



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

DISEÑO DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS CON FINES DE TRANSPORTE NEUMÁTICO.

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en
Electromecánica

Autores:

Álvarez Murillo Stalin Paúl

Toasa Tenorio Jhonatan Mauricio

Tutor:

PhD. Laurencio Alfonso Héctor Luis

Latacunga – Ecuador

2021



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Álvarez Murillo Stalin Paúl y Toasa Tenorio Jhonatan Mauricio declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“DISEÑO DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS CON FINES DE TRANSPORTE NEUMÁTICO”**, siendo el PhD Laurencio Alfonso Héctor Luis tutor del presente trabajo; eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, agosto 2021

Álvarez Murillo Stalin Paúl

C.I. 050380602-8

Toasa Tenorio Jhonatan Mauricio

C.I. 050383480-6



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“DISEÑO DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS CON FINES DE TRANSPORTE NEUMÁTICO”**, de Álvarez Murillo Stalin Paúl y Toasa Tenorio Jhonatan Mauricio de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto, 2021

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; PhD

C.C.175836725-2

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN



En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS.; por cuanto, los postulantes: **Álvarez Murillo Stalin Paúl** y **Toasa Tenorio Jhonatan Mauricio** con el título de Proyecto de titulación: “DISEÑO DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS CON FINES DE TRANSPORTE NEUMÁTICO”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto 2021

Para constancia firman:

Lector 1 (presidente)

Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún

CC: 0501782437

Lector 2

Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera

CC: 0502150899

Lector 3

Ing. Enrique Torres Tamayo

CC: 1757121940



AGRADECIMIENTO

Agradezco este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, Fabiola Murillo por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mis hermanos Vinicio, Maricela y en especial Karen (que descanses en paz y siempre estarás en nuestros recuerdos de toda tu familia tu partida fue el dolor más grande para todos nosotros, sin embargo, estás en nuestro corazón) a pesar de nuestras adversidades, pudimos salir adelante gracias a todo su apoyo pude lograr esta meta, que no solo esta satisfacción es de mi sino de todos ustedes que estuvieron para mí y por último agradecer a mi padre Olmedo Álvarez que no pudo estar en los momentos difíciles, por circunstancias de la vida se nos fue, pero desde el cielo junto con mi hermana nos cuidan para poder lograr nuevos éxitos.

Stalin Álvarez



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a todos aquellos que no creyeron en mí, a aquellos que esperaban mi fracaso en cada paso que daba hacia la culminación de mis estudios, a aquellos que nunca esperaban que lograra terminar la carrera, a todos aquellos que apostaban a que me rendiría a medio camino, a todos los que supusieron que no lo lograría, a todos ellos les dedico esta tesis.

Stalin Álvarez



AGRADECIMIENTO.

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a mi Churonia del Cisne por a verme dado la vida y siempre llenarme de muchas bendiciones y permitirme llegar hasta esta etapa tan importante de mi vida.

A la universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme las puertas, a la carrera de Ingeniería electromecánica y a sus profesores quienes me han brindado sus conocimientos para ponerlos en práctica.

Agradezco eternamente a mis padres Esperanza y Marcelo quienes con su amor, paciencia y dedicación me han apoyado, y me han enseñado a nunca rendirme a luchar por mis sueños, gracias por darme la oportunidad de estudiar para formarme como un profesional con ética y valores.

A toda mi familia y amigos que siempre han estado a mi lado brindándome su apoyo en especial a mi hermano Alex y a mis tíos con quienes hemos vivido muchos momentos buenos y malos, pero siempre hemos salido en adelante a pesar de todo nos hemos levantado siempre como familia.

Jhonatan Toasa.



DEDICATORIA.

Quiero dedicar este sencillo trabajo especialmente a mi Churunita del Cisne también a mis queridos padres Esperanza y Marcelo, quienes han sido la motivación de mi vida mi orgullo de ser lo que seré.

A todos mis tíos y a mi primo Alex por estar siempre a mi lado y bríndame sus consejos.

De igual manera a mis abuelitos, que con mucho cariño han sabido guiarme por el camino correcto.

Es para mí una gran satisfacción poder dedicarles a todos ustedes este trabajo que con mucho esfuerzo y dedicación me lo he ganado.

Jhonatan Toasa.



ÍNDICE DE CONTENIDO

1 INFORMACIÓN GENERAL	1
2 INTRODUCCIÓN	2
2.1 Problema:	2
2.1.1 Situación Problemática:	2
2.1.2 Formulación del Problema:.....	3
2.2 OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN:	3
2.2.1 Objeto de Estudio:	3
2.2.2 Campo de Acción:	3
2.3 Beneficiarios:	4
2.3.1 Directos: Los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica.....	4
2.3.2 Indirectos: Las Industrias.....	4
2.4 JUSTIFICACIÓN:	4
2.5 HIPÓTESIS:	4
2.6 OBJETIVOS:	5
2.6.1 Objetivo General:.....	5
2.6.2 Objetivo Específicos:	5
2.7 Descripción de las actividades y tareas compuestas por los objetivos	5
3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
3.1 Mecánica de fluidos	6
3.2 Neumática	6
3.3 Transporte Neumático	7
3.3.1 Parámetros de un diseño de sistemas de transporte neumático	8
3.4 Composición granulométrica	9
3.5 Diseño Concurrente	9
3.6 Aerodinámica de Partículas	10
3.7 Medición de Partículas Suspendidas Totales (PST)	10
3.8 Tipos de flujo y diagrama de estado	11
3.9 Velocidad de las Partículas	11
3.10 Característica de los conductores neumáticos.	12



3.11 Flotación de Partículas	13
3.12 Impresión 3D	13
3.13 Selección de software	14
3.14 Definición de los tipos de software	15
3.15 Comunicación serial para un Microcontrolador	16
3.16 Arduino	16
3.17 Tuberías y conexiones	17
4 METODOLOGÍA	18
4.1 Introducción	18
4.2 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	18
4.2.1 Variable dependiente	18
4.2.2 Variable independiente	18
4.3 Metodología del proceso de diseño del banco de pruebas experimental	18
4.4 Implementación del banco de pruebas	19
4.4.1 Diagrama P&ID del banco de pruebas.....	19
4.4.2 Diseño del sistema CAD.....	20
4.4.3 Diseño CAD piezas impresas.	22
4.5 Parámetros de impresión	32
4.6 Diseño electrónico	33
4.7 Metodología de cálculo de los sistemas de transporte neumático.	36
4.7.1 Determinación de la longitud de transportación reducida <i>Lred</i>	37
4.7.2 Determinación de la potencia consumida en la zona del transporte	37
4.8 Determinación de las pérdidas de presión en los sistemas de transporte.	37
4.8.1 Pérdida local por resistencia en los codos	39
4.9 Técnica experimental para determinar la velocidad de flotación	39
5 ANÁLISIS DE RESULTADOS	40
6 ANÁLISIS DE IMPACTO	44
6.1 Impacto Económico	44
6.2 Impacto Ambiental	46
6.3 Impacto Práctico	46



6.4 Impacto Tecnológico	47
7 CONCLUSIONES.....	48
8 RECOMENDACIONES.....	48
9 REFERENCIAS.....	49
10 ANEXOS.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Distintas fases en el transporte neumático de materiales.....	7
Figura 3.2. Esquema de un sistema de transporte neumático en fase diluida y de baja presión positiva.....	8
Figura 3.3. Distribución típica de las partículas en la atmósfera.....	10
Figura 3.4. Esquema de un diagrama de estado.....	11
Figura 3.5. Impresora 3D modelo mendel.....	14
Figura 3.6. Interface del software slic3r.....	15
Figura 3.7. Interface del software cura ultimaker.....	15
Figura 3.8. Arduino 1 circuito integrado.....	16
Figura 3.9. Entorno de desarrollo para arduino.....	17
Figura 3.10. Resumen de las características mecánicas de las tuberías de PVC orientado TOM clase 500 frente a otras tuberías plásticas.....	17
Figura 4.1. Esquema del funcionamiento del banco de pruebas.....	19
Figura 4.2. Diagrama p&id del banco de partículas.....	20
Figura 4.3. Datos blower, secciones tubería PVC.....	21
Figura 4.4. Diseño cad del blower para el banco de pruebas.....	21
Figura 4.5. Materiales normados bajo características expuestas por la empresa, fabricante.....	22
Figura 4.6. Dimensiones y medidas de los soportes altos y bajos.....	23
Figura 4.7. Brida armada para soporte tubería.....	23
Figura 4.8. Brida principal para acoples entre banco y tuberías.....	24
Figura 4.9. Cartelas o nervios para ayudar a preservar la figura de la brida.....	25
Figura 4.10. Brida secundaria para la tubería acrílica de tres pulgadas.....	25
Figura 4.11. Diagrama en sección del ensamble del banco de velocidades.....	26
Figura 4.12. Brida secundaria para la tubería acrílica de dos pulgadas.....	26
Figura 4.13. Brida secundaria para la tubería acrílica de dos pulgadas.....	27
Figura 4.14. Tolve diseñada por los autores.....	28
Figura 4.15. Diseño de la válvula de paso.....	28
Figura 4.16. Eje de la válvula y aletas antes y después del ensamble.....	29
Figura 4.17. Sistema tolva-válvula ensamblado junto con la tapa del servomotor.....	29
Figura 4.18. Caja de almacenamiento del sistema de control con su tapa.....	30
Figura 4.19. Caja protectora de la pantalla nextion y sus cables de control.....	30
Figura 4.20. Sistema giratorio y sistema hueco para la unión de la pantalla con el sistema de control.....	31
Figura 4.21. Sistema de control totalmente ensamblado.....	31
Figura 4.22. Caja de almacenamiento fuente externa.....	32
Figura 4.23. Mallado y densidades expuestas en una pieza del banco de pruebas.....	32
Figura 4.24. Visualización del tipo de capa y soporte en algunas figuras.....	33
Figura 4.25. Diagrama de flujos del sistema de programación nextion.....	34
Figura 4.26. Pantallas diseñadas en nextion.....	34
Figura 4.27. Diagrama de flujos programación arduino.....	35
Figura 4.28. Zonas del transporte neumático.....	36



Figura 5.1. Relación de la velocidad con el diámetro de la partículas (maíz).....	40
Figura 5.2. Relación de la velocidad con el diámetro de la partículas (trigo).....	41
Figura 5.3. Relación de la velocidad con el diámetro de la partículas (quinua).....	42
Figura 5.4. Relación de la velocidad con el diámetro de la partículas (harina).....	43
Figura 5.5. Relación de la velocidad con el diámetro de la partículas (arroz).....	43
Figura 5.6. Relación de la velocidad con el diámetro de la partículas (cebada).....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Sistema de actividades por objeto.....	5
Tabla 5.1. Análisis de velocidad de flotación del maíz.....	40
Tabla 5.3. Análisis de velocidad de flotación del trigo.....	41
Tabla 5.4. Análisis de velocidad de flotación de la quinua.....	42
Tabla 5.5. Análisis de velocidad de flotación de la harina.....	42
Tabla 5.6. Análisis de velocidad de flotación del arroz.....	43
Tabla 5.7. Análisis de velocidad de flotación de la cebada.....	44
Tabla 6.1. Costos de diseño y horas de impresión en 3D.....	45
Tabla 6.2. Costos de materiales del banco de pruebas.....	45
Tabla 6.3. Costo total del banco de pruebas.....	45



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: DISEÑO DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS CON FINES DE TRANSPORTE NEUMÁTICO.

Autores:

Álvarez Murillo Stalin Paúl

Toasa Tenorio Jhonatan Mauricio

RESUMEN

El presente proyecto trata sobre el diseño de un banco para determinación de la velocidad de flotación de partículas, en función de las características aerodinámicas, las mismas que son transportadas a través de sistemas de tuberías impulsadas por un sistema de soplado de aire, por lo general es realizado de forma empírica debido a que no se conoce a ciencia cierta las características de las partículas, así como las propiedades que poseen al momento de ser transportadas por dichas tuberías. Para solucionar la problemática en torno a las características y propiedades de las partículas, se plantea el diseño de un banco experimental de velocidad de flotación a través de una tubería de diámetro constante, de tal manera que sea más fácil determinar las características necesarias de los objetos de estudio a fin de poder realizar a futuro sistemas de transporte, que cumplan con normas específicas de diseño y construcción. Para la implementación del banco de pruebas se dispone de un Blower universal, al cual se le implementará un sistema de tuberías, con una tolva para la alimentación de las partículas y con un sistema de tuberías abiertas para la elevación de las mismas a fin de conseguir una medida de acuerdo al flujo de viento, de este modo las empresas que deseen implementar este tipo de sistemas les ayudará a reducir tiempos de transporte, el objetivo es determinar las velocidades en el flujo de aire requerido para la flotación de partículas sólidas, a fin de utilizar los resultados obtenidos para un adecuado diseño de sistemas de transportes neumáticos, a consecuencia de esto se obtuvo que la velocidad de transporte neumático tendrá que ser mayor dependiendo de las dimensiones, como es el caso de la harina que necesita un caudal de aire mucho menor que es 5 m/s a diferencia del maíz blanco que se mueve a una velocidad 15,73 m/s.



TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES SCHOOL

THEME: DESIGN OF AN EXPERIMENTAL BENCH TO DETERMINE THE FLOTATION VELOCITY OF SOLID PARTICLES FOR PNEUMATIC CONVEYING PURPOSES.

Authors:

Álvarez Murillo Stalin Paúl

Toasa Tenorio Jhonatan Mauricio

ABSTRACT

The present project deals with the design of a bench to determine the flotation velocity of particles, depending on the aerodynamic characteristics, which are transported through piping systems driven by an air blowing system, usually performed empirically because the characteristics of the particles are not known for sure, as well as the properties they have at the time of being transported through these pipes. To solve the problem regarding the characteristics and properties of the particles, the design of an experimental bench of flotation velocity through a pipe of constant diameter is proposed, in such a way that it is easier to determine the necessary characteristics of the objects of study in order to be able to carry out future transport systems that comply with specific design and construction standards. For the implementation of the test bench there is a universal blower, to which a piping system will be implemented, with a hopper for the feeding of the particles and with an open piping system for the elevation of the same in order to achieve a measurement according to the wind flow, in this way the companies that wish to implement this type of system will help them to reduce transport times, the objective is to determine the air flow velocities required for the flotation of solid particles, in order to use the results obtained for an adequate design of pneumatic conveying systems, as a consequence of this it was obtained that the pneumatic conveying velocity will have to be higher depending on the dimensions, as is the case of flour that needs a much lower air flow which is 5 m/s as opposed to white corn that moves at a velocity of 15.73 m/s.



CENTRO
DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por los señores egresados de la **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, **Álvarez Murillo Stalin Paúl** y **Toasa Tenorio Jhonatan Mauricio**, cuyo título versa “**DISEÑO DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS CON FINES DE TRANSPORTE NEUMÁTICO.**”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, agosto del 2021.

Atentamente,

Mg. Emma Jackeline Herrera Lasluisa
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS UTC
C.C 0502277031



Firmado electrónicamente por:
**MARCO PAUL
BELTRAN
SEMBLANTES**



**CENTRO
DE IDIOMAS**

1 INFORMACIÓN GENERAL

TÍTULO: Diseño de un banco experimental para determinación de la velocidad de flotación de partículas sólidas con fines de transporte neumático.

