



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE GUAYAQUIL**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LEVITADOR NEUMÁTICO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero en Mecatrónica

**AUTORES:** José Manuel Armendáriz Parraga  
Daniela Johanna Moreta Mite  
**TUTOR:** Nino Tello Vega Ureta

Guayaquil - Ecuador  
2022

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **José Manuel Armendáriz Parraga** con documento de identificación N° **0802707802** y **Daniela Johanna Moreta Mite** con documento de identificación N° **0927633073**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,



---

José Manuel Armendáriz Parraga  
0802707802



---

Daniela Johanna Moreta Mite  
0927633073

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **José Manuel Armendáriz Parraga** con documento de identificación N° **0802707802** y **Daniela Johanna Moreta Mite** con documento de identificación N° **0927633073**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LEVITADOR NEUMÁTICO**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,



---

José Manuel Armendáriz Parraga  
0802707802



---

Daniela Johanna Moreta Mite  
0927633073

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Nino Tello Vega Ureta**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana , declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LEVITADOR NEUMÁTICO**, realizado por **José Manuel Armendáriz Parraga** con documento de identificación N° **0802707802** y por **Daniela Johanna Moreta Mite** con documento de identificación N° **0927633073**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,



---

Ing. Nino Tello Vega Ureta  
0801602160



## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a mis padres puesto que desde el día de mi nacimiento han sido el motor que impulsa mis ideas, sueños y esperanzas. Siempre estuvieron a mi lado en el momento indicado para ayudarme, guiarme y sobre todo darme las fuerzas que necesito para salir adelante.

Agradecer a esa persona especial, la cual estuvo apoyándome en cada fase de mi vida, cada momento de dificultad a lo largo de mi carrera universitaria.

A mis profesores debido a que ellos siempre estuvieron impartiendo sus conocimientos rigurosos pero precisos, muchas gracias por su paciencia lo cual han hecho de mí, una gran persona.

A mis compañeros con los cuales estoy terminando esta etapa de mi vida, agradezco su ayuda y apoyo en todas las situaciones que se nos presentaron durante esta etapa estudiantil, pero más aun agradezco a esos verdaderos amigos que estuvieron a mi lado durante todo este tiempo.

### **José Manuel Armendáriz Parraga**

El proyecto presentado lo dedico principalmente a Dios, por darme la fuerza para continuar esta etapa estudiantil.

A mis padres por su amor, trabajo y sacrificio a lo largo de estos años, porque me han inspirado y me hacen ser mejor persona cada día. Me han enseñado que si uno comienza algo, debe terminarlo. Espero ser una persona de la cual se sientan orgullosos de tener y llamar hija.

A mis hermanos y amigos más cercanos por escucharme, por apoyarme y estar cuando los he necesitado.

A mis primos, mis segundos padres, siempre que estaba con ellos me demostraban su apoyo y amor hacia mi persona.

De igual forma, agradezco a los profesores que me han visto crecer como persona, gracias por sus conocimientos y paciencia a lo largo de la carrera.

### **Daniela Johanna Moreta Mite**

## DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mi padre, la persona que me ha forjado y me ha estado apoyando hasta el día de hoy, a mi madre, que hasta este momento me ha estado ayudando, brindando su cariño y sobre todo guiándome para lograr ser la persona que soy hoy en día. Por eso les doy este trabajo en ofrenda a todo el esfuerzo y confianza que han puesto en mi.

**José Manuel Armendáriz Parraga**

A mis padres por forjar la persona que soy hoy en día, todos mis logros son gracias a ellos. Me inculcaron valores y a su vez me formaron con ciertas reglas, pero me motivaron constantemente para no decaer cuando todo parecía complicado y así culminar esta etapa.

**Daniela Johanna Moreta Mite**

## RESUMEN

El objetivo del presente proyecto es potenciar los conocimientos de los estudiantes de la carrera de Mecatrónica de la Universidad Politécnica Salesiana, mediante la implementación de un levitador neumático aplicando control PID. Se realizaron varias encuestas con estudiantes de semestres inferiores, las cuales demostraron el poco interés de estos por materias impartidas de forma completamente teórica. El presente proyecto fortalece los conocimientos de materias como "Teoría de control", debido a que muestra cómo se realiza el control de una planta, en este caso el levitador neumático, mismo que mediante un control PID, utilizando un PLC S7-1200 programado en TIA PORTAL. Se puede realizar la suspensión de un cuerpo determinado en un entorno cerrado que en este caso es un Tubo de acrílico mismo que contiene una esfera, a la cual se varía su posición haciendo uso de empuje de una fuerza neumática que es realizada por un ventilador DC de 12V. Posteriormente se realiza una última encuesta, en la que se solicitó opiniones a varios estudiantes sobre el uso de proyectos e investigaciones como estrategia de aprendizaje, la cual arrojó resultados positivos que demuestran la importancia del apoyo y del aprendizaje en la cual se use proyectos de fácil manipulación para estudiantes. A través de la planta de levitación neumática implementada en este proyecto se verifica los conocimientos teóricos de control en donde a través del HMI se ordena el nivel al cual debe levitar una esfera y a su vez el algoritmo de control PID realiza el esfuerzo necesario para mantener el objeto en su punto de trabajo.

## ABSTRACT

The objective of this project is to enhance the knowledge of the students of the Mechatronics career of the Salesian Polytechnic University, through the implementation of a pneumatic levitator applying PID control. Several surveys were conducted with students of lower semesters, which showed their lack of interest in subjects taught in a completely theoretical way. This project strengthens the knowledge of subjects such as "Control Theory", because it shows how to control a plant, in this case the pneumatic levitator, by means of a PID control, using a PLC S7-1200 programmed in TIA PORTAL. The suspension of a certain body in a closed environment can be performed, which in this case is an acrylic tube containing a sphere, whose position is varied by pushing a pneumatic force that is performed by a 12V DC fan. Subsequently, a final survey was conducted, in which several students were asked for their opinions on the use of projects and research as a learning strategy, which yielded positive results that demonstrate the importance of support and learning in which easy-to-manipulate projects are used for students. Through the pneumatic levitation plant implemented in this project, the theoretical knowledge of control is verified where through the HMI the level at which a sphere must levitate is ordered and in turn the PID control algorithm performs the necessary effort to keep the object at its working point.

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	13
I-A.	Descripción del problema. . . . .	13
I-B.	Importancia y alcances . . . . .	14
I-C.	Delimitación . . . . .	15
<b>II.</b>	<b>Objetivos</b>	15
II-1.	Objetivo General . . . . .	15
II-2.	Objetivos Específicos . . . . .	15
<b>III.</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL</b>	16
III-A.	Marco Teorico . . . . .	16
III-A1.	Antecedentes . . . . .	16
III-B.	Historia . . . . .	17
III-B1.	Levitacion Magnética . . . . .	17
III-B2.	Levitación Neumática . . . . .	17
III-B3.	Descripción general del levitador neumático . . . . .	18
III-B4.	Levitación acústica . . . . .	18
III-B5.	Levitacion óptica . . . . .	18
III-B6.	Levitación electroestática . . . . .	19
III-C.	Leyes de Newton . . . . .	19
III-C1.	Primera ley de Newton . . . . .	19
III-C2.	Segunda Ley de Newton . . . . .	20
III-D.	Sistema de levitación neumática tubo - esfera . . . . .	20
III-E.	Principio neumático del sistema de levitación neumática . . . . .	20
III-E1.	Aerodinámica de la esfera . . . . .	20
III-F.	Actuador . . . . .	22
III-F1.	Ventilador Centrifugo . . . . .	22
III-F2.	Ventilador de presión estática . . . . .	22
III-F3.	Ventilador de flujo de aire . . . . .	23
III-G.	Sensor . . . . .	24
III-G1.	Ultrasónico . . . . .	24
III-H.	Controlador . . . . .	25
III-H1.	Arduino . . . . .	25
III-H2.	Raspberry Pi . . . . .	26
III-H3.	Microcontroladores PIC . . . . .	26
III-H4.	Entradas/Salidas digitales . . . . .	27
III-H5.	Entradas/Salidas Analógicas . . . . .	27
III-I.	PLC . . . . .	27
III-I1.	Partes de un PLC . . . . .	27
III-I2.	Características generales de un PLC . . . . .	28
III-I3.	Módulo de entradas analógicas . . . . .	28
III-I4.	Módulo de salidas analógicas . . . . .	29
III-J.	Teoria de control . . . . .	29
III-K.	Diagrama de bloques . . . . .	29
III-K1.	Sistema de lazo abierto . . . . .	30
III-K2.	Sistema de lazo cerrado . . . . .	30
III-L.	Función de transferencia . . . . .	30
III-L1.	Características de la función de transferencia . . . . .	31

<b>IV. MARCO METODOLÓGICO</b>	32
IV-A. Diseños . . . . .	32
IV-A1. Diseño del sistema . . . . .	32
IV-A2. Diseño del circuito eléctrico . . . . .	32
IV-A3. Diseño del controlador . . . . .	33
IV-A4. Función de transferencia . . . . .	33
IV-A5. Diagrama de bloque del sistema de control . . . . .	39
IV-A6. Diseño Eléctronico . . . . .	39
IV-A7. Diseño de la estructura del prototipo . . . . .	40
IV-B. Implementación . . . . .	40
IV-B1. Construcción del prototipo de la base . . . . .	40
IV-B2. Tubo . . . . .	41
IV-B3. Objeto por levitar . . . . .	41
IV-B4. Ventilador . . . . .	42
IV-B5. Sensor . . . . .	42
IV-B6. Fuente de alimentación . . . . .	42
IV-B7. PLC S7 1200 . . . . .	43
IV-C. Implementación del sistema de control . . . . .	43
IV-C1. Programación en Arduino . . . . .	43
IV-C2. Programación en PLC . . . . .	46
<b>V. Resultados</b>	47
<b>VI. Presupuesto y Cronograma</b>	49
VI-A. Presupuesto . . . . .	49
VI-B. Cronograma . . . . .	50
<b>VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	51
VII-A. Conclusiones . . . . .	51
VII-B. Recomendaciones . . . . .	51
<b>Apéndice A: Prototipos</b>	53
A-1. Soporte para el sensor . . . . .	53
A-2. Ventilador . . . . .	53
<b>Apéndice B: Diseños</b>	54
B-A. Diseños acotados . . . . .	54
B-B. Prácticas . . . . .	65
B-B1. PRÁCTICA NUMERO 1 . . . . .	65
B-B2. PRÁCTICA NUMERO 2 . . . . .	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Ubicación de la Universidad Politecnica Salesiana. . . . .	13
2.	Encuesta a estudiantes de la Universidad Politecnica Salesiana. . . . .	14
3.	Encuesta a estudiantes de la Universidad Politecnica Salesiana. . . . .	15
4.	Primer compresor mecánico . . . . .	16
5.	Principio de levitación por fuerzas repulsivas. . . . .	17
6.	Modelo de un sistema de levitación neumatica. . . . .	18
7.	Diagrama de un sistema de levitación acústica. . . . .	18
8.	Diagrama de un sistema de levitación óptica. . . . .	19
9.	Campo Magnético. . . . .	19
10.	Resistencia aerodinámica . . . . .	21
11.	Coeficiente de arrastre de la esfera. . . . .	22
12.	Ventilador Centrifugo . . . . .	22
13.	Ventilador, presión estática . . . . .	23
14.	Flujo del aire . . . . .	24
15.	Sensor Ultrasonico . . . . .	25
16.	Arduino . . . . .	25
17.	Raspberry Pi3 . . . . .	26
18.	Microcontrolador PIC . . . . .	27
19.	Programa de PLC . . . . .	28
20.	PLC . . . . .	28
21.	Sistema de control en lazo abierto . . . . .	30
22.	Sistema de control en lazo cerrado . . . . .	30
23.	Diseño del sistema de levitación . . . . .	32
24.	Diseño del sistema de levitación . . . . .	32
25.	Funcionamiento del sistema . . . . .	33
26.	Programación en TIA PORTAL . . . . .	33
27.	Registro de datos . . . . .	34
28.	Registro de datos . . . . .	34
29.	System Identification . . . . .	35
30.	Ecuación . . . . .	35
31.	Función de transferencia . . . . .	36
32.	Función de transferencia, parámetros . . . . .	36
33.	Gráfica de la función de transferencia . . . . .	36
34.	Modelo de primero orden con un polo y un zero real . . . . .	37
35.	Función de transferencia 4 . . . . .	37
36.	Función de transferencia 5 . . . . .	38
37.	Función de transferencia 6 . . . . .	38
38.	Diagrama de componentes . . . . .	39
39.	Proteus . . . . .	39
40.	Proteus . . . . .	40
41.	Maqueta de levitación neumática . . . . .	40
42.	Prototipo inicial de la base . . . . .	41
43.	Tubo de acrílico . . . . .	41
44.	Esfera, objeto por levitar . . . . .	42
45.	Ventilador . . . . .	42
46.	Sensor ultrásónico . . . . .	42
47.	Fuente de alimentación . . . . .	43
48.	PLC Siemens . . . . .	43
49.	Programación en Arduino . . . . .	44

50.	Programacion en Arduino 2 . . . . .	45
51.	Bloque PID Compact . . . . .	46
52.	Escalado, señal de control . . . . .	46
53.	Señal de entrada analógica . . . . .	46
54.	Bloque In Range . . . . .	46
55.	Bloque In Range . . . . .	47
56.	Estabilización del levitador . . . . .	47
57.	Estabilización del levitador . . . . .	48
58.	Prototipo inicial de la base . . . . .	53
59.	Soporte para el sensor ultrásónico . . . . .	53
60.	Ventilador . . . . .	54
61.	Diseño del levitador . . . . .	54
62.	Elaboración del levitador . . . . .	55

#### ÍNDICE DE CUADROS

I.	Especificaciones Técnicas . . . . .	25
II.	Características del Arduino . . . . .	26
III.	Características del Raspberry . . . . .	26
IV.	Presupuesto para la estructura del sistema . . . . .	49
V.	Presupuesto para la comunicación del sistema . . . . .	49
VI.	Presupuesto para los materiales electrónicos . . . . .	49
VII.	Inversión total . . . . .	49
VIII.	Cronograma . . . . .	50



## INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto de titulación trata sobre el diseño e implementación de un levitador neumático utilizando el PLC S7 1200 con ayuda del Arduino. El propósito de este proyecto es dar a entender o guiar a los estudiantes de la carrera mecatrónica, en la comprensión de los temas teóricos de control por medio del diseño que vendría a ser e proyecto didáctico.

1. En el Capítulo 1 se detalla los hechos preliminares como lo es: Descripción del problema, objetivos, justificación.
2. En el Capítulo 2 se detalla lo mas relevante del proyecto, en la cual se da a conocer las teorías fundamentales como lo son sus antecedentes y su historia.
3. En el Capítulo 3 se detalla los requerimientos que se necesitan para la elaboración del proyecto, a su vez se hace un detalle del diseño de los componentes del sistema utilizados en el proyecto, en la cual se indicará el funcionamiento del sistema.
4. En el Capítulo 4 se muestra el presupuesto y cronograma realizado a lo largo de proyecto.

## I. ANTECEDENTES

En este capítulo se detalla los hechos preliminares.

### I-A. Descripción del problema.

El escaso uso de equipos didácticos en los laboratorios genera cierta desmotivación en los estudiantes, generación conocida como “Millenials o Generación Z”. Esto llega a traer como consecuencia un abandono y decepción en diversas carreras técnicas, ya que los jóvenes llegan a aprender a través de la interacción de equipos, lo que ayuda a reforzar sus conocimientos en poco tiempo. [10]

Los estudiantes que cursan materias técnicas no solo requieren de instrucción teórica, puesto que, en base a una pequeña encuesta realizada, se determinó que un grupo de estudiantes no sienten la motivación necesaria en ciertas materias. En base a los comentarios expresados por parte de los estudiantes podríamos opinar que ellos fortalecen sus conocimientos a través de otro método, como lo es un proyecto didáctico.

Según el instituto de investigaciones en educación México, existen varios tipos de estilos de aprendizaje en los estudiantes, estos suelen llegar a ser sensitivos, auditivos o visuales. A su vez se tienen los deductivos e inductivos. Según las investigaciones se dice que muchos estudiantes pertenecen al grupo deductivo-inductivo, puesto que tienden a comprender de mejor manera cuando la información se presenta en forma de hechos y/u observaciones. Siendo así llegamos al gran problema en la que ciertas materias impartidas son más para estudiantes sensitivos, auditivos o visuales, los cuales prefieren formulas, diagramas de flujo o en su caso aprenden de mejor manera mediante exposiciones orales de sus profesores, pero gran parte de los estudiantes se queda con incógnitas, debido a la falta de interés por estos métodos de enseñanza. [1]

El presente proyecto está enfocado dentro de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, como se muestra en la figura 1 podemos ver el mapa de la institución, para los estudiantes que se encuentren cursando entre el Sexto y el Octavo semestre de la carrera Ingeniería en mecatrónica, con el fin de que exista interés en aprender a desarrollar proyectos didácticos o a su vez a fortalecer conocimientos.

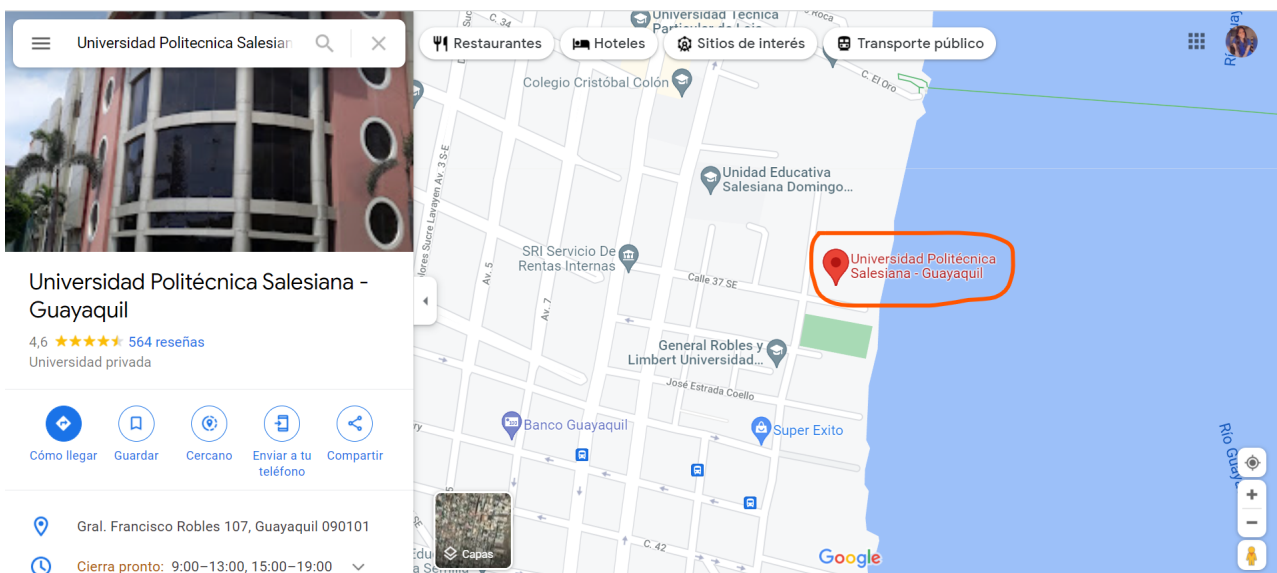


Figura 1. Ubicación de la Universidad Politecnica Salesiana.

