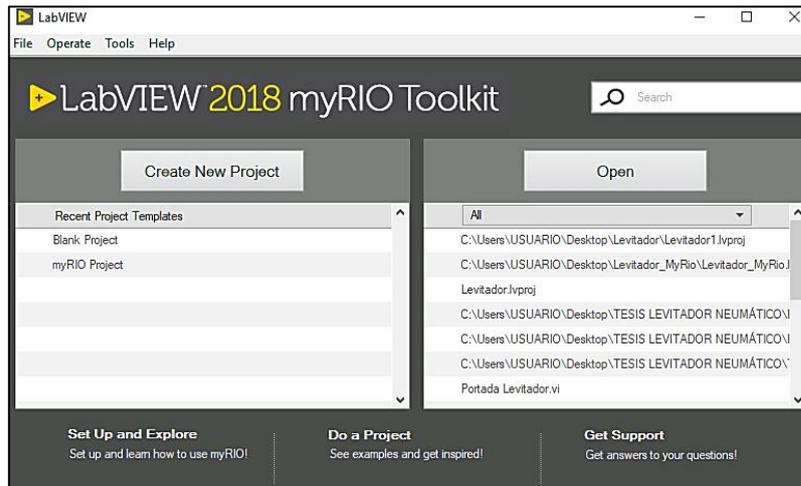


Figura 9-3: Interfaz de inicio del LabVIEW 2018 myRIO Toolkit

Realizado por: Pinto, S. 2020

- En la siguiente ventana, escoger la opción myRIO Project y dar clic en Next.

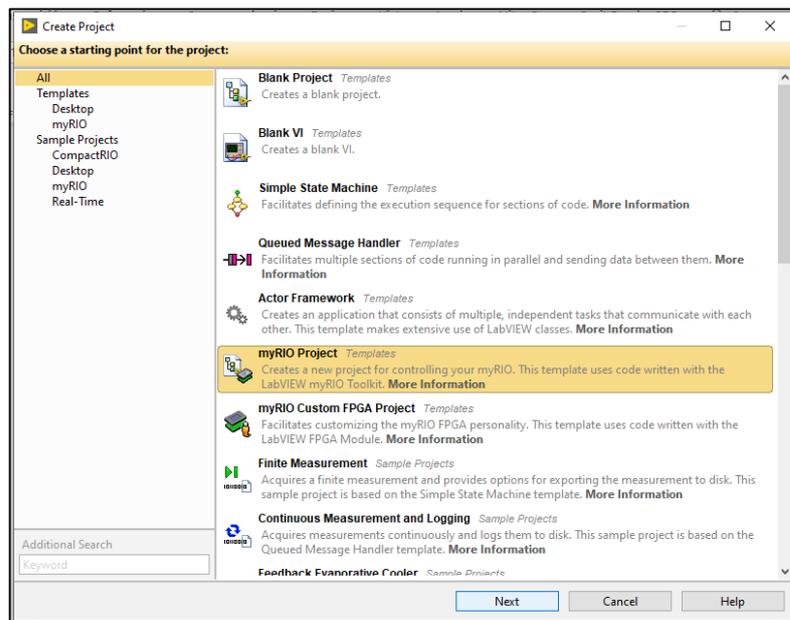


Figura 10-3: Creación de un proyecto compatible para la tarjeta NI myRIO

Realizado por: Pinto, S. 2020

- En Project Name, dar el nombre de Levitador y en Target, escoger Plugged into USB, y dar clic en el botón Finish y se abrirá una ventana con el nombre del proyecto creado. Como se muestra en la figura 11-3.

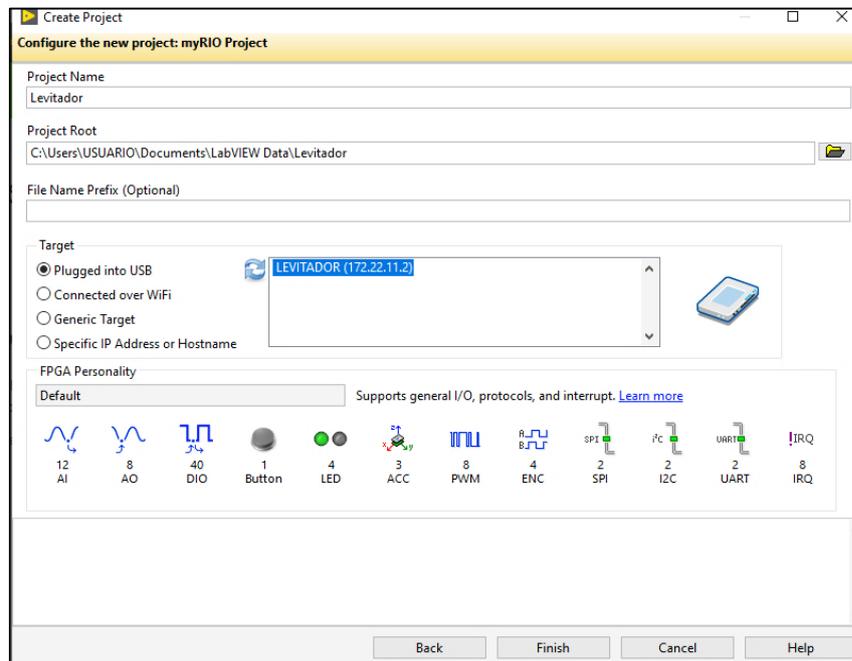


Figura 11-3: Interfaz de la configuración del nuevo proyecto myRIO

Realizado por: Pinto, S. 2020

- Posterior al paso anterior, se dirige a la función NI myRIO 1900 y seleccionar la opción conectar y dar clic, originando la comunicación entre la tarjeta NI myRIO 1900 con LabVIEW 2018 myRIO Toolkit. Como se muestra en la figura 12-3.



Figura 12-3: Comunicación entre la tarjeta NI myRIO con LabVIEW 2018

Realizado por: Pinto, S. 2020

- Para comprobar la correcta comunicación, se guía del encendido del LED el cual será de color verde en la función de la myRIO.
- Si, por el contrario, el LED no llegase a encender, significa que no existe una comunicación entre la PC y la tarjeta NI myRIO, en tal caso, cerrar el programa y reiniciar la PC.

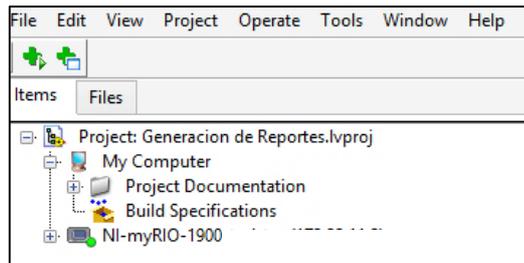


Figura 13-3: Verificación de la conexión entre la PC y NI myRIO
Realizado por: Pinto, S. 2020

- Una vez realizado la comprobación de la NI myRIO, se procede a crear el VI.
- Al clic derecho en la función NI myRIO, seleccionar la opción New y dar clic en VI, para terminar de crearlo. Como se muestra en la figura 14-3.

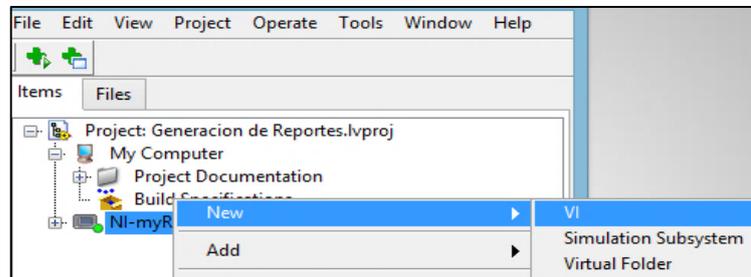


Figura 14-3: Creación del VI

Realizado por: Pinto, S. 2020

- Al momento de crear el proyecto se habilita dos ventanas que muestran al panel frontal y al diagrama de bloques, en donde se procederá a realizar la programación del control PID y visualización del mismo.

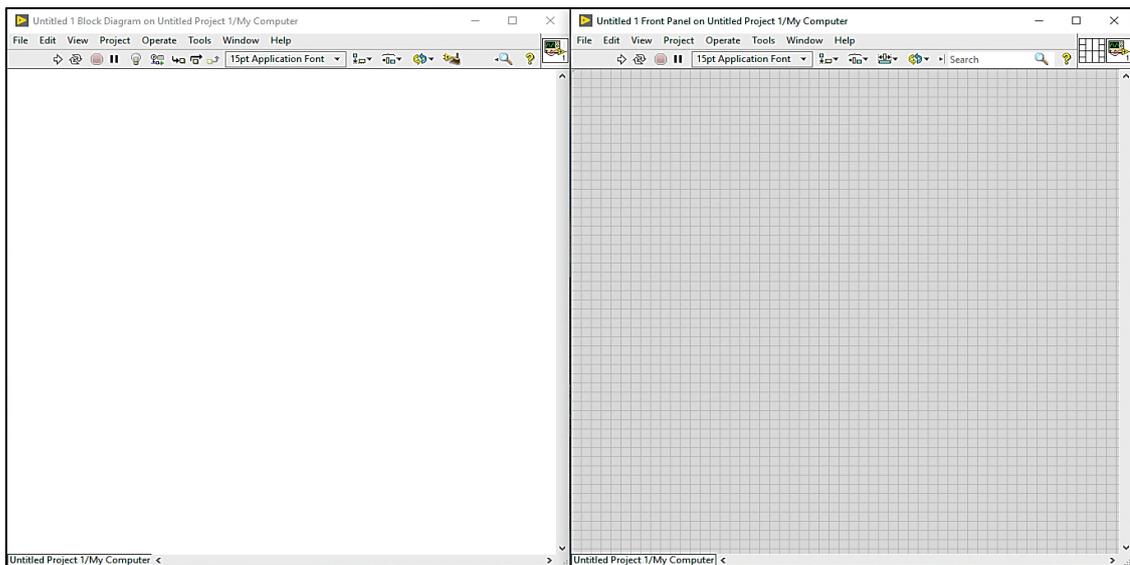


Figura 15-3: Diagrama de bloques y panel frontal

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.2.2 *Procesamiento del primer sensor (SETPOINT LABVIEW)*

3.2.2.1 *Procesamiento del bloque Analog In*

El bloque analog input es el punto de partida, recibe la lectura de la entrada analógica del sensor de la medición de la esfera, para ello se procederá a su creación de la siguiente manera:

Dar clic derecho en cualquier parte del diagrama de bloques para activar la ventana de funciones, escoger la función myRIO y acto seguido el bloque Analog In. Como se ve en la figura 16-3.

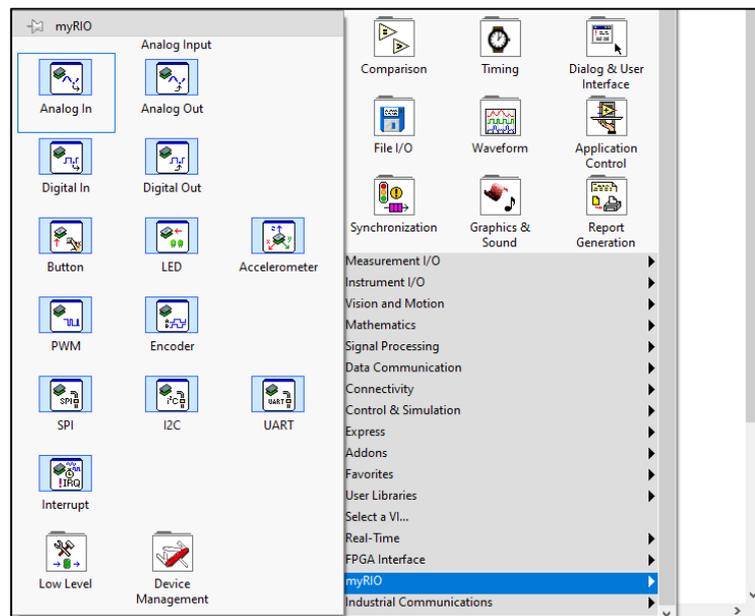


Figura 16-3: Creación del bloque Analog In

Realizado por: Pinto, S. 2020

La siguiente figura muestra el diagrama de conexión realizado.

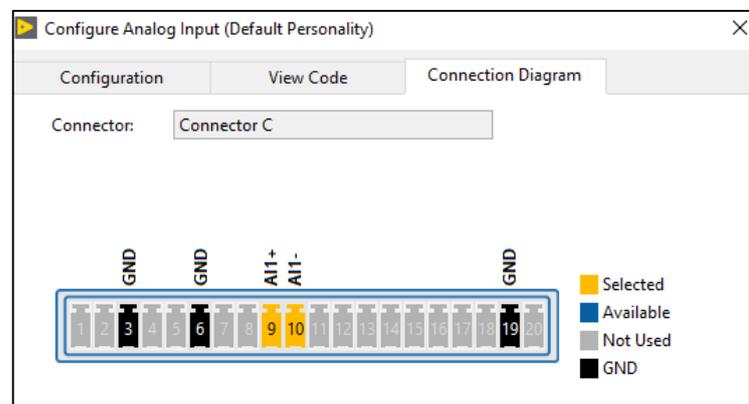


Figura 17-3: Diagrama de conexión de bloque Analog In

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.2.2.2 *Procesamiento del bloque Add Shift Register*

Se crea el bloque del Add Shift Register, al dar clic derecho en la línea del While Loopy y se escoge la opción del bloque ya mencionado. Como se muestra en la figura 18-3.

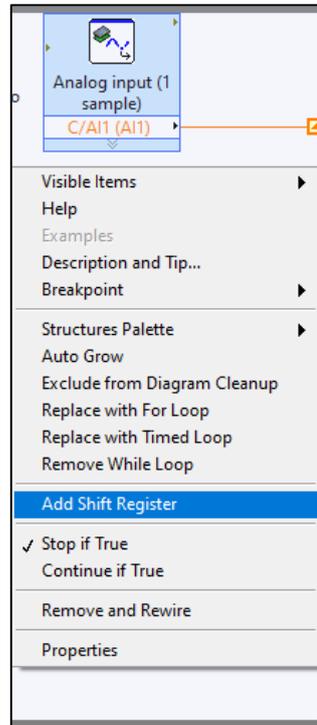


Figura 18-3: Creación del bloque Add Shift Register

Realizado por: Pinto, S. 2020

El bloque de Add Shift Register tiene la función de devolver el valor final de una variable al inicio del loop para un nuevo procesamiento como si fuera una realimentación o feedback y esta función lo hará 11 veces, es decir, traerá 11 veces los últimos valores de la variable procesada para posteriormente realizar un promedio, estos valores son provenientes de la analog input y ésta a su vez son provenientes de la medición de la esfera del sensor 1 (SETPIONT LABVIEW).

3.2.2.3 *Procesamiento del bloque filtro*

Se aplica el bloque filtro para la señal de voltaje promediada, suprimiendo con ello los picos indeseables y obteniendo una señal estable, para ello se procederá a su creación de la siguiente manera:

Dar clic derecho en cualquier parte del diagrama de bloques para activar la ventana de funciones, se selecciona Express, acto seguido en Signal Analysis y por último el bloque Filter. Como se muestra en la figura 19-3.

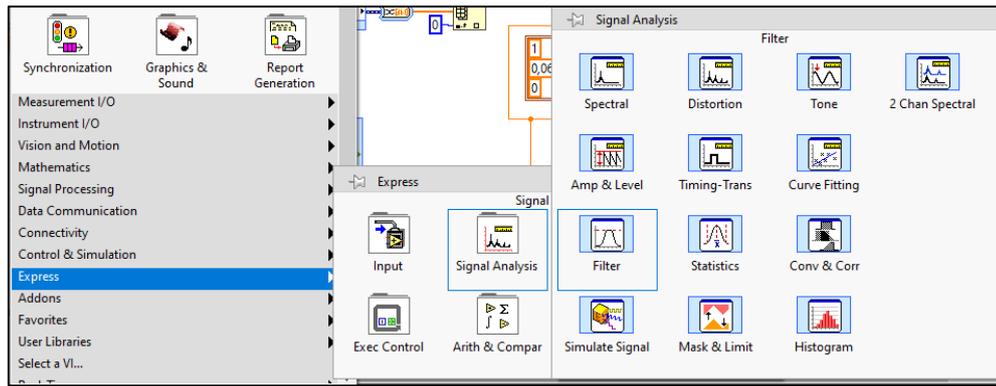


Figura 19-3: Creación del bloque filtro

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.2.2.4 Procesamiento del bloque fórmula

El bloque fórmula recibe la señal filtrada de voltaje y la transforma a señal de distancia, a través de la ecuación obtenida por regresión lineal mediante MATLAB, para ello se procederá a su creación:

Al dar clic derecho en el diagrama de bloques para activar la ventana de funciones, seleccionar Express, luego en Arith & Comprar y por último en Fórmula. Como se ve en la figura 20-3.