TIPO DE PROYECTO: Proyecto Tecnológico

FECHA DE INICIO: abril 2021

FECHA DE FINALIZACIÓN: agosto 2021

LUGAR DE EJECUCIÓN: Universidad Técnica de Cotopaxi

FACULTAD QUE AUSPICIA: Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

CARRERA QUE AUSPICIA: Ingeniería Electromecánica

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN VINCULADO: Proyecto formativo

EQUIPO DE TRABAJO:

- Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; PhD
- Sr. Stalin Paúl Álvarez Murillo
- Sr. Jhonatan Mauricio Toasa Tenorio.

ÁREA DE CONOCIMIENTO:

Según la nomenclatura internacional de UNESCO para los campos Ingeniería industria y construcción tenemos el código 07 / 071 Ingeniería y profesiones afín / 0714 Electrónica y automatización.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

- Procesos Industriales

SUB LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA:

Sub línea 1: Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

2 INTRODUCCIÓN:

2.1 Problema:

Dentro de la provincia de Cotopaxi existen diversas formas de transporte de partículas sólidas las mismas que se generan a partir de la producción de materias primas, refiérase a las mismas tales como: maíz, trigo, cebada, quinua entre otros productos. Uno de los transportes más usados en la provincia dentro de la industria alimenticia es el transporte neumático, el cual se basa en impulsar aire comprimido a través de una tubería hueca por donde ingresa la materia prima y mediante el flujo de aire se transportarán de un sitio a otro, según el requerimiento del usuario.

Las industrias de la provincia que manejan este tipo de transporte tienen diferentes tipos de limitaciones debido a que al trabajar de manera empírica no se tiene un registro de las propiedades físicas y cinemáticas (tamaño, peso, flotabilidad, etc.) Relacionadas a la materia prima aplicada, provocando así pérdidas y daños tanto en los productos, así como en el sistema de transporte aplicado.

2.1.1 Situación Problémica:

En el Ecuador específicamente en la provincia de Cotopaxi, existe una gran producción de granos secos, los cuales al momento de ser cosechados de manera manual contienen un alto grado de impurezas. Estas partículas inútiles o innecesarias por lo general son eliminadas a través de un sistema automático o en algunas industrias pequeñas de forma manual, ambos sistemas mencionados funcionan a través de venteo o soplado. Las características dentro del diseño automático de soplado en la actualidad no poseen una fundamentación teórica práctica, por lo que es muy común encontrar sistemas mal instalados u obsoletos que en vez de ser eficientes causan un mayor consumo energético.

Debido a la forma de movilidad rudimentaria y empírica que se usa para el transporte de materias primas, la Universidad Técnica de Cotopaxi, se ha visto en la necesidad de implementar un banco experimental de pruebas, el cual contribuirá a la búsqueda de las propiedades físicas y cinemáticas de dichos elementos, que nos permitirá conocer la velocidad de flotabilidad de cada una de las partículas analizadas.

El banco de pruebas experimental de velocidad de partículas será un instrumento donde se pueda obtener la velocidad promedio de cómo se mueven dichos objetos puestos a prueba. Por este motivo se considera importante contar con este dispositivo que nos permita visualizar la

obtención de resultados, teniendo en cuenta la presión del flujo de aire y la presión generada dentro de la tubería, de modo que el estudiante ya podría dimensionar su propio sistema a partir de datos técnicos.

Aunque hay diferentes métodos de flotación y transporte de materias primas dentro de la industria, su aplicación está sujeta a numerosas limitaciones operacionales y económicas. En este trabajo expone una solución para encontrar las propiedades físicas y cinéticas a las que están sujetas algunas partículas sólidas.

2.1.2 Formulación del Problema:

¿De qué manera el diseño de un banco experimental permitirá identificar las propiedades físicas y cinemáticas a fin de conocer la velocidad de flotación de partículas para su transporte neumático?

2.2 OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN:

2.2.1 Objeto de Estudio:

Dentro del banco experimental de pruebas se desea parametrizar las propiedades físicas y cinemáticas de las partículas a fin de conocer la velocidad de flotación de las mismas.

2.2.2 Campo de Acción:

Según la nomenclatura internacional de UNESCO para los campos de Ciencias y Tecnología, se determina código #330000 (Ciencia y Tecnológicas), como campo amplio y especificando los códigos #3307, #3311, #2204,3313 (Tecnología Electrónica, Tecnología de la Instrumentación, Mecánica de fluidos, Tecnología e Ingeniería Mecánicas); definiendo códigos derivados como el #3307.03 (Diseño de circuitos), #3311.01 (Tecnología de la automatización), #3311.02 (Ingeniería de control), 3311.14 (Servomecanismos) , #2204.04 (Fluidos), #3313.01 (Ventiladores), # 3313.22 (Equipo Neumático).

2.3 Beneficiarios:

2.3.1 Directos: Los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica.

2.3.2 Indirectos: Las Industrias.

2.4 JUSTIFICACIÓN:

El presente trabajo de investigación se enfoca al diseño y construcción de un banco experimental de pruebas a fin de analizar las propiedades físicas y cinemáticas de distintas materias primas con el objetivo de llegar a parametrizar las distintas presiones y velocidades a las que los objetos cambian su velocidad de flotabilidad. De modo que se pueda obtener un listado equivalente experimental tanto de velocidades y presiones que necesita para que cada partícula pueda ser transportada a través de un sistema neumático que se pretenda diseñar o que se encuentre implementado dentro de la industria.

Los problemas de transporte y desgaste es otro factor que se pretende solucionar al dimensionar un correcto flujo y presión, de modo que mediante estas magnitudes ayuden a mejorar el transporte al que están sujetas las partículas dentro de una tubería por diseñar o que ya se encuentre implementada dentro de la industria, a fin de mejorar con esto la calidad de los productos dentro de la industria.

Los estudiantes de ingeniería electromecánica contarán con el diseño y toda la documentación del proyecto que permita realizar un diseño eficiente, que garantice disminuir pérdidas de material al momento de ser transportado.

Una vez terminado el banco de pruebas experimental servirá como una guía metodológica que ayudará a los estudiantes de ingeniería electromecánica a realizar experimentos de velocidades de flotación de partículas para realizar un correcto diseño de transporte neumático.

2.5 HIPÓTESIS:

El diseño y construcción de un banco experimental de velocidades de partículas ayudará a obtener las propiedades físicas y cinemáticas de cada objeto sometido a prueba de tal forma que se pueda obtener las características y dimensiones que se necesitan para el transporte de material a través de un conducto, así como ayudara al dimensionamiento de la tubería de transporte.

2.6 OBJETIVOS:

2.6.1 Objetivo General:

Diseñar y construir un banco de pruebas de velocidad de partículas mediante un sistema experimental para la determinación de la velocidad de flotación de partículas sólidas tales como maíz, trigo, cebada etc.

2.6.2 Objetivo Específicos:

- Recopilar información necesaria que permita tener en cuenta las exigencias que debe cumplir un sistema de transporte neumático.
- Construir el banco de pruebas para realizar sus respectivas pruebas.
- Validar los resultados encontrados mediante un análisis experimental.

2.7 Descripción de las actividades y tareas compuestas por los objetivos

Tabla 2.1. Sistema de actividades por objeto.

Objetivos Específicos	Actividades (Tareas)	Resultados Esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Recopilar información necesaria que permita tener en cuenta las exigencias que debe cumplir un sistema de transporte neumático.	- Comportamiento de un sistema neumático - Parámetros para el diseño de un sistema neumático.	- Conocimiento de las técnicas que se utilizan al momento de diseñar un sistema neumático.	- Revisión de artículos científicos.
Construir el banco de pruebas para realizar sus respectivas pruebas.	- Se realiza el diseño del banco de pruebas. -Selección de los elementos utilizados.	- El diseño cumple con las expectativas deseadas -Elementos adecuados para la construcción.	Utilizar el software más eficiente para el diseño del proyecto.

<p>Validar los resultados encontrados mediante un análisis experimental.</p>	<p>- Se verifican las velocidades con las que trabaja el sistema. - Se cambia el diámetro de tubería a 1 pulgada, 2 pulgadas, 3 pulgadas.</p>	<p>- Comportamiento de las partículas dentro del sistema. - Se obtiene la velocidad de flotación a diferente diámetro de tubería.</p>	<p>Funcionamiento del equipo diseñado para las pruebas.</p>
--	---	--	---

3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

3.1 Mecánica de fluidos

Dentro de la mecánica de fluidos existen varios conceptos: como primer concepto lo vamos a definir de la siguiente forma:

- Cuando el fluido es un gas, los sólidos son lógicamente insolubles con el gas, y por tanto son partículas sólidas. Sin embargo, si el fluido es un líquido, puede ocurrir que parte de ese líquido entre a formar parte de las partículas sólidas, formando una entidad denominada agregado que tiene el comportamiento de un sólido, es decir, pueden sedimentar. Por tanto, primeramente, se introducirán las partículas sólidas y sus características, y posteriormente se introducirán los agregados [1].
- La mecánica de los fluidos es la parte de la mecánica que estudia las leyes del comportamiento de los fluidos en equilibrio, hidrostática, y en movimiento, hidrodinámica [2].

3.2 Neumática

- La palabra neumática se refiere al estudio del movimiento del aire y así en sus comienzos el hombre utilizó el viento en la navegación y en el uso de los molinos para moler grano y bombear agua. En 1868 George Westinghouse fabricó un freno de aire que revolucionó la seguridad en el transporte ferroviario. Es a partir de 1950 que la

neumática se desarrolla ampliamente en la industria con el desarrollo paralelo de los sensores [3].

- Es la rama de la física que estudia la dinámica del aire a presión y a depresión (vacío); así como los fenómenos a que da lugar [4].

3.3 Transporte Neumático

El transporte neumático por tuberías horizontales, verticales y codos que aparecen en la literatura, establecen relaciones entre sus datos experimentales y cierto coeficiente que vincula las pérdidas por fricción totales del proceso de flujo que incluye ambas fases (sólida y gas) y las pérdidas por fricción debido al gas, que en esta investigación es el aire limpio [5].

Dentro del transporte de neumático se encuentran dos fases mismas que ayudan a diferenciar los parámetros:

Flujo en fase densa continua, donde el sólido ocupa la parte inferior de la tubería horizontal. El transporte en esta, requiere de altas presiones del gas y está limitado a distancias menores de un kilómetro [5].

Flujo en fase densa discontinua (se incluye el flujo en fase pistón), donde existen cavidades de aire entre la carga de material transportado a través de la tubería [5].

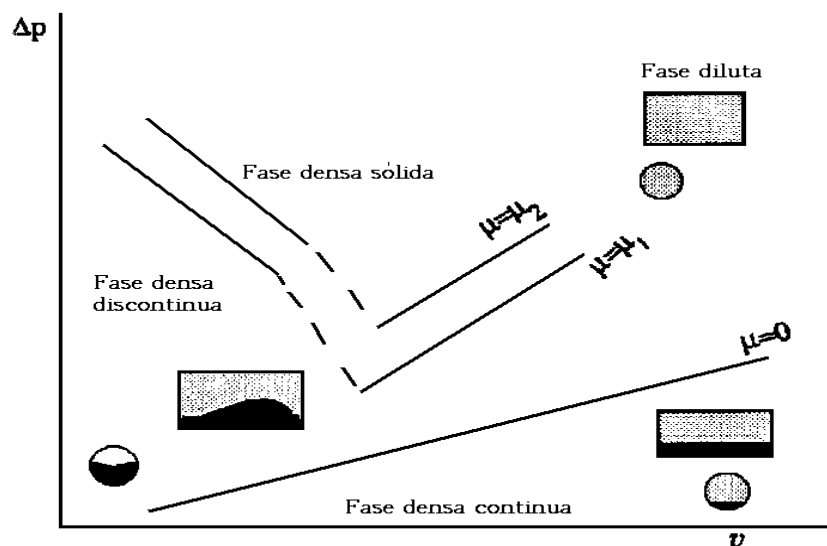


Figura 3.1. Distintas fases en el transporte neumático de materiales.

Fuente [5].

- Se lo define para transportar materiales sólidos a granel desde un punto a otro por medio de un flujo de gas a presión, ya sea positiva o negativa, y a través de una cañería. Materiales particulados finos en el rango de los micrones hasta partículas de 20 mm se pueden transportar en forma horizontal y/o vertical, desde algunos metros hasta máximo dos kilómetros de distancia, y con capacidades de hasta 1000 t/h a través de cañerías de hasta 500 mm de diámetro, ver figura 3.2. [6].
- El transporte neumático, por sus múltiples ventajas es uno de los más avanzados medios de manipulación de sólidos, reconociéndose como una tecnología de punta para enfrentar el desarrollo industrial y una vía efectiva para la utilización racional de los recursos energéticos en determinados sectores de la economía. Los sistemas de transporte neumático, aunque presentan indicadores económicos superiores con respecto a otros transportadores mecánicos su utilización ha estado limitada y la causa fundamental ha sido un supuesto excesivo consumo de energía [7].

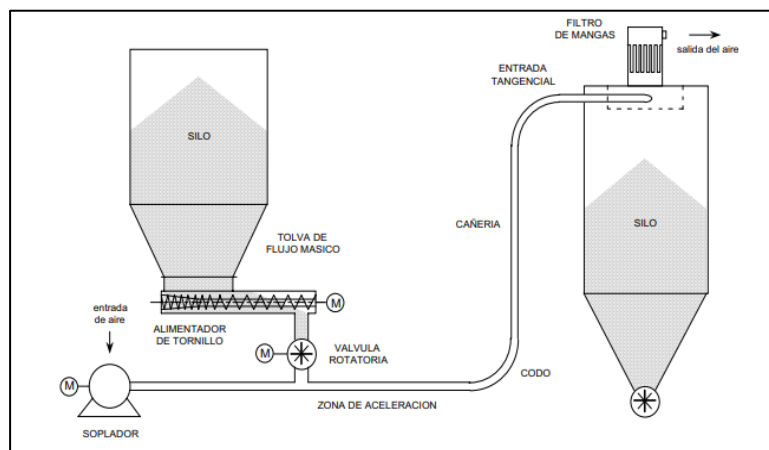


Figura 3.2. Esquema de un sistema de transporte neumático en fase diluida y de baja presión positiva.

Fuente: [6]

3.3.1 Parámetros de un diseño de sistemas de transporte neumático

Para diseñar y/o seleccionar un sistema nuevo de transporte neumático y/o para comprobar si un sistema existente opera adecuadamente, el primer paso es determinar las características físicas y de fluidez del material a manejar [6].

Para el diseño de un transporte neumático se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tamaño de partículas: máximo, mínimo y la distribución granulométrica,
- Densidad y forma de las partículas,
- Fluidez del material y su permeabilidad,
- Otros: abrasividad, toxicidad, fragilidad, dureza, reactividad, compresibilidad, tendencia a segregarse, efectos electrostáticos, etc.

3.4 Composición granulométrica

Debido a la importancia que tiene el diámetro de las partículas en el transporte neumático, se hace el análisis granulométrico con muestras tomadas a la salida de las tolvas de producto final de los molinos. Se selecciona un juego de tamices según la escala incompleta de Tayler con módulo $\sqrt{2}$, en esta selección se parte del diámetro máximo de las partículas, el tamizado se hace por vía húmeda [5].

3.5 Diseño Concurrente

Uno de los aspectos más destacados de esta nueva situación es la importancia que van adquiriendo las etapas de diseño y desarrollo de nuevos productos y servicios (y muy especialmente la especificación y el diseño conceptual) en el contexto de las actividades de las empresas, y el hecho de que en estas etapas se incorporen los requerimientos y condicionantes de los distintos contextos en los que convivirán estos productos y servicios, como el entorno productivo (fabricación, montaje, calidad, transporte), el entorno de utilización (funciones, prestaciones, fiabilidad, mantenimiento), o el entorno social (ergonomía, seguridad, impactos ambientales y fin de vida) [8].