### I-B. Importancia y alcances

Debido a la mejora continua en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Barrio Centenario, se decide desarrollar e implementar un sistema de levitación neumática como recurso didáctico a estudiantes de la Universidad, ya que de esta manera llegaran a reforzar los conocimientos adquiridos en clase. -De la teoría a la práctica. -

Con el avance tecnológico presenciado en estos últimos años, se decidió realizar un proyecto didáctico, el cual será un recurso para los estudiantes de cursos intermedios que desean aprender y a su vez ir más allá de lo estudiado. Como sabemos, los módulos didácticos fortalecerán el conocimiento de los estudiantes a través de diseños e investigaciones que ya han sido realizadas.

Mediante una breve encuesta que se realizó a un pequeño grupo de estudiantes; de primero a séptimo semestre de la carrera mecatrónica, se determinó que para ciertas materias teóricas, como lo son teoría de control y métodos numéricos, el 72.2% de las personas no se sienten atraídos por la materia, debido a que normalmente se imparte 100% teórica o mediante videos de YouTube y de esta forma no encuentran la motivación para ir más allá de un programa de estudio planteado (Algo específico que se les dicta), como se muestra en la figura 2 y 3 se puede observar las encuestas realizadas a los estudiantes.

Como usted considera las clases que son dictadas en forma teórica?

18 respuestas



Figura 2. Encuesta a estudiantes de la Universidad Politecnica Salesiana.

¿Desearía usted que exista métodos didácticos como estrategia de aprendizaje para las clases impartidas?

18 respuestas

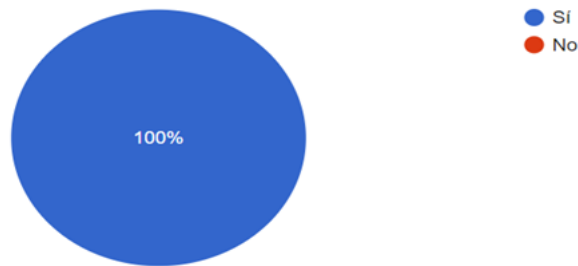


Figura 3. Encuesta a estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana.

### I-C. Delimitación

El proyecto presente brindará a los jóvenes estudiantes una motivación adicional para estudiar, innovar y acrecentar el deseo de ser profesionales mediante el uso de software de monitoreo para así poder enriquecer el conocimiento debido a que podrán poner en práctica la teoría que se imparte en clase.

## II. OBJETIVOS

*II-1. Objetivo General:* Desarrollar un sistema didáctico de Levitación Neumática, utilizando un PLC S7 1200 para que de esta manera los estudiantes de la carrera Mecatrónica puedan fortalecer sus conocimientos.

*II-2. Objetivos Específicos:*

- Desarrollar planos eléctricos y mecánicos.
- Desarrollar software monitoreo y control.
- Implementación de la maqueta didáctica.
- Desarrollar pruebas experimentales, calibración y control.
- Desarrollar manual de prácticas y procedimientos experimentales.

### III. MARCO CONCEPTUAL

En este capítulo se abordan conceptos necesarios para el desarrollo del proyecto presente. En el cual abarca la historia de la neumática, los programas a utilizar para la creación del levitador neumático como lo es el PLC, Arduino y sus respectivas funciones.

#### III-A. Marco Teorico

*III-A1. Antecedentes:* En la antigüedad, el aire, era uno de los cuatro elementos por los que se dejaron hipnotizar los griegos, este aparecía por las propiedades transparentes de la naturaleza, según ellos la más bella manifestación de la materia, que se encontraba en la “densidad” u otro “estado” que es el resto de la materia. Por ello fue considerado similar al significado de alma. La técnica que utiliza el aire como transferencia de energía se llama Pneumática.

La utilización del aire en la humanidad se remonta hacia muchos siglos atrás. En definitiva en el año 2500 A.C, fue cuando se diseñaron los primeros muelles de soplado, para después utilizarse en instrumentos musicales, minería y la siderurgia. [5]

Con el pasar del tiempo muchos científicos contribuirían al avance tecnológico del uso de gases, inventado máquinas como el cilindro soplante en 1762 por John Smeaton, o el primer prototipo de compresor en 1776 por John Wilkinson. [6]

A finales del siglo XIX se empezaron a aplicar investigaciones sobre el comportamiento y las reglas del aire comprimido. Su primera aplicación fue aire comprimido, utilizado para soplar cenizas para reavivar un fuego, como se observa en la figura 4. El compresor del hombre no era suficiente, cuando el hombre comenzó a fundir metal para alcanzar una temperatura de alrededor de 1000 grados centígrados, eligieron un compresor más grande para realizar esto, usaron una tubo-soplete.

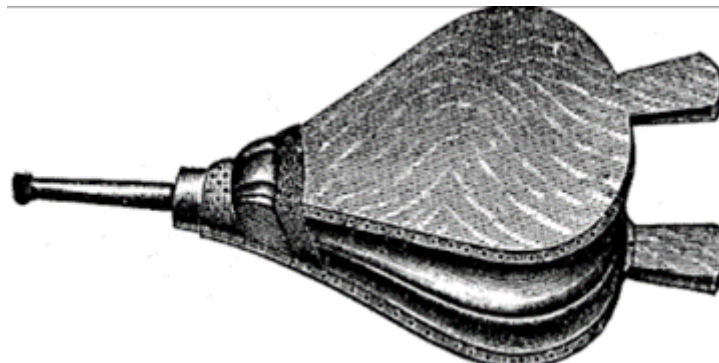


Figura 4. Primer compresor mecánico

La incorporación del aire comprimido a los mecanismos y la automatización comenzó a mediados del siglo XX, a partir de 1950 aproximadamente, se puede hablar de una aplicación industrial real del aire comprimido en los distintos procesos y hallazgos de fabricación. Es cierto que ya existen ciertas aplicaciones y ramas de extracción (en la minería, en la industria de la construcción y ferroviaria, uso en frenos neumáticos), pero el desarrollo real y general del aire comprimido en la industria, sin embargo, recién se opta por automatizar y optimizar el flujo de trabajo es cada vez más imperativo. Cabe recalcar que esta técnica fue rechazada a principios, por falta de conocimiento y formación en la mayoría de los casos, a su vez, después se han ampliado diversas áreas de aplicación. Hoy en día, ya no se puede imaginar una operación industrial moderna sin aire comprimido, gracias a su versatilidad y facilidad de manejo y control. Por esta razón, en la mayoría de las industrias, el uso de equipos neumáticos es fundamental.

De esta forma se llega a la utilización de los gases en varias aplicaciones, esto incluye proyectos y demostraciones didácticas, como lo es el sistema de levitación neumático, en el cual se realiza el control de la posición del cuerpo suspendido en un entorno limitado. Haciendo uso de sensores como lo es el sensor ultrasónico podemos determinar la posición exacta del cuerpo suspendido.

### III-B. Historia

Los levitadores son dispositivos electromecánicos, se conoce a la levitación como la acción de levitar, elevar. Lo que llega a que un cuerpo se halle en una estable suspensión dentro de un espacio requerido, sin necesidad de que exista algo físico sosteniéndolo. Este se conoce como un fenómeno en el cual dan a conocer que los objetos flotan en el aire sin que el peso de dicho objeto no existiera.

Dichos objetos pueden ser lineales o estables, es por ello que para poder tener el control sobre el sistema se deberá implementar un lazo cerrado y así poder mantener la levitación.

[11]

Existen 5 tipos de levitación, son las siguientes:

- Levitación Magnética
- Levitación Neumática
- Levitación Acústica
- Levitación Óptica
- Levitación Electroestática

Entre los cinco tipos de levitación la que más se escucha o es más conocida, es la levitación magnética.

*III-B1. Levitación Magnética:* La levitación magnética, en la actualidad es la más nombrada debido al uso en trenes, una gran ventaja de este tipo de levitación es que el uso de lubricantes no es necesario, pero su principal desventaja es que este tipo de levitación puede llevarse a cabo solo con objetos ferromagnéticas, como se observa en la figura 5. [4]

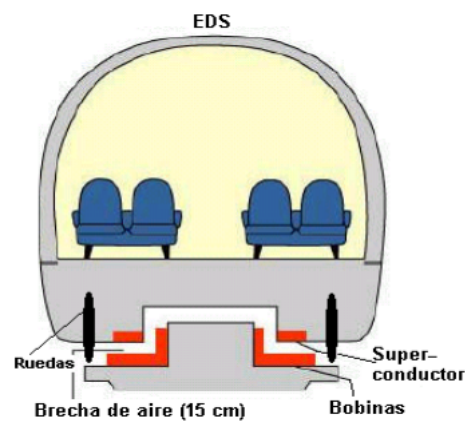


Figura 5. Principio de levitación por fuerzas repulsivas.

*III-B2. Levitación Neumática:* La levitación neumática se basa en la suspensión de un objeto en el aire, esto es a causa del empuje proporcionado, de esta forma la fuerza gravitatoria va contrarrestando. Las fuerzas de empuje no son fáciles de modelar con precisión, como se observa en la figura 6 pero su ventaja principal es que el aire es fácil de suministrar.

[7]

### Ventajas de un levitador neumático

- Brindar un transporte ágil, limpio y con poco rozamiento mecánico, por lo tanto, disminuiría el desgaste en las piezas que conforman el sistema.
- Los estudiantes aprenderán las conexiones análogicas con el PLC SIM S71200
- Se fortalece los conocimientos sobre el control automatizado en distintas plantas, con el “Levitador Neumático”

*III-B3. Descripción general del levitador neumático:* Se procede al modelamiento o lo que se requiere llegar para tener un levitador neumático.

1. Para poder estar al tanto de lo que sucede dentro de un ducto es importante utilizar un sensor de posición, para esto emplea un sensor ultrasónico el cual está constituido por un transmisor y un receptor de ondas ultrasónicas.
2. Se puede obtener la distancia entre el sensor y el objeto mediante cálculos matemáticos.
3. Para poder tener el control sobre la esfera es necesario el ventilador con un motor, con la finalidad de que este genere corrientes de aire a lo largo del ducto que permitan la manipulación de la posición en la esfera.
4. Se requiere la ayuda de un Arduino como prueba para llevar a cabo la comunicación entre el sistema y el computador, antes de implementar PLC.



Figura 6. Modelo de un sistema de levitación neumática.

*III-B4. Levitación acústica:* La levitación acústica trata acerca de las ondas acústicas, como se observa en la figura 7, la forma de lograr suspender un objeto en el aire contra la gravedad es mediante ondas de sonido de alta intensidad, estas ondas logran que el objeto quede suspendido en el aire sin necesidad de un objeto. [9]

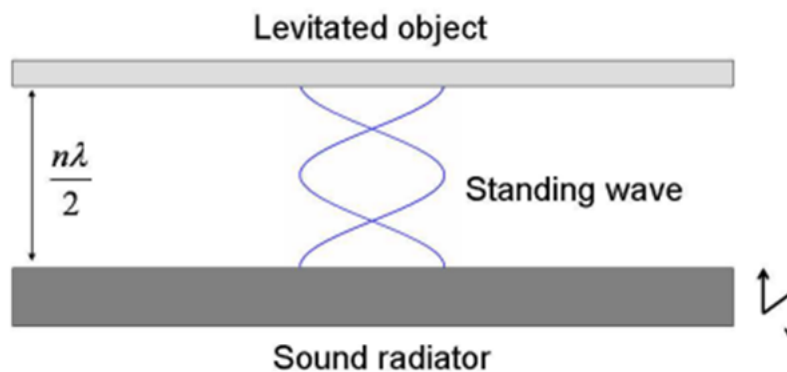


Figura 7. Diagrama de un sistema de levitación acústica.

*III-B5. Levitación óptica:* La levitación óptica emplea la presión de radiación para levitar los objetos, pero de poca masa, como se puede observar en la figura 8. Esta transferencia se realiza por medio de una fuerza en sentido contraria al objeto.



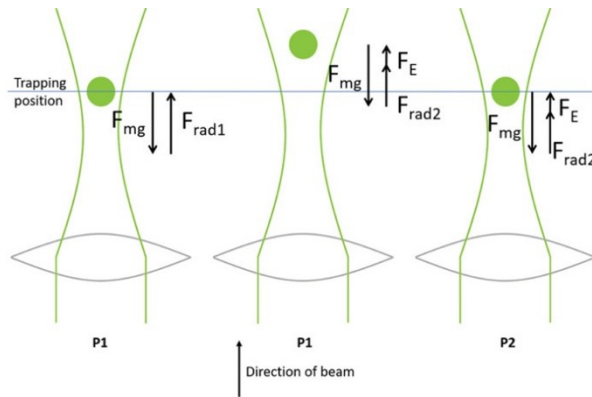


Figura 8. Diagrama de un sistema de levitación óptica.

**III-B6. Levitación electrostática:** Por último, tenemos la levitación electrostática, realizada mediante un objeto cargado eléctricamente, y oponiéndose a su gravedad un campo eléctrico, esta se emplea con campos eléctricos cambiantes, como se observa en la figura 9.

Se debe tener en cuenta que uno de los factores más importantes para que pueda existir la levitación es el campo magnético, el campo magnético no es más que un espacio en el cual contiene fenómenos magnéticos, o en otros términos es una magnitud vectorial en la cual va con la intensidad magnética. Estos siempre van a contar con un polo sur y un polo norte.

No se trata de la fuerza, el campo magnético habla de un espacio en el cual las fuerzas se ejercerán como resultado del movimiento de cargas eléctricas ya que en este actúan partículas, las cuales están cargadas de movimiento, de ahí se define su carácter vectorial.

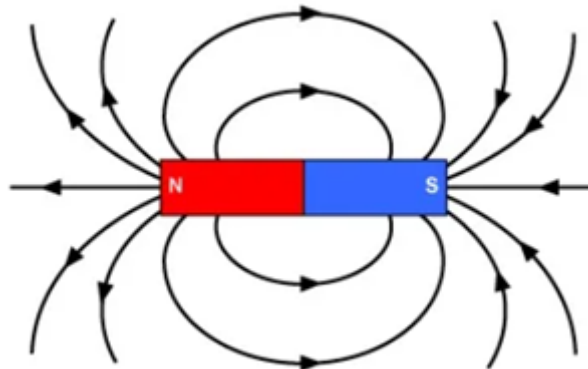


Figura 9. Campo Magnético.

### III-C. Leyes de Newton

Para llegar a realizar un análisis correcto del sistema hay que tener en claro los conceptos de la primera y segunda ley de Newton. La física estudia el movimiento y equilibrio de los cuerpos rígidos, a su vez tratan de analizar las causas que pueden producir el movimiento.

**III-C1. Primera ley de Newton:** La primera ley establece que “todos los cuerpos tienden a permanecer en reposo o MRU (movimiento lineal uniforme), a menos que sobre ellos actúen fuerzas externas”

Esta ley nos indica que un objeto permanecerá en reposo o en movimiento uniforme siempre que no este su estado, alterado por la acción de una fuerza externa. Es decir, se mantendrá en reposo el cuerpo si este se encontraba

en reposo, si permanecía en movimiento, el cuerpo seguirá en movimiento.

Se puede hacer una definición con el método de derivadas, en la cual habla sobre que la derivada de una función nos indica como varía dicha función, mediante la ausencia de las fuerzas externas, la velocidad permanece constante a lo largo del tiempo.

A lo que se llega es que no habrá variación de la velocidad con respecto al tiempo.

$$\sum F = 0 \Leftrightarrow \frac{dv}{dt} = 0 \quad (1)$$

Cabe destacar que los sistemas de referencia en reposo o con una velocidad constante son inerciales.

*III-C2. Segunda Ley de Newton:* Esta ley trata sobre el comportamiento de un cuerpo que ejercer alguna fuerza, que es muy diferente de 0. Esta fuerza provoca un cambio en el cuerpo por su velocidad.

El factor relacionado con la velocidad de la masa es:

$$f = \frac{d(m * v)}{dt} \quad (2)$$

En la cual:

$m * v =$  Movimiento Lineal

Con esta segunda ley, nos permite moldear el comportamiento de la esfera, tener en cuenta la aceleración y la fuerza resultantes.

#### *III-D. Sistema de levitación neumática tubo - esfera*

La levitación neumática es basado por el empuje de aire. Mediante un compresor o un ventilador, se llega a canalizar el aire en la zona donde se encuentra suspendido el objeto. A su vez un sensor en el sistema propuesto detectará la altura del objeto suspendido.

Debido a la construcción de una maqueta e implementación de diversos controladores, esto ayuda a que sea un proyecto didáctico. Se aplica en el sistema de levitación neumático, técnicas de control, a su vez se procede con los métodos experimentales, de esta manera se logra hallar la función de transferencia, la misma que es apta para el sistema que se propone con la única finalidad de lograr una correcta estabilización a través de un controlador.

El sistema se comporta en función a tres fuerzas, la fuerza de gravedad, la fuerza de arrastre y por último se tiene la fuerza de presión.

Para hacer levitar el propio proyecto, hay que tener en cuenta que el arrastre es suficiente para contrarrestar la fuerza de la gravedad y por tanto el gradiente de presión.

Hay que tomar en cuenta que se deberán realizar múltiples cálculos matemáticos como también saber las características que componen dicho sistema.

#### *III-E. Principio neumático del sistema de levitación neumática*

Los principios matemáticos dependerán de tres factores que vienen a ser la geometría y aerodinámica de la esfera que estaría dentro del tubo, la velocidad del fluido y por último la presión generada al interior del tubo.