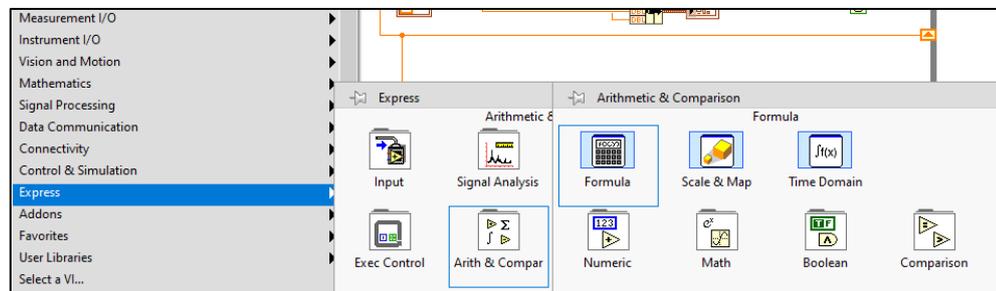


Figura 20-3: Creación del bloque de la fórmula

Realizado por: Pinto, S. 2020

Para la configuración de bloque de la fórmula se necesita una ecuación, y para ello se procesará dos variables con la ayuda del software MATLAB R2017B, y estas variables se obtienen de la siguiente manera:

Paso 1: Fijar medidas de distancia de manera aleatoria en la altura del ducto.

Paso 2: Anotar el voltaje recibido al levitar de manera manual la esfera a las medidas de guía.

Dando como resultado de ello, los datos de las variables para su análisis en MATLAB. Como se ve en la tabla 4-3.

Tabla 4-3: Datos de las variables del sensor 1

Datos del sensor (SETPOINT LABVIEW)	
Distancia (cm)	Voltaje (V)
17,00	0,92018048
19,00	0,95729188
22,50	0,98724505
26,50	1,03683354
30,00	1,13473822
35,00	1,10169266
39,50	1,11308279
44,00	1,15888389
47,50	1,23019532
51,50	1,49647740
55,00	1,89030722
58,50	2,82444775

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.2.2.5 *Procesamiento de la regresión lineal mediante MATLAB R2017B*

Para la obtención de la ecuación del modelo general racional, se ayuda del MATLAB R2017B mediante el ingreso de los datos de las variables a analizar.

Para ello, se abre el programa Matlab R2017 B y, en el apartado de Wokspace, dar clic derecho y seleccionar la opción New, a quien se nombrará variable de Distancia y siguiendo el mismo procedimiento, se crea otra variable denominada Voltaje, y automáticamente se creará una interfaz de las variables e ingresar los datos de la tabla 4-3. Como se muestra en la figura 21-3.

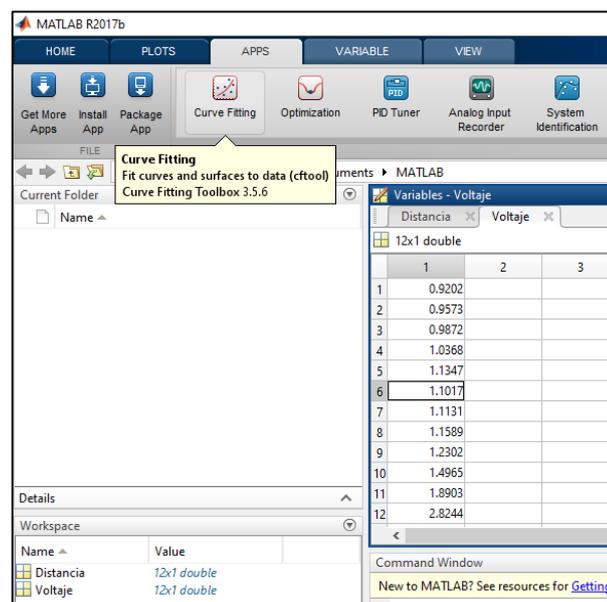


Figura 21-3: Ingreso de las variables en la interfaz de MATLAB

Realizado por: Pinto, S. 2020

A continuación, seleccionar la interfaz de la Curve Fitting Tool, para determinar los ejes, donde:

X data = Voltaje.

Y data = Distancia.

Posterior a ello, se procede a comprobar la ecuación que mejor se acople a la línea de tendencia. Para este análisis en particular, la línea de tendencia es la racional de cuarto grado en el numerador y cuarto grado en el denominador, a continuación, se detalla la ecuación del modelo general racional, los coeficientes y la curva:

Ecuación del modelo general racional de 4 gado en el numerador y 4 grado en el denominador:

$$f(x) = (p1*x^4 + p2*x^3 + p3*x^2 + p4*x + p5) / (x^4 + q1*x^3 + q2*x^2 + q3*x + q4) \quad (5)$$

Coefficientes con un límite de confianza del 95%, cuyos valores se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 5-3: Datos del coeficiente con un límite de confianza del 95%

Coeficiente		
p1 =	2.8e+04	(-1.581e+11, 1.581e+11)
p2 =	-5.048e+05	(-2.856e+12, 2.856e+12)
p3 =	1.416e+06	(-8.012e+12, 8.012e+12)
p4 =	1.426e+06	(-8.071e+12, 8.071e+12)
p5 =	4.802e+05	(-2.718e+12, 2.718e+12)
q1 =	-4486	(-2.537e+10, 2.537e+10)
q2 =	1.157e+04	(-6.544e+10, 6.544e+10)
q3 =	-8398	(-4.751e+10, 4.751e+10)
q4 =	1026	(-5.803e+09, 5.803e+09)

Realizado por: Pinto, S. 2020

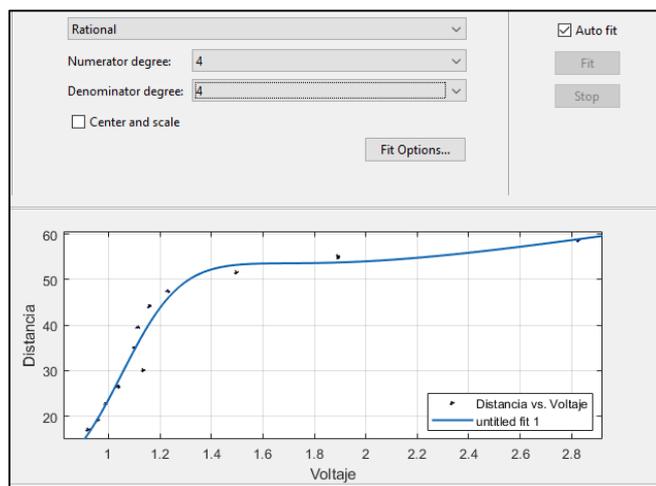


Figura 22-3: Curva de la ecuación del modelo general racional

Realizado por: Pinto, S. 2020

Una vez analizado la curva de la figura 22-3, y comprobado que su ecuación es la que mejor se acopla a la línea de tendencia, se dirige al diagrama de bloques del LabVIEW en el apartado bloque de la fórmula creado anteriormente.

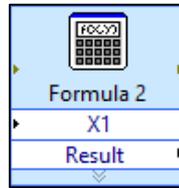


Figura 23-3: Bloque de la fórmula

Realizado por: Pinto, S. 2020

Para configurar el bloque de la fórmula, solo se usará la ecuación 5 de la curva.

$$f(x) = (p1*x^4 + p2*x^3 + p3*x^2 + p4*x + p5) / (x^4 + q1*x^3 + q2*x^2 + q3*x + q4)$$

Cabe detallar que, la programación del bloque de la fórmula no reconoce la (X), por lo que se opta por sustituir por (X1), de igual manera al (^) por (**) y por último se reemplaza los valores de los coeficientes en toda la ecuación. Explicado lo anterior, la ecuación se configura de la siguiente manera:

Fórmula: $((2.8*(10**4))*(X1**4)-5.048*(10**5)*(X1**3)+1.416*(10**6)*(X1**2)-1.426*(10**6)*(X1)+4.802*10**5)/((X1**4)-4486*(X1**3)+1.157*(10**4)*(X1**2)-8398*X1+1026)$

Entonces, se ingresa la ecuación en la configuración del bloque de la fórmula, ver la figura 24-3.

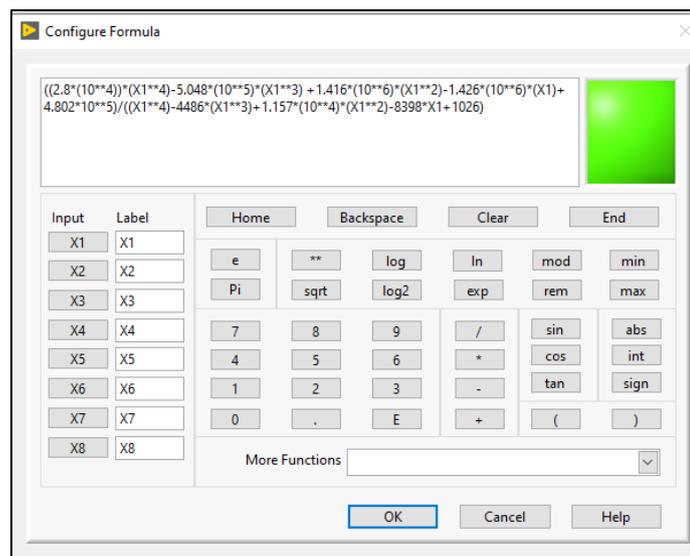


Figura 24-3: Ingreso de la ecuación al bloque de fórmula

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.2.2.6 *Procesamiento del bloque conversor de datos dinámicos*

Se aplica la siguiente herramienta para convertir la señal de la distancia saliente del bloque fórmula a matriz de número, para ello se procederá a su creación de la siguiente manera:

Dar clic derecho para activar la ventana de funciones, seleccionar Express, acto seguido Sig Manip y por último el bloque From DDT, ver la figura 25-3.

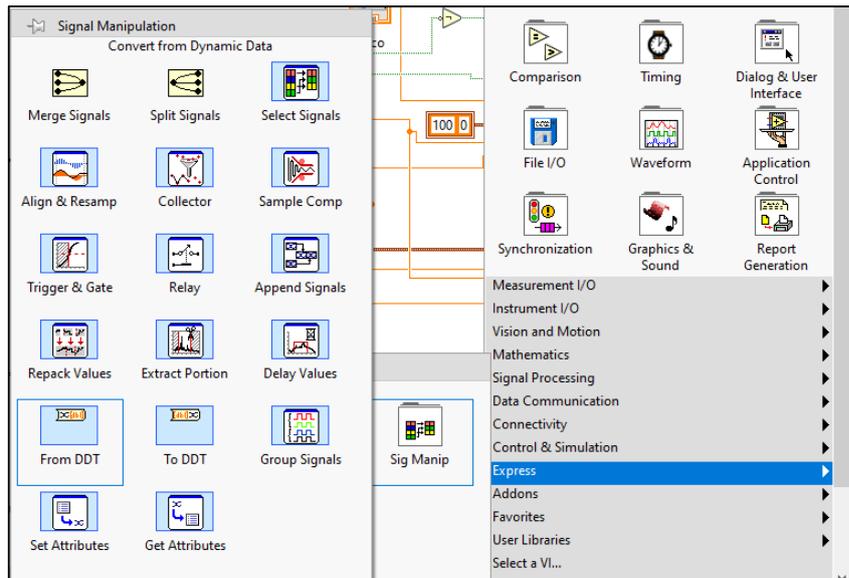


Figura 25-3: Creación de bloque del conversor de datos dinámicos

Realizado por: Pinto, S. 2020

Acto seguido mediante la herramienta de matriz de índice, se extrae la información guardada en la primera posición, es decir, guardada en el índice 0 y cuando se tiene el valor, éste se dirige al bloque NI_PID, en el apartado de variable de procesos.

3.2.3 *Procesamiento del segundo sensor (SETPOINT SENSOR)*

El sensor 2 se encuentra acoplada en la parte exterior del ducto y su función es medir la distancia al igual que en el sensor 1, pero esta medida la otorga la palma de la mano del usuario, por ende, la programación se realizará de manera semejante.

3.2.3.1 *Procesamiento del bloque Analog In*

El bloque analog input es el que recibe la lectura de la señal de voltaje proveniente del sensor 2 de la medición de la palma de la mano, para ello se procederá a su creación de la siguiente manera:

Dar clic derecho para activar la ventana de funciones, escoger la función myRIO y acto seguido el bloque Analog In, dando como resultado de ello la figura 26-3.



Figura 26-3: Bloque Analog In

Realizado por: Pinto, S. 2020

La siguiente imagen muestra el diagrama de conexión realizado.

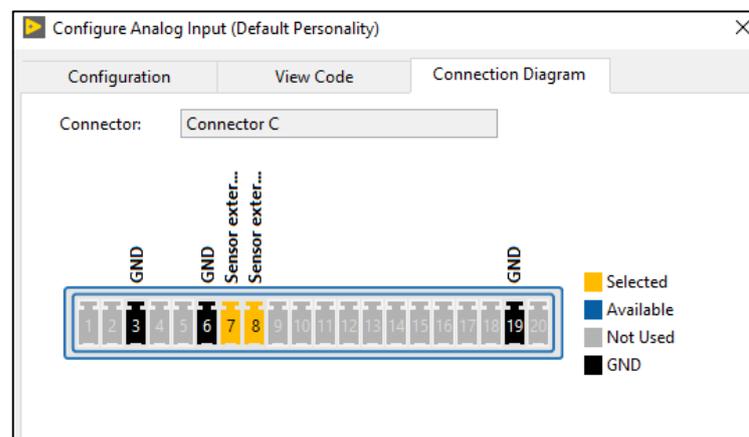


Figura 27-3: Diagrama de conexión de bloque Analog In

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.2.3.2 *Procesamiento del bloque Add Shift Register*

Se crea el bloque del Add Shift Register, dar clic derecho en la línea del While Loopy y escoger la opción del bloque ya mencionado, dando como resultado de ello la figura 28-3.

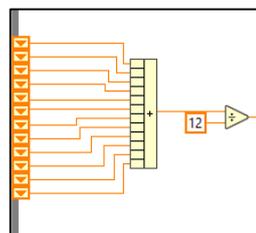


Figura 28-3: Bloque Add Shift Register

Realizado por: Pinto, S. 2020

El bloque de Add Shift Register tiene la función de devolver el valor final de una variable al inicio del loop para un nuevo procesamiento actuando como una realimentación o feedback.

Dicho de otra manera, realimenta 12 veces los últimos valores de la variable procesada para posteriormente obtener un valor promedio de la señal de voltaje, estos valores son provenientes de la herramienta analog input y ésta a su vez, de la medición de la palma de la mano del usuario mediante el sensor 2 (SETPOINT SENSOR).

3.2.3.3 *Procesamiento del bloque filtro*

Se aplica el bloque filtro para la señal promediada de voltaje, suprimiendo picos indeseables y obteniendo una señal estable, para ello, se procederá a su creación de la siguiente manera:

Dar clic derecho en cualquier parte del diagrama de bloques para activar la ventana de funciones, seleccionar en Express, acto seguido en Signal Analysis y por último en el bloque de Filter.

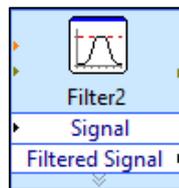


Figura 29-3: Bloque del filtro

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.2.3.4 *Procesamiento del bloque fórmula*

El bloque fórmula recibe la señal filtrada y estable de voltaje y la transforma a señal de distancia, a través de la ecuación obtenida por la regresión lineal mediante MATLAB, para ello se procederá a su creación:

Dar clic derecho en el diagrama de bloques para activar la ventana de funciones, seleccionar Express, acto seguido en Arith & Comparar y por último en Fórmula, dando como resultado ello la figura 30-3.