3.5.1 Definición de ingeniería concurrente

Nueva forma de concebir la ingeniería de diseño y desarrollo de productos y servicios de forma global e integrada donde concurren las siguientes perspectivas:

- Desde el punto de vista del producto, se toman en consideración tanto la gama que se fabrica y ofrece a la empresa como los requerimientos de las distintas etapas del ciclo de vida y los costes o recursos asociados
- Desde el punto de vista de los recursos humanos, colaboran profesionales que actúan de forma colectiva en tareas de asesoramiento y de decisión (con presencia de las voces significativas) o de forma individual en tareas de impulsión y gestión (gestor de

proyecto), tanto si pertenecen a la empresa como si son externos a ella (otras empresas, universidades o centros tecnológicos)

- Desde el punto de vista de los recursos materiales, concurren nuevas herramientas basadas en tecnologías de la información y la comunicación sobre una base de datos y de conocimientos cada vez más integrada (modelización 3D, herramientas de simulación y cálculo, prototipos y útiles rápidos, comunicación interior, Internet).

Para designar este nuevo concepto, además del término ingeniería concurrente, en la literatura especializada aparecen otras denominaciones como ingeniería simultánea, diseño total o diseño integrado [8].

3.6 Aerodinámica de Partículas

Estas partículas en suspensión (MP) son una compleja mezcla de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos [9].

Debido a que son de tamaño, forma y composición variada, para su identificación se han clasificado en términos de su diámetro aerodinámico que corresponde al diámetro de una esfera uniforme en unidad de densidad que alcanza la misma velocidad terminal de asentamiento que la partícula de interés y que está determinado por la forma y densidad de la partícula [9].

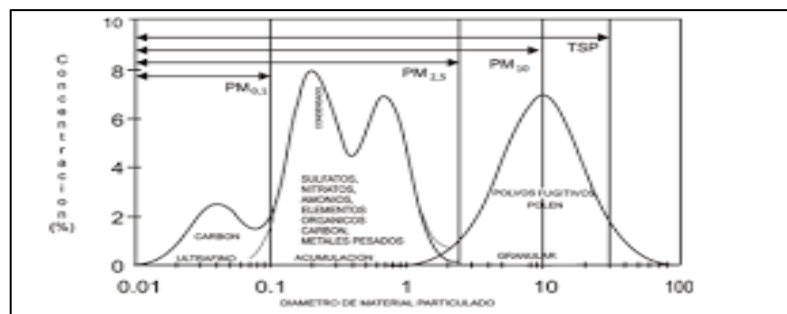


Figura 3.3. Distribución típica de las partículas en la atmósfera.

Fuente: [9]

3.7 Medición de Partículas Suspendidas Totales (PST)

Para la medición de PST se instala un equipo localizado apropiadamente en el sitio de muestreo. Este equipo arrastra una cantidad de aire ambiente a una caja de muestreo a través de un filtro,

durante un periodo de muestreo (nominal) de 24 horas, como el que se presenta en la Figura 5. La velocidad de flujo de muestreo y la geometría de la caja, favorecen la recolección de partículas hasta de 25- 50 μm (diámetro aerodinámico), según sea la velocidad y dirección del viento. Los filtros usados deben tener una eficiencia mínima de recolección del 99% para partículas de 0,3 μm [9].

3.8 Tipos de flujo y diagrama de estado

Dentro de la cañería de un sistema de transporte neumático pueden formarse diferentes tipos de flujo que se basan generalmente en observaciones visuales, donde el flujo puede comportarse de forma estable bajo determinados parámetros, mientras que en otros se torne inestable. Estos diferentes regímenes de flujo observados dependen tanto del tipo de sistema, como de la orientación de las cañerías (vertical u horizontal), de las características del material transportado, de la velocidad de transporte y de la concentración de sólidos [10].

La Figura 3.4 muestra esquemáticamente el comportamiento del flujo al interior de una cañería vertical al disminuir la velocidad del gas de transporte y/o aumentar la concentración de sólidos en la cañería.

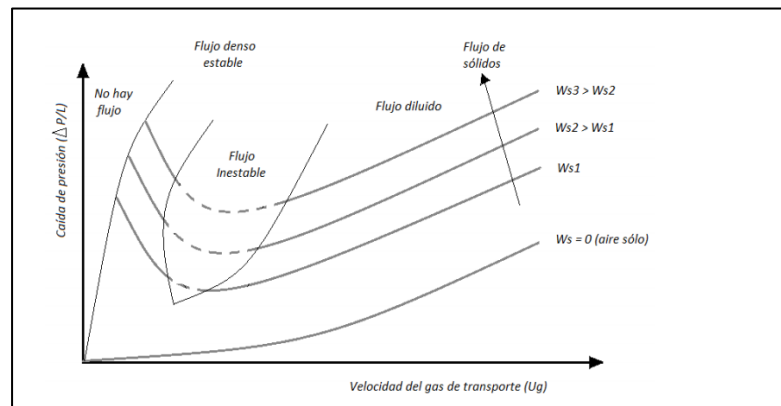


Figura 3.4. Esquema de un diagrama de estado

Fuente: [10]

3.9 Velocidad de las Partículas

- Una de las características aerodinámicas más importante de las partículas en las teorías modernas sobre el transporte neumático es la velocidad de flotación. Para una partícula caracterizada por su diámetro (d_s) y su velocidad de flotación (V_f), existe una cierta

velocidad del gas, por debajo de la cual el transporte neumático a presión atmosférica no es posible [5].

- La velocidad que adquieren las partículas luego de ser aceleradas en la zona de alimentación y mezcla. Cuando se requiere transportar sólidos finos y livianos, la velocidad de transporte de partículas (U_p) puede llegar a ser aproximadamente igual a la velocidad del gas, cuando el flujo es homogéneo. Sin embargo, para sólidos más grandes y pesados, la velocidad de transporte se ve afectada por la mayor inercia de las partículas, siendo menor a la velocidad del gas (U_g) [10].
- Las instalaciones de ventilación localizada captan normalmente partículas de granulometría fina, este tipo de instalaciones pueden ser diseñadas sobre la base de considerar que la velocidad mínima de transporte es igual a la velocidad de transporte por saltos. En la literatura técnica se encuentran propuestas distintas correlaciones semiteóricas y empíricas que permiten calcular la velocidad de transporte de partículas sólidas en conductos horizontales en función del tamaño y densidad de las partículas, de la relación sólido/aire y en algunos casos de la densidad del aire y del diámetro del tubo [11].
- Una de las interacciones reportadas exhaustivamente en la literatura es la denominada pushing en la que la interfase puede repeler en forma estacionaria una partícula delante de ella. Este proceso, en los casos observados es posible hasta que se alcanza una velocidad crítica de solidificación la cual se incrementa cuando el radio de la partícula disminuye. Los experimentos han sido mayormente desarrollados en líquidos transparentes como el agua [2-6]. Se han realizado diversos modelos para estudiar este fenómeno complejo, en los cuales el objetivo es el de determinar la velocidad crítica en función del radio para diferentes materiales [12].

Es importante llevar a cabo ya que estudiar la característica del flujo de líquidos y gases. A través de, la distancia recorrida por partículas individuales sembradas en un líquido o gas pueden rastrearse mediante imágenes sucesivas. Muchos investigadores están interesados en PIV porque ofreció nuevos métodos y promesas para estudiar la estructura del flujo es turbulento. Esta manera influenció fuertemente las opciones hechas en el desarrollo del método [13].

3.10 Característica de los conductores neumáticos.

Los equipos transportadores sirven para una gran variedad de propósitos en casi todas las industrias, así como en otras actividades comerciales y de servicios, estos permiten el transporte

con un flujo uniforme de una operación a otra, además de efectuar muchas otras funciones tales como distribuir el material, carga a granel y el llenado de contenedores, ya que su función principal es garantizar la continuidad de las operaciones teniendo en cuenta sus aplicaciones y tipo [5]. Una gran cantidad de materiales pulverizados, granulados y fluidos en general pueden ser transportados exitosamente mediante conductores neumáticos, tales como: cemento, polvo de carbón, granos, cenizas, algodón, alúmina y otros. La capacidad y fundamentales parámetros de estos conductos varían dentro de un amplio rango. Algunos tipos alcanzan capacidades hasta 3000 kg/h para un solo conducto. Una planta puede trasladar materiales hasta 1,8 a 2 km y una elevación de 100 m sin transferencias intermedias [5].

3.11 Flotación de Partículas

El tamaño de partícula del mineral es un parámetro importante en el proceso de flotación. En la literatura se pueden encontrar diversos trabajos que reportan el efecto del tamaño de partícula en la recuperación del mineral valiosa. Esto indica que la eficiencia del proceso de flotación se ve impactada negativamente cuando se opera en los extremos, es decir, con partículas finas (250 μm). Por ejemplo, en la flotación de minerales de fosfatos en celdas convencionales el rango óptimo de partícula suele estar en fracciones entre $>45 \mu\text{m}$ [14].

3.12 Impresión 3D

- Se exploraron varias alternativas de impresoras existentes en el mercado, para seleccionar la más adecuada para cada caso (Tabla I, criterios de selección). Se seleccionó la impresora Project 660 Pro, con capacidad de fabricar detalles de 0,1 mm, para la impresión de las prospecciones cadavéricas brazo plas tinado y tronco fresco, esto debido a la amplia representación de colores que permite impresiones en base CMYK [15].
- Es un proceso que convierte gráficos 3d en objetos físicos, Este proceso es similar al de imprimir sobre un papel, de ahí el concepto de “imprimir en 3D”, la diferencia principal es que en vez de imprimir sobre un plano se crea un objeto tridimensional. Existen tres métodos para crear impresiones 3d: por compactación, por adición o de inyección de polímeros y estereolitografía [16].

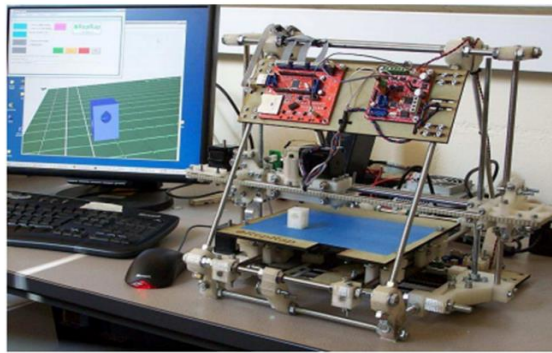


Figura 3.5. Impresora 3D modelo Mendel

Fuente: [16]

Los visores de protección facial evitan que las gotitas respiratorias terminen en alguna parte del rostro humano previniendo el contagio, y pueden ser construidas usando impresión 3D de consumibles básicos como PLA o ABS, a diferencia de las mascarillas que requieren filamentos especiales (antibacterianos). El componente de impresión es un soporte rígido que contiene una lámina transparente reemplazable (PET, PVC o acetato). Estos visores pueden ser desechables, aunque se esterilizan mediante procesos químicos para su reutilización [17].

Para este caso se diseñan, construyen y aplican visores de protección facial que permite analizar los recursos necesarios y la cantidad de beneficiarios del producto. El soporte se diseña partiendo del trabajo y realizando algunos cambios en Tinkercad. Se dimensiona a un 105% del tamaño original a los lados del visor, se fija un único agujero en cada extremo, y se incorpora el sello de la institución para darle seguimiento al producto. La figura 2 muestra el diseño del soporte, este dispone de una ranura para ajustar la lámina de protección y los agujeros que sujetan el elástico [17].

3.13 Selección de software

Actualmente existen diversas empresas dedicadas al diseño de software gratuito para modelado 3D de buena calidad; la gran variedad de software tales como: Blender, Sketchup, OpenSCAD, SolidWorks, AutoCAD entre otros, permite al usuario elegir el programa a su comodidad y de esta manera empezar a crear un diseño digital. Por otra parte, el diseño de un modelo 3D requiere de una conversión desde un formato STL a un lenguaje gcode comprensible por la impresora 3D para realizar el proceso de impresión; para este paso se utilizan software como: Slic3r o Cura de ultimaker [18].

3.14 Definición de los tipos de software

Software Slic3r.- Slic3r es una herramienta que traduce modelos 3D digitales en instrucciones que puedan ser entendidos por una impresora 3D (Figura 1). Slic3r corta el modelo en rebanadas horizontales (capas), genera las trayectorias para rellenarlas y calcula la cantidad de material a extruir [18].

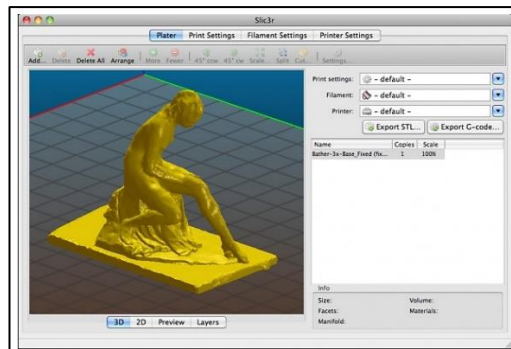


Figura 3.6. Interface del software Slic3r

Fuente: [18]

Software Cura Ultimaker.- Cura es un software abierto (open-source) desarrollado por Ultimaker que permite transformar modelos 3D en instrucciones entendibles por la mayoría de las impresoras 3D (Figura 2). Permitiendo generar un objeto físico a partir de su modelo generado por ordenador [18].

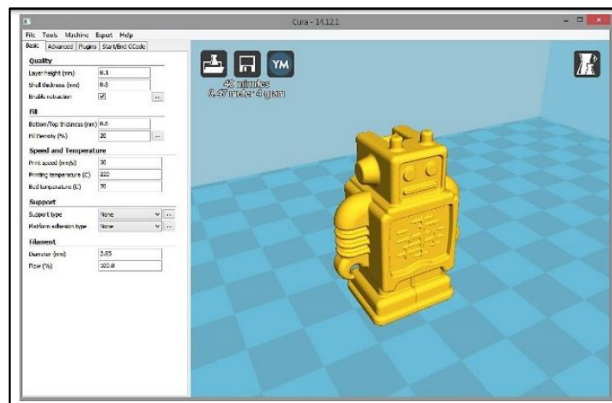


Figura 3.7. Interface del software Cura Ultimaker.

Fuente: [18]

3.15 Comunicación serial para un Microcontrolador

Es posible utilizar cualquier microcontrolador considerando algunas excepciones que se mencionan posteriormente. Para unificar la metodología se utilizó primeramente el microcontrolador PIC16F628A de Microchip, debido a que es un dispositivo de bajo costo y que se consigue fácilmente en el mercado nacional; las características de este circuito integrado son: 2048x14 bits en memoria de código, 224x8 bits en memoria de datos, 128x8 bits en memoria EEPROM, una frecuencia de trabajo máxima de 20MHz, 16 puertos E/S, dos comparadores analógicos [19].

3.16 Arduino

Es considerando algunas excepciones que se mencionan posteriormente. Para unificar la metodología se utilizó primeramente el microcontrolador PIC16F628A de Microchip, debido a que es un dispositivo de bajo costo y que se consigue fácilmente en el mercado nacional; las características de este circuito integrado son: 2048x14 bits en memoria de código, 224x8 bits en memoria de datos, 128x8 bits en memoria EEPROM, una frecuencia de trabajo máxima de 20MHz, 16 puertos E/S, dos comparadores analógicos [20].