*III-E1. Aerodinámica de la esfera:* La geometría de un cuerpo llega a influir demasiado en el comportamiento aerodinámico, por lo que se considera que la resistencia de una esfera vendría a ser media, como se puede observar en la figura 10.

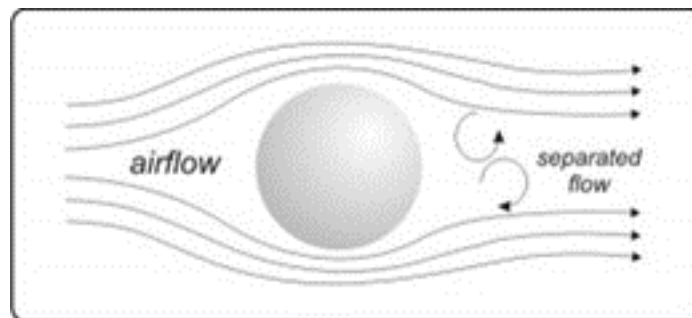


Figura 10. Resistencia aerodinámica

En esta sección se toma en cuenta la ecuación de Bernoulli, en la cual explica que la presión va disminuyendo a medida que encuentra un incremento en la velocidad. Lo cual se lo puede comprender con el principio de la energía siempre y cuando se asuma en una presión constante que la energía potencial gravitatoria y la energía cinética se mantengan constantes.

La fórmula es la siguiente:

$$Constante = \frac{1}{2}v^2 + \frac{P}{D} + g * h \quad (3)$$

Siendo:

$V =$  Velocidad del fluido

$P =$  Presión

$h =$  Altura

$g =$  Gravedad

$D =$  Densidad del fluido

Es muy importante esta fórmula siempre y cuando se presente en un estado estable. En la aerodinámica del comportamiento de la esfera dentro del tubo se analiza con el coeficiente de arrastre, este factor depende de la geometría del cuerpo.

La fórmula es la siguiente:

$$Cd = \frac{2fa}{p * v^2 * A} \quad (4)$$

Siendo:

$v =$  Velocidad del cuerpo respecto al fluido

$Fa =$  Fuerza de arrastre

$A =$  Área de proyección del objeto

$P =$  Densidad del objeto

Una vez que se obtiene las funciones se podrá despejar la fuerza de arrastre que genera el fluido de movimiento.

La fórmula es la siguiente:

$$f(a(t)) = \frac{1}{2} * v^2 * pCd * A \quad (5)$$

Se conoce el coeficiente de arrastre de la esfera:

Shape	Drag Coefficient	Shape	Drag Coefficient
Sphere	0.47	Long Cylinder	0.82
Half-sphere	0.42	Short Cylinder	1.15
Cone	0.50	Streamlined Body	0.04
Cube	1.05	Streamlined Half-body	0.09
Angled Cube	0.80		

Figura 11. Coeficiente de arrastre de la esfera.

### III-F. Actuador

El actuador es un dispositivo mecánico el cual nos permite proporcionar una fuerza, para mover o actuar sobre otro dispositivo mecánico.

Los actuadores son los elementos utilizados para accionar las válvulas de control de flujo utilizadas en los ventiladores.

Se presentan en dos tipos: regulación neumática y eléctrica.

Estos son componentes muy importantes porque suelen actuar en nombre de la sala de control industrial, y sus movimientos regulan el flujo de aire al mismo tiempo que ajustan varios parámetros que afectan la producción.

*III-F1. Ventilador Centrifugo:* El ventilador radial es un tipo de ventilador en el que el flujo de aire se mueve radialmente o perpendicularmente al eje del ventilador, como se puede observar en la figura 12. Esto es diferente a los ventiladores axiales domésticos que se usan en casas donde el flujo de aire es paralelo al eje del ventilador. Si bien los ventiladores axiales pueden transportar mucho aire, los ventiladores centrífugos son los más adecuados para aplicaciones que requieren una alta presión de aire. Por esta razón, los ventiladores centrífugos se utilizan mucho en las industrias.



Figura 12. Ventilador Centrifugo

*III-F2. Ventilador de presión estática:* La presión estática es la presión útil y necesaria para poder vencer la resistencia, se busca que el ventilador luche por empujar el aire en una dirección concreta, su medida es en mmH<sub>2</sub>O

(Milímetro por columna de agua) o Pa (Pascal)

Hay dos factores principales que determinan el rendimiento de un ventilador, sin importar el tipo de ventilador que sea: la presión estática y la cantidad de aire que puede mover. Aunque los dos conceptos generalmente están relacionados, podemos decir que en algún punto del diseño físico del ventilador están separados, ya que los ingenieros suelen usar cualquiera de los dos para mejorarlo, como se observa en la figura 13.

La presión estática solo puede entenderse en términos de energía porque si bien es el aire el que impulsa el ventilador, su propósito es proporcionar energía precisa en cada rotación de la hélice para compensar las pérdidas por cierre, fricción o turbulencia.

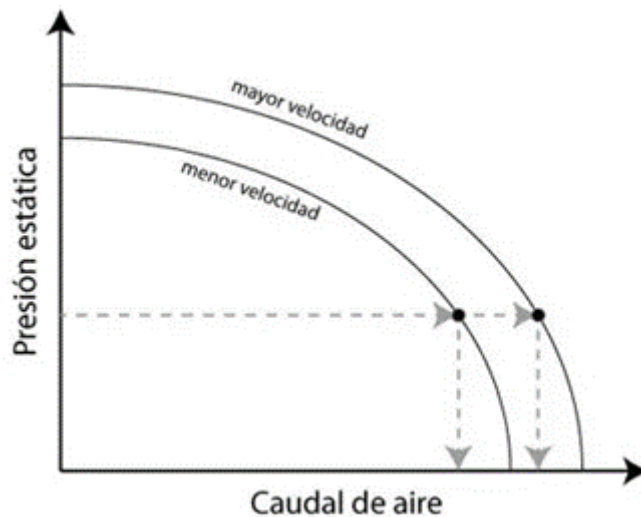


Figura 13. Ventilador, presión estática

*III-F3. Ventilador de flujo de aire:* Este es un concepto fundamental en todo sistema de ventilación ya que representa la cantidad de aire que se regenera en viviendas, locales, oficinas, industrias, etc. Cuanto mayor sea el flujo, mayor será el flujo de aire en estos espacios confinados.

El flujo de aire que pasa a través del conducto es proporcional a la sección transversal del conducto y la velocidad del aire que fluye a lo largo del conducto, como se muestra en la figura 14.

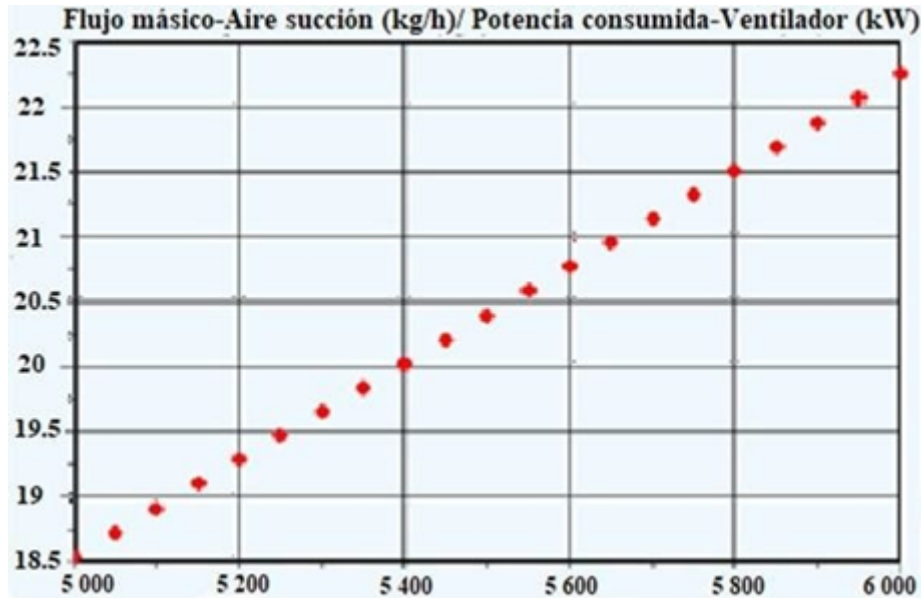


Figura 14. Flujo del aire

Ecuación

$$Q = S * V \tag{6}$$

Esto significa:

- $Q$  = Caudal
- $S$  = Sección de tubería
- $V$  = Velocidad del viento

Por lo tanto, en una tubería de sección transversal conocida, para medir la velocidad del flujo, es suficiente medir solo la velocidad del aire.

### III-G. Sensor

Son dispositivos capaces de detectar movimiento, ruido, presión, luz y todo tipo de factores externos y convertirlos en señales eléctricas.

*III-G1. Ultrasónico:* El sensor ultrasónico es un sensor de proximidad, como se puede observar en la figura 15. Es capaz de recibir y enviar señales de alta frecuencia, el radio de este sensor depende de un cono principal y varios conos cercanos, el ángulo aproximado del cono es de unos 5 grados.

[3]

Permite medir distancia mediante ultrasonido desde 2cm hasta 450 cm, es ideal a usar con Arduino o PLC.

El funcionamiento del sensor no se perjudica por la luz solar o material de color negro, aunque existen materiales blandos acústicamente como tela o lana en la cual pueden llegar a dificultar al momento de detectar. La distancia se puede calcular usando la siguiente fórmula. Cabe mencionar que la velocidad del sonido es de 340 m/s.

Mediante el cuadro 1, se puede observar las características de este sensor.

$$Distancia(m) = \frac{(TiempodepulsoECO * Velocidaddelsonido)}{2} \tag{7}$$



Figura 15. Sensor Ultrasonico

Voltaje de Operación	5V DC
Corriente de Reposo	2mA
Corriente de trabajo	15mA
Rango de medición	2cm a 450 cm
Precisión	3 mm
Angulo de apertura	15°
Frecuencia de ultrasonido	40Khz
Dimensiones	40*25*15 mm

Cuadro I

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### III-H. Controlador

Un controlador es un software el cual hace la función de controlar un dispositivo en un PC, su finalidad es actuar como un puente entre las aplicaciones y los dispositivos de esta manera se encargan de que ambos estén interactuando.

*III-H1. Arduino* : El Arduino es una plataforma electrónica de código abierta, está basada en software y hardware se lo utiliza frecuentemente para construir proyectos electrónicos, ya que consiste en una placa física con un software que se tendrá que instalar en la computadora a utilizar.

Las placas se utilizan normalmente para leer entradas, por tanto, convertirlas en salidas. Con la placa Arduino, se logra tener procesadores, modelos y variaciones diferentes. Este dispositivo se comunica con una computadora u otro dispositivo que realiza una determinada tarea. Mediante sensores conectados a la placa, la computadora puede realizar una determinada acción.

Mediante el cuadro II se puede observar las características del arduino, a su vez la figura 16 que es el arduino.

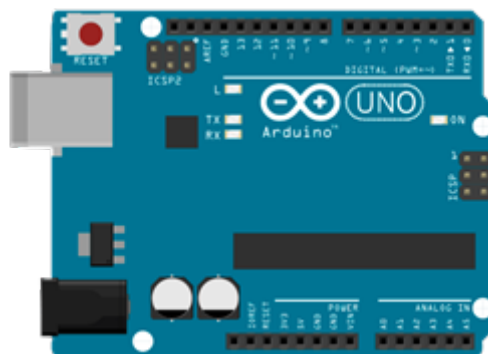


Figura 16. Arduino



Microcontrolador	ATmega 328
Voltaje de funcionamiento	5v
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 v
Voltaje de entrada (limite)	6-20 v
Pin de E/S digitales	14 (6 proporcionan salidas)
PWM Digital	6
Corriente DC	20mA
Longitud	68.6 mm
Anchura	53.4 mm
Peso	25 g

Cuadro II

CARACTERÍSTICAS DEL ARDUINO

*III-H2. Raspberry Pi:* La raspberry Pi es como un ordenador pequeño, la cual cuenta con una base o placa, sobre esta va montado un procesador, una memoria RAM y un chip gráfico. Contiene un software de código abierto en la cual es posible modificar por parte de un programador.

Este sistema fue desarrollado con la finalidad de tener una mejor enseñanza en los colegios ya que por su tamaño pequeño, se puede guardar un poder de cómputo en un tamaño super reducido. El más popular es el raspberry Pi3 Modelo B, este fue el reemplazo del Raspberry Pi2 en el 2016, como se puede observar en la figura 17.

Mediante el cuadro III, podemos ver las características del Raspberry.

Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837
1GB de RAM
BCM43438 LAN inalámbrica y Bluetooth low energy
100 base ethernet
4 puertos USB 2
Salida de 4 polos estéreo y puerto de video compuesto
HDMI de tamaño completo

Cuadro III

CARACTERÍSTICAS DEL RASPBERRY

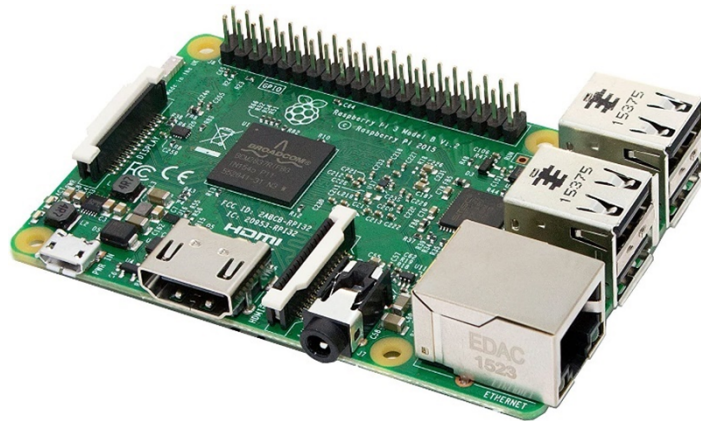


Figura 17. Raspberry Pi3

*III-H3. Microcontroladores PIC:* Los PIC son una familia de microcontroladores, estos son dispositivos electrónicos programables en la cual pueden emplearse como elementos de procesamiento en sistemas electrónicos. Estos pueden programarse por medio de diagramas esquemáticos.

Existen una gama de microcontroladores y cada familia lo maneja de una forma diferente. Cada procesador cuenta con sus respectivas instrucciones, si un grupo de microcontroladores comparten el mismo repertorio de

instrucciones, pero los elementos del grupo difieren en recursos, costo y rendimientos.

El trabajo en CPU tiene tres principales tareas.

- Captura de una instrucción.
- Decodificación de esta.
- Ejecución

*III-H4. Entradas/Salidas digitales:* Los microcontroladores incluyen puertos de entrada/salidas digitales para detectar e intercambiar datos con el exterior, muy distinto a un puerto serie, en la cual se transfiere un bit a la vez. Todos los microcontroladores contienen puertos digitales, aunque el número puede variar por el tipo de dispositivo a usar.

*III-H5. Entradas/Salidas Analógicas:* Para las entradas analógicas suelen incorporar convertidores analógicos a digital, ya que son muy útiles al momento de obtener información así mismo nos ayuda a monitorear parámetros como temperatura, velocidad, humedad. No sucede lo mismo en las salidas.



Figura 18. Microcontrolador PIC

### III-I. PLC

Un Procesador Lógico Programable o simplemente conocido como PLC, ayuda a automatizar procesos electromecánicos. Esta es una herramienta que utiliza memoria programable para registrar algunas funciones como operaciones lógicas, secuencias de acción, contadores, etc. A su vez ayuda a realizar operaciones en tiempo real, ya que tienen menor tiempo de reacción.

Un PLC opera en ciclos, cada ciclo comienza con una tarea de mantenimiento interno como revisar la memoria, de ahí continúa actualizando las entradas, pasando a ser binarias o digitales, estas entradas son enviadas a la CPU y almacenadas en la memoria, durante la ejecución del programa, nuevos Se generan señales de salida, y finalmente damos salidas actualizadas. Esta señal se convierte en la señal apropiada para la señal del actuador.

#### III-II. Partes de un PLC:

- Módulos de entradas y salidas
- Unidad de Procesamiento Central (CPU)
- Fuente de alimentación
- Unidad de programación

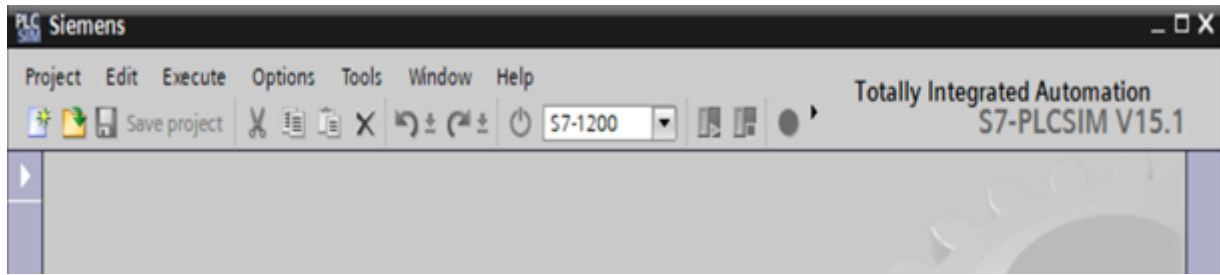


Figura 19. Programa de PLC

- Módulo de memorias

### III-12. Características generales de un PLC:

- Reciben y ejecutan ordenes continuas por tiempos prolongados.
- Se puede conectar a un sistema supervisorio que facilita el interfaz y monitoreo del proceso.
- Interfaz que permie el uso y el dialogo con los operarios.
- Permite establecer comunicación con los diferentes equipos en tiempo real.



Figura 20. PLC

*III-13. Módulo de entradas analógicas:* Los módulos son tarjetas electrónicas que tienen como finalidad digitalizar dichas señales analógicas con el fin de ser procesadas por la CPU, estas pueden ser corrientes, presiones, magnitudes de temperatura.

Cabe recalcar que cualquier magnitud que se desee procesar a través de los módulos deberá estar representada por una señal de tensión, corriente y resistencia.

Señal de corriente: 0-20mA, 4-20mA,  $\pm 10$  mA

Señal de tensión: 0-10V, 0-5V,  $\pm 10$  V

*III-I4. Módulo de salidas analógicas:* Los módulos de salida son considerados un proceso inverso al módulo de entradas, son usados con el fin de transmitir hacia los actuadores analógicos señales de tensión o corriente que varían continuamente.