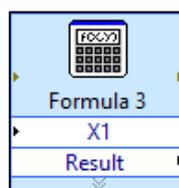


Figura 30-3: Bloque de la fórmula

Realizado por: Pinto, S. 2020

Para la configuración de bloque de la fórmula se necesita una ecuación, y ésta se obtiene mediante el procesamiento de dos variables usando el software MATLAB R2017B, y estas variables se consiguen de la siguiente manera:

Paso 1: Tomar de guía las mismas medidas aleatorias colocadas en el ducto.

Paso 2: Anotar el voltaje recibido al colocar la palma de la mano entre la base de la estructura y el segundo sensor en las medidas de guía.

Dando como resultado de ello, los datos de las variables para su análisis en MATLAB. Como se ve en la tabla 6-3.

Tabla 6-3: Datos de las variables del sensor 2

Datos del sensor (SETPOINT SENSOR)	
Distancia (cm)	Voltaje (V)
17,00	0,50935494
19,00	0,52816295
22,50	0,58259114
26,50	0,63940152
30,00	0,69680180
35,00	0,79182101
39,50	0,86699991
44,00	1,03905593
47,50	1,19331276
51,50	1,43858880
55,00	1,86892720
58,50	2,52252677

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.2.3.5 *Procesamiento de la regresión lineal mediante Matlab R2017B*

Para la obtención de la ecuación del modelo general racional, se ayuda del MATLAB R2017B mediante el ingreso de los datos de las variables a analizar.

Para ello, se abre el programa Matlab R2017 B y, en el apartado de Wokspace, dar clic derecho y seleccionar la opción New, a quien se nombrará variable de Distancia y siguiendo el mismo procedimiento, se crea otra variable denominada Voltaje, y automáticamente se creará una interfaz de las variables.

Una vez dentro de la interfaz de las variables, se ingresan los datos de la tabla 6-3. Como se muestra en la figura 31-3.

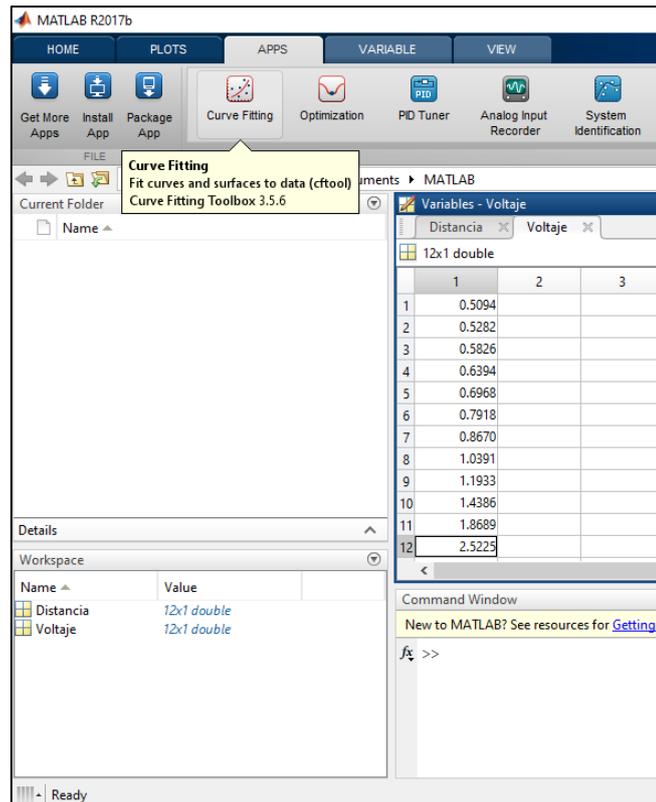


Figura 31-3: Ingreso de las variables en la interfaz de MATLAB

Realizado por: Pinto, S. 2020

Acto seguido seleccionar la interfaz de la Curve Fitting Tool, para determinar los ejes, donde:

X data = Voltaje.

Y data = Distancia.

Posterior a ello, se procede a comprobar la ecuación que mejor se acople a la línea de tendencia, para este análisis en particular, la línea de tendencia es la racional de tercer grado en el numerador y cuarto grado en el denominador.

A continuación, se detalla la ecuación del modelo general racional, los coeficientes y la curva característica:

Ecuación del modelo general racional de 3 grado en el numerador y 4 grado en el denominador:

$$f(x) = (p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4) / (x^4 + q1*x^3 + q2*x^2 + q3*x + q4) \quad (6)$$

Coeficientes con un límite de confianza del 95%, cuyos valores se detallan en la tabla 6-3.

Tabla 7-3: Coeficiente con un límite de confianza del 95%

Coeficiente		
p1 =	1.276e+05	(-1.099e+10, 1.099e+10)
p2 =	1.279e+05	(-1.083e+10, 1.083e+10)
p3 =	-6112	(-4.833e+08, 4.833e+08)
p4 =	-6523	(-5.629e+08, 5.629e+08)
q1 =	1404	(-1.217e+08, 1.217e+08)
q2 =	5022	(-4.269e+08, 4.269e+08)
q3 =	-3404	(-2.896e+08, 2.896e+08)
q4 =	2592	(-2.211e+08, 2.211e+08)

Realizado por: Pinto, S. 2020

Curva característica.

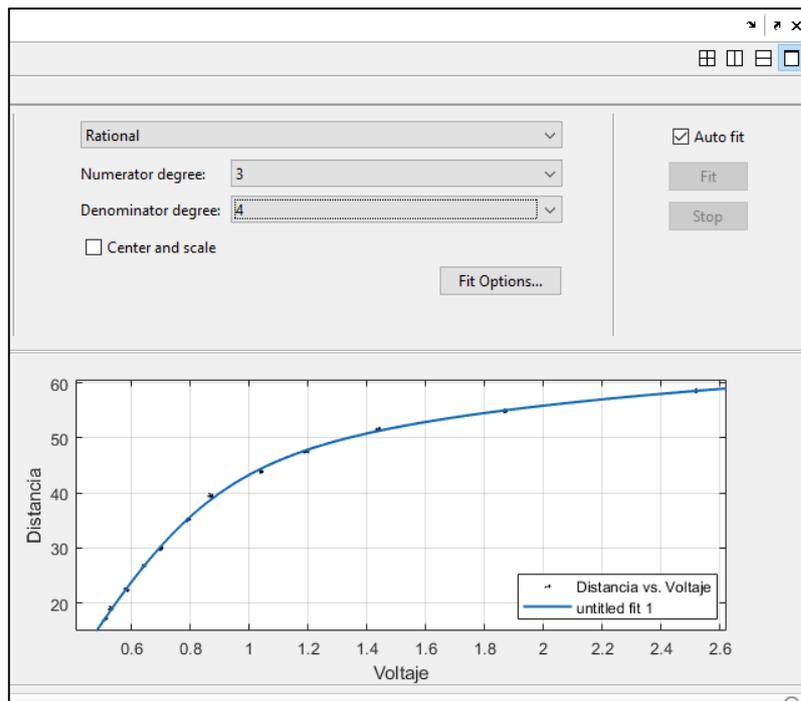


Figura 32-3: Diagrama de la curva de la ecuación del modelo general racional

Realizado por: Pinto, S. 2020

Una vez analizado la curva de la figura 32-3, y comprobado que su ecuación es la que mejor se acopla a la línea de tendencia, se dirige al diagrama de bloques del LabVIEW en el apartado bloque de la fórmula creado anteriormente.

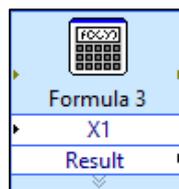


Figura33-3: Bloque de la fórmula

Realizado por: Pinto, S. 2020

Para configurar el bloque de la fórmula, solo se tomará en cuenta la ecuación de la curva.

$$f(x) = (p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4) / (x^4 + q1*x^3 + q2*x^2 + q3*x + q4)$$

Cabe detallar que, la programación del bloque de la fórmula no reconoce la (X), por lo que se opta por sustituir por (X1), de igual manera el (^) por (**) y por último se reemplaza los valores de los coeficientes en toda la ecuación respectivamente. Explicado lo anterior la ecuación se configura de la siguiente manera:

Fórmula: $(1.276*(10^{**5})*(X1^{**3})+1.279*(10^{**5})*(X1^{**2})-6112*X1-6523)/((X1^{**4})+1404*(X1^{**3})+5022*(X1^{**2})-3404*X1+2592)$

Entonces, se ingresa la ecuación modificada en la configuración del bloque de la fórmula, ver siguiente figura.

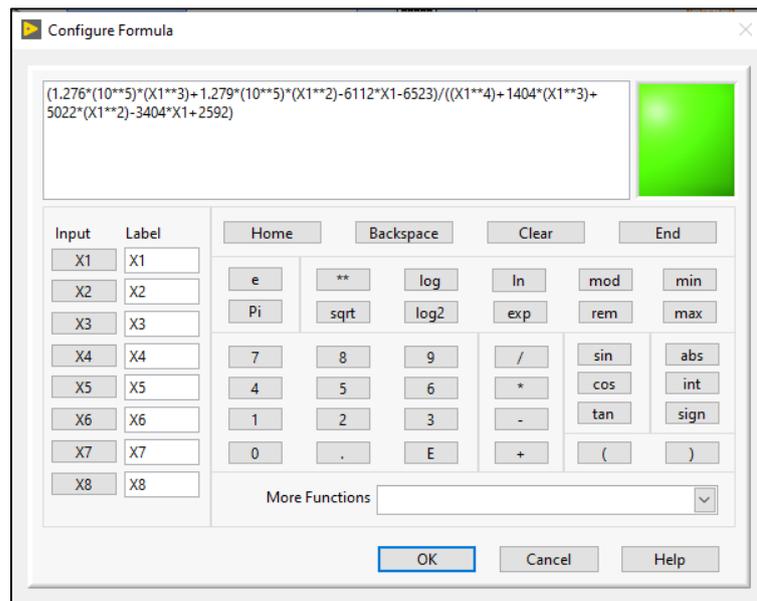


Figura 34-3: Ingreso de la ecuación al bloque de fórmula

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.2.3.6 Procesamiento del bloque conversor de datos dinámicos

Se aplica el siguiente bloque para transformar la señal de la distancia obtenida de la matriz a número, para ello se procederá a su creación de la siguiente manera:

Para su creación: dar clic derecho para activar la ventana de funciones, seleccionar Express, acto seguido Sig Manip y por último el bloque From DDT, ver la figura 35-3.



Figura 35-3: Bloque del conversor de datos dinámicos

Realizado por: Pinto, S. 2020

Acto seguido se extrae la información guardada en la primera posición, es decir, guardada en la posición 0 y cuando se tiene el valor, éste se dirige al bloque NI_PID, en el apartado de variable de procesos.

3.2.4 *Procesamiento del NI PID*

El bloque del controlador PID es el principal de todos, ya que él controlará toda la planta.

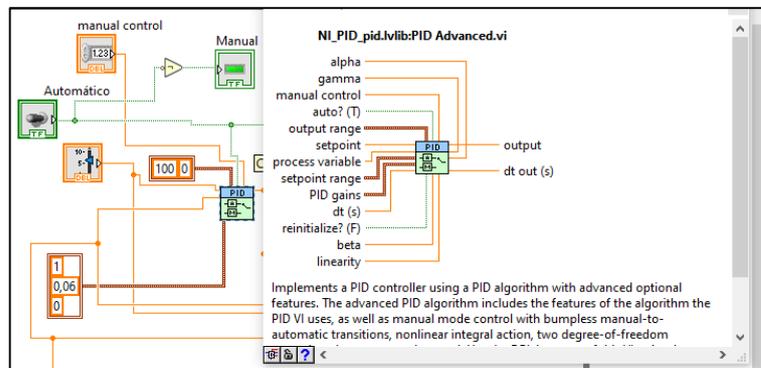


Figura 36-3: Bloque NI_PID

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.2.4.1 *Control manual*

El rango de funcionamiento de la salida es del 0 al 100% respectivamente, porque se está trabajando con PWM.

Al accionar el control manual, el usuario tiene la facultad de dar valores al actuador (encendido y de suministro de aire) que van del (0 al 100) % respectivamente y éstos serán enviados a la salida, cabe mencionar que, en este caso, no se toma en cuenta la altura que llegaría la esfera.

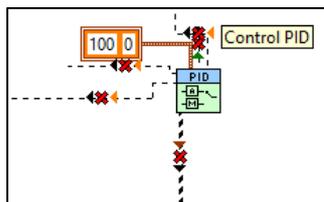


Figura 37-3: Bloque del control manual

Realizado por: Pinto, S. 2020

Mientras que, al accionar el modo automático, el programa del bloque NI_PID da valores automáticamente al actuador para que la esfera ascienda o descienda y se establezca a la altura que el usuario desee.

3.2.4.2 Opciones del SetPoint

Para interactuar entre la ejecución del sensor 1 (SETPOINT LABVIEW) o el sensor 2 (SETPOINT SENSOR), se hace de manera independiente y para ello se dirige a la portada del LabVIEW, en el cual el usuario tiene las dos opciones de ejecución ya mencionados.

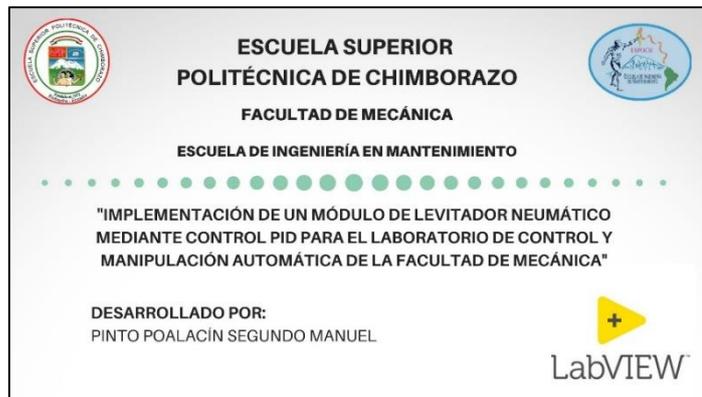


Figura 38-3: Portada de la programación LabVIEW

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.2.4.3 Slider

Para crear, se dirige al panel frontal, en ella dar clic derecho, acto seguido escoger la opción Numeric y por último seleccionar Vertical Pointer Slide, ver la figura 39-3.

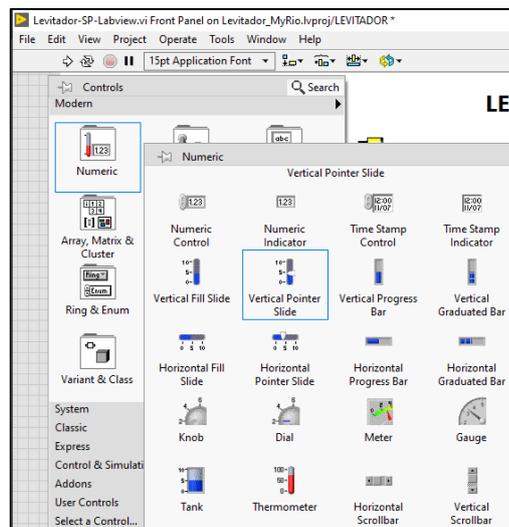


Figura 39-3: Creación del bloque Slider

Realizado por: Pinto, S. 2020

Se personaliza el Slider para obtener la apariencia final del SET POINT. Para la configuración, se dirige al apartado de propiedades, Scale y Scale Rango, en el cual se inserta los valores: como punto de partida 15cm y punto final 59cm.