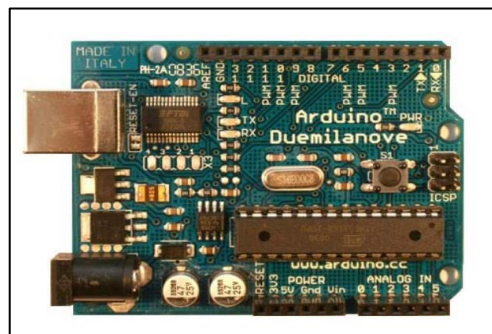


Figura 3.8. Arduino 1 Circuito Integrado

Fuente: [20]

3.16.1 Desarrollo de Arduino

Para programar la placa es necesario descargarse de la página web de Arduino el entorno de desarrollo (IDE). Se dispone de versiones para Windows y para MAC, así como las fuentes para compilarlas en LINUX. En la figura 6 se muestra el aspecto del entorno de programación [20].

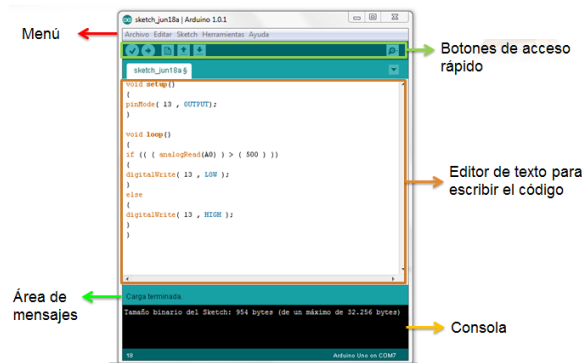


Figura 3.9. Entorno de Desarrollo para Arduino

Fuente: [20]

3.17 Tuberías y conexiones

Tuberías

El PVC es esencialmente un polímero amorfo, en el que las moléculas se encuentran dispuestas en direcciones aleatorias. Sin embargo, bajo unas determinadas condiciones de presión, temperatura y velocidad, y mediante un estiramiento del material, es posible ordenar las moléculas del polímero en la misma dirección en la que se ha producido dicho estiramiento. En función de los parámetros del proceso y sobre todo de la ratio de estiramiento, se obtiene un mayor o menor grado de orientación. El resultado es un plástico con una estructura laminar, cuyas capas se aprecian a simple vista [21].

Los extraordinarios avances técnicos del sistema de fabricación de Molecor proporcionan a la tubería TOM la máxima fiabilidad y seguridad y atractivas ventajas frente a otros productos: Máxima orientación molecular: Clase 500 según ISO 16422, la más alta y la que ofrece las mejores propiedades mecánicas [21].

Norma Producto	Unidades	TOM*	PVC	PE-100	PE-80
		ISO 16422 UNE-EN 17176	UNE-EN 1452	UNE-EN 12201	UNE-EN 12201
Resistencia mínima requerida (MRS)	MPa	50,0	25,0	10,0	8,0
Coefficiente global de servicio (C)	-	1,4	2,0 ⁽¹⁾	1,25	1,25
Esfuerzo de diseño (σ)	MPa	36,0	12,5	8,0	6,3
Módulo de elasticidad a corto plazo (E)	MPa	4.000	>3.000	1.100	900
Resistencia a tracción uniaxial	MPa	≥48	≥45	19	19
Resistencia a tracción tangencial	MPa	>85	≥45	19	19
Dureza Shore D a 20 °C	-	81 - 85	70 - 85	60	65

Figura 3.10. Resumen de las características mecánicas de las tuberías de PVC orientado TOM clase 500 frente a otras tuberías plásticas.

Fuente: [21]

4 METODOLOGÍA.

4.1 Introducción

El presente proyecto está basado en un estudio descriptivo debido al movimiento de cada una de las etapas o partes que conforman la tesis, esta información es presentada en forma clara y concisa para especificar cada proceso de forma general, las características específicas del proceso se encuentran dirigidas a las temáticas concernientes dentro de lo estipulado por la tesis en cuestión.

La tesis se realizó en base al método deductivo, que en base a su aplicación ayuda con el razonamiento a fin de obtener conclusiones o resultados que parten datos obtenidos o generados por parte de la maqueta, lo que conlleva a un manejo general de todos los procesos y variables que se exponen dentro de la tesis.

Métodos bibliográficos ayudan con la investigación de antecedentes, problemáticas o investigaciones relacionadas con el tema dentro de libros o folletos impresos, así como en fuentes digitales, todo a fin de encontrar métodos o técnicas específicas en el diseño CAD 3D, para posteriormente plasmar de lo digital a lo real expuesto en una maqueta de desarrollo que una todas las características, además ayuda a completar el presente marco teórico, basados en una correcta fundamentación científica.

4.2 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

4.2.1 Variable dependiente

- Velocidad de flotación

4.2.2 Variable independiente

- Diámetros de partículas.
- Longitud de la tubería.
- Peso.
- Densidad de partículas.
- Presión.

4.3 Metodología del proceso de diseño del banco de pruebas experimental

En este capítulo se detalla los procesos que ayudaron a construir el banco de velocidades de partículas, así como el entorno virtual a través de una pantalla TFT, para su control.

En el siguiente esquema se describe el funcionamiento de funcionamiento del banco de pruebas, figura 4.1.

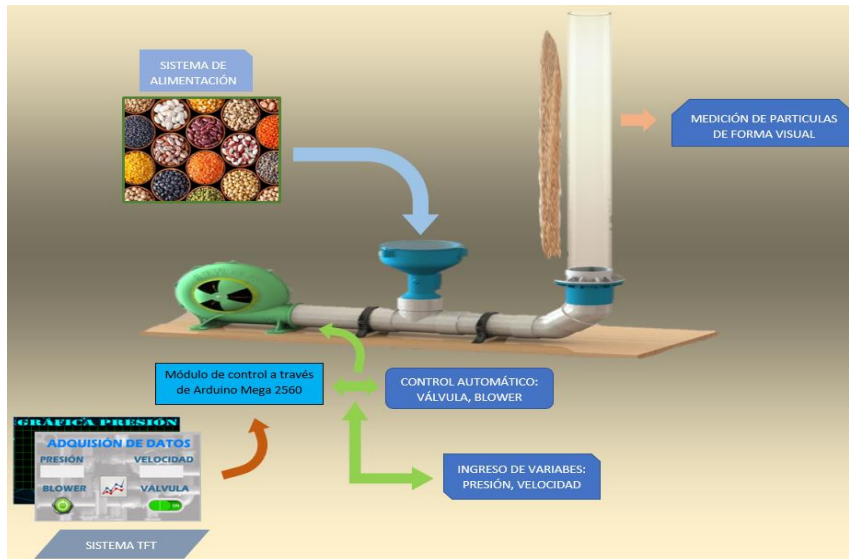


Figura 4.1. Esquema del funcionamiento del banco de pruebas

El sistema requiere del intercambio de la información entre la pantalla TFT y el Arduino Mega 2560 a fin de poder manipular las variables de estado tales como: Blower, Válvula, control del sistema, en respuesta a las variables de estado el Arduino Mega 2560 es capaz de emitir variables de control hacia la pantalla, tales como: Presión, Velocidad del viento, gráficas de estado. Todo esto mientras el banco de pruebas está en funcionamiento.

Para poder medir la distancia de las partículas se agregaron tres diferentes tipos de tuberías graduadas bajo una escala personal, en diferentes medidas al diámetro, pero conservando la longitud inicial de 1 metro.

4.4 Implementación del banco de pruebas

Para la implementación del banco de pruebas se dispone de un Blower universal al cual se le implementará, un sistema de tuberías, con una tolva para la alimentación de las partículas y con un sistema de tuberías abiertas para la elevación de las mismas a fin de conseguir una medida de acuerdo al flujo de viento.

4.4.1 Diagrama P&ID del banco de pruebas.

En la figura 4.2. Se encuentra el diagrama P&ID del banco de pruebas en donde se implementará el control de variables y la adquisición de datos a través de Arduino. Este diagrama es el pilar fundamental para el diseño CAD en SolidWorks del banco de pruebas.

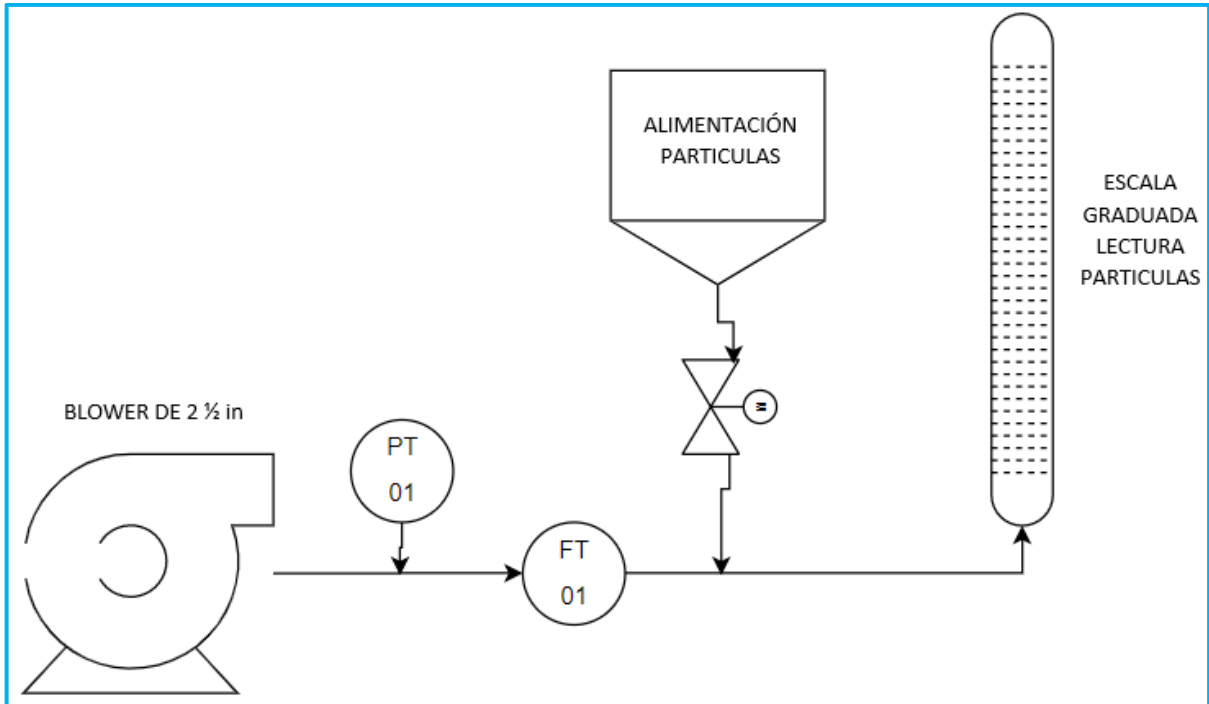


Figura 4.2. Diagrama P&ID del banco de partículas

En el diagrama mostrado en la figura 4.2, se observa el banco de pruebas con todas las variables que se manejan dentro del control de partículas, el Blower o soplador inyecta aire a gran velocidad controlada hacia un tramo de tubería donde se ubican los sensores de presión y cantidad de aire o flujo que genera el compresor, una que vez atraviesa el fluido, el aire pasa hacia a una T en donde la válvula de control a través de un servomotor dará apertura a la válvula de un ángulo de 0 a 90 grados, dejando caer las partículas hacia la tubería para posteriormente ser arrastradas por el fluido hacia el tubo de medición.

El sistema presenta dos de las variables a controlar que son la presión y la velocidad del fluido que atraviesa por la tubería.

4.4.2 Diseño del sistema CAD

Para el diseño CAD o diseño asistido por computadora se utiliza como software principal SolidWorks donde a través de los componentes existentes en el mercado se logrará realizar una simulación computarizada de la maqueta terminada, para su posterior construcción.

Para el inicio del diseño CAD se toma como referencia el diámetro y potencia que genera el Blower, delimitando en gran cantidad el uso de materiales estándar del mercado nacional. El diámetro exterior del Blower arroja un valor de 70 mm de diámetro como se muestra en la figura 4.3.



Figura 4.3. Datos Blower, secciones tubería PVC

De este valor se parametriza tuberías y acoples PVC estándar que se pueda usar para conformar el banco de pruebas de partículas, la tubería que se acopla al sistema o la adecuada es una tubería de 3 pulgadas en sistema inglés o 75 mm en el sistema métrico, con la tubería obtenida a un valor estándar nacional se procede a obtener una T y codos de 45 grados en PVC.

Se empieza por el diseño del Blower con sus características y dimensiones reales, para de esta forma proceder a realizar los acoples y dimensionar las piezas inexistentes dentro del mercado nacional, las mismas que se crearán en impresión 3D.

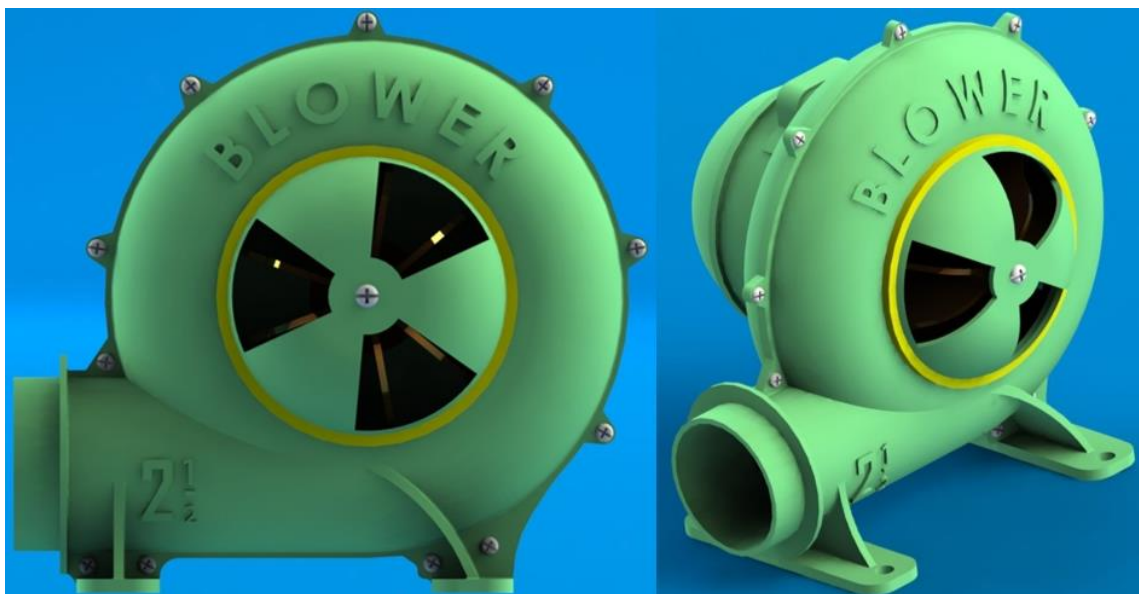


Figura 4.4. Diseño CAD del Blower para el banco de pruebas

Se toma la distancia total definida por los autores de esta forma se estima las dimensiones de la maqueta real, con esta medida y con las medidas oficiales de la T y los codos de 45 grados en PCV otorgados por las hojas de datos de la empresa. Se obtiene las dimensiones generales del

proyecto las cuales ayudarán al corte de la mesa de la maqueta definido por los valores 80 cm por 40 cm.



Figura 4.5. Materiales normados bajo características expuestas por la empresa fabricante

Las características de los elementos obtenidos serán una unión tipo T de forma recta, y dos codos de 45 grados fabricados en PVC como se muestra en la figura 1.5, los dos codos de 45 grados se unirán, para formar un codo de 90 grados, pero de forma suave, con el fin de que no se genere pérdidas o perturbaciones en la salida del flujo de aire.