Señal de corriente: 0-20mA, 4-20mA,  $\pm 20$  mA

Señal de tensión: 0-10V,  $\pm 10$  V

### *III-J. Teoría de control*

El sistema de control, como su nombre lo indica es el encargado de controlar y monitorizar cada proceso, esto se caracteriza por tener distintos elementos, lo cual llega a permitir la funcionalidad del sistema, con la finalidad de conseguir a través de la operación del control de variables un dominio solo las variables de salida.

[8]  
La teoría de control es un campo de la ingeniería y las matemáticas, en el cual se observa el comportamiento de los sistemas dinámicos, este forma parte esencial en los procesos industriales y de manufactura. Para esto se tienen distintas definiciones:

1. Variable Controlada – Como su nombre lo indica esta variable se puede controlar y a su vez ver la condición que se mide. Edad de Piedra
2. Variable Manipulada – Condición que se modifica para afectar el valor de la variable controlada.
3. Sistema – Conjunto de componentes que se necesitan para llegar al objetivo determinado.
4. Planta – Busca la ejecución de la operación, es el conjunto de partes.
5. Proceso – Conduce al resultado propuesto siguiendo los pasos de la operación a controlar.
6. Perturbación – Señal que tiende a afectar de forma negativa el valor de la salida de un sistema.

La ingeniería de control es un sistema compuesto por un grupo de elementos, en la cual busca ejercer control sobre otros sistemas tiene como fin lograr un nivel deseado para un sistema frente a incertidumbres en un proceso dado, un sistema de control influye sobre la salida de un sistema controlado para así mantener o llegar a un valor deseado.

### *III-K. Diagrama de bloques*

Los diagramas de bloques ayudan en el desarrollo de esquemas para una mejor comprensión en las operaciones de control de dicho sistema, como se sabe un sistema de control este compuesto de diversos mecanismos como; resistencias, inductancias, amplificadores, controladores, motores, etc. Un sistema se llega a representar con un bloque de entrada, uno de salida y una función de transferencia. Lo que se desea o debe imponer al comportamiento de un proceso son las exigencias o especificaciones de este, estas exigencias se deben llegar a cumplir con la respuesta al final del sistema controlado, un sistema controlado cumple las siguientes especificaciones.

- Error de seguimiento en velocidad menor o igual a 0.1
- Tiempo de subida menor o igual a 1s.

- Estabilidad del sistema.
- Sobre oscilación menor o igual al 30 % en la respuesta a escalón.

*III-K1. Sistema de lazo abierto:* En la salida no hay una retroalimentación hacia el controlador para que se pueda ajustar la acción de control, es decir permite producir el valor de salida requerido.

Este sistema se lo caracteriza por:

- Precisión en la cual depende la previa calibración de un sistema.
- La salida no se llega a comparar con la entrada.
- Sencillo y de fácil mantenimiento.



Figura 21. Sistema de control en lazo abierto

*III-K2. Sistema de lazo cerrado:* La acción está en función de la señal de salida, la salida se desea controlar para comparar con la entrada, y así generar una falla que recibe el controlador para decidir qué acción debe tomar sobre dicho proceso.

Se caracteriza por:

- Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.
- Ser complejos y amplios en cantidad de parámetros.

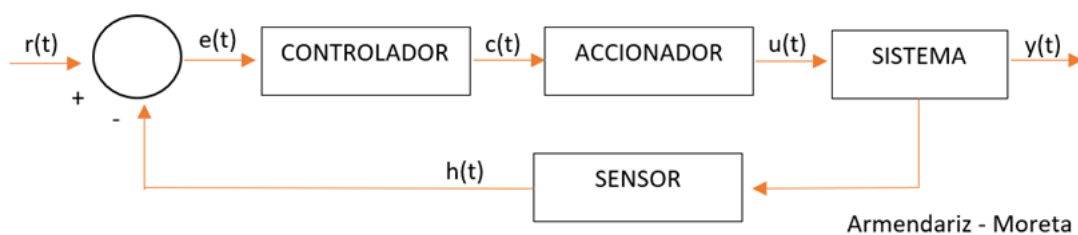


Figura 22. Sistema de control en lazo cerrado

### III-L. Función de transferencia

Para conocer el resultado de un sistema de función mediante el tiempo, se aplican en la entrada del elemento señales ya conocidas en la cual se procedería a evaluar la respuesta que aparece en su salida, por ello se obtiene la respuesta transitoria. Sin embargo, es mucho mejor estudiar esta respuesta en términos matemáticos mediante la

llamada “Función de transferencia”.

La función de transferencia es un modelo matemático lineal que ayuda en el comportamiento tanto estacionario como dinámico de un sistema proporcionado. Para llegar a la simulación del comportamiento real se debe conocer el proceso.

Es un proceso matemático lineal que ayuda a ver el comportamiento estacionario o dinámico de cualquier sistema, se debe conocer el proceso para llegar a una simulación del comportamiento real y para esto es necesario contar con una ecuación matemática.

A su vez es una herramienta, la cual permite analizar el comportamiento de un proceso, ya sea industrial o académico. Para poder determinar una función de transferencia esta es definida por el cociente entre la transformada Laplace de la señal de salida y la señal de entrada.

[2]

Mediante la función de transferencia se llega a conocer:

- La respuesta del sistema ante una señal de entrada determinada.
- La estabilidad del sistema (Si la respuesta del sistema se va a mantener dentro de unos límites determinados)
- Parámetros que se puedan aplicar al sistema para que éste se mantenga estable.

*III-L1. Características de la función de transferencia:* La función de transferencia depende de las propiedades físicas de los componentes del sistema, por lo tanto, independiente de las entradas aplicadas.

- La función de transferencia viene dada como el cociente de dos polinomios en la variable compleja de Laplace.
- El grado del denominador de la función de transferencia es el orden del sistema.
- El polinomio del denominador de la función de transferencia.

#### IV. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se muestra el diseño de los componentes del sistema utilizado en el proyecto, en la cual se indicará el funcionamiento del sistema.

##### IV-A. Diseños

*IV-A1. Diseño del sistema:* La maqueta está constituida por un ventilador, el cual debe generar el suficiente flujo de aire al interior del tubo acrílico, esto hará que la esfera se eleve, la elevación se dará por medio del sensor ultrasónico.

Como se observa en la figura 23, el sensor se posiciona en la parte superior del sistema con la finalidad de que este no obstruya el flujo del aire a través del tubo, ya que al estar en esa ubicación podría ocasionar turbulencias y por consiguiente lecturas erróneas.

Se debe realizar una operación a la medida proporcionada por el sensor, para así poder obtener el valor de la altura de la esfera.

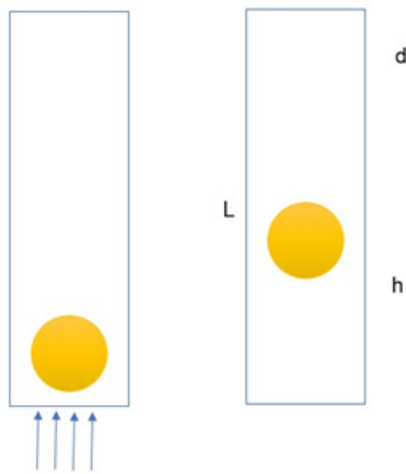


Figura 23. Diseño del sistema de levitación

*IV-A2. Diseño del circuito eléctrico:* El diagrama eléctrico como se muestra en la figura 24 representa la conexión del motor DC con la placa Arduino para efectuar la comunicación del suministro de potencia que lo establece el PLC.

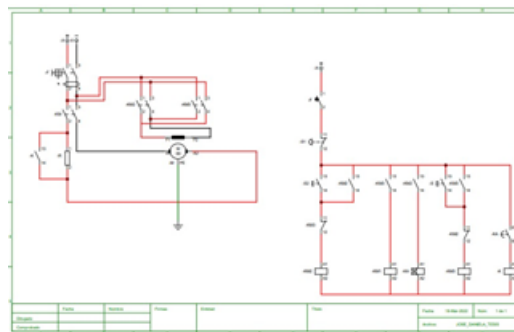


Figura 24. Diseño del sistema de levitación

IV-A3. *Diseño del controlador:* En la figura 25, se puede ver el funcionamiento del sistema, se empieza con la lectura del sensor ultrasónico, mismo que está conectado al Arduino mediante el pin Echo y trigger, este lee la información y la envía al filtro pasabajo en señal PWM, en un rango de 0 a 5v, el filtro se encarga de modificar esta señal para transformarla en una escala entre 4.5V a 11.5V, mismo que va al PLC y entra por el módulo analógico.

El control PID se encarga de recibirla para luego escalarla desde 5 cm a 55 cm, mismo que los escala a nivel n porcentaje entre 0 y 100 % en donde 0 % es 5 cm y 100 % es 55 cm, entonces a partir de aquí el control envía una señal analógica de vuelta hacia el arduino para posteriormente acelerar o desacelerar el ventilador mediante el pin PWM del mismo.

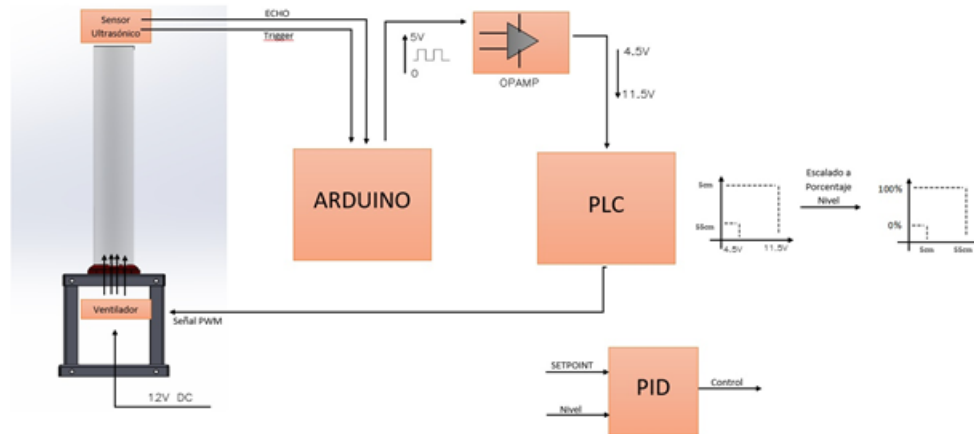


Figura 25. Funcionamiento del sistema

IV-A4. *Función de transferencia:* Obtención de función de transferencia a través de matlab

Como se observa en la figura 26 tenemos el código en lazo abierto a través del programa TIA PORTAL, en esta podemos visualizar el funcionamiento en lazo abierto del levitador.

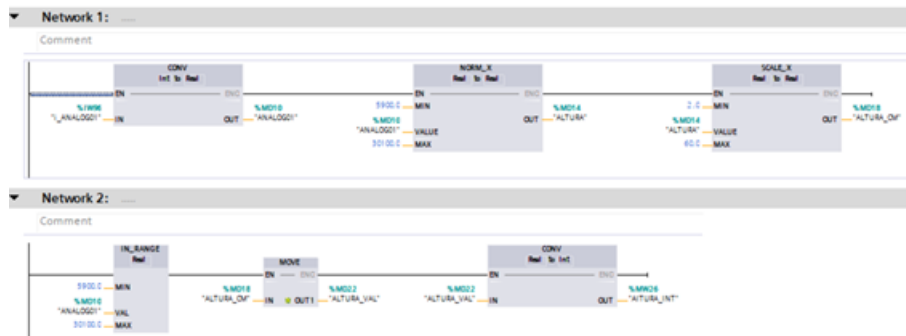


Figura 26. Programación en TIA PORTAL

Como se observa en la figura 27 y 28, usando el DataLogger del PLC, sw permite la adquisición de los datos a 0,1 s de la tasa de muestreo, por consiguiente se logra la obtención de 103862 datos.



Name ^	Value
ans	[]
indata	103862x1 do...
Kg	0.9411
out	1x1 Simulatio...
outdata	103862x1 do...
tout	0
Tp1	10.3930
Tp2	10.4520
u	103862x2 do...
y	103862x2 do...

Figura 27. Registro de datos

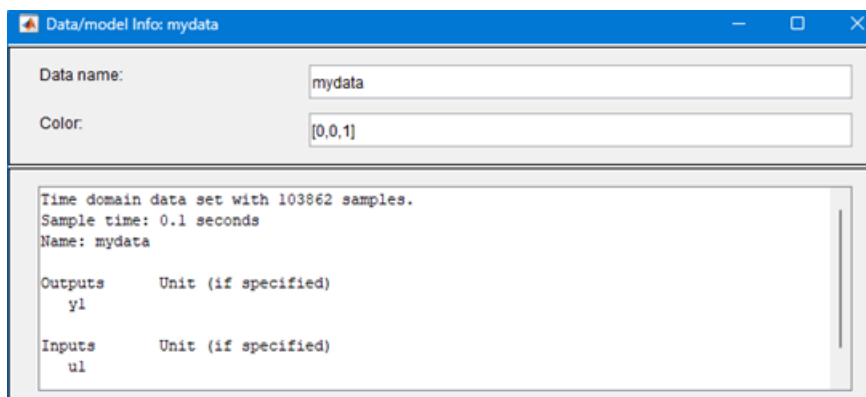


Figura 28. Registro de datos

En la figura 29 se muestra lo requerido para la obtención de la ecuación mediante el system identification, en donde se selecciona los parametros a usar y a su vez cuales van hacer su segmento de validación y su segmento de identificación.

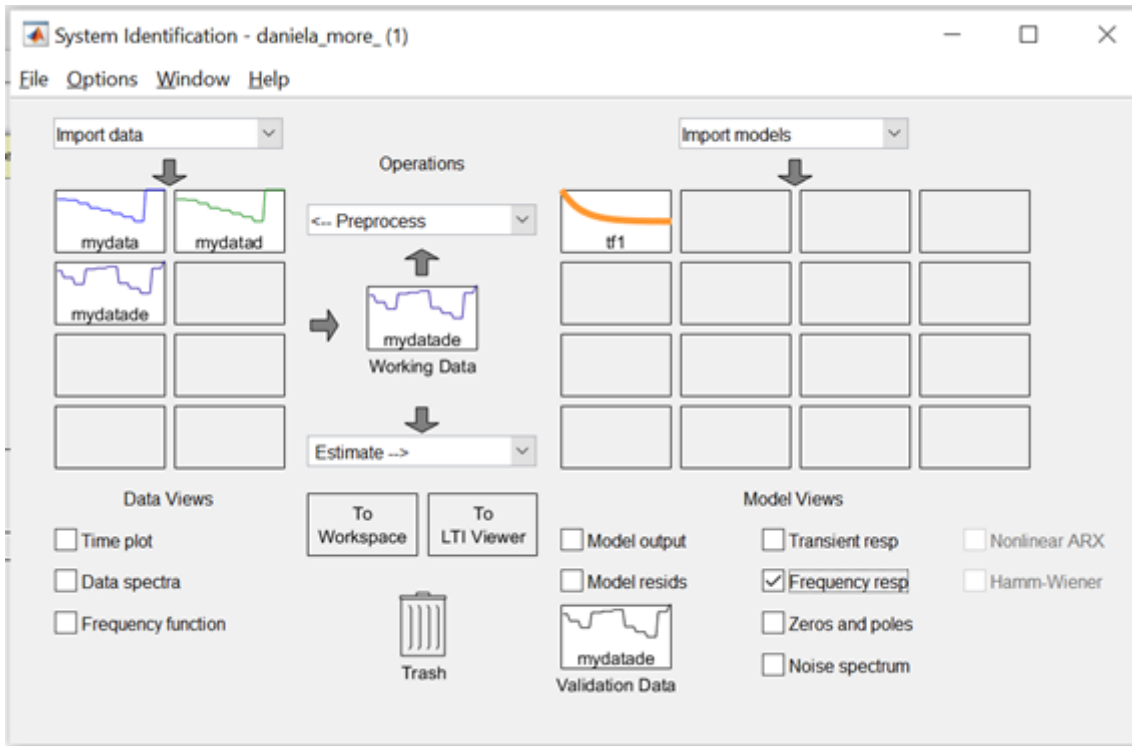


Figura 29. System Identification

En la figura 30, una vez ingresados los datos al system identification, éste se encarga de realizar un estimado, para así obtener la función de transferencia del sistema.

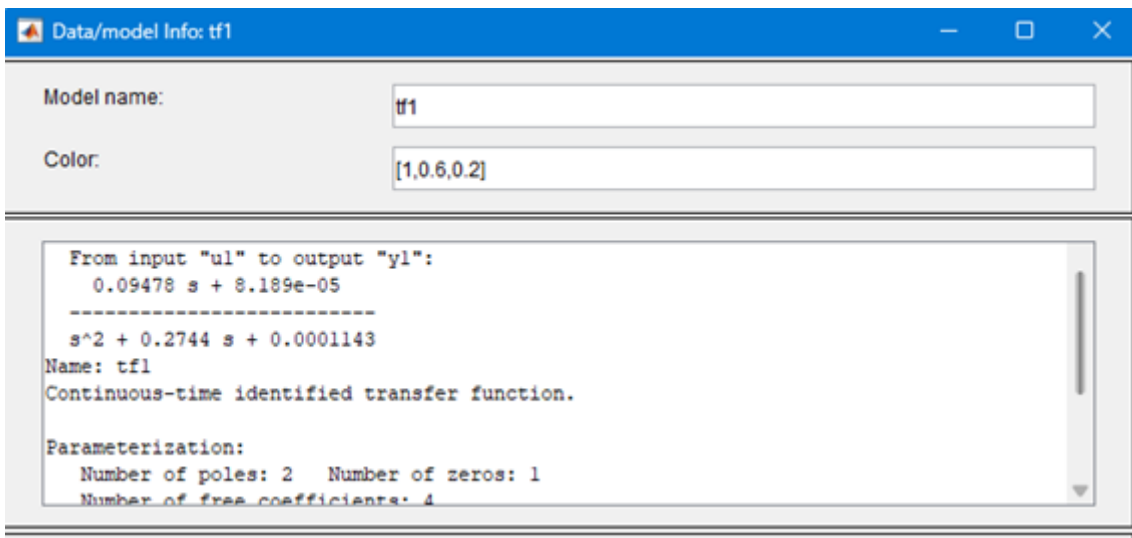


Figura 30. Ecuación

Como se muestra en la figura 31 se puede llegar a realizar la función de transferencia con su respectiva ecuación a través de Simulink.