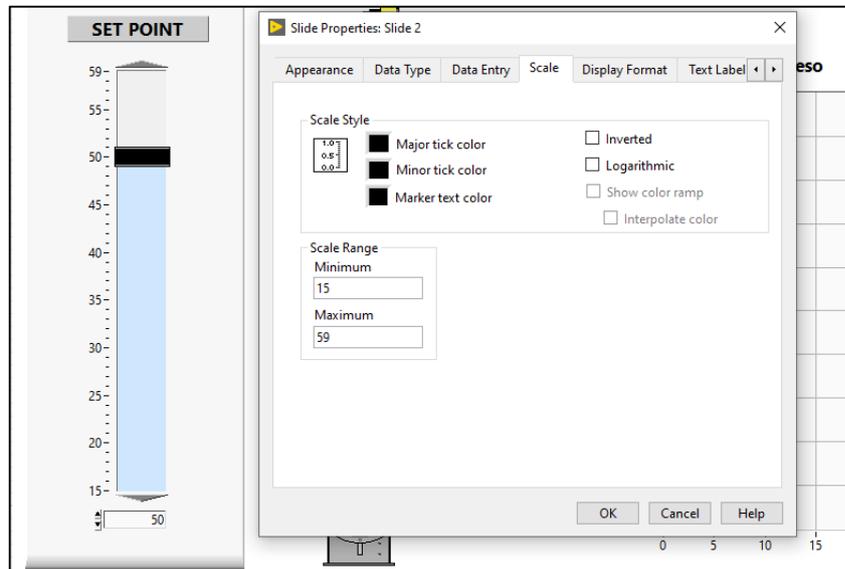


Figura 40-3: Configuración del rango de escalas del Slider

Realizado por: Pinto, S. 2020

Cabe señalar que, Slider (SET POINT) en su interfaz de diagrama frontal, permite al usuario ejecutar la altura de la esfera en cualquier punto de levitación.

También adjunta al Slider (SET POINT), un segundo slider, el cual será el encargado de leer la respuesta de la fórmula del sensor.

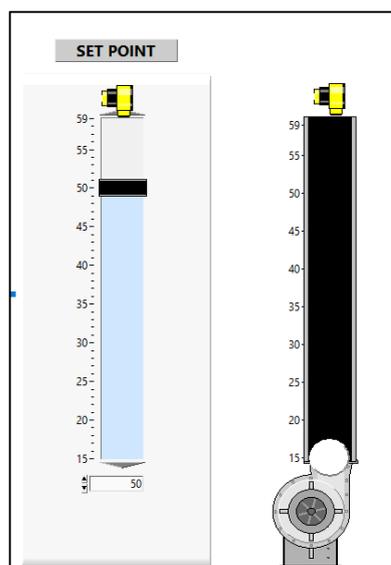


Figura 41-3: Apariencia de los Slider

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.2.4.4 PID gains

Para obtener las ganancias del control PID, se usa el método de sintonización lambda (λ), porque se necesita estabilización más no, tiempo de respuesta, el cual se explica a detalle en el apartado 3.3.

3.3 Cálculo del método de sintonización lambda (λ) para la obtención de constantes

Para dar inicio al método de sintonización lambda, es importante tener presente que, sus constantes resultan ideales para procesos de retroalimentación en lazo cerrado. Por ende, es necesario para este sistema de control, encontrar los parámetros K_c y T_i . Pero la constante T_d se descarta porque el método a manipular no hace uso de éste.

Para el cálculo del método de sintonización lambda, partimos de la figura 42-3.

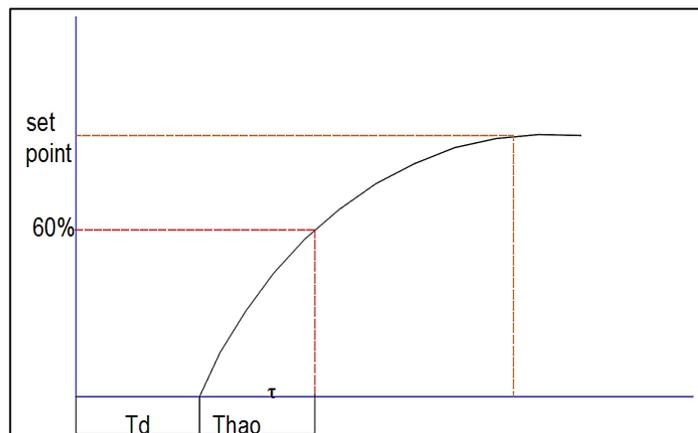


Figura 42-3: Método de sintonización lambda (λ)

Realizado por: Pinto, S. 2020

Donde las fórmulas para emplear son las siguientes:

Tabla 8-3: Fórmulas del método de sintonización lambda

Sistema	K_c	T_i
PI	$\frac{\tau}{K^*(\lambda+T_d)}$	τ

Realizado por: Pinto, S. 2020

De la tabla 8-3 y figura 42-3, se observa que, del método estudiado se tiene algunas variables a considerar y éstas se detallan a continuación, donde:

- **Td:** Es el tiempo que retardo o demora en actuar, desde que se activa el controlador hasta el momento que éste reacciona.
- **Thao (τ):** Es el 60% de la curva, es decir, es el tiempo desde que reaccionó el sistema hasta alcanzar el 60% del SetPoint.
- **60%:** Es un valor constante definido por método estudiado.

Es importante aclarar que para este método de sintonización el $T_i = \tau$

Cada una de las variables expuestas anteriormente, posee sus respectivas fórmulas para su cálculo y éstas son:

3.3.1 *Fórmula de la Kc*

$$K_c = \frac{\tau}{K_p * (\lambda + T_d)} \quad (7)$$

Donde:

Kc: Ganancia del controlador.

τ : Thao.

Kp: Constante proporcional.

λ : Lambda.

Td: Tiempo de demora.

3.3.2 *Fórmula de λ*

$$\lambda = F * \tau \quad (8)$$

Donde:

λ : Lambda

F: Factor cuyo valor puede variar entre 3 a 5. (Adimensional)

τ : Thao

Para la estabilización del sistema, se opta por el factor $F = 4$, cuyo valor es ideal para lograr la estabilización del presente sistema.

3.3.3 Fórmula de la K_p

$$K_p = \frac{\Delta p\%}{\Delta c\%} \quad (9)$$

Donde:

Δc %: Diferencia entre (60% - 0%).

Δp %: Porcentaje de trabajo para la sintonización.

3.3.3.1 Determinación de la altura de trabajo del controlador

Para la determinación de la distancia de trabajo y del porcentaje de trabajo para la sintonización, se considera desde la altura de trabajo del ducto de plástico que va desde 0 cm (0%) hasta los 60 cm (100%).

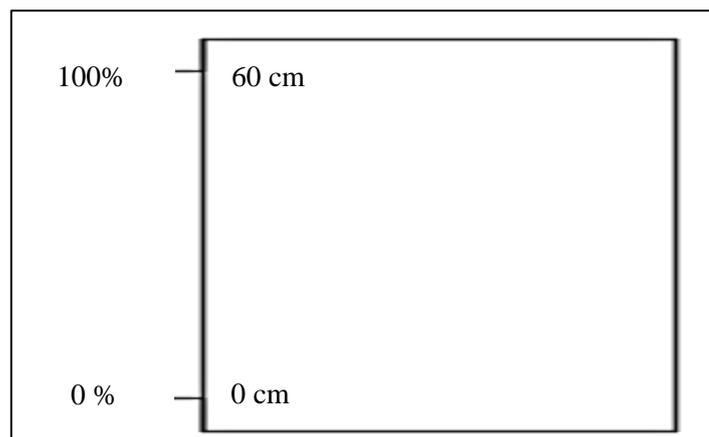


Figura 43-3: Altura de trabajo del controlador

Realizado por: Pinto, S. 2020

3.3.4 Procedimiento para encontrar el tiempo de retardo (T_d)

Para el cálculo del T_d se determinan los tiempos de encendido, y el tiempo de funcionamiento del controlador, siendo la diferencia entre estos 2 valores, el T_d de cada tiempo y los tiempos determinados son: t_1 , t_2 , t_3 , t_4 y t_5 .

Para encontrar el T_d se calcula el promedio de los 5 tiempos obtenidos, estos valores se muestran en la tabla 9-3.

Tabla 9-3: Tiempos obtenidos para el cálculo del Td y Ti

Tiempo de encendido (te) [s]		Tiempo de funcionamiento (tf) [s]		Tiempo hasta alcanzar el 60% del SP (t60%) [s]		Tiempo de demora (Td) = tf - te [s]		Tiempo integral Ti = t60% - tf [s]	
t1	1,255	t1	1,48	t1	1,51	t1	0,225	t1	0,03
t2	2,05	t2	2,15	t2	2,215	t2	0,1	t2	0,065
t3	0,135	t3	0,495	t3	0,595	t3	0,36	t3	0,1
t4	2,7	t4	2,76	t4	2,830	t4	0,06	t4	0,07
t5	3,74	t5	3,915	t5	3,960	t5	0,175	t5	0,045
						Promedio	0,184	0,062	

Realizado por: Pinto, S. 2020

De la tabla anterior, se tiene los tiempos calculados para el Td, cuyo valor definitivo es el promedio de sus 5 tiempos determinados y ese el valor del promedio es igual a Td = 0,184s.

3.3.5 Procedimiento para encontrar el tiempo integral (Ti)

De la tabla anterior, se tiene los valores del tiempo de funcionamiento (tf) y del tiempo que el controlar alcanza el 60% del SetPoint. Entonces la diferencia entre estos 2 valores, es decir Ti = t60% - tf, de la misma manera que se hace para hallar el promedio del Td, se lo hace para encontrar el valor de Ti, siendo el Ti = 0,062s.

3.3.6 Cálculo del factor lambda (λ)

Para el cálculo de λ, se utiliza la fórmula 8:

$$\lambda = F * \tau$$

Como ya se mencionó anteriormente, para este método el $\tau = Ti$ y $F = 4$. Entonces se sustituirán estos valores en la fórmula de λ:

$$\lambda = F * \tau$$

$$\lambda = 4 * 0,062 = 0,248$$

$$\lambda = \mathbf{0,248}$$

3.3.7 Cálculos de la Kp

Para el cálculo de la Kp se utiliza la fórmula 9:

$$K_p = \frac{\Delta p\%}{\Delta c\%}$$

Donde:

$\Delta c\%$ = Porcentaje total del controlador

Para realizar el cálculo del $\Delta c\%$ se determina el rango del porcentaje de trabajo, el cual está definido de la siguiente manera:

C₂: 60% (Hace que salga de la inercia)

C₁: 0% (Para que el sistema comience a descender)

Para el cálculo del $\Delta c\%$ se tiene la siguiente fórmula:

$$\Delta c\% = C_2 - C_1 \quad (10)$$

Entonces, aplicando la fórmula anterior:

$$\Delta c\% = C_2 - C_1$$

$$\Delta c\% = 60\% - 0\%$$

$$\Delta c\% = 60\% \text{ (Porcentaje total del controlador).}$$

Para el cálculo de la $\Delta p\%$ definimos el rango de la altura de trabajo del controlador y el tiempo de variación de esta altura. Dando como resultado la siguiente fórmula:

$$\Delta p\% = \frac{\Delta t}{\Delta h} * 100\% = \frac{t_2 - t_1}{h_2 - h_1} * 100\% \quad (11)$$

Donde:

Δt : Es la variación del tiempo desde la posición inicial hasta la posición final

Δh : Es la variación de la posición o altura de trabajo del controlador.

Los datos obtenidos son los siguientes:

$$h_1 = 0 \text{ cm}; t_1 = 0 \text{ s}$$

$$h_2 = 60 \text{ cm}; t_2 = 2.462 \text{ s}$$

Con los datos obtenidos, se reemplazarán los valores y se calculará el $\Delta p\%$:

$$\Delta p\% = \frac{\Delta t}{\Delta h} * 100\% = \frac{t_2-t_1}{h_2-h_1} * 100\%$$

$$\Delta p\% = \frac{(2.462-0)}{(60-0)} * 100\%$$

$$\Delta p\% = \frac{2.462}{60} * 100\%$$

$$\Delta p\% = 4.1\%$$

Con el $\Delta p\%$ y el $\Delta c\%$, se reemplazarán los valores en la fórmula del K_p :

$$K_p = \frac{\Delta p\%}{\Delta c\%}$$

$$K_p = \frac{4.1\%}{60\%}$$

$$K_p = 0.068$$

3.3.8 Cálculo del K_c

Para el cálculo de la K_c , se seleccionan los datos necesarios para reemplazar en la fórmula.

Los datos que se tiene son los siguientes:

$$\tau = 0.06 \text{ s}$$

$$K_p = 0,068$$

$$\lambda = 0,248 \text{ s}$$

$$t_d = 0.18 \text{ s}$$

Reemplazamos valores en la siguiente fórmula:

$$K_c = \frac{\tau}{K_p * (\lambda + t_d)}$$

$$K_c = \frac{0.06s}{0.068 * (0.24s + 0.18s)} = \frac{0.06s}{0.068 * (0.42s)}$$

$$K_c = 1$$

Entonces, los valores para de las constantes de sintonización son los siguientes:

$$\tau = T_i = 0.06s$$

$$K_c = 1$$

$$K_p = 0.14$$

Con ayuda del método de sintonización lambda se determina los valores de las constantes, sin la necesidad de encontrar una función de transferencia y estos valores serán usados en el bloque NI_PID, en el apartado PID gains para estabilizar el sistema.

3.4 Output (Salidas)

Analizando el SetPoint y la lectura del análisis del proceso, éste utiliza las constantes (PID gains): K_c y T_i , donde se enviará la señal de salida estabilizando el sistema, la cual controla el actuador.

3.5 Señales de proceso

Una vez realizado la programación para el sistema de levitación neumática, se procede a ejecutar el programa para identificar la reacción de las señales de proceso como se ve en la figura 44-3.

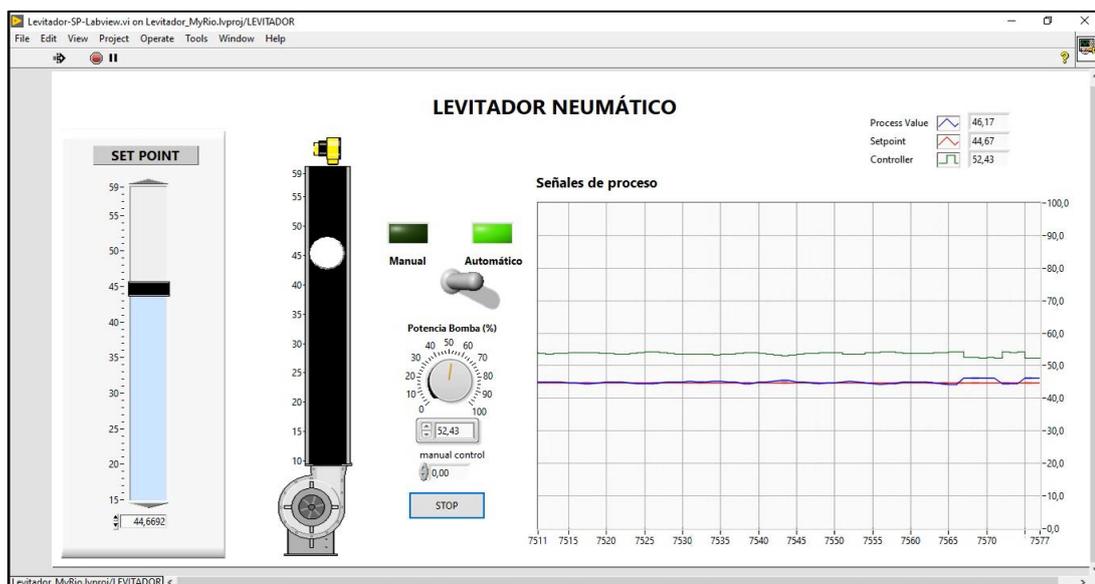


Figura 44-3: Señales de proceso

Realizado por: Pinto, S. 2020

En la figura 44-3, se observa las tres señales de proceso que están definidas por su color que las caracteriza y éstas son:

SetPoint

De color rojo y representa al SetPoint, es decir, es el valor o altura de referencia a la que debe de llegar la esfera al levitar y este valor la ejecuta el usuario por medio la interfaz del LabVIEW o mediante la palma de la mano, independientemente de cómo el usuario quiere interactuar.

Valor del proceso

De color azul y representa el valor del proceso del sensor, es decir, el sensor detecta en tiempo real la altura de la esfera levitante o de la palma de la mano del usuario. independiente de cómo el usuario está interactuando con los sensores.