Las dimensiones de las tuberías rectas serán de la misma forma definida por los autores, esto para tratar de no extender mucho la longitud del soplador de aire a fin de no generar mucha resistencia en la conducción del aire a través de la tubería. Las dimensiones de la tubería serán 10 cm de longitud libre de la distancia de las uniones en PVC.

4.4.3 Diseño CAD piezas impresas.

Dentro del diseño CAD del banco de pruebas, existen piezas fabricadas en base a impresión 3D, de modo que el diseño de las piezas debe ser óptimo y manejar las distancias adecuadas de las normas expuestas por los fabricantes de las piezas en PVC. Para las dimensiones de las piezas en 3D se obtienen valores generales como el diámetro externo de 75 mm de las tuberías y uniones, así como el valor desde la base del Blower hacia el inicio de la tubería de 17 mm como se indica en la figura 4.3.

Las primeras piezas que se diseñan son los soportes tanto alto y bajo para mantener a la tubería de tres pulgadas estable, así como todo el diseño. Para esto se implementa un sistema de ajuste hacia la maqueta de dos pernos milimétricos M4 para los soportes bajos con un ancho de soporte

de 15 mm esto a fin de otorgar una distancia del 100 % en cada lado del taladro realizado en la pieza. Para reforzar el diseño se le implementa nervios de tres milímetros en cada pared de los taladros todo esto para aplicar fuerza y las piezas inferiores no sufran ninguna deformación a la presión.

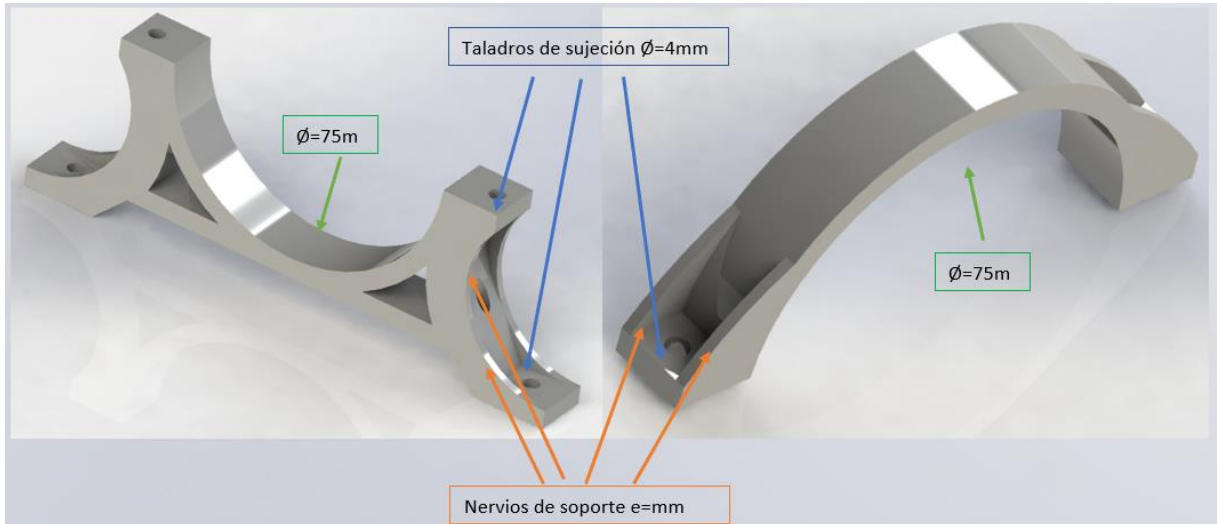


Figura 4.6. Dimensiones y medidas de los soportes altos y bajos

Para la sujeción entre las piezas altas y bajas se usa dos taladros de diámetro de 4mm, los mismos que alojarán pernos milimétricos M4, a su vez se refuerza el diseño tanto para las piezas altas y bajas con nervios de tres milímetros. La separación aplicada entre cada una de las piezas altas y bajas será de 5 mm por lado y este valor se ajustará por medio de los pernos mencionados como se indica en la figura 4.7.

Debido a que las piezas diseñadas al ensamblarse toman una forma de abrazadera al momento de ajustar los pernos las tuberías quedarán firmes, respetando su diámetro y forma original.

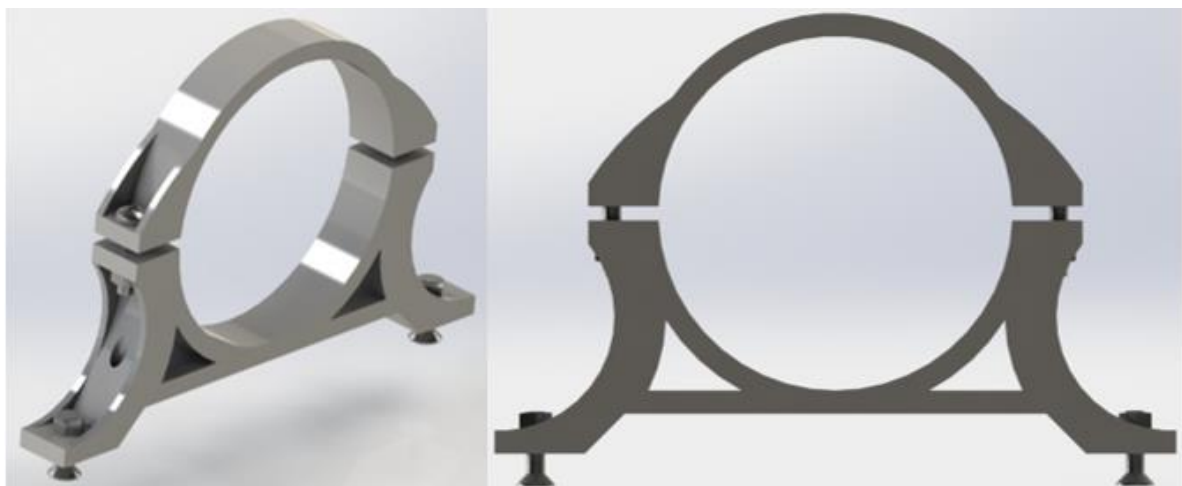


Figura 4.7. Brida armada para soporte tubería

Dentro del diseño del banco de velocidades una de las piezas más importantes son las bridas que serán la unión entre las tuberías de acrílico y el banco de velocidades en sí, para esto se dispone de la salida en 90 grados de forma suave a la que se le acoplara una brida principal de tipo hembra con una superficie plana en donde se alojan diferentes tipos de bridas secundarias. Este sistema será empernado y contará con empaques de tal forma que el sistema sea sellado de forma hermética para así evitar cualquier posible fuga.

Para la brida principal se toma como valor principal el diámetro externo de la tubería de tres pulgadas o 75 mm, a este valor se le aumentará un espesor de pared de tres milímetros de tal forma que tome el mismo espesor de la tubería expuesta por el fabricante. Para la altura de la brida se tomará en cuenta dos valores, el primer valor será la distancia de ingreso de la brida con el codo de 90 grados suave, el mismo valor será de 40 mm. El segundo valor a tomar en cuenta será el ingreso de la brida secundaria en la brida principal este valor será de 50 mm.

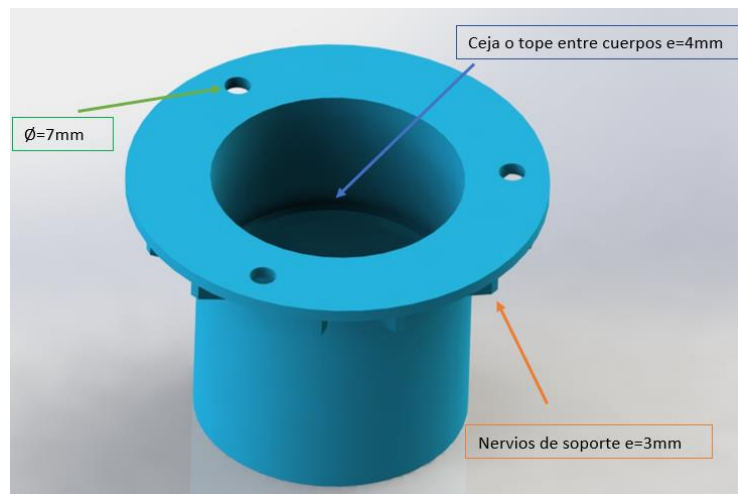


Figura 4.8. Brida principal para acoples entre banco y tuberías

Dentro del diseño concurrente la brida contará con una ceja que servirá como tope para el codo suave de 90 grados y la brida secundaria, esto con la finalidad de que las tuberías no se topen entre sí y pueda alojarse de forma correcta, la distancia que se otorga a la brida es una distancia ideal para que las bridas secundarias tengan un acople de mejor calidad y que los pernos ajusten de manera correcta.

Para soportar el esfuerzo o ajuste de los pernos sin que la pieza sufra deformación se agregan cartelas o nervios en el contorno de la superficie exterior formando ángulos lisos con la finalidad de que no sean estorbosos para los pernos, pero a su vez que cumplan con el objetivo de colocarlos.

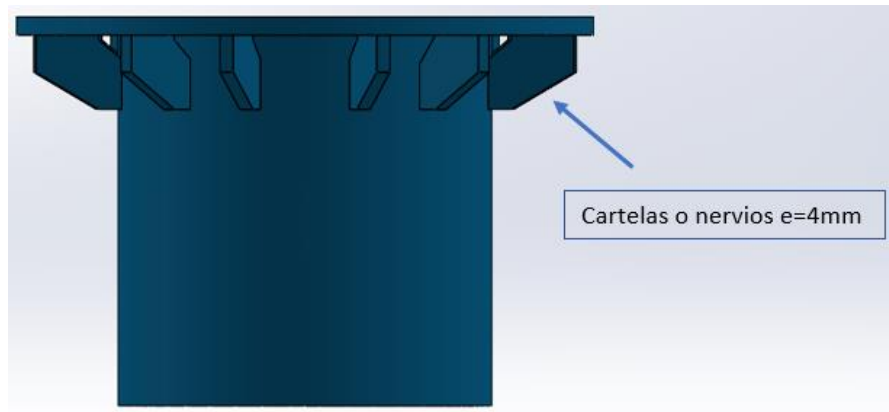


Figura 4.9. Cartelas o nervios para ayudar a preservar la figura de la brida

La siguiente pieza en el diseño son las bridas secundarias, las mismas que deben ser diseñadas para cada una de las tuberías con la finalidad de que tomen una forma especial y no causen ningún defecto o perturbación del funcionamiento del banco de velocidades. Para la brida secundaria de tres pulgadas se usará el mismo funcionamiento de acople normado desde la empresa principal.

El primer valor a tomar en cuenta será el valor del tubo acrílico el mismo que es de diámetro externo de 75 mm, semejante al valor del diámetro interno de la brida principal, esto con la finalidad que las piezas ensamblen de forma correcta, en el segundo tramo de la brida principal tiene un diámetro interno de 75 mm en donde ingresará la tubería de acrílico a la cual se le sellará con pega especial como se muestra en la figura 4.10.

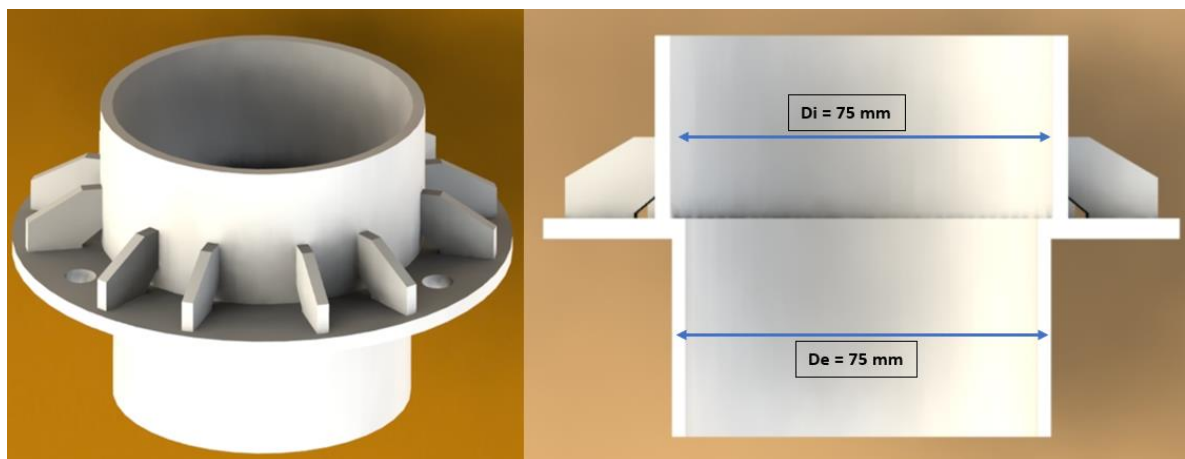


Figura 4.10. Brida secundaria para la tubería acrílica de tres pulgadas.

Como los diámetros de las tuberías son las mismas no se realiza ninguna modificación o curvatura especial, de modo que en el diseño no se visualiza obstrucción o pérdidas en el flujo

del aire como se muestra en la figura 4.11. De modo que cuando la compuerta o válvula se abra el flujo de aire no presente oposición por parte del diseño.

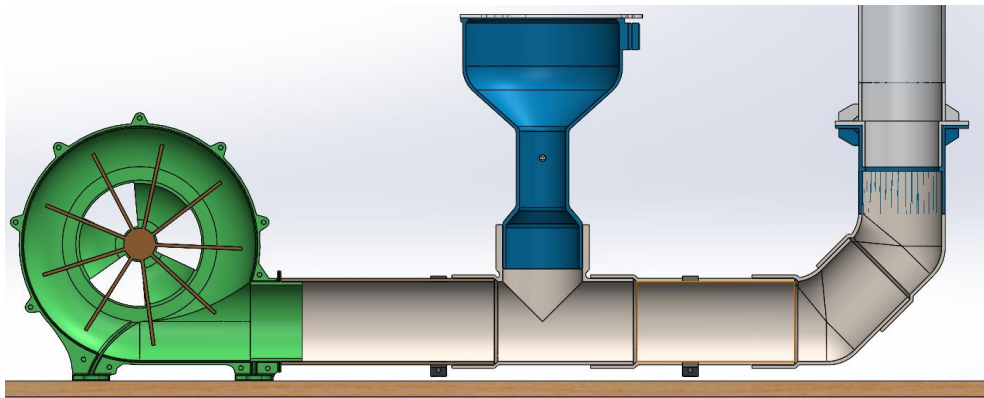


Figura 4.11. Diagrama en sección del ensamble del banco de velocidades

La siguiente brida secundaria será para una tubería de dos pulgadas, al ser una tubería más delgada se deberá realizar una curvatura en la parte baja de la tubería a fin que la misma no presente perturbaciones o pérdidas en la circulación del aire. Este valor modificado no debe interferir con el diámetro externo. La curvatura nos ayudará a que las partículas no queden atrapadas en aristas o ángulos rectos dentro de la tubería como se muestra en la figura 4.12.

El primer valor a tomar en cuenta será el valor del tubo acrílico el mismo que es de diámetro externo de 50 mm, semejante al valor del diámetro interno de la brida secundaria, esto con la finalidad que las piezas ensamblen de forma correcta, en el segundo tramo de la brida principal tiene un diámetro externo de 75 mm en donde ingresará la brida principal como se muestra en la figura 4.12.