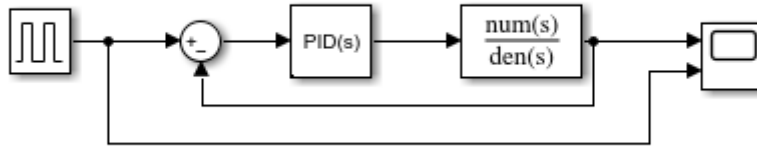


Figura 31. Función de transferencia

Como se muestra en la figura 32 se puede ver los parámetros que se adjuntan, siguiendo la función dada.

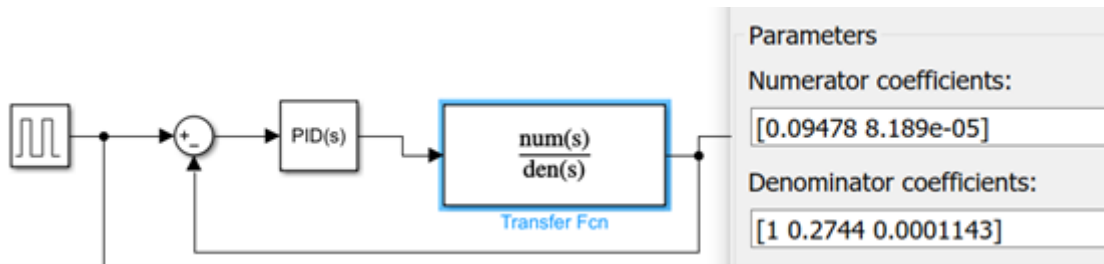


Figura 32. Función de transferencia, parámetros

En la figura 33 se muestra la gráfica obtenida a partir de la ecuación anterior donde podemos notar el inicio de la esfera y como va reaccionando.

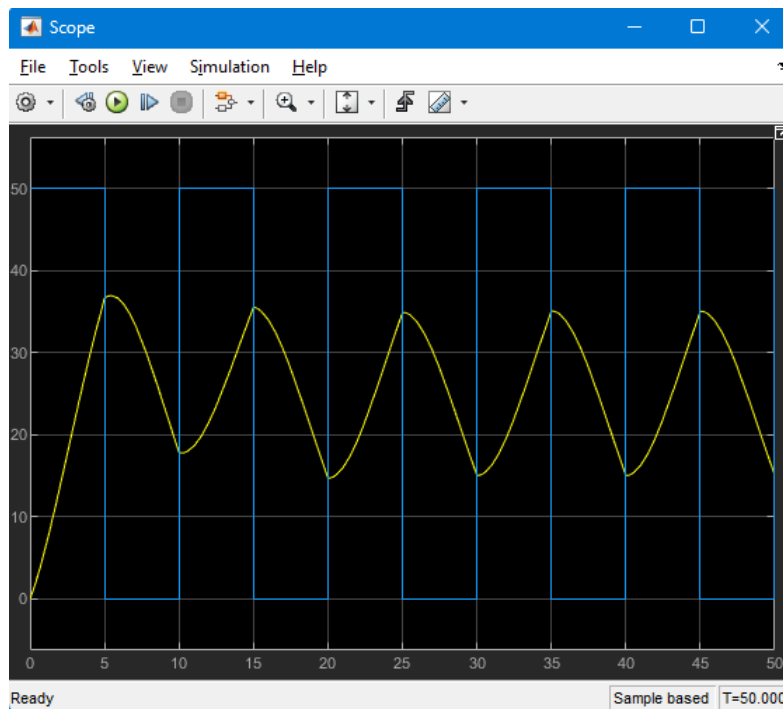


Figura 33. Gráfica de la función de transferencia

En la figura 34, se puede notar que se trabaja en un modelo de primer orden, pero con un polo y un zero real.

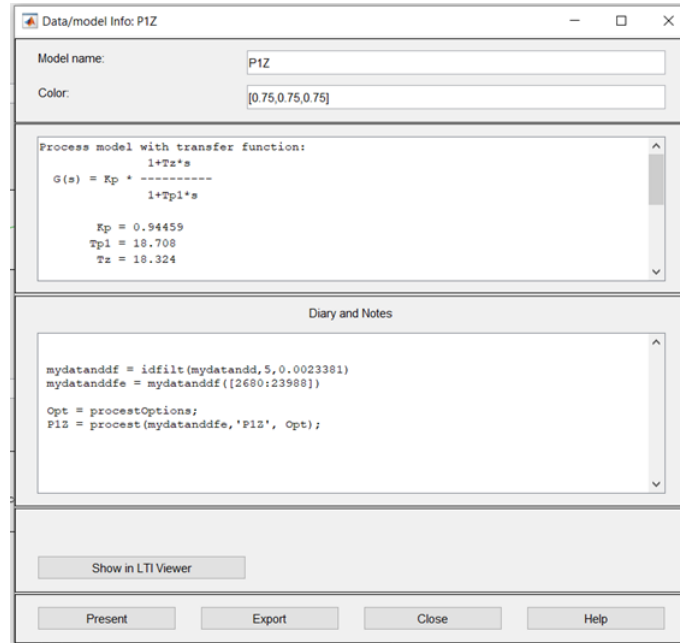


Figura 34. Modelo de primero orden con un polo y un zero real

En la figura 35 y 36 se puede notar el modelo de primer orden, con un polo, como se específico en la figura anterior, está figura da un mejor porcentaje de ajuste.

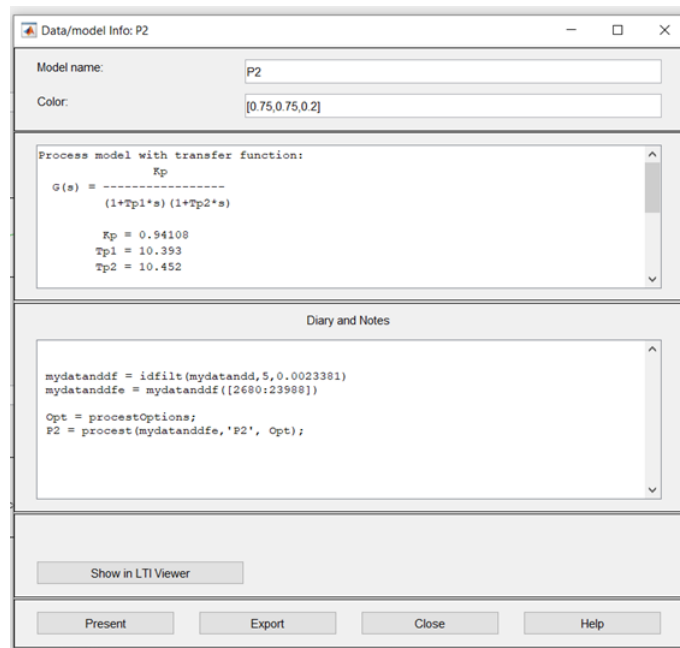


Figura 35. Función de transferencia 4

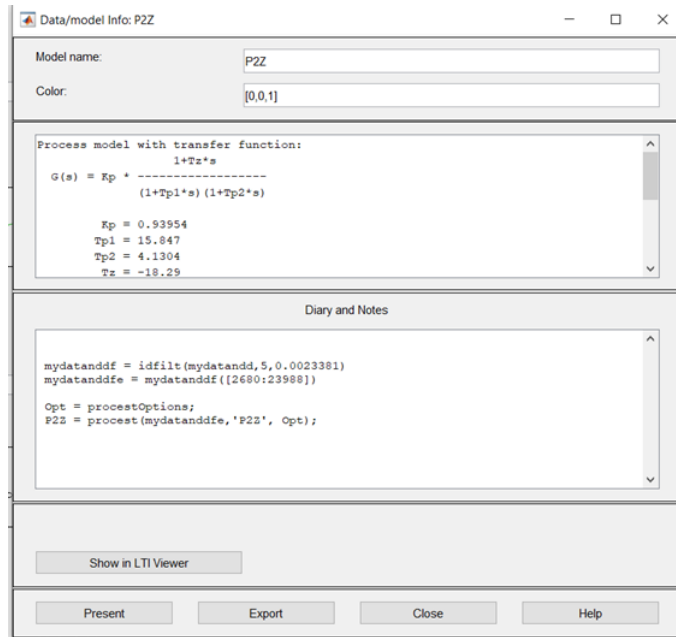


Figura 36. Función de transferencia 5

En la figura 37 se puede notar el modelo de primer orden, con un polo y un zero real.

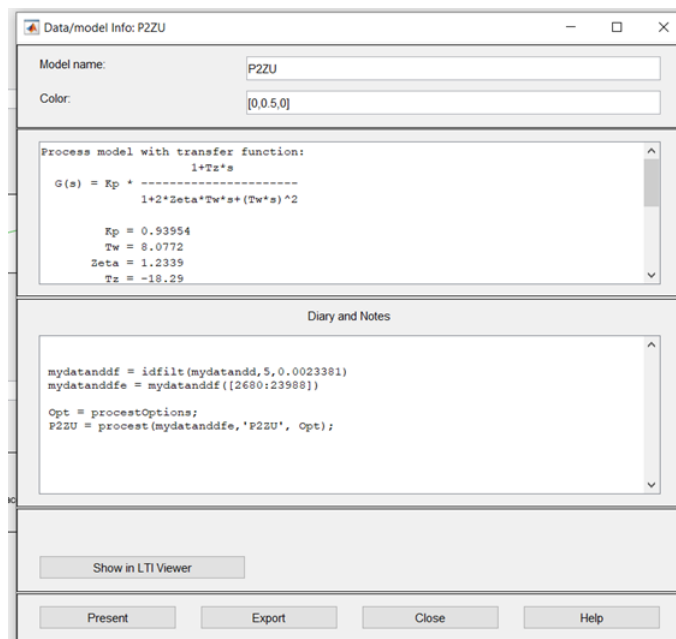


Figura 37. Función de transferencia 6

IV-A5. *Diagrama de bloque del sistema de control:* En la figura 38, se puede apreciar los componentes y como se conectan, siguiendo el análisis se puede determinar que el sensor ultrasónico empieza obteniendo datos y lecturas que son enviadas al arduino, para posteriormente ser enviadas al PLC, el mismo que determina si acelerar o desacelerar mediante PWM el motor, a su vez se tiene un amplificador de potencia, el cual será encargado de aumentar la corriente en la señal de entrada.

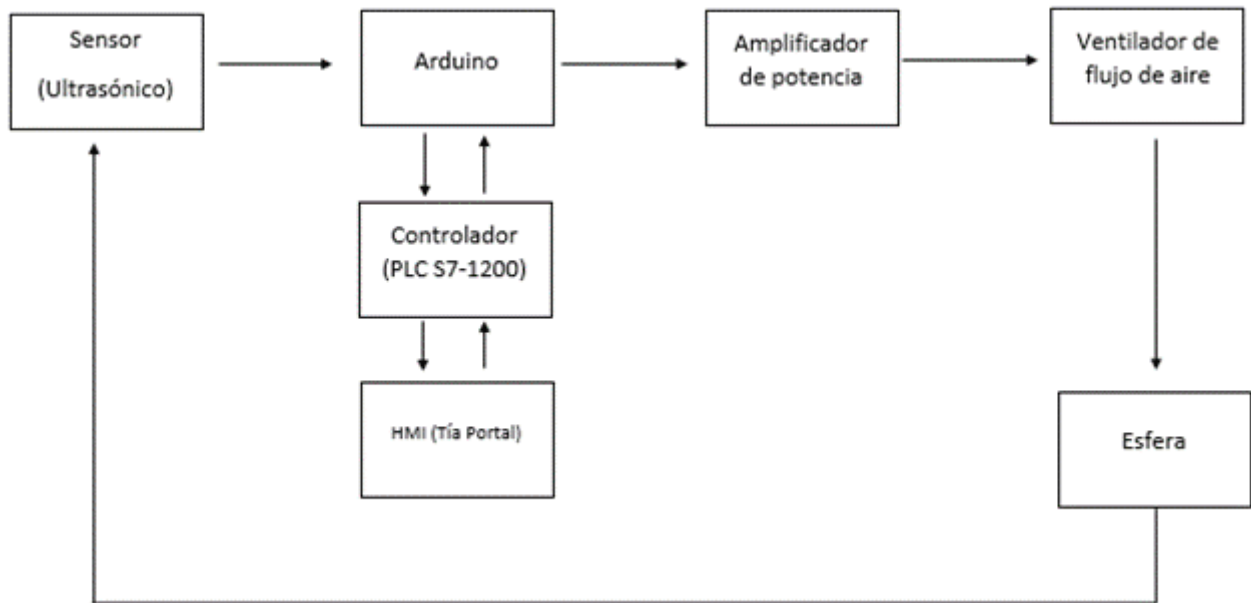


Figura 38. Diagrama de componentes

IV-A6. *Diseño Electrónico:* En la figura 39 y 40, se puede observar los diferentes pines de conexión entre el arduino, PLC y los filtros utilizados. En el cual se demuestra la conexión eléctrica y electrónica de la placa PCB.

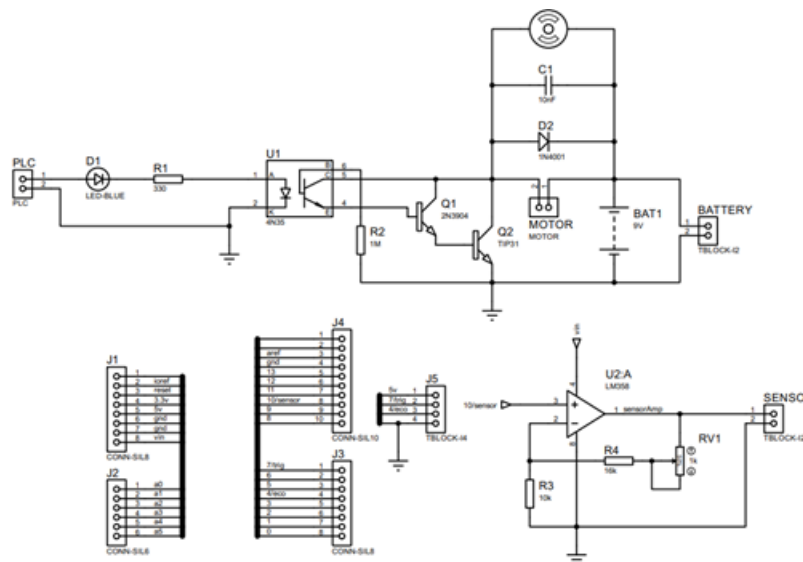


Figura 39. Proteus

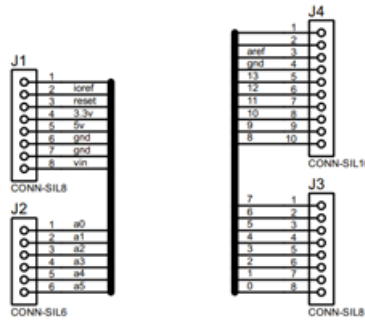


Figura 40. Proteus

*IV-A7. Diseño de la estructura del prototipo:* A través de distintas lecturas se crea el siguiente prototipo mostrado en la figura 41, mediante el software solidwork, se utiliza como material el acero galvanizado en hojas de 1.2 mm, que posteriormente se reemplaza por acero inoxidable de 2mm de espesor, por motivo de mayor robustez.

La estructura de acero inoxidable está compuesta por dos bases cuadradas, una superior de 25.5cm x 26cm y otra inferior de 27,5cm y 26,5cm, y cuatro perfiles de 25 cm de alto. El tubo de acrílico es de 60 cm de alto y 10 cm de diámetro con 3 mm de grosor.

En la parte de anexos, apendice I, seccion de prototipos, se puede encontrar los formatos con las respectivas acotaciones específicas del proyecto a implementar.

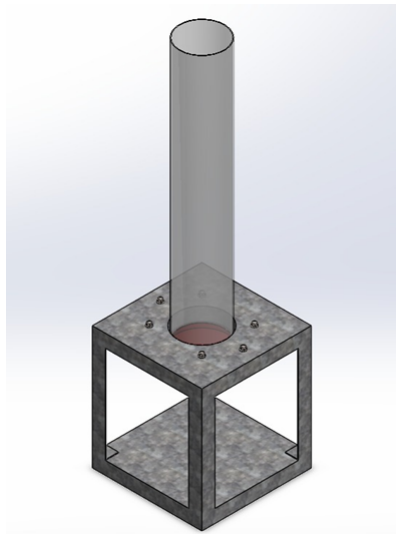


Figura 41. Maqueta de levitación neumática

#### *IV-B. Implementación*

*IV-B1. Construcción del prototipo de la base:* Se presenta la base, como se observa en la figura 42, está base es la encargada de concentrar el flujo de aire proveniente del ventilador, para así poder lograr la presión necesaria del aire, lo cual permite elevar el objeto a levitar en el tubo de acrilico.



Figura 42. Prototipo inicial de la base

*IV-B2. Tubo:* Se presenta un tubo acrílico transparente, como se observa en la figura 43, este permite el flujo controlado del aire del objeto a levitar, la medida del tubo es de 60 cm de alto, 10 cm de diámetro y 3 mm de grosor.



Figura 43. Tubo de acrílico

*IV-B3. Objeto por levitar:* A continuación, se presenta la esfera de espumafon, esta necesita ser liviana y ligeramente flexible como se observa en la figura 44, es de 80 cm de diámetro, dejando el espacio suficiente para un correcto flujo de aire entre la misma y el tubo de acrílico, a su vez tiene la capacidad de deslizarse por los laterales del tubo sin atascarse, su masa es de 3 gramos.





Figura 44. Esfera, objeto por levitar

*IV-B4. Ventilador:* Se presenta un ventilador, como se observa en la figura 45, este ayudará a generar el flujo de aire requerido para elevar la pieza (esfera) dentro del tubo, el mismo es compatible para control PWM puesto que puede variar su velocidad de giro entre 600 y 1800 rpm a 0.37 amp y con un voltaje de 12V DC.



Figura 45. Ventilador

*IV-B5. Sensor:* En la figura 46, se observa el sensor ultrásónico, el mismo que analiza el funcionamiento y posición de la esfera del levitador neumático, llega a registrar una magnitud y envía la información a través de una señal al arduino para luego ser enviada al PLC.