Controlador

De color verde y representa al controlador, es decir, controla el ingreso de suministro de aire para que la esfera levite a la altura de referencia ejecutada por el usuario.

Finalizando la parte del procesamiento de la programación, se tiene la visualización de dos ventanas en la interfaz de LabVIEW versión 2018, que a continuación se detallan:

Diagrama de bloques que hizo posible la programación del sistema de control, como se muestra en el ANEXO A.

Panel frontal permite la visualización e interacción del usuario con el módulo, es decir, esta ventana permite realizar las pruebas de funcionamiento del control y estabilización de la esfera que permanecerá suspendida dentro de un ducto cerrado a la altura que el usuario desee.

4. GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1 Cronograma

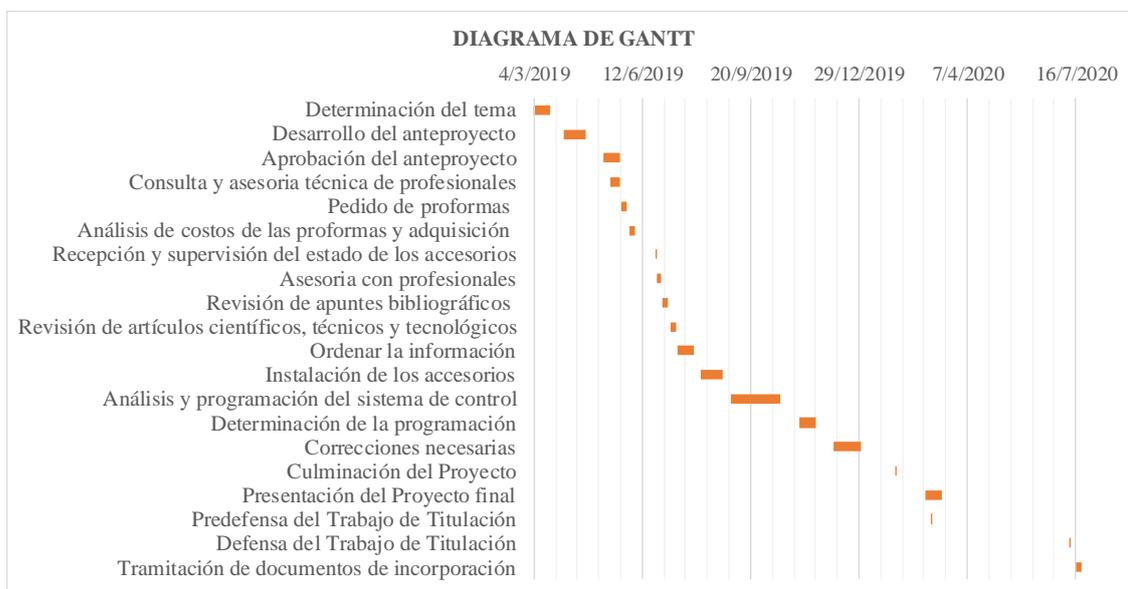


Figura 1-4: Cronograma de actividades para el desarrollo del Trabajo de Titulación

Realizado por: Pinto, S. 2020

4.2 Recursos y materiales: humanos, equipo, financiamiento:

4.2.1 Presupuesto:

Tabla 1-4: Presupuesto del proyecto

COSTOS Y FINANCIAMIENTO			
Cantidad	Descripción	Costo Unitario [USD]	Costo Total [USD]
GASTOS			
1	Ducto transparente	40,00	40,00
1	Perfil de aluminio	150,00	150,00
2	Sensores	30,00	60,00
1	Soportes en 3D	250,00	250,00
	Otros	200,00	200,00
TOTAL			700,00

Realizado por: Pinto, S. 2020

4.2.2 *Talento humano:*

El talento humano que engloba esta Propuesta Tecnológica está constituido por:

Tabla 2-4: Talento humano del proyecto

NOMBRES Y APELLIDOS	DIRECTOR	MIEMBRO	ESTUDIANTE	EMAIL
Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo	X			pmontalvo@live.esPOCH.edu.ec
Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos		X		msantillan@esPOCH.edu.ec
Segundo Manuel Pinto Poalacin			X	segundo.pinto@esPOCH.edu.ec

Realizado por: Pinto, S. 2020

4.2.3 *Recursos materiales:*

El presente Proyecto de Titulación al estar tipificado como: Propuesta Tecnológica, se beneficiará de los siguientes recursos:

Recursos intelectuales:

Referencias bibliográficas, revistas tecnológicas y artículos científicos.

Ensayos técnicos y manuales de usuario.

Trabajos de tecnología relacionados con sistemas de control.

Recursos materiales:

PC.

Ducto transparente.

Perfil de aluminio.

Soportes en 3D.

Tarjeta de adquisición de datos NI myRIO 1900.

Software LabVIEW 2018.

Sensores.

Generador de aire.

5. CONCLUSIONES

La implementación del módulo de levitador neumático para el laboratorio de Control y Manipulación Automática de la Facultad de Mecánica se logra a través de un control PI utilizando el método de sintonización lambda (λ), porque se necesita estabilización, más no, tiempo de respuesta.

Los elementos mecánicos y electrónicos como: sensores, ducto de plástico, blower y tarjeta NI myRIO-1900, se ensamblaron en la base de la estructura de aluminio, logrando con ello, un módulo compacto para la fácil manipulación y traslado de un lugar a otro en caso de ser necesario.

Para realizar la programación del sistema de control Proporcional, Integral y Derivativo (PID), se utiliza el software LabVIEW versión 2018, por la facilidad de herramientas que proporciona y el hardware NI myRIO-1900, por la confiabilidad al momento de suprimir el ruido de los componentes electrónicos en la adquisición de señales de los sensores.

La elaboración de los manuales se realiza con el fin de proporcionar información sobre operación y plan mantenimiento de los elementos que conforman el módulo de levitación neumática.

6. RECOMENDACIONES

Utilizar para posteriores trabajos sensores ultrasónicos, teniendo en cuenta el elevado costo económico, pero su procesamiento es sencillo y preciso, al estar diseñados para trabajar en ambientes cerrados.

Utilizar la tarjeta NI myRIO para el procesamiento y estabilización del sistema que utilicen placas electrónicas para el control de elementos de potencia, porque suprime el ruido y mejora favorablemente la adquisición de señales de los sensores. A diferencia de la tarjeta NI myDAQ que es mucho más sensible al ruido.

Considerar el punto de ubicación de los sensores al momento de programar, ya que sus señales serán diferentes dependiendo si se encuentran dentro del ducto o fuera de él. Y para el cambio o sustitución de la esfera se debe tener en consideración su forma, la cual es independiente de su peso.

GLASARIO

Control: Función que tiene por objeto certificar que, todo se está llevando adelante de acuerdo con el plan adoptado, las órdenes dadas y los principios establecidos para obtener una respuesta deseada (Bruno, 2006 pág. 17).

Confiabilidad: Probabilidad de equipos y sistemas que cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado, lo cual incluye la relación entre: software, hardware, humanos y ambientales (Escobar, y otros, 2003 pág. 4).

Levitación: Efecto que produce la aplicación de una fuerza a un cuerpo u objeto, que cancela su peso permitiendo suspenderse en equilibrio en el aire sin contacto físico (Wildi, 2007 pág. 30).

Mantenimiento preventivo: Mantenimiento que se realiza de forma preestablecida con en el fin de conservar y mantener el buen funcionamiento de las máquinas e instalaciones. Por lo tanto, se puede decir que, su principal objetivo es el de detectar y solucionar defectos en las instalaciones, para evitar averías importantes. (Jiménez Raya, 2015 pág. 42)

Proceso: Conjunto de componentes secuenciales o paralelas que actúan entre sí, para darle al sistema capacidades dinámicas o temporales (Agudelo Tobón , y otros, 2011 pág. 25).

Sistema: Agrupación de medios materiales tangibles e intangibles unificados que conforman una estructura jerárquicamente expandida, cuya función es garantizar el desempeño independiente del proceso a través de operaciones de control y supervisión total del sistema, bajo las técnicas más modernas y cumpliendo los requisitos establecidos de acuerdo con el tipo de planta. (Izaguirre Castellanos, 2012 pág. 10).

BIBLIOGRAFÍA

ANGULO BAHÓN, Cecilio & RAYA GINER, Cristóbal. *Tecnología de sistemas de control.* Barcelona-España: Edicions UPC, 2004. ISBN: 84-8301-778-4, pp.34.

B12., TECNOLÓGICO. *Blog de Hack en Hardware y Software en Español. MATLAB R2010a Full x86 & x64 + Tutorial de Activación.* [blog].[Consulta: 17 de octubre de 2019.]. Disponible en: <http://tecnologicobj12.blogspot.com/2011/04/MATLAB-r2010a-full-x86-x64-tutorial-de.html>.

GOMÁRIZ CASTRO, Spartacus, et al. *Teoría del control-Diseño electrónico.* Barcelona-España: Edicions UPC, 1998. ISBN: 84-8301-266-9, pp.17-18.

GUIJARRO SOLÓRZANO, Javier Andrés, & VIVAR MARTÍNEZ, Jissela Tatiana. *Diseño e Implementación de un levitador electro-magnético basado en un control PID utilizando LabVIEW (Trabajo de Titulación) (Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Guayaquil - Ecuador. 2015. pp. 9-29.*

GUILLÉN SALVADOR, Antonio. *Introducción a la neumática.* Barcelona-España: Quebecor Impreandes, 1993. ISBN: 84-267-0692-4, pp.7-8.

KUO, Benjamin C. *Sistemas de control automático.* 7ª ed. Naucalpa de Juárez-México: Prentice - Hall Hispanoamericana S.A, 1996. Vol. VII. ISBN 968-880-723-0, pp.9.

LAJARA VÍZCAINO, José Rafael & PELEGRÍ SEBASTIÁ, José. *LabVIEW: entorno gráfico de programación.* 2ª ed Barcelona-España: Marcombo, S.A, 2011. ISBN: 978-84-267-1696-5, pp. 22.

LAJARA VÍZCAINO, José Rafael & PELEGRÍ SEBASTIÁ, José. *LabVIEW Entorno gráfico de programación.* Barcelona: Marcombo, 2007. ISBN: 8426714269, pp. 3-40.

MACHADO VILLACRÉS, Alex Santiago, & ROMERO GUANOLUISA, Jairo Valmore. *Implementación de un sistema de control y monitoreo para el análisis de variables físicas y generación de reportes utilizando diadem (Trabajo de Titulación) (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador.2018. pp.18.*

MENDOZA MONJARAZ, Eufracia , & OTROS. "Diseño, construcción y control de un sistema de levitación neumática". *Pistas Educativas* [En línea],2015,(México), pp. 25-29. [Consulta: 17 de octubre de 2019.]. ISSN: 1405-1249. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/293893029_Disenio_construccion_y_control_de_un_si_stema_de_levitacion_neumatica.

MYRIO-1900., NI. Guía de usuario y especificaciones. [En línea] 16 de mayo de 2016. [Consulta: 13 de enero de 2020.]. Disponible en: <http://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf>. 376047C-01.

NATIONAL INSTRUMENTS. *Entorno a LabVIEW.* [En línea] 2014. [Consulta: 18 de enero de 2018.]. Disponible en: <http://www.ni.com/LabVIEW/>.

NATIONAL INSTRUMENTS. *Empezando con LabVIEW.* [En línea] 2017. [Consulta: 31 de enero de 2018.]. Disponible en: http://www.ni.com/academic/why_LabVIEW/esa/.

OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de control moderna.* Madrid-España: Pearson Educación, S.A, 2003. ISBN: 84-205-3678-4. pp. 1-4.

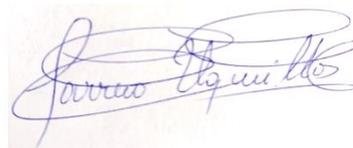
PARDO, Carlos. Picuino. *Tecno Recursos.* [En línea] 05 de septiembre de 2019. [Consulta: 24 de septiembre de 2019.]. Disponible en: <https://www.picuino.com/es/arduprog/control-pid.html>.

SHARP. Sharp GP2Y0A21YK0F. *Sharp GP2Y0A21YK0F.* [En línea] 23 de octubre de 2016. [Consulta: 30 de octubre de 2019.] Disponible en: https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf. E4-A00201EN. pp.1.

SILVA ACUÑA, Roberto. *Aprender a programar en MATLAB.* Vigo-España: It campus academy, 2014. ISBN: 978-1502538734. pp.1.

TECNOLOGÍAS, CONECTIVIDAD Y NUEVAS. Ventilador Silencioso 12V. DC. 80x80x25mm. 19dB A c/regulador. *Características de Ventilador Silencioso 12V. DC. 80x80x25mm. 19dB A c/regulador.* [En línea] Conectividad y nuevas tecnologías, 2019. [Consulta: 17 de octubre de 2019.]. Disponible en: <http://www.conectalo.com/ventilador-silencioso-12v-dc-80x80x25mm-19db-a-c-regulador-p-17394.html>.

YA ESTÁ., S A. Blowers de cabello. [En línea] Yaestá.com, 2018. [Consulta: 23 de noviembre de 2019.]. Disponible en: <https://www.yaesta.com/revlon-blower-de-cabello-1875-watts-2-temperaturas-2-velocidades/p.0939338697>.