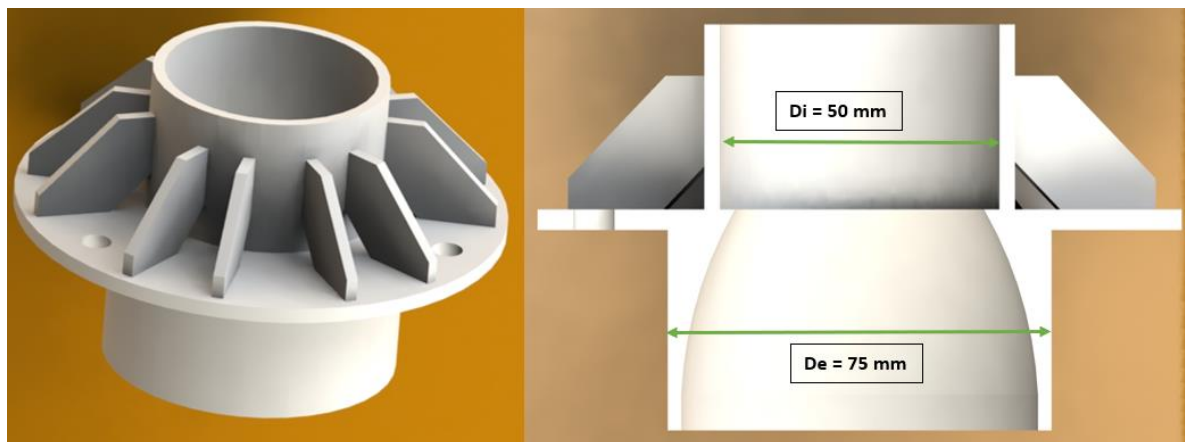


Figura 4.12. Brida secundaria para la tubería acrílica de dos pulgadas.

La siguiente brida secundaria será para una tubería de una pulgada, al ser una tubería más delgada se deberá realizar una curvatura en la parte baja de la tubería a fin que la misma no

presente perturbaciones o pérdidas en la circulación del aire como la expuesta en la brida secundaria de dos pulgadas. Este valor modificado no debe interferir con el diámetro externo. La curvatura nos ayudará a que las partículas no queden atrapadas en aristas o ángulos rectos dentro de la tubería, así como su valor de curvatura para que el aire no presente pérdidas o fricciones al momento de ser expulsado por el Blower como se muestra en la figura 4.13.

El primer valor a tomar en cuenta será el valor del tubo acrílico el mismo que es de diámetro externo de 28 mm, semejante al valor del diámetro interno de la brida secundaria diseñada para la tubería, esto con la finalidad que las piezas ensamblen de forma correcta. Para el segundo tramo de la tubería el diámetro externo será de 75 mm en donde ingresará la brida principal como se muestra en la figura 4.12.

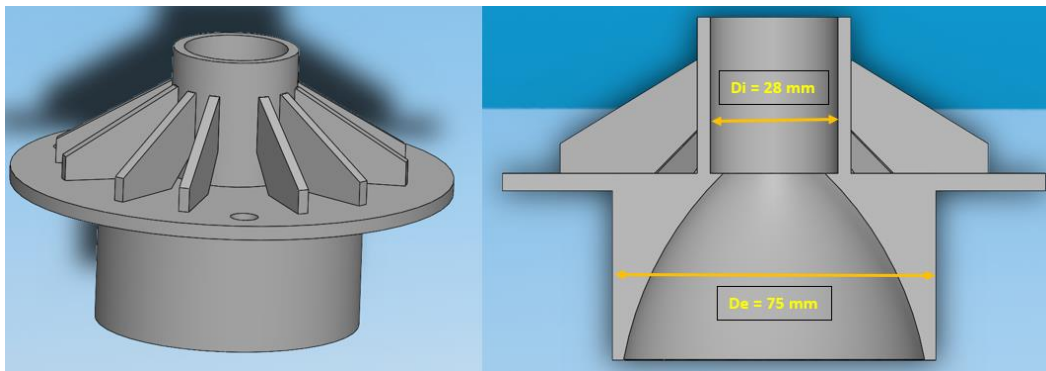


Figura 4.13. Brida secundaria para la tubería acrílica de dos pulgadas.

Para la siguiente pieza que es la tolva con válvula se define el diseño en tres piezas, la primera pieza será la tolva en donde se aloja las partículas a ser analizadas en el tubo de acrílico, para esto se considera un diámetro principal de boca definido por los usuarios en 150 mm, y un diámetro interno de boca de 138 mm y una altura de 115 mm en la parte inferior se coloca un diámetro de paso de 45 mm este valor se compartirá entre la segunda y tercera pieza.

El ancho de pared será de tres milímetros los mismos que se utilizan en todas las piezas obtenidas por fabricantes de tuberías en PVC, para la tapa se coloca tres pernos repartidos cada 120 grados esto con la finalidad de ajustar de forma correcta la tapa y evitar fugas de aire.

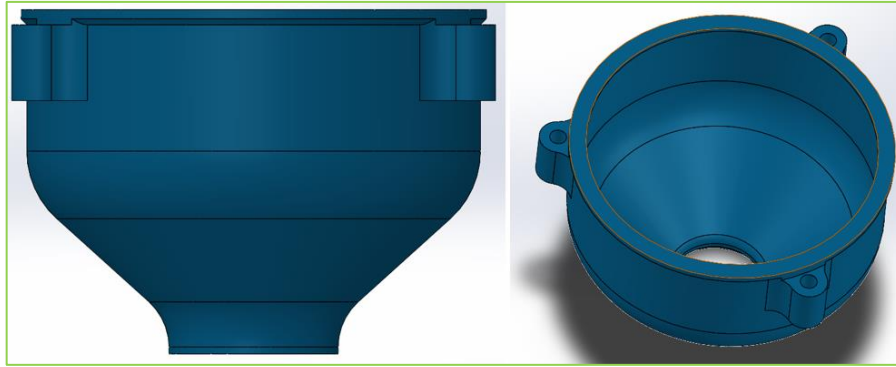


Figura 4.14. Tolva diseñada por los autores

Para la segunda pieza se toma como valor nominal el diámetro externo de la parte inferior de la tolva y se diseña una tubería recta a la cual se le acopla un cuerpo cuadrado en donde ingresara un servomotor MG995 el mismo que tiene capacidad de mover hasta 15 Kg, a este cuerpo se le agrega taladros en donde se ajuste los pernos para el servomotor. Para formar la válvula de paso se agrega una extrusión frente al cuerpo del servomotor de forma que en la extrusión se pueda alojar un eje con aletas para formar la tapa de la válvula como se muestra en la figura 4.15.

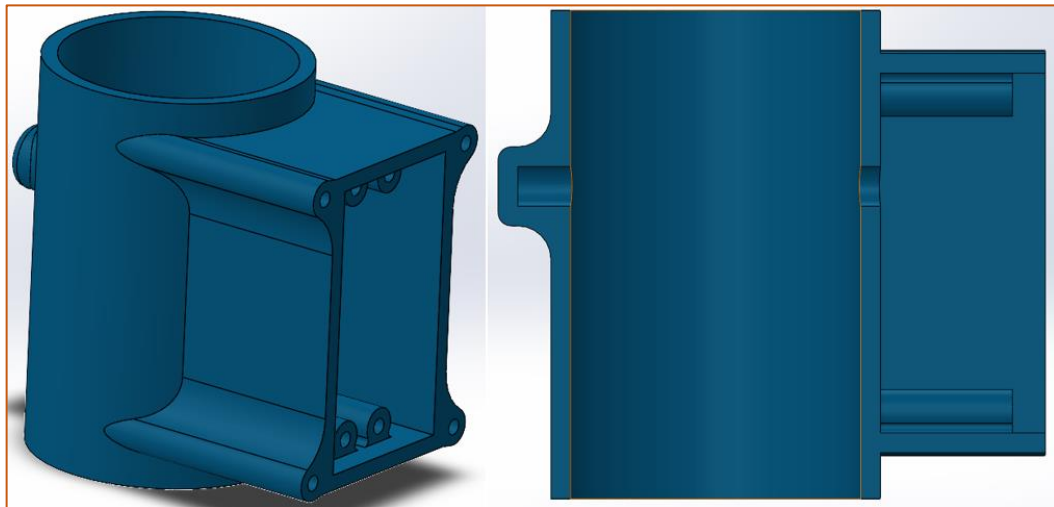


Figura 4.15. Diseño de la válvula de paso

Debido a que el servomotor dispone de un eje perpendicular a su cuerpo y dispone acoples rápidos fabricados en plástico se diseña un eje hueco para poder ubicar desde la parte del servomotor hasta la extrusión como se muestra en la figura 4.16. Para adaptar las tapas de la válvula se coloca el eje en su posición inicial y se ensambla las aletas en su posición formando un ángulo de 180 grados entre las aletas y con esto se forma la válvula de paso esto se somete a un pegado especial de modo que se pueda llegar a generar in solo cuerpo como se muestra en la figura 4.16.

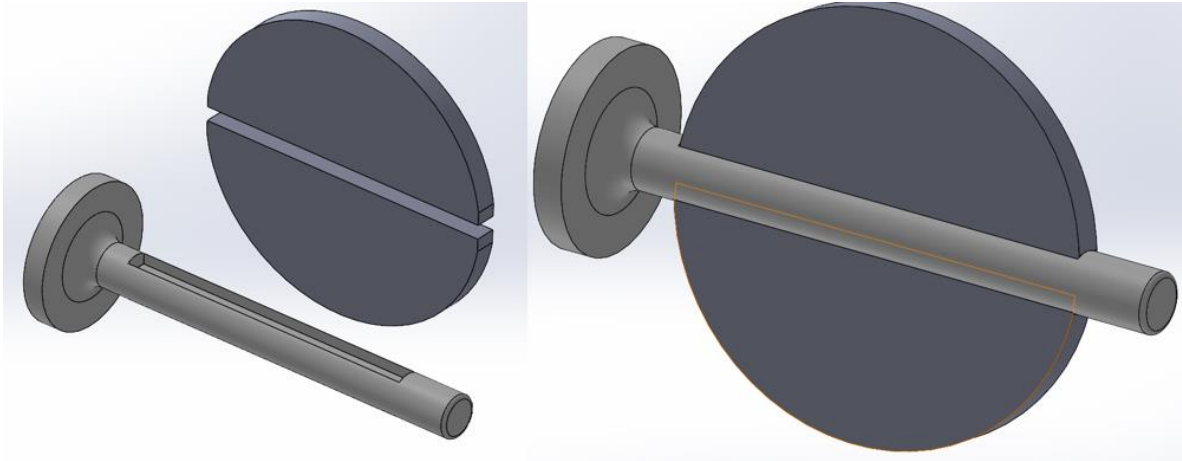


Figura 4.16. Eje de la válvula y aletas antes y después del ensamble.

La tercera parte que conforma el cuerpo será la unión entre la tolva y la T de PVC que forma el banco de velocidades, esta tendrá un diámetro superior principal de 45 mm el mismo valor de la válvula, y en la parte inferior tendrá un diámetro de 75 mm para que la pieza pueda ensamblar de forma correcta al banco de velocidades. El ensamble de las tres piezas toma el nombre de sistema Tolva-Válvula, y este ensamble corresponde al sistema de alimentación de partículas hacia el sistema de aire, para evitar que se escapase aire a través del servomotor se acopla una tapa impresa en 3D con un empaque para que al momento de ajustar por los pernos m3 expuestos en cada una de las paredes no exista fuga alguna en el sistema como se muestra en la figura 4.17.

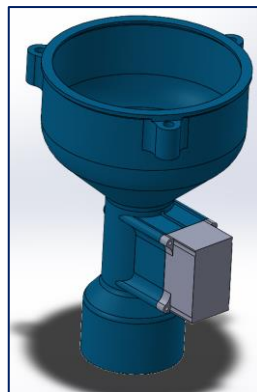


Figura 4.17. Sistema Tolva-Válvula ensamblado junto con la tapa del servomotor

Dentro del diseño de las piezas impresas también se diseña la caja y el sistema giratorio de la pantalla esto con el fin que el sistema y la caja sean compactas y de fácil instalación, para esto se toma las dimensiones de hojas de datos de los componentes que conforman la parte eléctrica tales como: Arduino Mega 2560, Relé de dos canales, Fuente de alimentación de Arduino,

adaptadores de voltaje e interruptores. Todos estos elementos se encontrarán en la parte baja de la caja como se muestra en la figura 4.18.

De la misma forma se integrará una tapa hueca por donde pasarán los cables de la pantalla hasta formar el sistema giratorio de la pantalla con el sistema de control principal, para las sujeciones de la caja y la tapa se aplican taladros de 2.98 mm y se aplica machuelos la impresión con pernos M3, de tal forma que no necesite de tuercas para ensamblar el diseño.

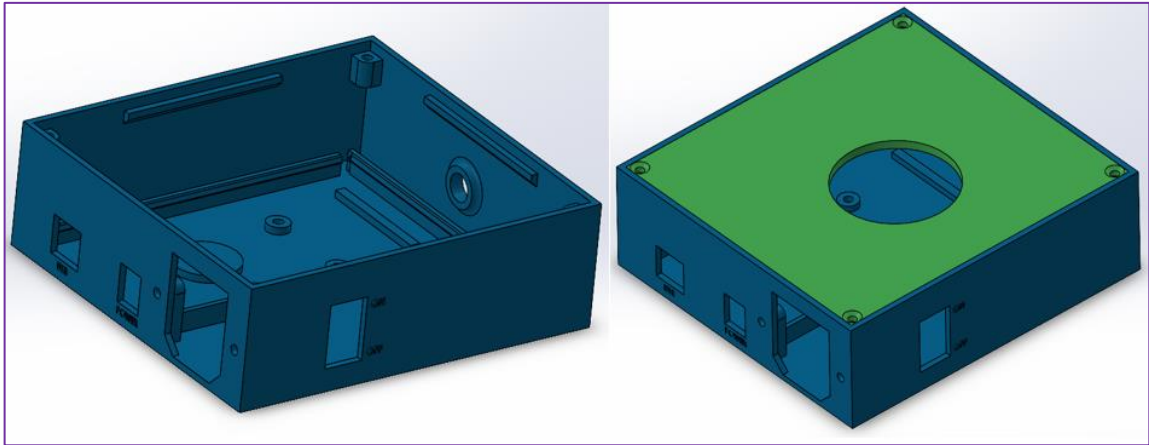


Figura 4.18. Caja de almacenamiento del sistema de control con su tapa

Para la pantalla Nextion se aplica una carcasa en forma cuadrada la misma que tendrá taladros pasantes a lo largo de su soporte conductor ver figura 4.19. De esta forma por la estos taladros ingresaran los cables para el control de la pantalla y el control de la pantalla sobre el sistema de control Arduino, se implementa una tapa a presión en el diseño de modo que la misma no necesite de pernos de ajuste lo que ayuda a disminuir el peso de la pantalla en el diseño.