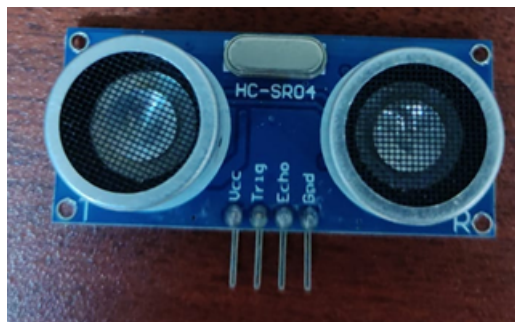


Figura 46. Sensor ultrásónico

*IV-B6. Fuente de alimentación:* La alimentación del voltaje del sensor y del ventilador viene dada por una fuente como se observa en la figura 47, las características dadas a utilizar son AC INPUT 110/220V+15 %



Figura 47. Fuente de alimentación

*IV-B7. PLC S7 1200:* El PLC como se observa en la figura 48, cuenta con un módulo de expansión que a su vez tiene 4 entradas analógicas y 2 de salidas para de esta manera recibir la información del sensor ultrásónico a través del arduino, por consiguiente obtener dichos datos, realiza el control y reenviar otra señal hacia el arduino para así lograr levitar la esfera.



Figura 48. PLC Siemens

#### *IV-C. Implementación del sistema de control*

*IV-C1. Programación en Arduino:* En la programación arduino se puede apreciar diferentes datos como la ubicaciones de los pines utilizados por el sensor ultrasónico y el motor ventilador de 12V. El ventilador trabaja con una frecuencia de 25KHz en cambio la salida default de los pines PWM es de apenas 500Hz, por ello se utilizan los registros del microcontrolador de arduino uno llamados ATMEGA 328P y de esta manera se genera los 25KHz necesarios.

Se tiene la salida del sensor ultrasonido Se lee el valor del duty cycle que debemos asignar en el pwm proveniente del arduino. Se usa el pin A1, que lee valores analogicos, es un registro de 10 bits, por lo que va de 0 a 1024 que representa la señal de 0 a 5v.

Se usa el map para escalar ese valor 0 a 100, que representará el porcentaje del duty cycle de esta forma la información circula hacia el filtro pasa-bajo y luego al PLC, el cual se encargará de leer estos datos como es el tiempo que es escalado a una distancia en cm. Se puede ver también el control PWM en donde 0 es Off y 255 su velocidad máxima.

En la figura 49, se puede apreciar la programación, se establece que el pin 4 y 7 son los pines digitales Echo y Trigger respectivamente del sensor ultrasonido los mismos que se conectan al 8 y 7 en el Arduino. A su vez se configura mediante software la frecuencia PWM para el funcionamiento del ventilador DC, puesto que funciona a 25 khz.

```

levitador Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
levitador
/* ULTRASONIDO HC SR 04
vcc rojo
trigger azul
echo cafe
gnd verde*/

/* Trigger del sensor al pin 7 del arduino
- Echo del sensor al pin 8 del arduino*/

int pinSensor= A1; //CONTROL PWM DEL PLC
int valorSensor=0;
//int motor1pin1 = 2; // AL IN1 DEL PUENTE H
//int motor1pin2 = 3; // AL IN2 DEL PUENTE H
int pwm= 9; // AL PWM DEL VENTILADOR
float topwm;
int distancia = 0;
int salidau = 10; //SALIDA HACIA EL FILTRO PASABAJOS Y AL PLC

const int Trigger = 7; //Pin digital 7 para el Trigger del sensor
const int Echo = 4; //Pin digital 8 para el echo del sensor

//configure Timer 1 (pins 9,10) to output 25kHz PWM
void setupTimer1(){
//Set PWM frequency to about 25khz on pins 9,10 (timer 1 mode 10, no prescale, count to 320)
TCCR1A = (1 << COM1A1) | (1 << COM1B1) | (1 << WGM11);
TCCR1B = (1 << CS10) | (1 << WGM13);
ICR1 = 320;
OCR1A = 0;
OCR1B = 0;
}

//equivalent of analogWrite on pin 9
void setPWMA(float f){
f=f<0?0:f>1?1:f;
OCR1A = (uint16_t)(320*f);
}

void setup() {
Serial.begin(9600);
setupTimer1();

//MOTOR
pinMode(motor1pin1, OUTPUT);
pinMode(motor1pin2, OUTPUT);
pinMode(pwm, OUTPUT);
//pinMode(salidau,OUTPUT);

```

Figura 49. Programación en Arduino

En la figura 50, se escribe los parámetros para el print en el monitor serie del arduino, para con esto detallar la información recibida por el sensor ultrasonido. Se establece que entre lecturas se hace una pausa de 100 ms.

```

//SENSOR
pinMode(Triquer, OUTPUT); //pin como salida
pinMode(Echo, INPUT); //pin como entrada
digitalWrite(Triquer, LOW); //Inicializamos el pin con 0
}

void loop() {

  int t; //timepo que demora en llegar el eco
  int d; //distancia en centimetros

  digitalWrite(Triquer, HIGH);
  delayMicroseconds(10); //Enviamos un pulso de 10us
  digitalWrite(Triquer, LOW);

  t = pulseIn(Echo, HIGH); //obtenemos el ancho del pulso
  d = t/59.0; //escalamos el tiempo a una distancia en cm

  distancia = map(d,0,60,0,255);
  analogWrite(salidau,distancia);
  Serial.print("Distancia: ");
  Serial.print(d); //Enviamos serialmente el valor de la distancia
  Serial.print("cm");
  Serial.println();
  //Serial.print("Distancia pwm: ");
  //Serial.println(distancia);
  delay(1000); //Hacemos una pausa de 100ms
  valorSensor= analogRead(pinSensor);
  //Serial.print("Lectura Analógica: ");
  //Serial.println(valorSensor);
  //topmw = map(valorSensor,376,983,0,255);
  topmw = map(valorSensor,0.0,1024.0,0.0,100.0);
  topmw = topmw/100;
  Serial.print("PWM: ");
  Serial.println(topmw,2);
  Serial.println(".");

  //Controlling speed (0 = off and 255 = max speed):
  //analogWrite(pwm,topmw ); //ENA pin)
  setPWMLA(topmw);
  //setPWMLA(0.0f);
  //digitalWrite(motor1pin1, HIGH);
  //digitalWrite(motor1pin2, LOW);
  delay(500);
}

```

Figura 50. Programacion en Arduino 2

IV-C2. Programación en PLC: Bloque PID Compact, este es el bloque controlador del sistema levitador neumático, como se muestra en la figura 51 y 52 está configurada la constante proporcional, integral y derivativa del sistema de control, en este bloque se hace "Set Point." en la ubicación que desea el usuario, y el sistema de control va a determinar que acción debe realizar para poder cumplir este setpoint.

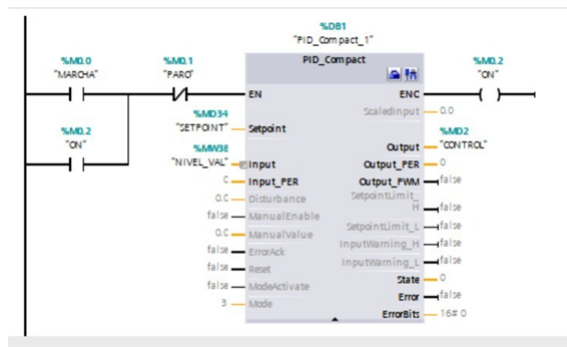


Figura 51. Bloque PID Compact

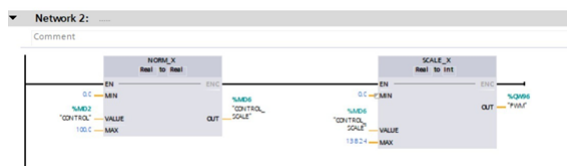


Figura 52. Escalado, señal de control

Esta sección de bloques muestra el escalado de la señal de control de 0-100 % a un rango de voltaje de 0-5 Voltios, como se muestra en la figura 53.

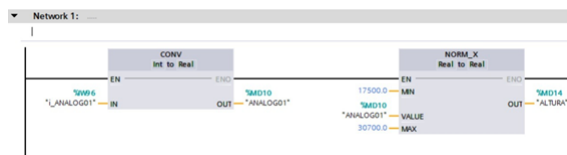


Figura 53. Señal de entrada analógica

En este bloque se demuestra que la señal de entrada analógica que proviene del filtro pasa-bajo 11 a 5V a un rango de 5 a 55 cm, como se muestra en la figura 54.

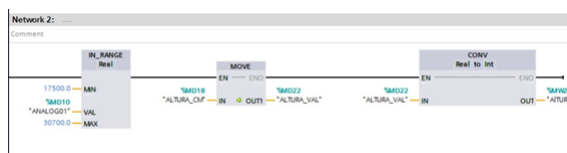


Figura 54. Bloque In Range

El bloque InRange se utiliza para validar los rangos de voltaje que provienen del filtro pasa-bajo en caso de que disminuya del valor mínimo o a su vez se sobre pase del valor máximo, este bloque establece el último valor de lectura del sensor como se muestra en la figura 55.

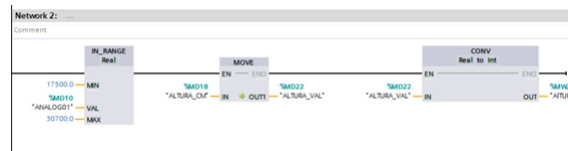


Figura 55. Bloque In Range

## V. RESULTADOS

Con la respectiva programación en el TIA PORTAL y con control PID, se logró el correcto funcionamiento del sistema.

Mediante la ventana en el apartado de autotuning del TIA PORTAL, con el sistema operando se puede visualizar las diferentes curvas de control y su relación entre ellas.

Se determina que el control PID en el rango de 80 a 100 % mantiene una correcta estabilidad de la esfera en suspensión, mediante las graficas mostradas en la sección de implementación se puede observar que el sistema mantiene una correcta variación y flujo de aire.

Con el sistema funcionando en sus capacidades óptimas, logrará confirmar el funcionamiento de los planos electrónicos que se puede apreciar en la figura 23, diseño electronico.

A través de procedimientos los estudiantes podrán realizar prácticas y pruebas de funcionamiento del prototipo.

En las figuras 57 y 58 se llega a mostrar la maqueta



Figura 56. Estabilización del levitador



Figura 57. Estabilización del levitador

## VI. PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA

En el presente capítulo se muestra el presupuesto y cronograma realizado a lo largo de proyecto.

### VI-A. Presupuesto

ESTRUCTURA			
Materiales	Unidad	Cantidad	Total
Esfera	0.8	3	2.4
Tornillos	2	6	12
Corte Láser	20	1	50
Fundición	20	1	20
Tubo Acrílico	40	1	40
Tubo Acrílico	50	2	50
Total			224.4

Cuadro IV

PRESUPUESTO PARA LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA

COMUNICACIÓN			
Materiales	Unidad	Cantidad	Total
PLC S7 1200	900	1	900
Arduino	20	1	20
Sensor Ultrasonico	10	2	20
Módulo Ethernet	11.5	1	11.50
Total			951.5

Cuadro V

PRESUPUESTO PARA LA COMUNICACIÓN DEL SISTEMA

ELECTRONICA			
Materiales	Unidad	Cantidad	Total
Switch	12	1	12
Jumpers Macho-Macho	4	1	4
Cables de red	1	2	1
Baterias 9V	3	1	3
Total			21

Cuadro VI

PRESUPUESTO PARA LOS MATERIALES ELECTRÓNICOS

TOTAL	
Descripción	Total
Estructura	224.4
Comunicación	951.5
Electronica	21
Total	1196

Cuadro VII

INVERSIÓN TOTAL



## VI-B. Cronograma

En el cuadro VIII se muestra el cronograma de actividades que se ejecutaron para el desarrollo de este proyecto, en donde la columna uno se colocan las etapas desarrolladas durante la realización del proyecto. En las otras columnas correspondientemente se detallan las actividades y los tiempos que tomaron estas en su desarrollo.

Proyecto de grado		DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN LEVITADOR NEUMATICO COMO PROYECTO DIDACTICO AL LABORATIO DE MECATRONICA.											
Alumnos		Jose Manual Armendariz Farraga - Daniela Johanna Moreta Mite											
Objetivo general		Desarrollar un sistema didáctico de Levitación Neumática, utilizando un PLC S7200 para que los estudiantes de la carrera Mecatrónica puedan fortalecer sus conocimientos.											
Objetivo específico 1		Ambito de aplicación:											
		MESES											
Actividad		Responsable											
		5 6 7 8 9 10											
PROYECTO DE INVESTIGACION	Definición del título del anteproyecto de investigación.	Armendariz P. - Moreta	■	■									
	Problema de Investigación y Delimitación de este.	Armendariz P. - Moreta		■	■								
	Justificación	Armendariz P. - Moreta			■	■							
	Objetivos Generales y Específicos.	Armendariz P. - Moreta				■	■						
	Marco Teorico	Armendariz P. - Moreta					■	■					
	Metodología	Armendariz P. - Moreta						■	■				
Presupuesto de acuerdo al proyecto a implementar.		Armendariz P. - Moreta		■	■	■	■	■	■				
MAQUETA	Diseño de la base en 3D	Armendariz P. - Moreta									■	■	
	Diseño de planos electrico - mecánico.	Armendariz P. - Moreta								■	■	■	
	Maqueta del proyecto	Armendariz P. - Moreta										■	
	Calculos Matemáticos	Armendariz P. - Moreta										■	■
		11 12 1 2 3											
MAQUETA	Diseño de la base en 3D	Armendariz P. - Moreta											
	Diseño de planos electrico - mecánico.	Armendariz P. - Moreta											
	Maqueta del proyecto	Armendariz P. - Moreta											
	Calculos Matemáticos	Armendariz P. - Moreta				■	■	■					
	Desarrollo de manual de practicas.	Armendariz P. - Moreta	■	■	■								
	Levantamiento del sistema.	Armendariz P. - Moreta							■	■	■		
	Ultimas Revisiones	Armendariz P. - Moreta								■	■	■	

Cuadro VIII  
CRONOGRAMA

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### VII-A. Conclusiones

Los esquemas eléctricos están correctamente optimizados para poder realizar corte PCB y suelda para el sistema. Los esquemas Mecánicos contienen las cotas necesarias para su correcta fabricación y ensamblaje. El sistema de monitoreo y control es realizado en TIA PORTAL, puesto que cuenta con la simulación del HMI, para el sistema de control se realiza mediante simulación en el apartado de TIA PORTAL en donde tenemos un tiempo de muestreo y se hace uso de la función pre-tuning para conseguir las variables de funcionamiento del proyecto. La base de la maqueta didáctica está construida con acero inoxidable de 2mm de espesor para garantizar una correcta estabilidad del sistema, el tubo de acrílico es de 3mm de espesor, 60cm de alto y 10cm de diámetro, contamos con un solo ventilador 12V Dc. Durante las pruebas experimentales se consiguió una estabilidad correcta en el rango de 80-100, mientras que abajo del 70, el sistema tiene variaciones altas. Los manuales de prácticas muestran el proceso a seguir para el encendido, funcionamiento y manipulación de la planta.

### VII-B. Recomendaciones

Con la finalidad de evitar problemas en el sistema, es recomendable una verificación de los ajustes de pernos tanto en la base como en el motor, puesto que por la manipulación llegan a aflojarse y esto crea inestabilidad y turbulencias a la hora de obtención de datos, para evitar inestabilidad debe la esfera tener 3 gramos aproximadamente.

Se propone implemente y use sensores con mejores capacidades que el ultrasonido, puesto que en ocasiones generan ciertas lecturas erróneas.

Es recomendable controlar el flujo de aire en tiempo real, sobre todo al momento de la salida del sistema, puesto que ciertas perturbaciones ocasionan fallas en el control. Muy importante es revisar el cableado, para evitar cualquier falla eléctrica en los equipos.

Es recomendable ser precavido al manipular el sistema, puesto que el uso puede ocasionar rayones en el tubo de acrílico.

## REFERENCIAS

- [1] P. C., «DESMOTIVACIÓN ESCOLAR, FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE, EN LA I.E INTERNADO SAN FRANCISCO DE LORETOYACO,» Tesis de mtría., UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, 2018.
- [2] Crespo, *Funcion Transferencia*. 2019.
- [3] C. E, *SENSORES ULTRASÓNICOS*, [https://www.ahcomee.com.mx/clasificaciones/SENSORES %20ULTRASONICOS](https://www.ahcomee.com.mx/clasificaciones/SENSORES%20ULTRASONICOS). 2020.
- [4] P. G., «ESTUDIO DE LAS APLICACIONES PRÁCTICAS DE LA LEVITACIÓN MAGNÉTICA,» Tesis de mtría., Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, 2003.
- [5] Gar C, *Ingenieria Mecánica*, <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2015/05/historia-de-la-automatizacion-neumatica.html>, 2015.
- [6] G. J, *La neumatica su historia del arte y elementos resaltantes*, EADIC, 2008.
- [7] L. E. G. Jaimes, «MODELACIÓN SIMULACIÓN Y CONTROL DE UN LEVITADOR.,» Tesis de mtría., Revista Politécnica, 2011.
- [8] F. B. Lajas, «Diseño de estrategias de control para un sistema de levitacion neumatica.,» Tesis de mtría., Universidad de Sevilla., Sevilla, 2005.
- [9] J. Su Zhao, *A standing wave acoustic levitation system for large*, [https://www.aldebaran.cz/bulletin/2014\\_07/AAM\\_CD\\_final.pdf](https://www.aldebaran.cz/bulletin/2014_07/AAM_CD_final.pdf), 2014.
- [10] Tejada F, *Nuevas Tecnologías como recursos didácticos*. [https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero\\_16/FranciscoJavier\\_Escobar\\_1.pdf](https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_16/FranciscoJavier_Escobar_1.pdf), 2009.
- [11] V. Z., «Levitador Neumatico Controlado por Arduino.,» Tesis de mtría., Catalunya: Escuela Politecnica Superior., 2021.

## APÉNDICE A PROTOTIPOS

En la siguiente sección se muestra los prototipos realizados a lo largo del proyecto, pero no tuvieron buen rendimiento en la implementación.

Como prototipo inicial se optó por imprimir la pieza en PLA, a través de la impresora 3D, pero al momento de realizar las respectivas pruebas no tuvimos éxito por cuestiones del aire que no abastecía bien, existían turbulencias.

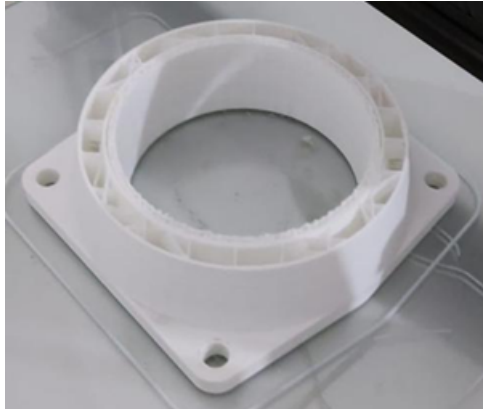


Figura 58. Prototipo inicial de la base

*A-1. Soporte para el sensor:* Se presenta un soporte para el sensor, de esta manera el sensor se mantendrá fijo y evitará desviaciones, el soporte está diseñado con PLA con las medidas requeridas para así ajustar y encajarlo con el contorno de la pared del tubo.