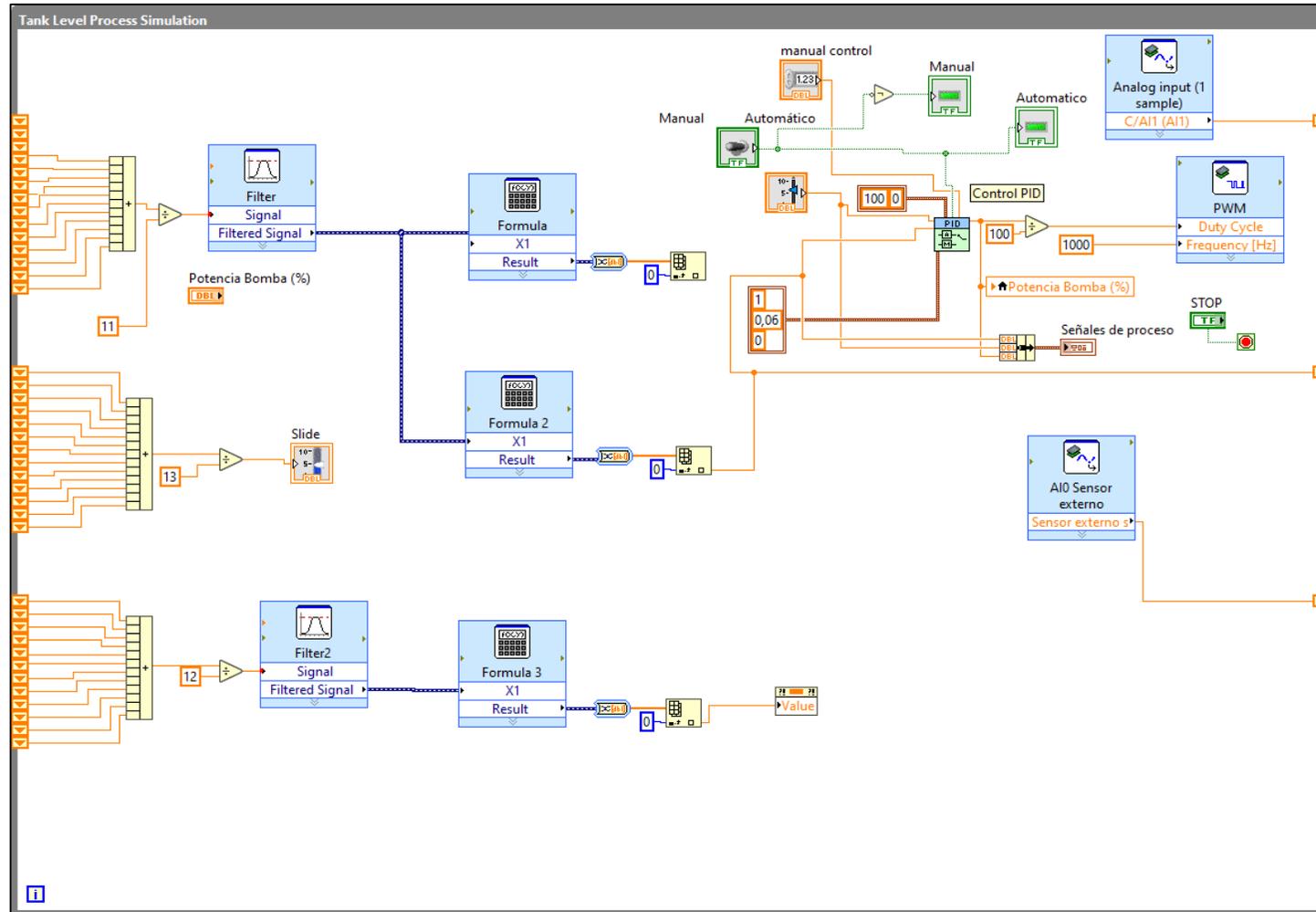
28-07-2020

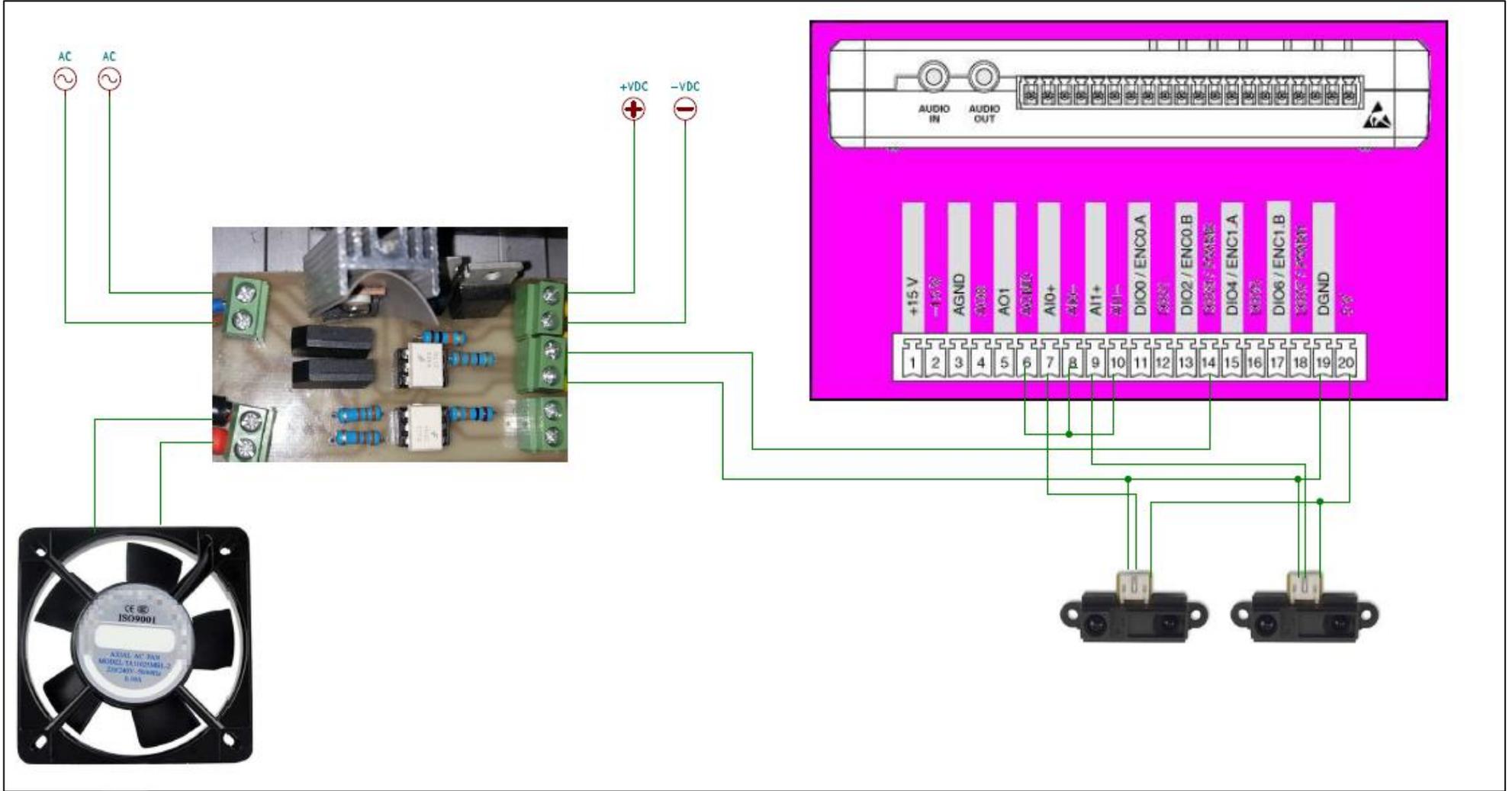
0155-DBRAI-UPT-2020

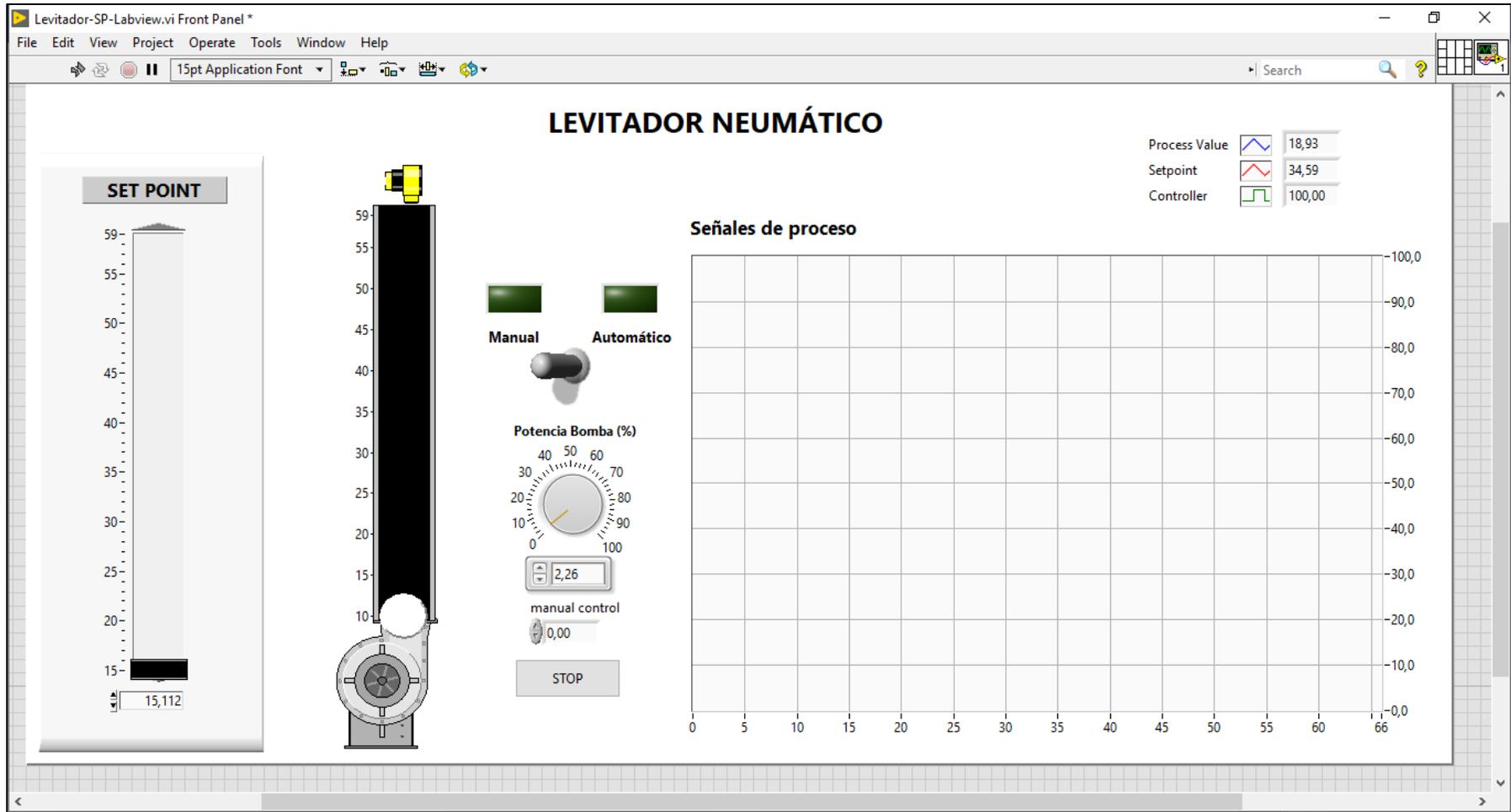
ANEXOS

ANEXO A: PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE LEVITACIÓN NEUMÁTICA EN EL SOFTWARE LABVIEW 2018 Y NI MYRIO

-1900.





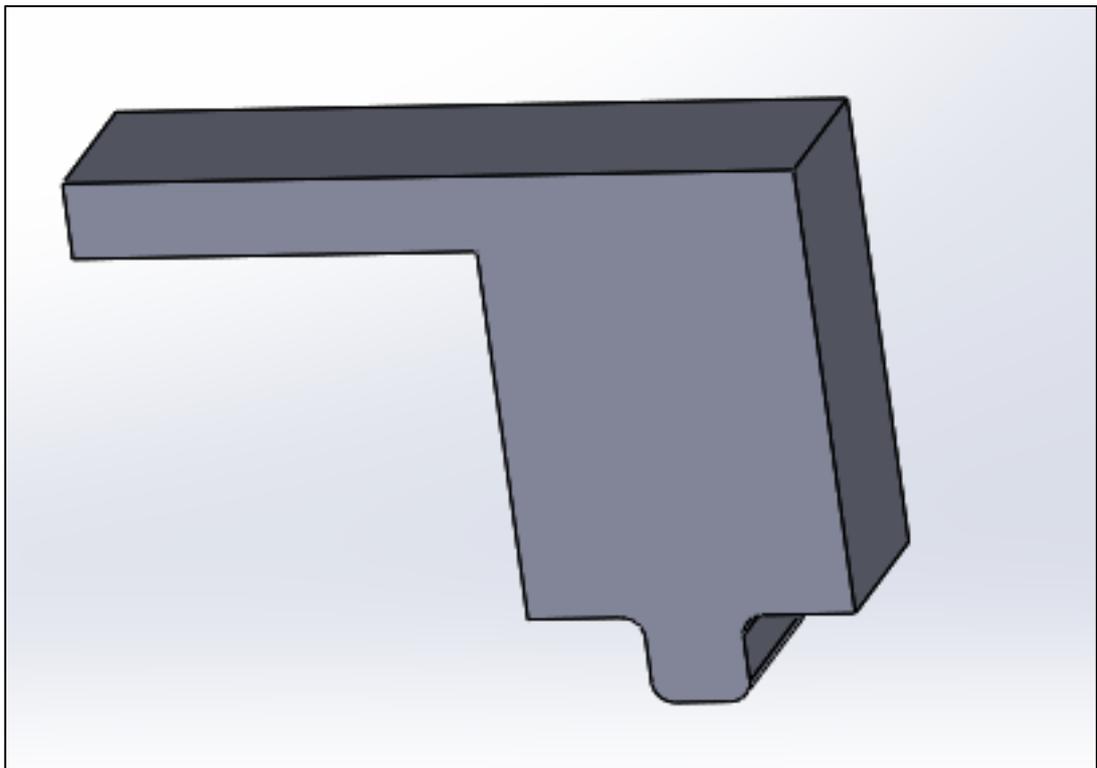
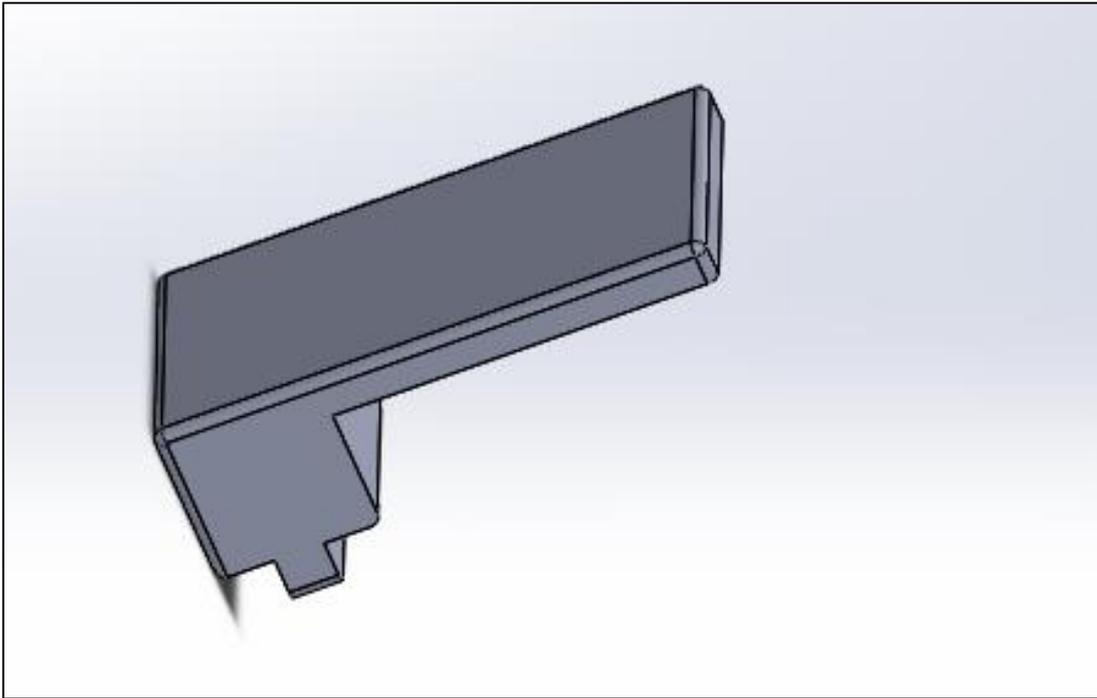