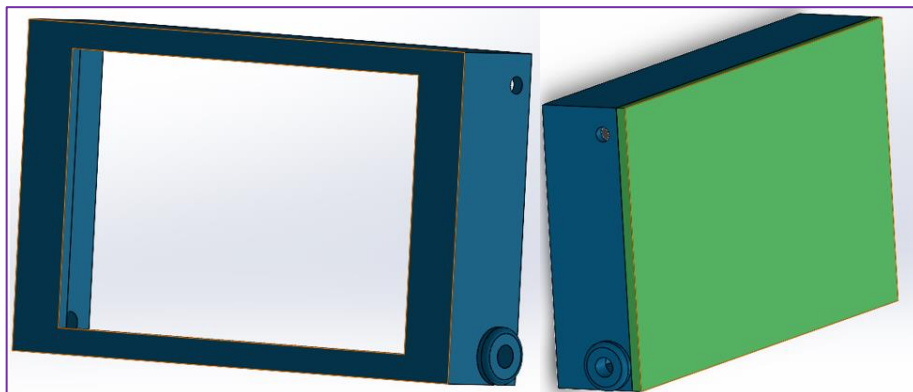


Figura 4.19. Caja protectora de la pantalla Nextion y sus cables de control

La pantalla se ensambla con un sistema giratorio realizado en una sola pieza en donde los perfiles redondos serán las guías para el giro en el eje i y la parte j se moverá por un eje expuesto

en la parte inferior del diseño, dentro de este diseño se realiza agujeros pasantes en forma de canal ocultos a la vista de forma que solo se pueda pasar el cable por este sistema. El ajuste del sistema giratorio con respecto a la caja de control se lo hará a través de una pieza impresa redonda que evitará que el mismo pierda estabilidad o se salga de su posición de trabajo como se muestra en la figura 4.20.

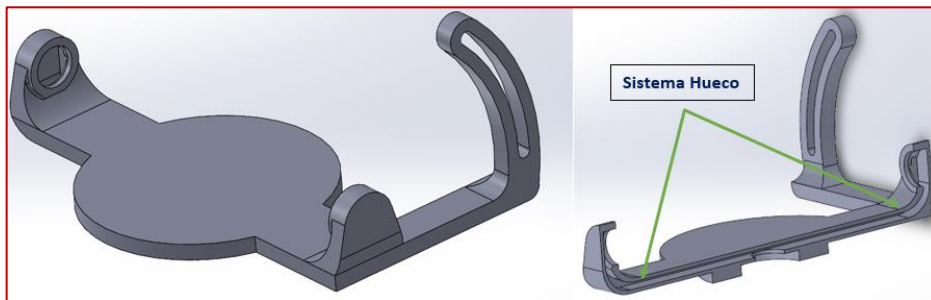


Figura 4.20. Sistema giratorio y sistema hueco para la unión de la pantalla con el sistema de control

En la siguiente figura 4.21. Se puede observar cómo queda totalmente ensamblado el sistema de control tanto en el diseño como en la vida real, este sistema nos ayudará a girar y manipular la pantalla cuando trabaje una persona en la maqueta debido a que la pantalla puede girar la persona en cuestión será capaz de controlar las variables y procesos en cualquier parte de la maqueta.

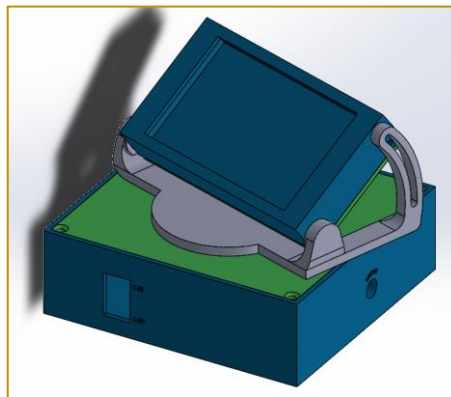


Figura 4.21. Sistema de control totalmente ensamblado

Para el correcto funcionamiento del banco de pruebas se necesita de una fuente adicional que controle el voltaje y corriente del control del Arduino Mega esto a su vez que lo alimenta por el conector tipo B dedicado a la transferencia de datos, para esto se diseña una caja que almacene una fuente de energía pequeña y estable como se puede visualizar en el banco de velocidades y en la figura 4.22.

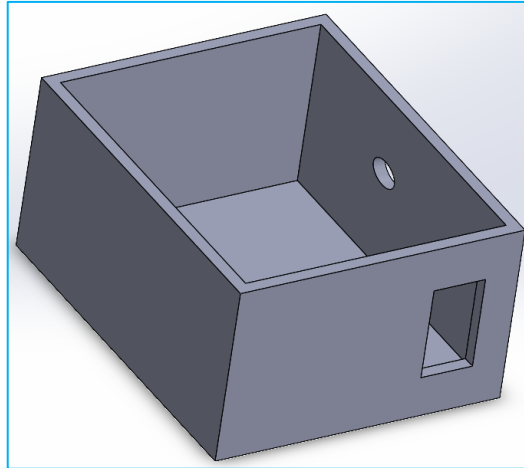


Figura 4.22. Caja de almacenamiento fuente externa

4.5 Parámetros de impresión

Los parámetros que se muestran a continuación son los parámetros a los que se calibró la impresora 3D de marca Anet ET5, los mismos que mediante la necesidad de mostrar piezas con acabados de calidad y rigidez fueron establecidos para todas las piezas, sin importar el tamaño o forma. Lo único que varía en la impresión será el uso o no de soportes debido a las formas y dimensiones de las piezas que conforman el banco de velocidades de partículas.

Dentro de la impresión 3D los beneficios de este tipo de estructuras impresas es el uso de mallados internos que ayudan a disminuir el consumo de material o filamento y a la vez ayudan a mejorar la calidad y dureza del material impreso. Por tal motivo se usó como mallado un patrón de tipo cúbico a una densidad del 45% y esto conectado con las líneas de impresión de tal forma que se genera un solo cuerpo, ver figura 4.23.

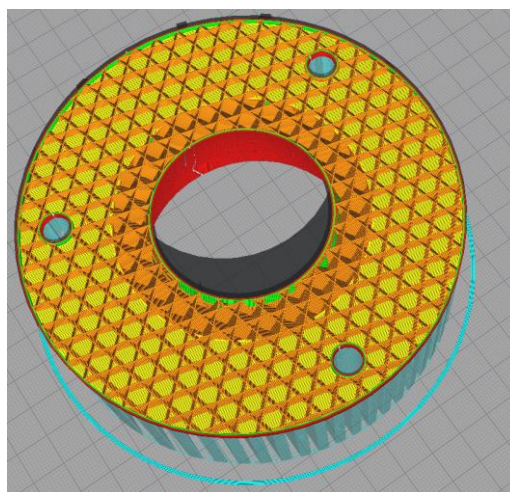


Figura 4.23. Mallado y densidades expuestas en una pieza del banco de pruebas

Los demás parámetros para las impresiones serán la velocidad de impresión establecida en 50 mm/s, al ser PLA las temperaturas de trabajo están en 200 grados de extrusor y una cama caliente en 65 grados, para las alturas de capa al tratar de obtener una calidad óptima en las impresiones se coloca a 0.1 mm por capa es decir que cada 10 capas la impresora recorrerá un milímetro.

Para el grosor de las capas se usa una estructura sólida basada en 1.2 mm de pared tanto interna como externa, para el uso de soportes en algunas piezas se usará una estructura tipo rejilla, como se muestra en la figura 4.24.

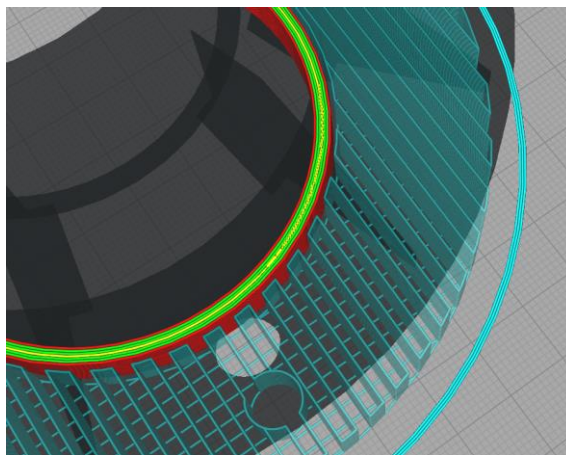


Figura 4.24. Visualización del tipo de capa y soporte en algunas figuras.

Las propiedades y parámetros expuestos en el software de impresión 3D arrojan valores de tiempo promedio de impresión de 25 horas por pieza, y un promedio de peso por impresión de 125 gramos, los colores y formas de las piezas no influyen en el sistema en los parámetros expuestos anteriormente.

4.6 Diseño electrónico

Para el desarrollo del diseño electrónico o el sistema de control se usará dos tipos de programaciones una correspondiente a la pantalla Nextion y la segunda correspondiente a Arduino Mega 2560. Las programaciones serán acopladas o tendrán una comunicación de forma serial debido a la facilidad de la pantalla para la comunicación RX/TX, para entender el uso de las plataformas de programación se emplea diagramas de flujo.

En el diagrama de flujos de la figura 4.25, se muestra la secuencia que debe seguir la pantalla antes del inicio del sistema, se ubican tres pantallas en forma de máscaras de modo que se pueda leer las leyendas al inicio de la Universidad Técnica de Cotopaxi, después de un segundo la

leyenda de Ingeniería Electromecánica al cabo de un segundo se ingresa a una tercera pantalla que nos mostrará un progreso de carga del sistema esto con el fin de que las variables enviadas por Arduino se estabilice y la comunicación sea firme.

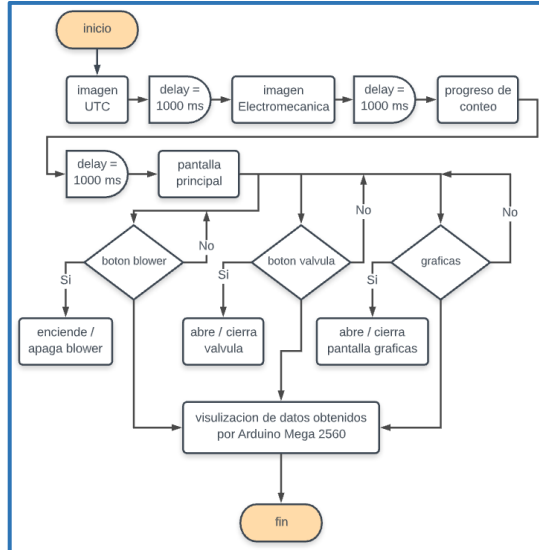


Figura 4.25. Diagrama de flujos del sistema de programación Nextion

Al momento de ingresar a la pantalla de trabajo se puede visualizar dos indicadores numéricos correspondientes a las señales de presión y velocidad del viento respectivamente, dentro de la misma interfaz gráfica se ubican dos botones con acción de retención mismos que al activarse encenderán el Blower o la válvula de paso de las partículas, cuando se presiona en el botón de gráficas se cambia de pantalla a otra donde se puede visualizar la gráfica de presión y en la ventana siguiente la gráfica de la velocidad de las partículas como se muestra en la figura 4.26.



Figura 4.26. Pantallas diseñadas en Nextion

Para la programación de Arduino Mega 2560 se detalla su funcionamiento en el siguiente diagrama de flujos de la figura 4.27, donde se detallan la declaración de variables, la declaración

de las librerías que se necesitan, luego el cuerpo de variables conocido como Void Setup, y el cuerpo de desarrollo conocido como Void Loop, el cual va a ejecutar las instrucciones de la pantalla Nextion o viceversa.

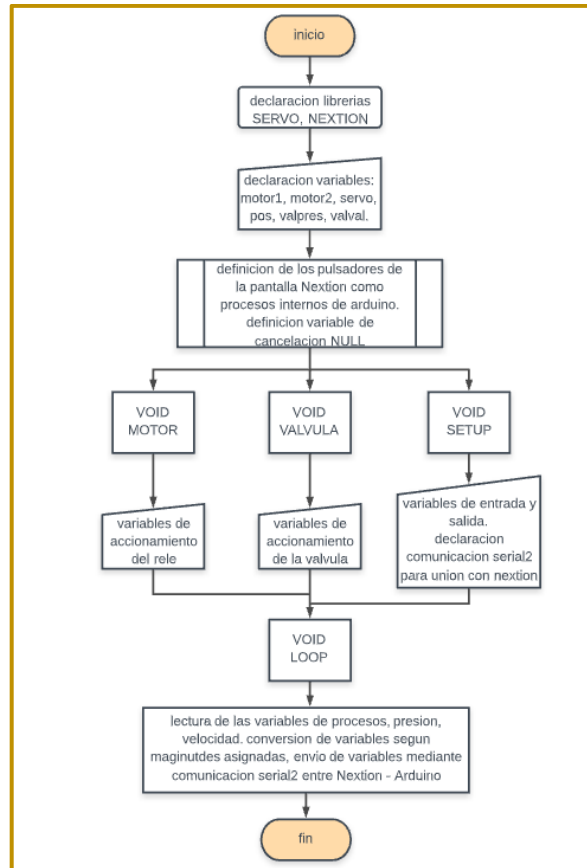


Figura 4.27. Diagrama de flujos programación Arduino

Dentro de la programación de Arduino lo primero que se declara será la librería de la pantalla Nextion, con la misma se puede reconocer la trama de datos que envía la pantalla, y así poder interactuar con Arduino, la definición de los pines de Arduino viene a continuación, los mismos que serán fundamentales al momento del llamado en las funciones.

Las librerías de los pines de Nextion son fundamentales de esta forma se enlaza mediante comunicación serial los pines de la pantalla Nextion con las variables de Arduino, en este parte se incluye la librería o función NULL, que ayuda a reconocer cuando ha pasado un comando de Nextion a través del puerto serial y realiza un salto de línea en la programación.

Ingresamos dos cuerpos de procesos o estados de procesos llamados VOID prender_motor () y VOID prender_válvula (), estas funciones o procesos serán los encargados de activar o desactivar las funciones introducidas por pantalla hacia las variables de Arduino de forma que las salidas digitales del Arduino se enciendan o apaguen según la orden indicada.

El proceso SETUP, es el encargado de parametrizar los pines del Arduino como entrada o salida y en qué condiciones inician, para lo cual se declaran todas las salidas en bajo, para que sean activadas según pantalla, a continuación, se declara el inicio o encendido de la comunicación serial, al trabajar con un Arduino Mega 2560 poseemos cuatro salidas seriales para la comunicación con la pantalla serial usaremos la comunicación Serial iniciada a una velocidad de transferencia de 9600 baudios.

Dentro del cuerpo LOOP, se realiza el reconocimiento de las variables analógicas de entrada y las funciones de los procesos de velocidad y presión por puertos analógicos están variables se almacenan en funciones igualadas a cero a fin de ir introduciendo el valor adquirido, dentro de la lectura se aplicará el artificio matemático que transformará la lectura análoga de bits en una lectura de magnitudes requerida.

Estos valores una vez adquiridos serán enviados por puerto Serial 2 hacia la pantalla Nextion, estos valores son de carácter globales lo que nos indica que también serán llamados en las pantallas de gráficas de presión y velocidad. En la programación no se usan limitadores de tiempo o funciones de tiempo como Delay, Millis, etc. Esto debido a que la pantalla Nextion al enlazarse con Arduino necesita tener la mayor fluidez posible de datos.

4.7 Metodología de cálculo de los sistemas de transporte neumático.

Dentro de los sistemas de transporte neumático a presión se pueden dividir en tres zonas fundamentales como se evidencia en la figura 4.28.

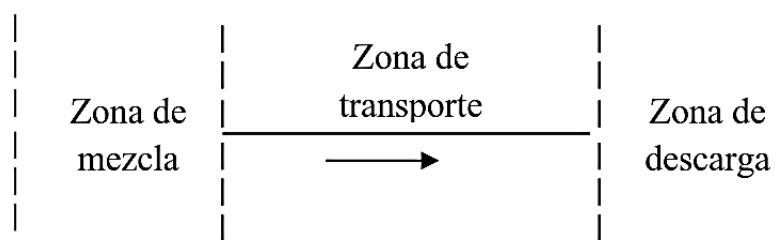


Figura 4.28. Zonas del transporte neumático

Fuente: [5].

Cada una de estas zonas se realiza independientemente, tomando los principios de cálculos que se encuentran presentes en el proyecto.