Figura 59. Soporte para el sensor ultrásónico

*A-2. Ventilador:* Se presenta un ventilador, como se observa en la ilustración 43, este ayudaría a generar el flujo de aire requerido para elevar la pieza (esfera) dentro del tubo, se descartó el ventilador, por motivo de que no fue tan potente como se esperaba y se optó por otro ventilador.



Figura 60. Ventilador

## APÉNDICE B DISEÑOS

Se adjuntan los diseños que se realizó a lo largo del proyecto, con sus respectivas cotas, a su vez el diseño del levitador en el programa SolidWork.

### *B-A. Diseños acotados*

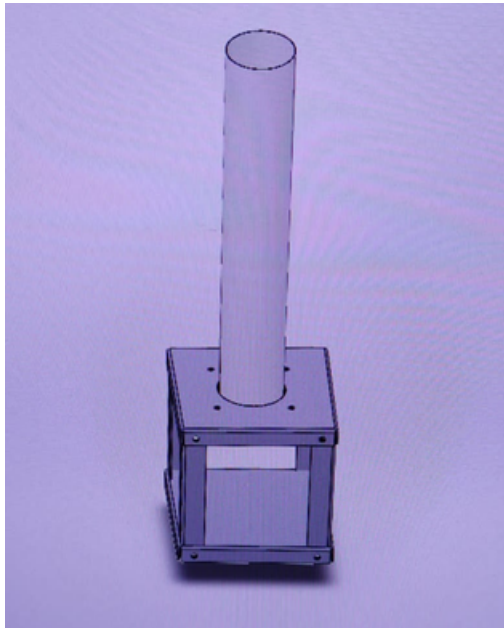


Figura 61. Diseño del levitador

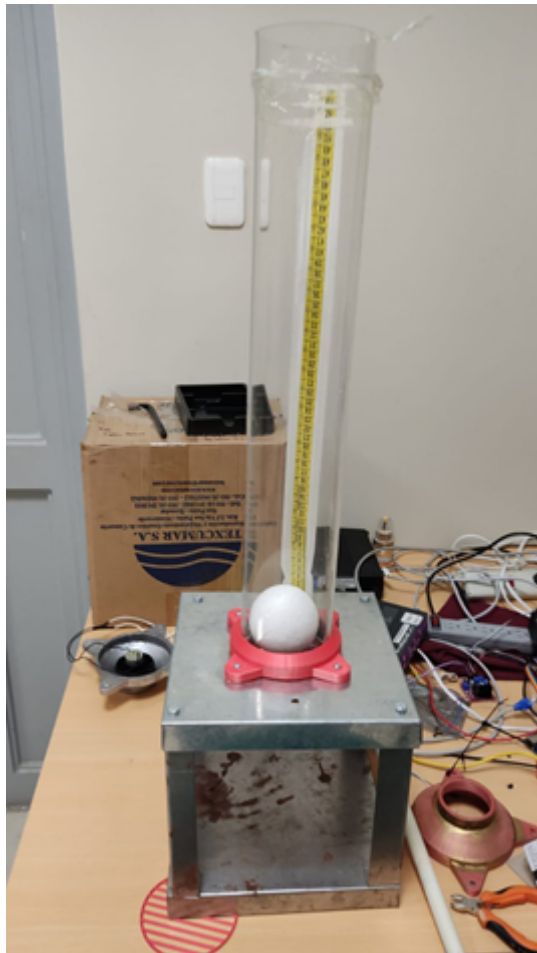
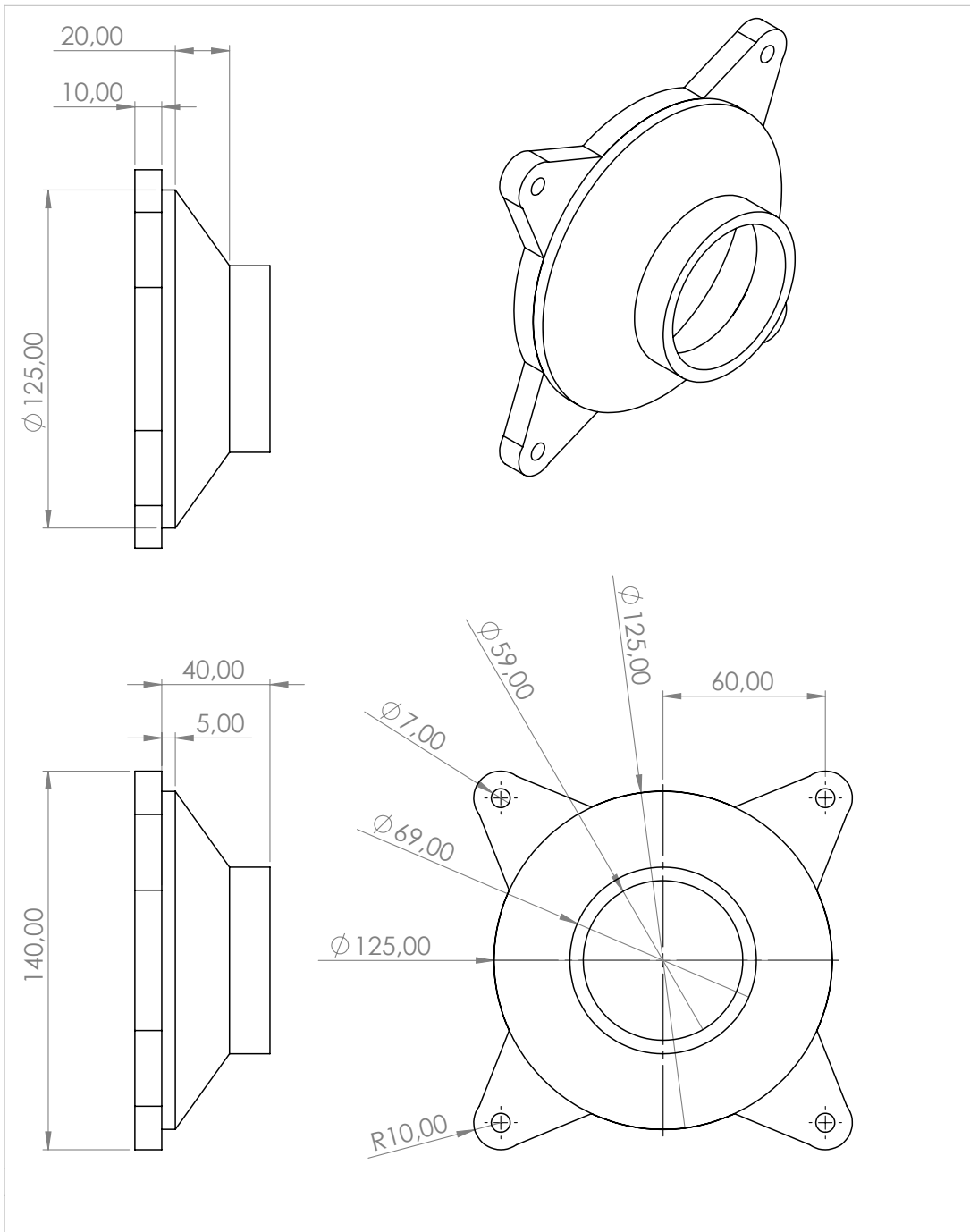
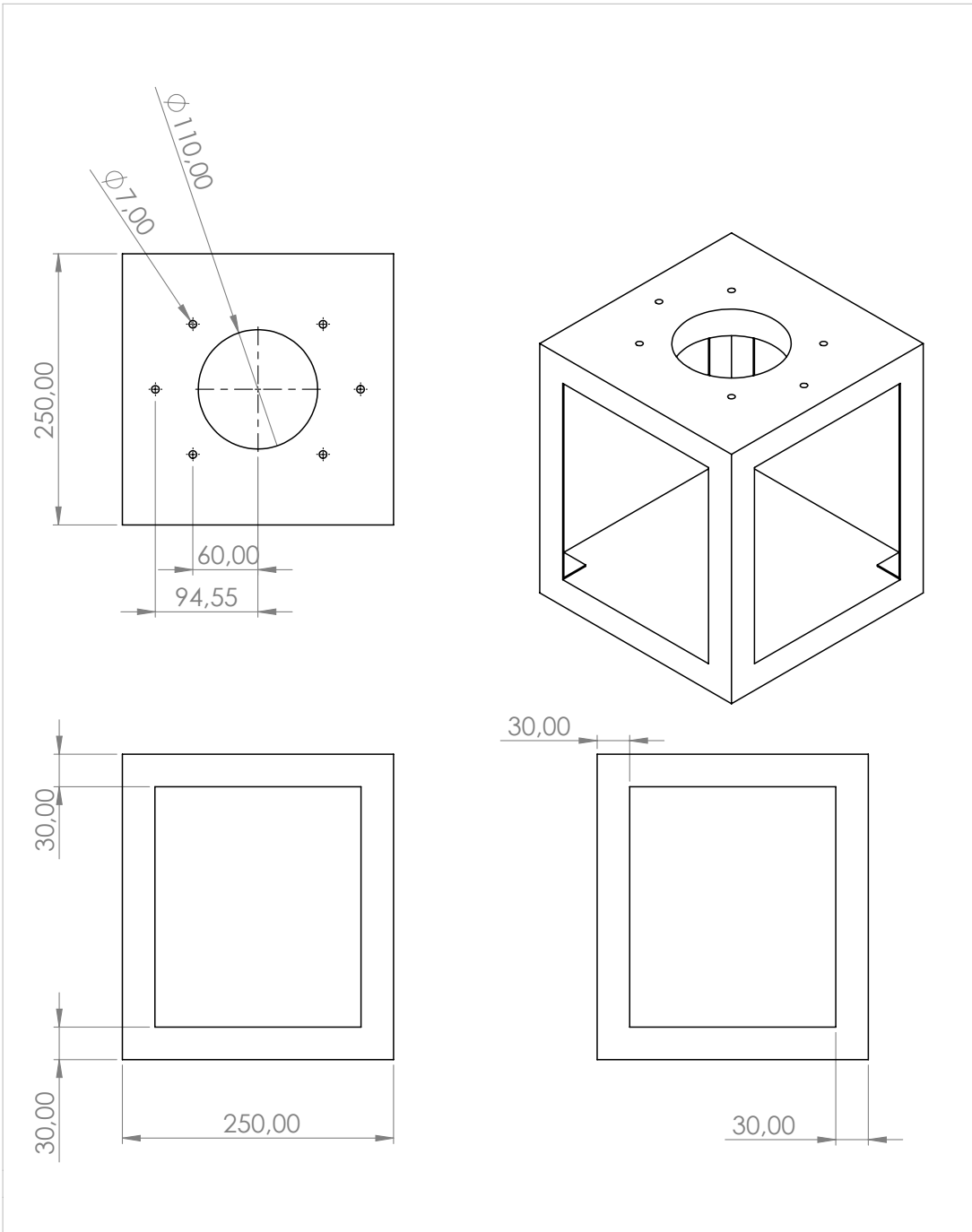


Figura 62. Elaboración del levitador

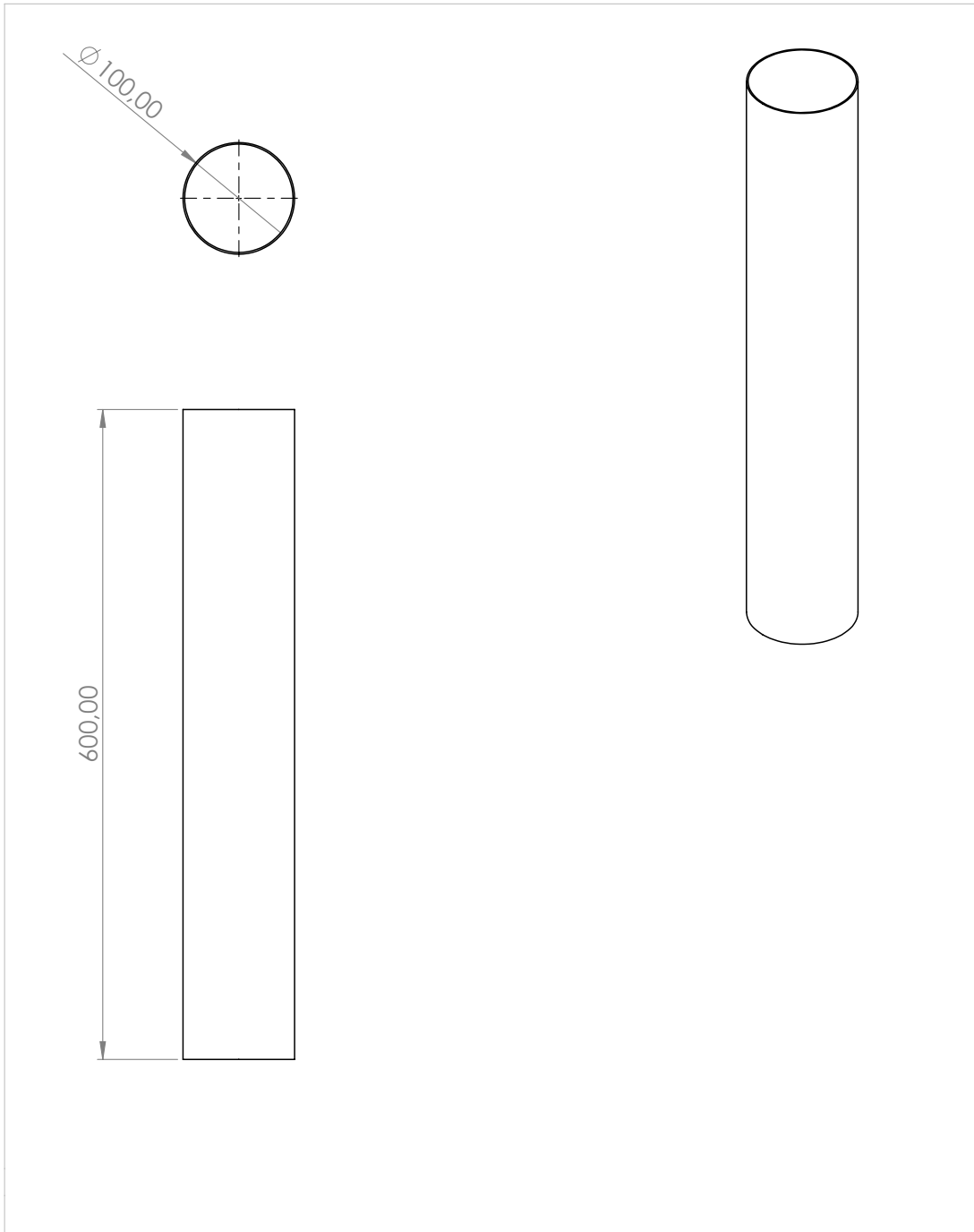


	Fecha	Integrantes	FIRMA	
Dibujado		D. Moreta		
Comprobado		J. Armendariz		
f.d.s normas				
Escala	<h1>Adaptador base</h1>			<h1>1</h1>
1:2				U. Medida: mm
				Material: Plástico PLA

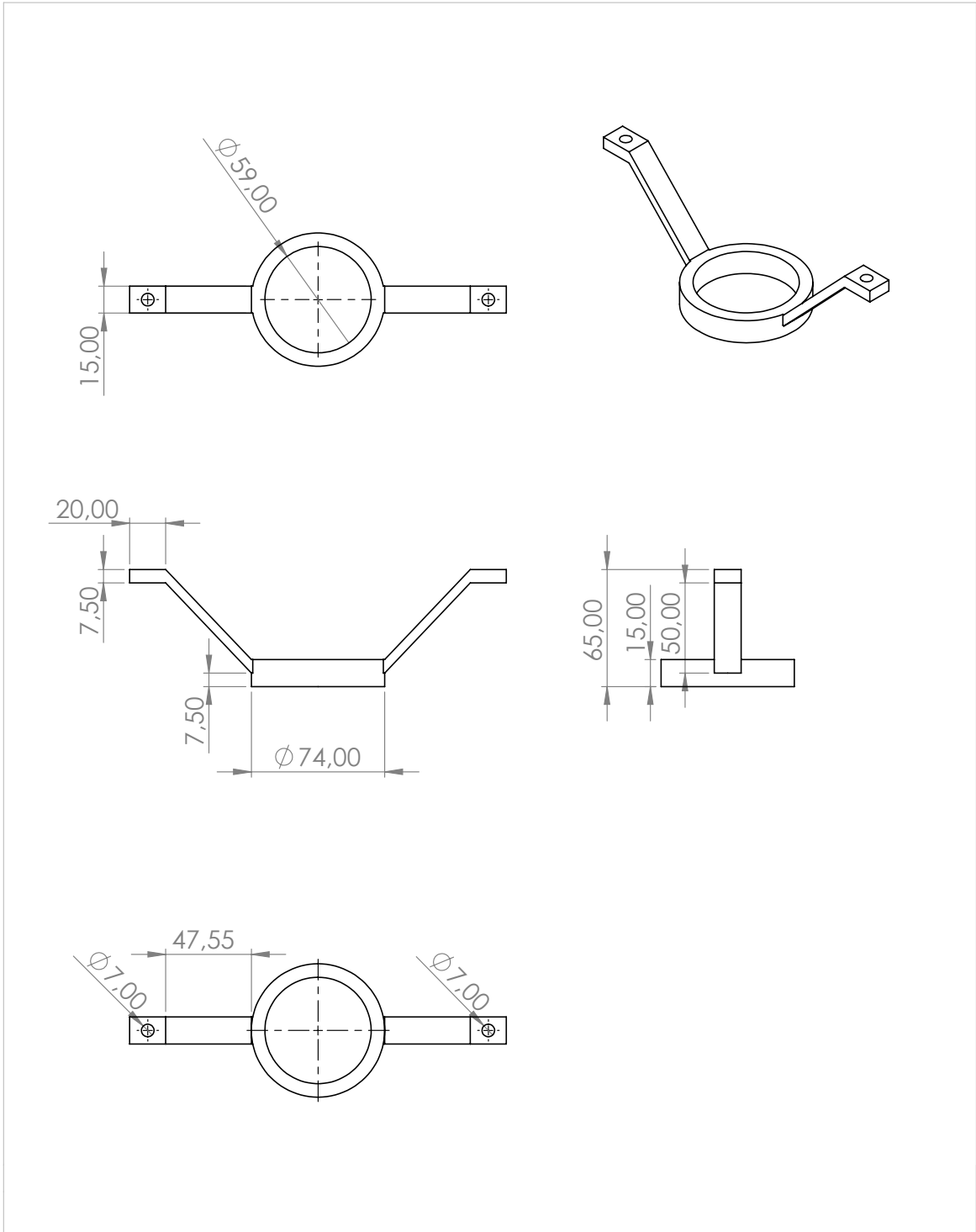


	Fecha	Integrantes	FIRMA	
Dibujado		D. Moreta		
Comprobado		J. Armendariz		
f.d.s normas				
Escala	<h1>Base Levitador</h1>			<h1>1</h1>
1:5				U. Medida: mm
				Material: A. Galvanizado