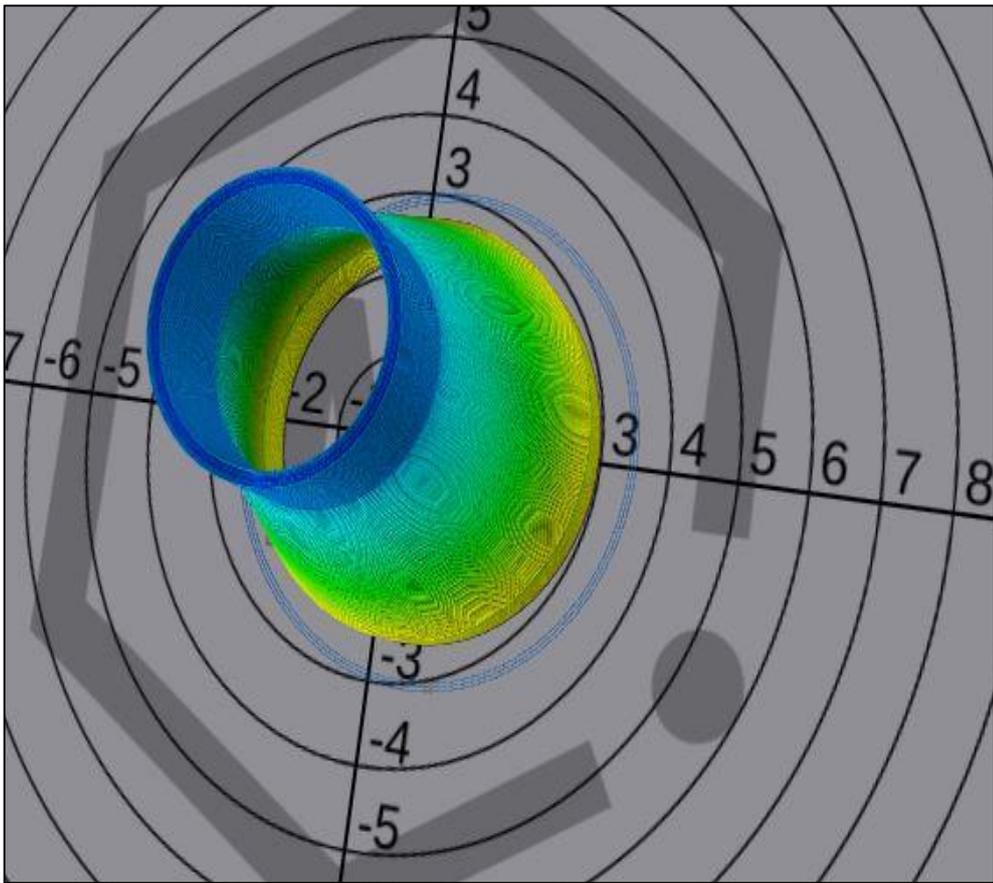
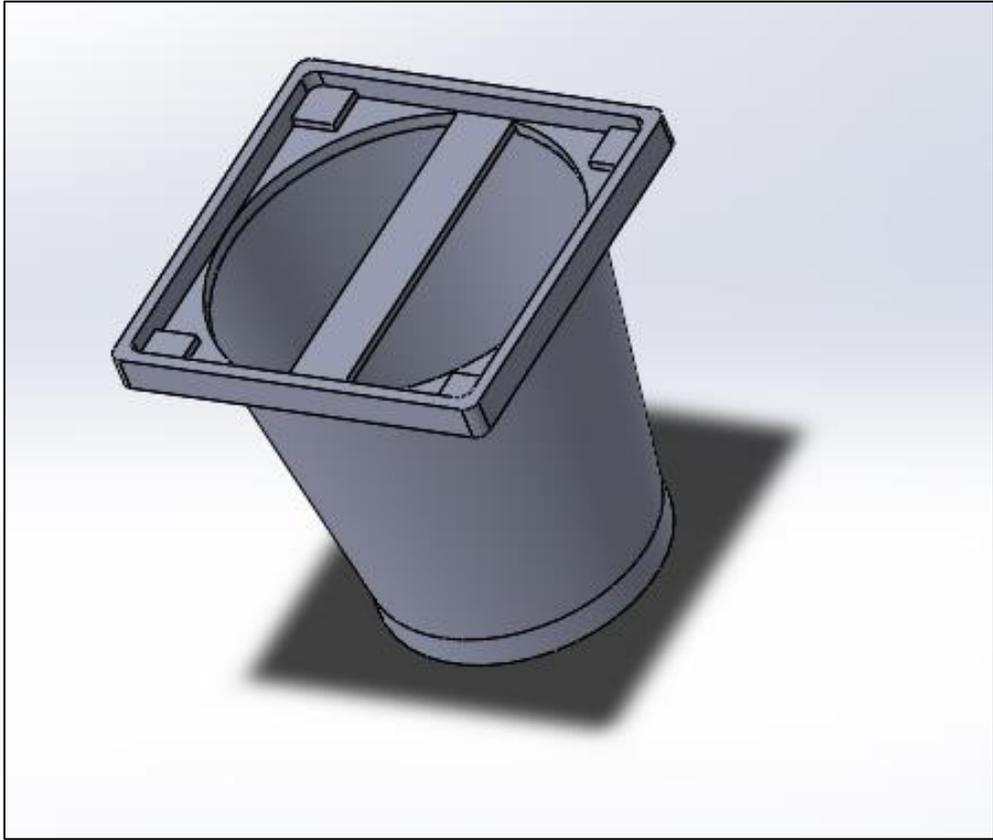
ANEXO B: TOMA DE DATOS.

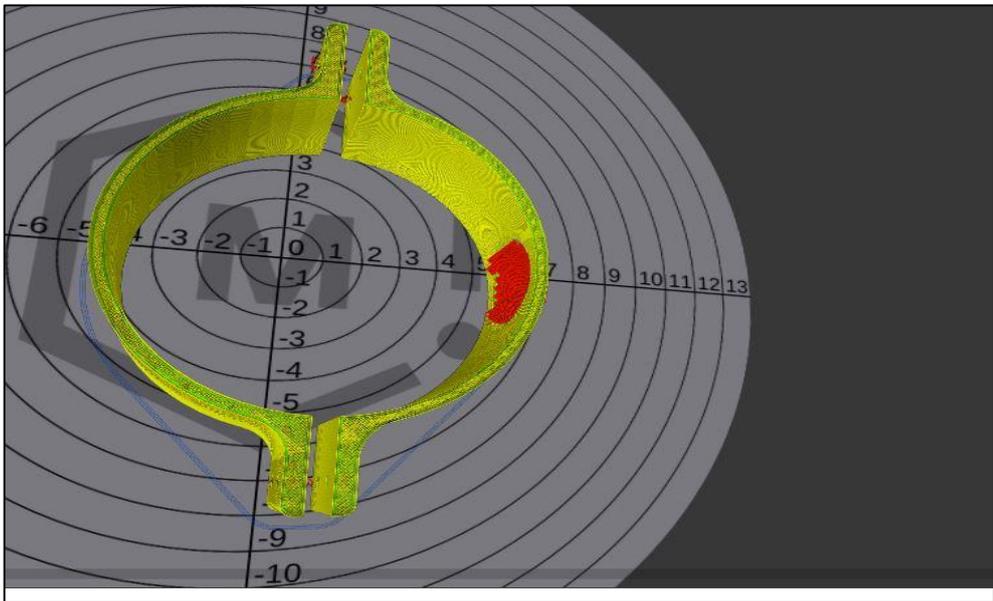
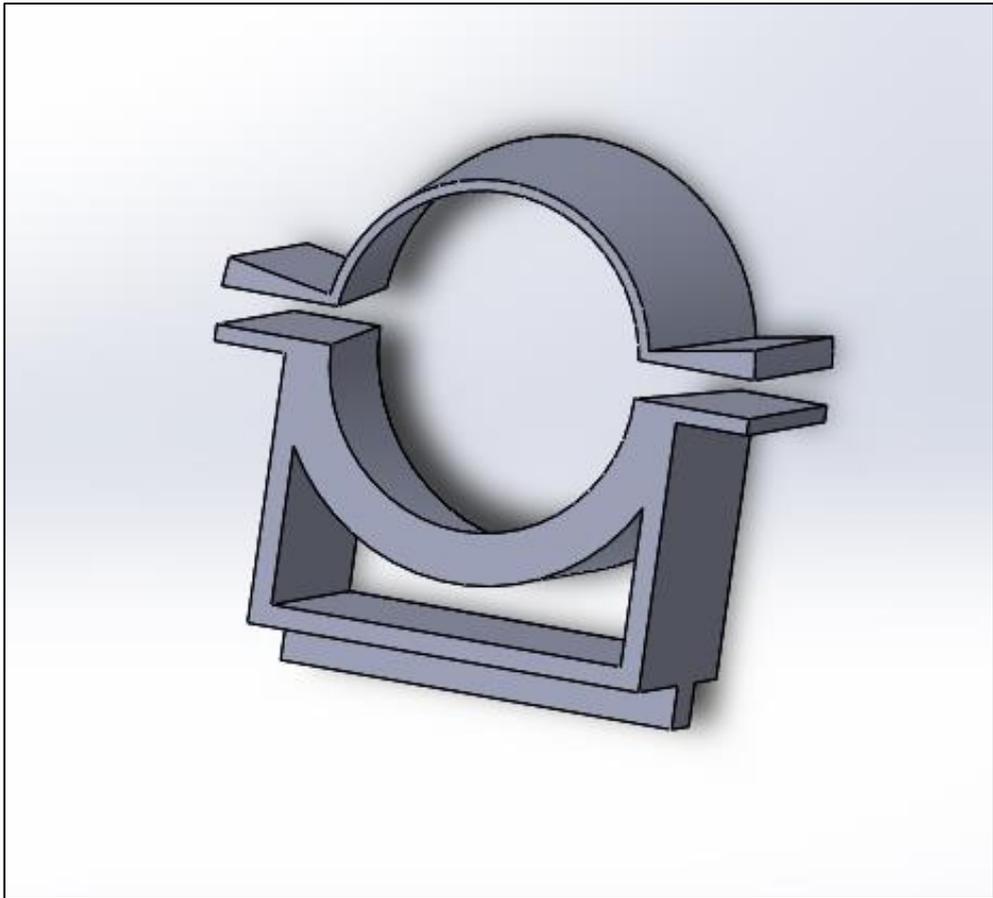
Datos del sensor (SETPOINT LABVIEW)	
Distancia (cm)	Voltaje (V)
17,0	0,92018048
19,0	0,95729188
22,5	0,98724505
26,5	1,03683354
30,0	1,13473822
35,0	1,10169266
39,5	1,11308279
44,0	1,15888389
47,5	1,23019532
51,5	1,49647740
55,0	1,89030722
58,5	2,82444775

Datos del sensor (SETPOINT SENSOR)	
Distancia (cm)	Voltaje (V)
17,0	0,50935494
19,0	0,52816295
22,5	0,58259114
26,5	0,63940152
30,0	0,69680180
35,0	0,79182101
39,5	0,86699991
44,0	1,03905593
47,5	1,19331276
51,5	1,43858880
55,0	1,86892720
58,5	2,52252677

ANEXO C: DISEÑO DE SOPORTES PARA EL SISTEMA DE LEVITACIÓN NEUMÁTICA.







ANEXO D: MONTAJE E INSTALACIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS, MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS EN LA BASE Y ESTRUCTURA.



ANEXO E: PLAN DE MANTENIMIENTO DEL LEVITADOR NEUMÁTICO

ELEMENTOS DE INSPECCIÓN	TAREAS	FRECUENCIA	MÉTODO DE INSPECCIÓN
Base	Inspección y verificación de fisuras	Cada 6 meses	Examinación visual
	Verificación y comprobación de la resistencia de la base	Cada 1 año	Examinación visual y equipos de medición
	Revisión y comprobación de fisuras en las planchas	Cada 1 año	Examinación visual
	Revisión del nivel y comprobación de pandeo	Cada 1 año	Examinación visual
Estructura	Inspección y verificación del estado del perfil estructural	Cada 1 año	Examinación visual
	Verificación y comprobación de la resistencia de la estructura	Cada 1 año	Examinación visual y equipos de medición
	Inspección y verificación del estado de los rieles	Cada 1 año	Examinación visual
	Inspección visual de posición de los elementos a 90 grados	Cada 1 año	Examinación visual
Soportes del sensor	Inspección y verificación de fisuras	Cada 6 meses	Examinación visual
	Revisión del estado y condiciones físicas	Cada 1 año	Examinación visual
	Revisión de holgura o juego entre el riel del aluminio perfilado y el anclaje de la base del sensor	Cada 1 año	Examinación visual
Acoples de la blower	Verificación del ajuste de los acoples	Cada 6 meses	Ajuste
Ducto de plástico	Limpieza externa e interna del ducto	Cada mes	Examinación visual
	Verificación del estado físico	Cada 2 semanas	Examinación visual
	Inspección y verificación de fisuras	Cada mes	Examinación visual
Blower	Revisión y verificación del estado de funcionamiento	Cada 2 meses	Examinación visual
	Limpieza de la carcasa	Cada mes	Examinación visual
	Verificación del voltaje de alimentación	Cada 6 meses	Medición del voltaje con multímetro
	Verificación del botón de encendido y apagado	Cada mes	Examinación visual y equipos de medición
	Verificación del caudal	Cada 2 semanas	Examinación visual y equipos de medición
	Revisión del estado físico de los cables de alimentación	Cada 1 año	Prueba de continuidad
Sensores Sharp	Verificación de funcionamiento del LED infrarrojo	Cada mes	Examinación visual e instrumentos de prueba
	Sustitución del sensor	Hasta el fallo	Sustitución

Tarjeta NI myRIO-1900	Comprobación del funcionamiento del cable de alimentación	Cada 2 semanas	Medición del voltaje con multímetro
	Comprobación del funcionamiento del cable USB	Cada 2 semanas	Examinación visual e instrumentos de prueba
	Verificación de funcionamiento de los sensores	Cada mes	Examinación visual e instrumentos de prueba
	Verificación del funcionamiento de la tarjeta	Cada 2 meses	Examinación visual y equipos de medición

ANEXO F: MANUAL DE OPERACIÓN DEL LEVITADOR NEUMÁTICO

INTRODUCCIÓN

El presente manual de operación está dirigido a toda persona que va a operar o realizar las actividades de mantenimiento del módulo de levitador neumático y ha sido desarrollado con el fin de apoyar en la comprensión de los requerimientos técnicos relacionados con la: instalación, aplicación, utilización y mantenimiento de los elementos de este sistema, que resultan de gran importancia para la realización de las prácticas de tipo experimental y actividades investigativas.

En este manual se describen cada uno de los dispositivos y elementos que conforman el módulo levitador neumático y las funciones que desarrollan cada uno de éstos, teniendo dentro de este grupo al: ducto de plástico, la estructura, soportes, blower, sensores Sharp, tarjeta NI myRIO y el computador personal

Es importante aclarar que este manual no pretende ser sustituido por el manual del fabricante de cada uno de los dispositivos que conforman este sistema, más bien, pretende ser un complemento y guía para la instalación y manipulación de éstos.

OBJETIVOS

Explicar el principio de funcionamiento y utilización de cada uno de los elementos que conforman el levitador neumático.

Guiar al personal en el montaje, utilización y cuidado de los elementos que conforman el levitador neumático, basándose en las indicaciones y recomendaciones del fabricante.

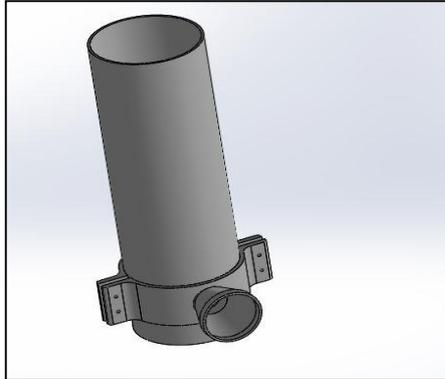
Establecer las disposiciones generales para la solicitud y utilización del levitador neumático en el laboratorio.

ALCANCE

El presente manual aplica para profesores, estudiantes, y personal que desee realizar prácticas de control y estabilización en tiempo real de una esfera suspendido dentro de un ducto cerrado, controlado desde una PC a través del software LabVIEW versión 2018, y a la vez, preservar el mantenimiento módulo.

DESCRIPCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS Y ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA CONTROL

1. DUCTO DE PLÁSTICO



El ducto de plástico es un instrumento que sirve para aplicaciones de conducción, ventilación y aire acondicionado de forma segura, dentro del cual existe una probabilidad nula de fugas.

Propósito del equipo

El ducto o tubo de plástico, se utiliza para depositar la esfera y conducir el caudal de aire logrando con ello la elevación o descenso de la esfera. La capacidad de volumen de este ducto es de 3 litros, con una altura de 60 cm y 76.2 cm de diámetro.

Principio de operación

Los ductos de plástico son ideales para aplicaciones de tipo experimental, como embudos y elementos de plástico para microbiología. Resultan muy útiles y versátiles para no permitir fugas de fluido por lo que es ideal para el paso de aire comprimido en este sistema a implementar.

Requisitos para su operación e instalación

- 1) Fijar los acoples diseñados en el ducto de plástico con cuidado.
- 2) Adaptar la blower de aire para el transporte de aire.
- 3) Insertar la esfera dentro del ducto.
- 4) Realizar las pruebas de funcionamiento con los caudales indicados.
- 5) Conservar un rango de distancia al momento de realizar las prácticas o pruebas de funcionamiento.

2. ESTRUCTURA



El diseño de la estructura está hecho en su totalidad en perfil de aluminio t-slot.

Propósito del equipo

La base de la estructura sirve de soporte para el montaje de todos los elementos que conformarán el sistema de levitación neumática. Estos elementos se instalarán de acuerdo con el diseño previo de la base y altura de la estructura.

Requisitos para su diseño e instalación

- 1) Definir las medidas de base, ancho y altura, para la base y altura de la estructura.
- 2) Realizar el montaje de la base y altura de la estructura.
- 3) Instalar la blower con los soportes y acoples en la base de la estructura.
- 4) Instalar el ducto de plástico y los soportes de los sensores en la altura de la estructura.