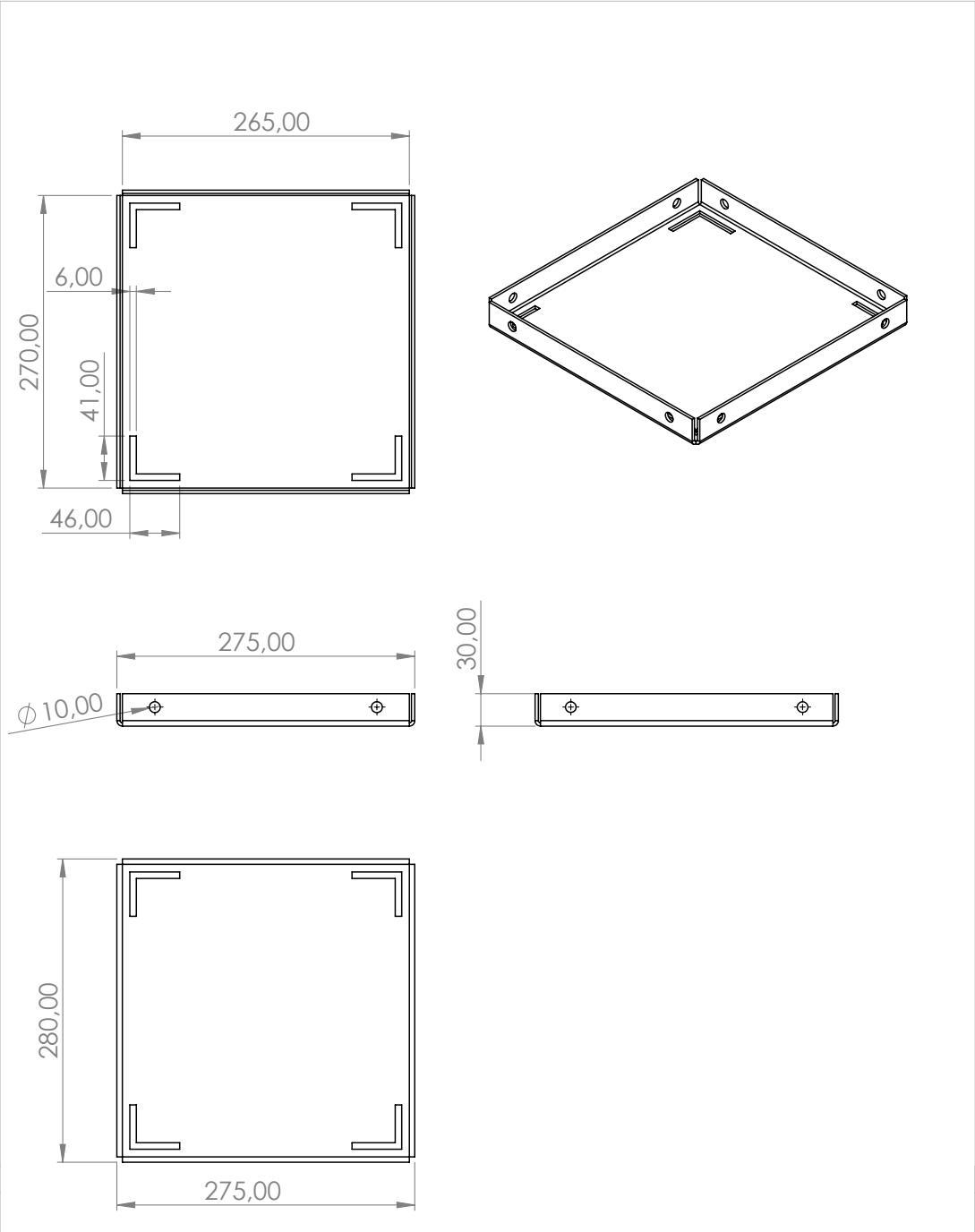


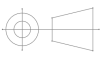


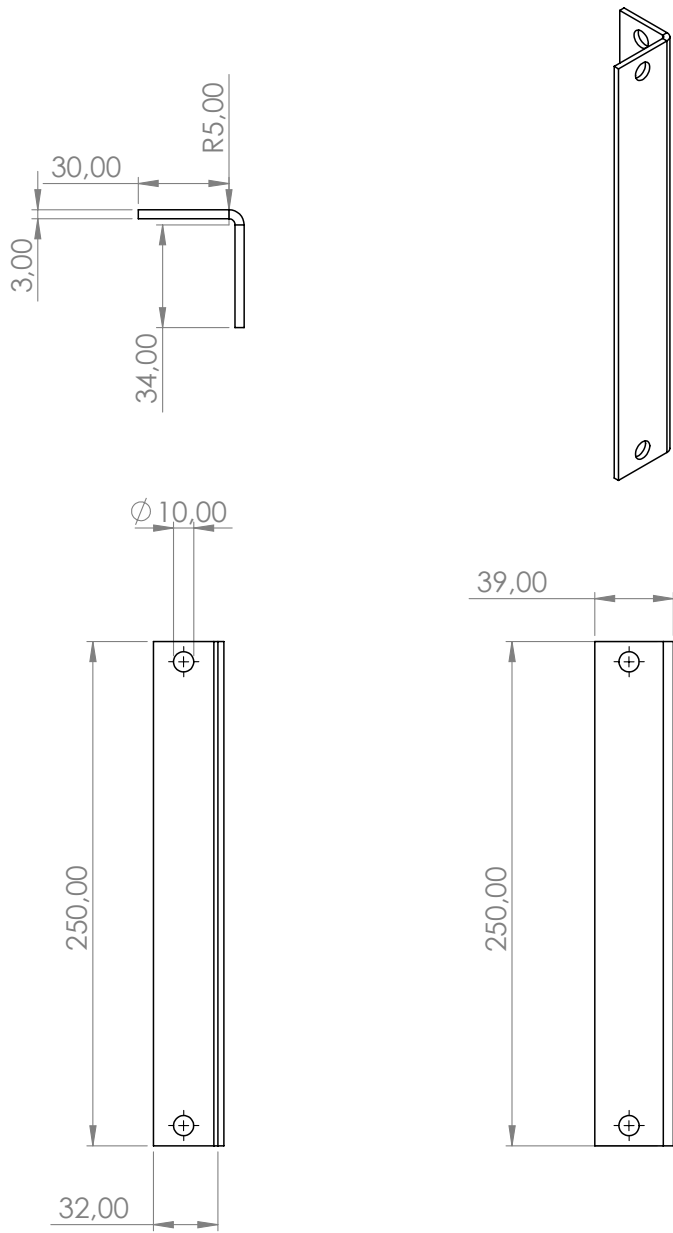
	Fecha	Integrantes	FIRMA	 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> <small>ECUADOR</small>
Dibujado		D. Moreta		
Comprobado		J. Armendariz		
f.d.s normas				
Escala 1:5 	<h1>TUBO DE ACRILICO</h1>			<h1>1</h1>
				U. Medida: mm Material: Plástico PLA



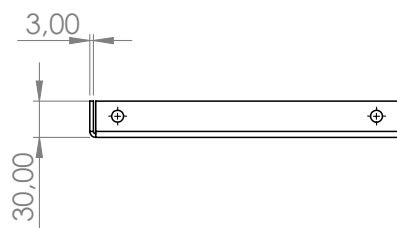
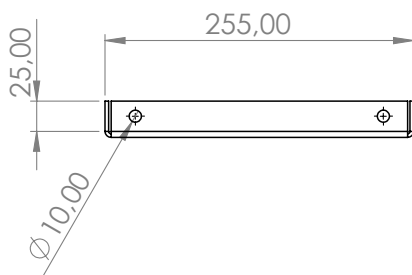
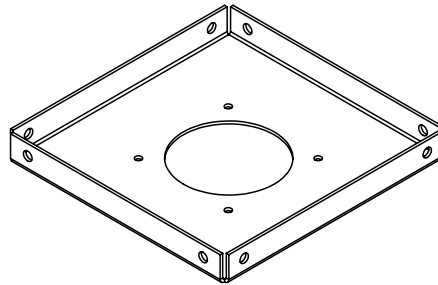
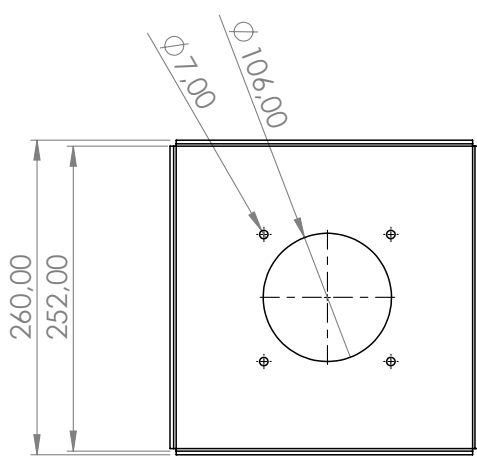
Dibujado	Fecha	Integrantes	FIRMA	
Comprobado		D. Moreta		
f.d.s normas		J. Armendariz		
Escala	<h1>Soporte del motor</h1>			<h1>1</h1>
1:3				U. Medida: mm
				Material: Plástico PLA



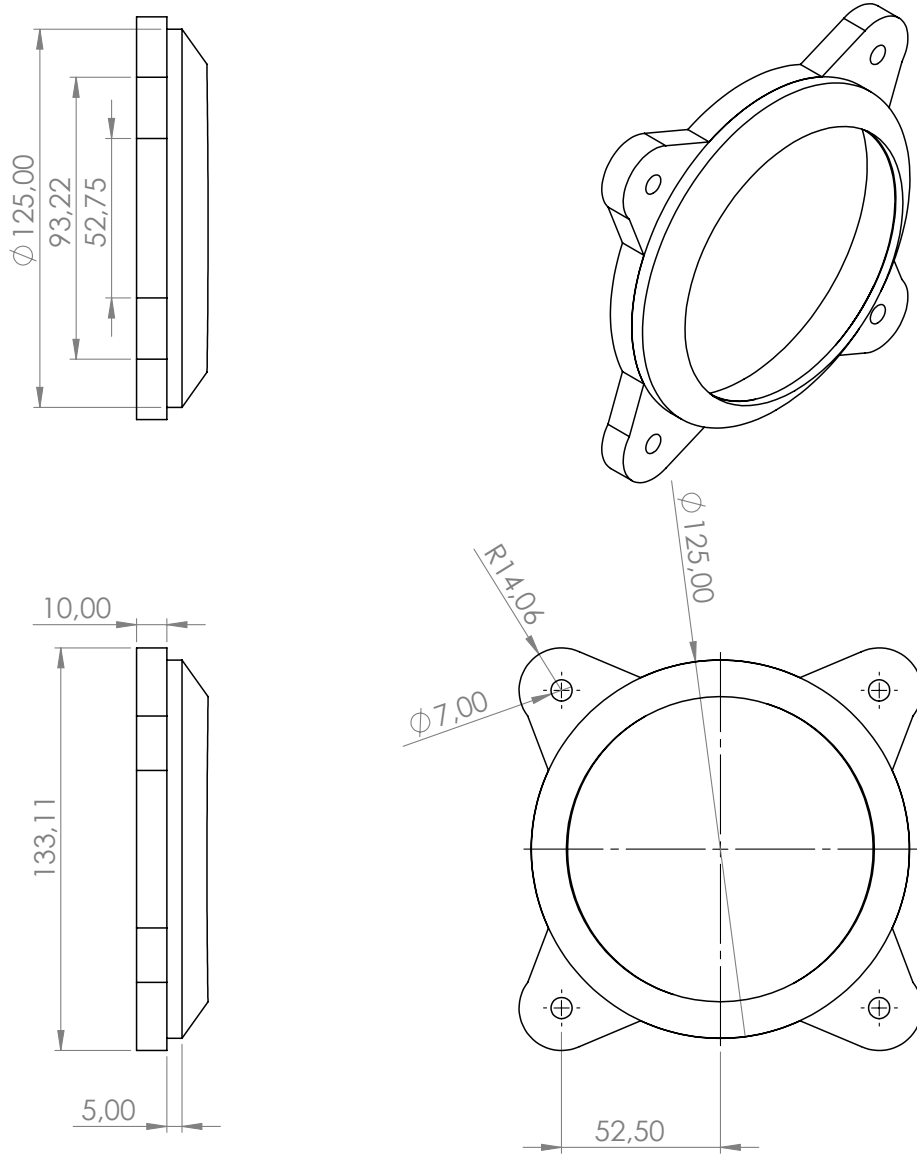
	Fecha	Integrantes	FIRMA	
Dibujado		D. Moreta		
Comprobado		J. Armendariz		
f.d.s normas				
Escala 1:5 	<h1>Base Inferior</h1>			<h1>1</h1>
				U. Medida: mm Material: Acero Inox



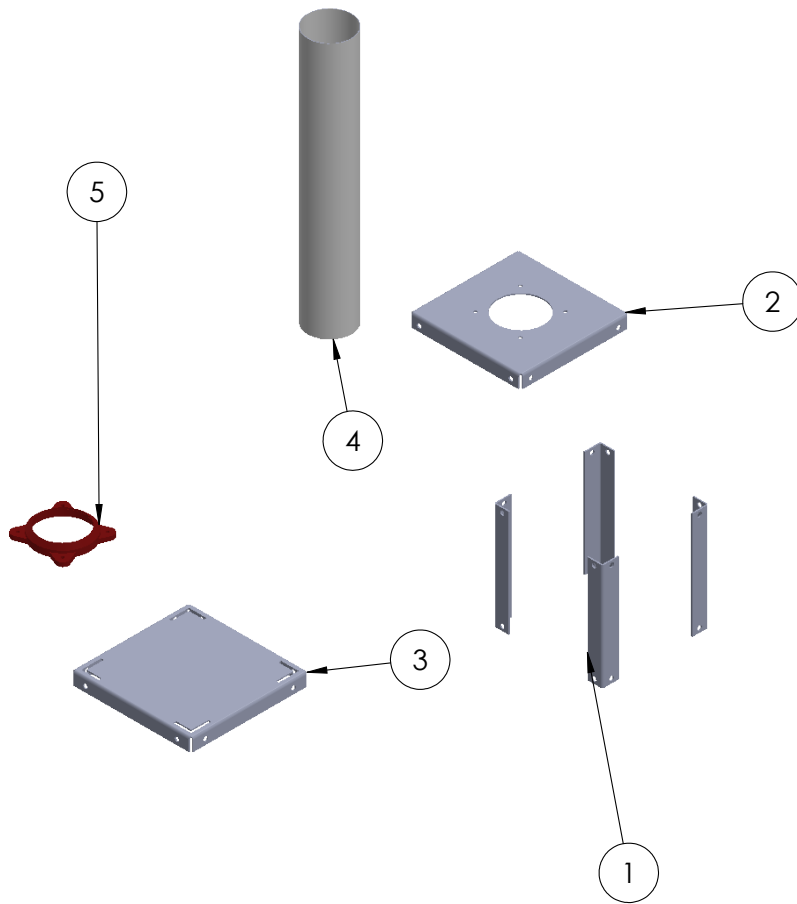
	Fecha	Integrantes	FIRMA	
Dibujado		D. Moreta		
Comprobado		J. Armendariz		
f.d.s normas				
Escala	<h1>Ángulo</h1>			1
1:3				U. Medida: mm
				Material: Acero Inox



	Fecha	Integrantes	FIRMA	 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> ECUADOR
Dibujado		D. Moreta		
Comprobado		J. Armendariz		
f.d.s normas				
Escala	<h1>Base superior</h1>			<h1>1</h1>
1:5				U. Medida: mm
				Material: Acero Inox



	Fecha	Integrantes	FIRMA	
Dibujado		D. Moreta		
Comprobado		J. Armendariz		
f.d.s normas				
Escala	<h1>Rigidizador</h1>			<h1>1</h1>
1:2				U. Medida: mm
				Material: Aluminio



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Ángulo		4
2	Base Superior		1
3	Base Inferior		1
4	Tubo de Acrílico		1
5	Rigidizador Acrílico		1

	Fecha	Integrantes	FIRMA	
Dibujado		D. Moreta		
Comprobado		J. Armendariz		
f.d.s normas				
Escala	<h1>Vista Explosionada</h1>			<h1>1</h1>
1:10				U. Medida: mm
				Material: Varios

## *B-B. Prácticas*

*B-B1. PRÁCTICA NUMERO 1: Objetivo de la práctica:* Conocer los equipos del sistema.

Pasos a seguir:

- Información sobre cada elemento que conforma el levitador.
- Realizar reconocimiento de materiales.
- Verificar que todo el sistema esté correctamente ensamblado.
- Realizar el respectivo arranque del sistema.
- Realizar la conexión ethernet del PLC con el tía Portal.
- Verificar la programación.

*B-B2. PRÁCTICA NUMERO 2: Objetivo de la práctica:* Verificar el control PID y realizar levitación de la Esfera. Pasos a seguir:

- Verificar el sistema en TIA PORTAL
- Realizar la simulación del sistema
- Encender el sistema y el HMI simulado en TIA PORTAL
- Utilizar el control en el rango 80-100Tomar datos

**PRÁCTICA NUMERO 3 Objetivo de la práctica:**

Realizar el control PID para el rango 60-79Pasos a Seguir:

- Conectar el PLC al TIA PORTAL
- Verificar y simular el sistema en rango de 80-100 %
- Verificar información
- Realizar el control en el rango 60-79 %
- Realizar la simulación utilizando la función de transferencia para crear un nuevo control PI para el rango de 40-70 % cambiando los valores y variables.
- Realizar operación con el sistema encendido, verificar datos y analizar gráficas .
- Cambiar valores de control utilizando la función de transferencia en Matlab y datos en el TIA PORTAL