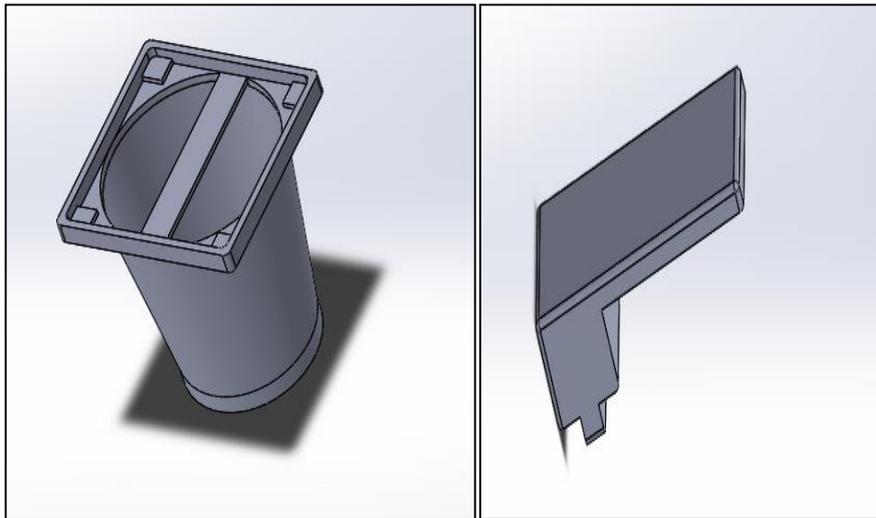
Dimensiones de la Base

Base (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
50	50	6

Dimensiones de la altura

Base (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
3	3	77

3. SOPORTES



Los soportes son elementos físicos diseñados e impresos en 3D, que sirven como sustento o apoyo para los demás elementos que serán incorporados en la estructura modular.

Propósito de los soportes

En este caso, se hace énfasis en los soportes para sostener los sensores que se incorporaran tanto dentro como fuera del ducto.

Requisitos para su diseño e instalación

- 1) Definir las dimensiones para cada uno de los soportes.
- 2) Realizar el diseño de cada uno de los soportes en el software SolidWorks.
- 3) Realizar el montaje de los soportes en la ubicación especificada para la ubicación de los sensores.
- 4) Fijar los soportes.

Dimensiones

Base (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
13	13	13,5

4. BLOWER



El blower es un dispositivo electromecánico que emitirá la cantidad de aire deseado.

Propósito del equipo

El blower se utiliza con el propósito el suministro aire, logrando con ello que la esfera pueda ascender o descender de manera controlada y al final se estabilice.

Principio de funcionamiento

El blower se instala en la base de la estructura de aluminio, acoplada con el ducto para la emisión de aire en el interior de éste. Con esta instalación se lleva a cabo el proceso de levitación.

Requisitos para su diseño e instalación

- 1) Definir el volumen y las medidas del ducto.
- 2) Realizar el diseño de cada uno de los soportes en el software SolidWorks
- 3) Instalar el blower en la base adaptándola a sus acoples.
- 4) Acoplar el blower con el ducto de plástico, formando una unidad compacta.

Características técnicas

Parámetros	Unidades
Potencia	1875 W
Voltaje	120 V
Niveles de temperaturas	2
Número de velocidades	2

5. SENSORES SHARP 2Y0A21 F 74



El sensor Sharp o de posicionamiento que se utiliza en este sistema es el modelo 2Y0A21 F 74, el cual está compuesto por un LED infrarrojo junto con dispositivo detector de posición (PSD).

Propósito de este dispositivo

Los sensores Sharp proporciona la distancia entre los elementos del sensor y la esfera (receptor), para lograr este objetivo el sensor cuenta con un emisor infrarrojo y un receptor, que proporciona una lectura continua de la distancia medida dentro de un rango de (10 a 80) cm.

Principios de funcionamiento

El sensor escanea de forma continua la esfera y proporciona la salida mediante una referencia de tensión analógica, por lo que podemos emplear las entradas analógicas para leer el valor de la distancia.

Requisitos para su instalación y operación

- 1) El primer sensor se instalará en la parte superior del ducto.
- 2) El segundo se instalará a la misma altura, pero en la parte exterior del ducto.
- 3) En cada uno de los sensores se debe realizar las pruebas de funcionamiento

Características técnicas

Parámetros	Unidades
Rango de medición: 10 - 80	cm
Dimensiones: Base = 29.5 Altura = 13 Ancho = 13.5	cm
Voltaje de operación: 4.5 – 5.5	V
Intensidad de corriente: 30	mA

6. TARJETA NI myRIO-1900



La tarjeta NI myRIO-1900 es una herramienta de desarrollo de múltiples prototipos de proyectos relacionados a control de sistemas.

Propósito del equipo

Para la estabilización del sistema del levitador neumático, se utiliza la tarjeta de comunicación NI myRIO-1900, que se encarga de la recolección de señales provenientes de los sensores.

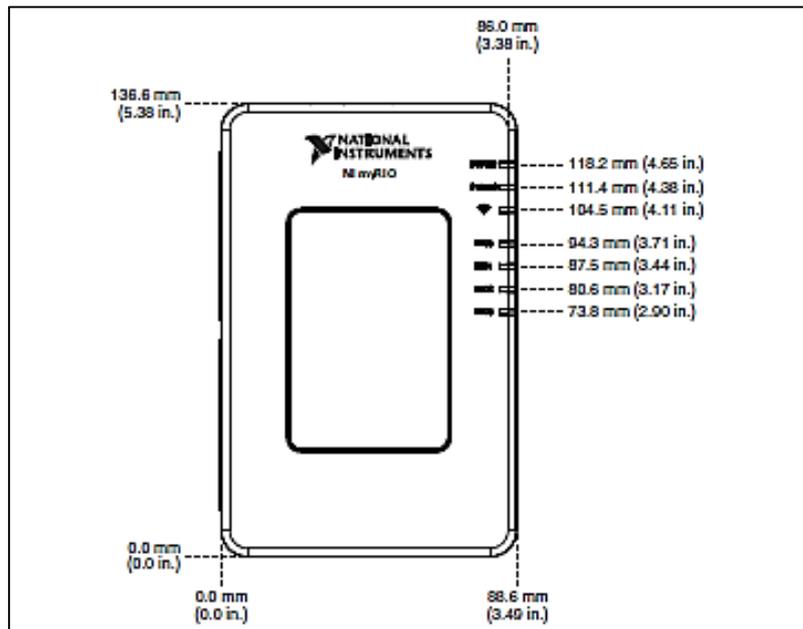
Principios de operación

La tarjeta NI myRIO-1900 es un dispositivo portátil reconfigurable de E/S (entradas/salidas) ya sean analógicas (AI/AO) o digital (DIO), que será utilizada para diseñar sistemas de control para la estabilización de la esfera levitante.

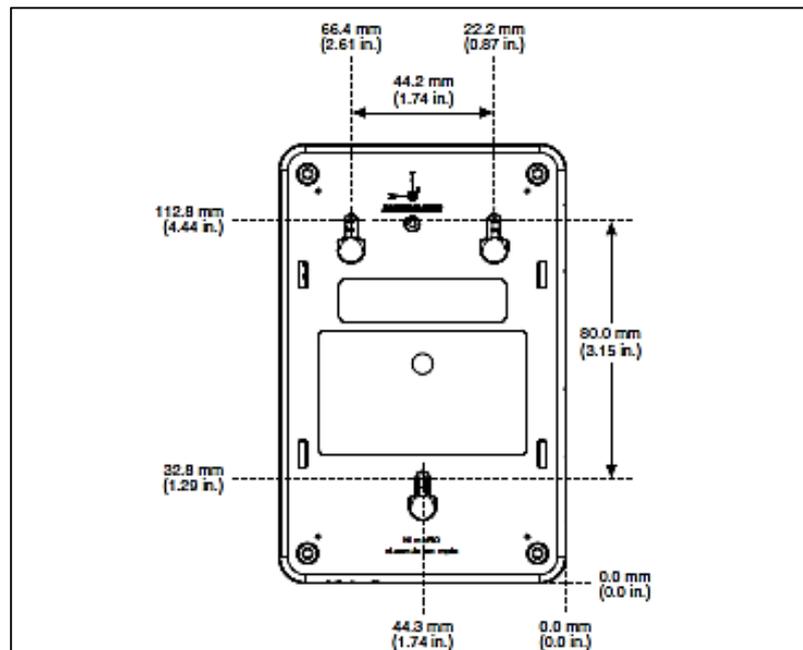
Requisitos para su operación e instalación

- 1) Tener instalado el LabVIEW, LabVIEW Real Time y el LabVIEW 2018 myRIO Toolkit.
- 2) Conectar el cable de alimentación.
- 3) Conectar el cable USB.
- 4) Una vez conectada la myRIO se selecciona en la PC el asistente Getting Started Wizard.
- 5) Esperar a que se instale completamente el software de la myRIO.
- 6) Se debe reiniciar la PC para completar la instalación.
- 7) Una vez instalado la myRIO se procede a comprobar los sensores y los dispositivos.

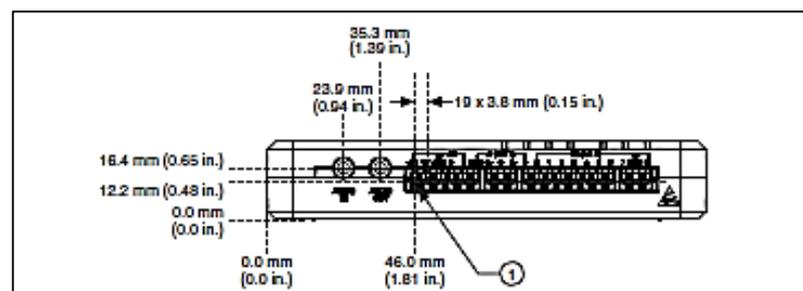
Dimensiones de la parte frontal



Dimensiones de la parte trasera



Dimensiones del mini puerto del sistema (MSP)



7. COMPUTADOR PORTATIL



El computador u ordenador portátil, es una computadora personal móvil, que son capaces de realizar la mayor parte de las tareas que realizan las computadoras de escritorio, pero su ventaja radica en el tamaño que es compacto su peso por lo general va desde 1 y 3 Kg respectivamente y tiene la capacidad de operar por un período determinado sin estar conectado a una fuente eléctrica.

Propósito

El computador portátil se utilizará para instalar el software de NI LabVIEW 2018 y para conectar la tarjeta NI myRIO, también se instalará el software de MATLAB para la obtención de las señales y el procesamiento de datos. Además de estos programas informáticos, se instalará SolidWorks 2017 para el diseño de los soportes.

Requisitos del sistema para instalar NI LabVIEW 2018

- Pentium 4M (o equivalente) o posterior (32 bits), Pentium 4 G1 (o equivalente) o posterior (64 bits).
- Windows 10 (versión 1809)/ 8.1 Update 1/ 7 SP1, Windows Server 2016 (versión 1607).
- 1 GB de RAM y 5 GB de espacio en disco.
- Resolución de pantalla 1,024 x 768 píxeles (NI recomienda 1,366 x 768 y mayor).

Información básica de la PC portátil Dell

- Windows 10 Pro.
- Procesador Inter Core TM I7 -3517 CPU 1.90 GHz.
- 8 GB de Memoria RAM.
- Sistema Operativo de 64 bits.

DISPOSICIONES GENERALES PARA LA SOLICITUD Y USO DEL EQUIPO EN EL LABORATORIO

En primera instancia, el encargado del laboratorio deberá brindar la asesoría técnica, a los usuarios respecto a la operación del equipo que solicite y registrar dicha asesoría.

El préstamo de equipo para el desarrollo del trabajo en el laboratorio se llevará a cabo de la siguiente manera:

- Entrega de una identificación vigente (cédula de identidad o credencial de los estudiantes).
- Por ningún motivo se realizará el préstamo de equipo a los estudiantes para actividades fuera de los laboratorios.
- El responsable del laboratorio regresará la identificación cuando se realice la entrega del equipo en las condiciones en que fue prestado el levitador neumático.

Cuando el usuario no entregue el equipo completo y en las condiciones en que fue prestado, o cuando ocurra algún desperfecto durante el desarrollo de la actividad, los documentos se turnarán al jefe del área, para que se tomen las medidas administrativas correspondientes.

FUNCIONES DEL ENCARGADO DEL LABORATORIO DE CONTROL Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA PARA EL MANEJO Y MANTENIMIENTO DEL LEVITADOR NEUMÁTICO

- Atender los requerimientos de los usuarios.
- Preparar los equipos para el desarrollo de las prácticas de asignaturas 15 minutos antes del inicio de éstas.
- Programar y realizar el mantenimiento preventivo del equipo y llevar los registros de acuerdo con el plan de mantenimiento propuesto.
- Informar al jefe del área y recursos materiales sobre los equipos o dispositivos que se encuentren dañados o requieran mantenimiento correctivo.
- Mantener actualizado el registro de mantenimiento preventivo y correctivo del equipo.
- Realizar el registro del estado de los equipos que se encuentren funcionando.

ANEXO G: Guía de práctica de laboratorio.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD: MECÁNICA
CARRERA: MANTENIMIENTO
GUÍA DE LABORATORIO DE CONTROL Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA

PRÁCTICA No.....

DATOS GENERALES:

NOMBRE: estudiante(s)

CÓDIGO(S): de estudiante(s)

.....
.....

.....
.....

GRUPO No.:

FECHA DE REALIZACIÓN:

FECHA DE ENTREGA:

dd/mm/aa

dd/mm/aa

OBJETIVO GENERAL:

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

INSTRUCCIONES

- Compruebe el ajuste de los acoples.
- Verifique el estado del ducto de plástico.
- Verifique el funcionamiento de los sensores Sharp (interno y externo).
- Conecte el cable de alimentación del blower.
- Encender el blower.
- Conecte el cable de alimentación y cable USB la tarjeta myRIO a la PC.
- Realice las mediciones y apunte los datos obtenidos.
- Ejecute el software de MATLAB y NI LabVIEW.

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

Observación y reconocimiento de elementos, dispositivos y software

- Levitador neumático.
- Blower.
- Ducto de plástico.
- NI LabVIEW 2018.
- Matlab R2017b.
- Sensores Sharp.
- Tarjeta NI myRIO-1900.
- Multímetro.

Manejo de instrumentos, dispositivos y software

Blower

- Conectamos el cable de la fuente de alimentación.
- Presionamos el botón de encendido.
- Controlamos el caudal de aire.
- Apagamos el equipo.

Tarjeta NI myRIO-1900

- Instalamos el NI LabVIEW, NI LabVIEW Real Time y el NI LabVIEW para el módulo de la NI myRIO
- Conectamos el cable de alimentación.
- Conectamos el cable USB.
- Conectamos la NI myRIO y seleccionamos en la PC el asistente Getting Started Wizard.
- Esperamos a que se instale completamente el software de la NI myRIO.
- Reiniciamos la PC para completar la instalación.
- Procedemos a comprobar los sensores y los dispositivos.
- Creamos un nuevo proyecto en NI LabVIEW 2018

Sensores Sharp

- Conectar los sensores Sharp a la tarjeta NI myRIO-1900.
- Comprobamos el funcionamiento del LED infrarrojo.

Ordenamiento y procesamiento de datos

Análisis e interpretación de resultados

Observaciones

RESULTADOS OBTENIDOS

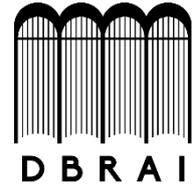
CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

**NOMBRE Y FIRMA DEL DOCENTE
DE LA ASIGNATURA**



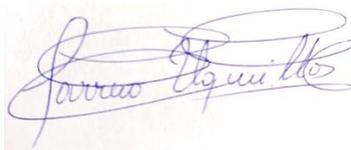
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 20 / 07 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Segundo Manuel Pinto Poalacin
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería de Mantenimiento
Título a optar: Ingeniero de Mantenimiento
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA
 
28-07-2020
0155-DBRAI-UPT-2020