4.7.1 Determinación de la longitud de transportación reducida L_{red}

La longitud reducida se consigue mediante la suma de la longitud del conductor y sus longitudes equivalentes.

La longitud equivalente se toma como la resistencia en un tramo de tubería horizontal, en que existen pérdidas de presión causadas por el paso de la corriente del aire y material. Las longitudes equivalentes dependen del material y las dimensiones de los elementos [5].

La longitud reducida se consigue mediante la expresión:

$$L_{red} = \sum l_{hor} + \sum l_{ver} + \sum l_{eq.cod} + \sum l_{eq.val} \quad (4.1)$$

Donde:

$\sum l_{hor}$ = Suma de las longitudes de los tramos horizontales.

$\sum l_{ver}$ = Suma de las longitudes de los tramos verticales.

$\sum l_{eq.cod}$ = Suma de las longitudes equivalentes por concepto de codos.

$\sum l_{eq.val}$ = Suma de las longitudes equivalentes por concepto de las válvulas.

4.7.2 Determinación de la potencia consumida en la zona del transporte

La potencia consumida en la zona de transporte se la expresa de la siguiente manera:

$$N = \frac{(P_1 - P_2) * A * v}{1000} \quad (kW) \quad (4.2)$$

Donde:

$(P_1 - P_2)$ = Diferencia de presión entre los extremos de la tubería de transporte (Pa)

A = Área de la sección transversal de la tubería (m^2)

V = Velocidad media del aire (m/s)

Como se puede evidenciar, con este método de cálculo de las pérdidas de presión en los tramos horizontales y verticales se basan en factores numéricos conseguidos de manera experimental en las que también depende de las características del material a transportar [5].

4.8 Determinación de las pérdidas de presión en los sistemas de transporte.

El transporte neumático de materiales se realiza en presentación de un flujo de aire, la caída de presión en un flujo de aire por el interior de un tubo se calcula por medio de la ecuación de Darcy [5].

$$dp = \frac{1}{D} * \lambda_a * \frac{\rho_a}{2} * v_a^2 * dl \quad (4.3)$$

Donde:

ρ_a = Densidad del aire (Kg/m³).

Va = Velocidad del aire (m/s).

dl = Diferencial de la longitud (m)

D = Diámetro de la tubería (m).

Para una mayor eficacia de un cálculo más exacto se logra utilizando la ecuación de Blasius.

$$\lambda = 0,3164 * Re^{-\frac{1}{4}} \quad (4.4)$$

Esta ecuación es la preferida por su sencillez y precisión para los números de Reynolds entre $2320 < Re < 10^5$.

Para un flujo turbulento plantea la siguiente ecuación [5]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_a}} = 2.0 \cdot \log_{10}(Re * \sqrt{\lambda_a}) - 0.8 \quad (4.5)$$

El número de Reynolds se define por:

$$Re = \frac{v_a * D}{\nu} \quad (4.6)$$

La caída de presión debido al aire limpio tiene una fuerte dependencia con la distribución de la velocidad y de la tensión tangencial dentro del tubo que, concebido como aislado del efecto deformante por la presencia de las partículas sólidas en el flujo, traslada y dificulta el cálculo de la caída debido al transporte del material.[5]

En el transporte neumático por tuberías horizontales y verticales, se han diferenciado, perfectamente, dos zonas:

- La zona dispersa.
- La zona de dispersión.

La diferencia entre ambas zonas está establecida por el carácter constante de la velocidad de la partícula en la zona dispersa y el carácter variable de la misma en la zona de dispersión.

Para el cálculo de la caída de presión en el transporte neumático la siguiente versión modificada de la ecuación 4.1, siempre se puede encontrar en la literatura.

$$dp = \frac{1}{D} * (\lambda_a + \mu * \lambda_s) * \frac{\rho_a}{2} * v_a^2 * dl \quad (4.7)$$

Dónde:

μ : Concentración (kg/kg)

La ecuación 2.5 contiene solo a μ como un número característico del mecanismo de similitud de la mezcla. Todos los otros factores importantes, tales como tamaño de las partículas, densidad del sólido, están contenidos en el coeficiente de pérdida de presión de las partículas sólidas (λ_s), las cuales se determinan separadamente para cada material.

4.8.1 Pérdida local por resistencia en los codos

Cuando se diseñan las líneas de transporte deben considerarse los codos que existan en la misma. Se recomienda minimizar el número de codos, ya que ellos constituyen los puntos de mayor erosión de tuberías.

Se considera que al momento de realizar un diseño se debe tomar en cuenta la curvatura de los codos debe ser suave para evitar grandes pérdidas de carga [5].

4.9 Técnica experimental para determinar la velocidad de flotación

Para determinar la velocidad de flotación de las partículas sólidas primeramente se realizó el experimento con una velocidad mínima de aire a través de la tubería, este valor se controla mediante un anemómetro que se encuentra en la entrada del tubo. Iniciamos con una velocidad mínima del aire para cada experimento, se tomó como datos el diámetro de la partícula como también el diámetro de la tubería, se observó que las partículas mantuvieron flotando dentro del tubo y se tomó la velocidad del aire con un anemómetro a la salida, la velocidad de flujo del aire al cual las partículas flotan se puede determinar mediante la fórmula [5]:

$$V_G = \frac{4*Q}{\pi*D^2} \left(\frac{m}{s}\right) \quad (4.8)$$

Donde:

D= Diámetro interior de la tubería

Q = Flujo del aire

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Diversos ensayos de transporte se han realizado en el sistema diseñado con los siguientes materiales; maíz, trigo etc. Las características de tamaño y densidad de cada uno de estas partículas se entregan en la siguiente tabla

Experimento 1: Con los datos basados en [22] análisis granulométrico del maíz se realizaron las pruebas para distintas dimensiones en las que se puede identificar mientras hay una reducción de la tubería la velocidad final hay un incremento, además las partículas se mueven mucho más rápido, es así que se puede identificar el diámetro de la semilla versus la velocidad mostrado en gráfica de resultados del maíz.

Tabla 5.1. Análisis de la velocidad de flotación del maíz.

ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS				
TIPO DE MATERIAL	DIÁMETRO(m)	VELOCIDAD (m/s)		
		3"	2"	1"
MAÍZ	0.007	10.76	12.48	15.13
MAÍZ	0.065	10.76	12.3	15.07
MAÍZ	0.005	10.29	11.87	14.62
MAÍZ	0.004	10.18	11.28	14.56

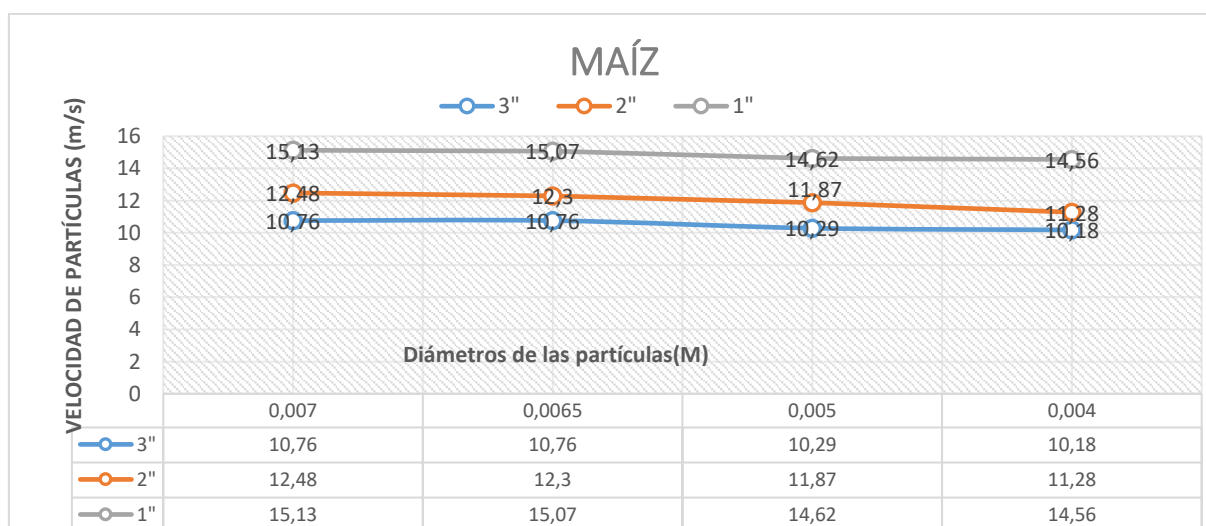


Figura 5.1. Relación de la velocidad con el diámetro de la partícula (maíz)

Experimento 2: Con los datos basados en[9], deduciendo que el trigo en su forma más grande de 0.0037 y en su forma pequeña de 0.0028 m. nos deduce que el trigo se mueve a una velocidad de 8,63 m/s con una tubería de 3 pulgadas a una velocidad constante

Tabla 5.2. Análisis de la velocidad de flotación del trigo.

ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTICULAS				
TIPO DE MATERIAL	DIÁMETRO(m)	VELOCIDAD (m/s)		
		3"	2"	1"
TRIGO	0.0028	8.63	9.05	9.6
TRIGO	0.0037	8.95	9.21	9.72

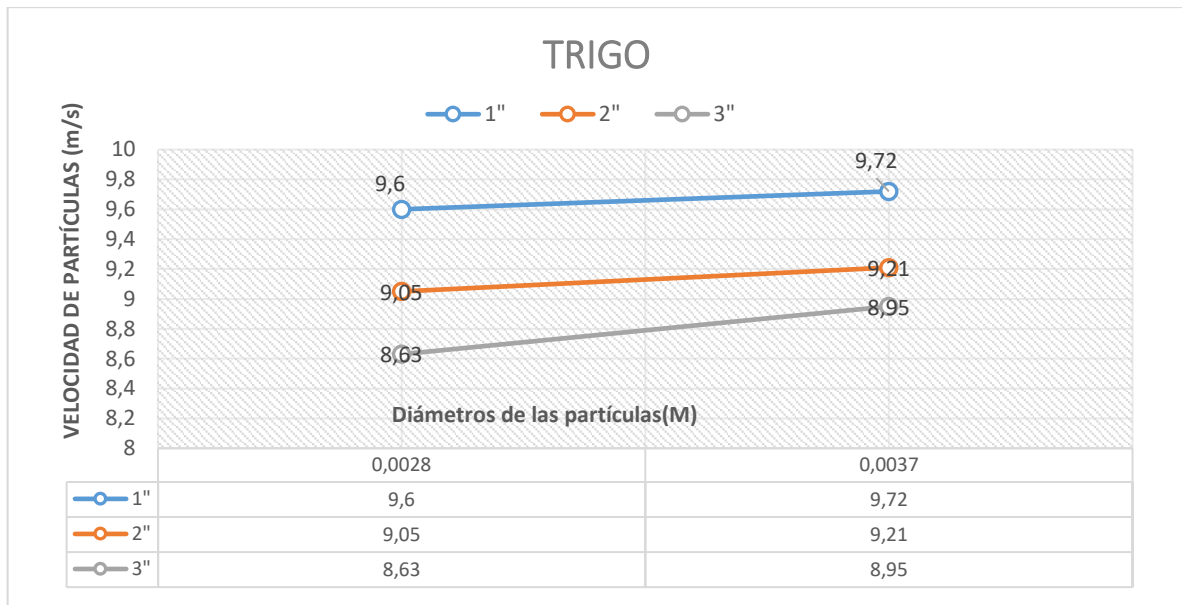


Figura 5.2. Relación de la velocidad con el diámetro de la partícula (trigo)

Experimento 3: En la mencionada cita [23] nos menciona sobre el tamaño de la quinua en conjunto con la unión de varios países como son por Bolivia (Estado Plurinacional de), Canadá, Costa Rica, Ecuador, Estados, gracias a esto se pudo deducir que la quinua se la puede trasladar de un lugar a otro con velocidad de 5,7 m/s para una tubería de 3 pulgadas a una velocidad constante con esto, deducimos que si la quinua se la mueve a una velocidad mayor habría rompimiento de la partícula.

Tabla 5.3. Análisis de la velocidad de flotación de la quinua.

ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS				
TIPO DE MATERIAL	DIÁMETRO(m)	VELOCIDAD (m/s)		
		3"	2"	1"
QUINUA	0.002	5.7	9.14	12.9
QUINUA	0.0014	5.92	9.35	13.06

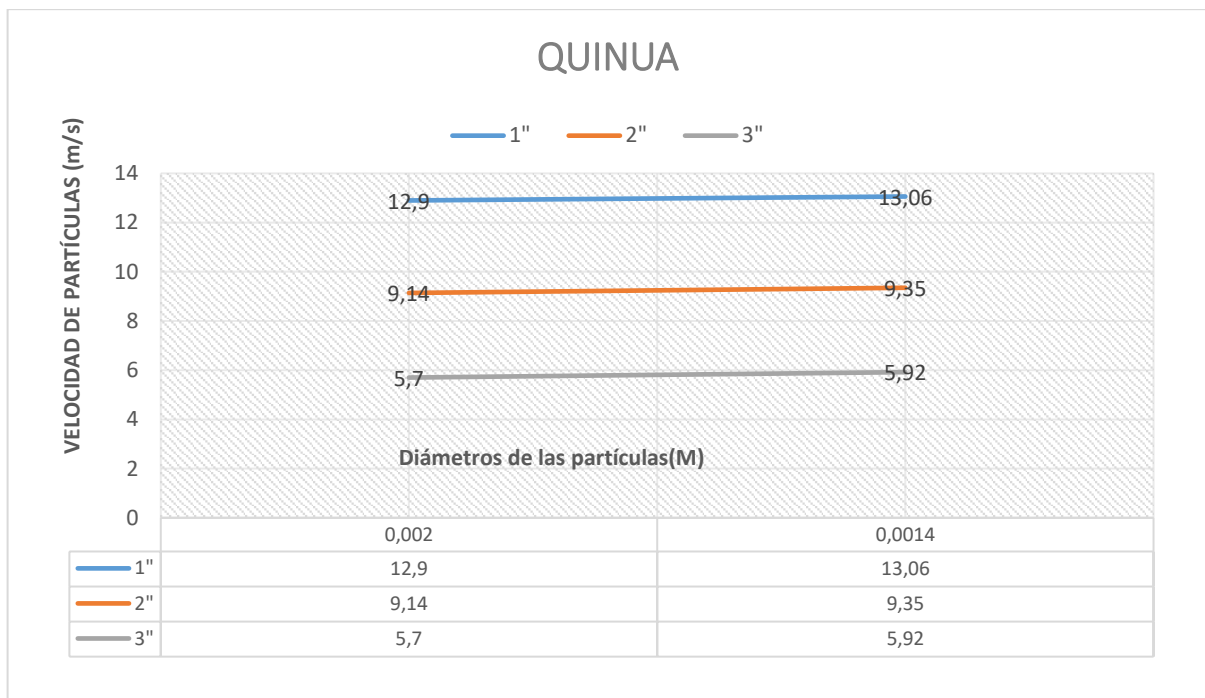


Figura 5.3. Relación de la velocidad con el diámetro de las partículas (Quinua)

Experimento 4: En este caso para la harina no hay un diámetro específico, razón por la cual son tomadas en cuenta por nano partículas, aquí deducimos en comparación y proporción hacia la quinua, ya que la velocidad más alta es de 8,43 m/s que nos dice que excede para la velocidad de transportación.

Tabla 5.4. Análisis de velocidad de flotación de la harina.

ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS				
TIPO DE MATERIAL	DIÁMETRO(m)	VELOCIDAD (m/s)		
		3"	2"	1"
HARINA	1	5.2	7.3	8.41

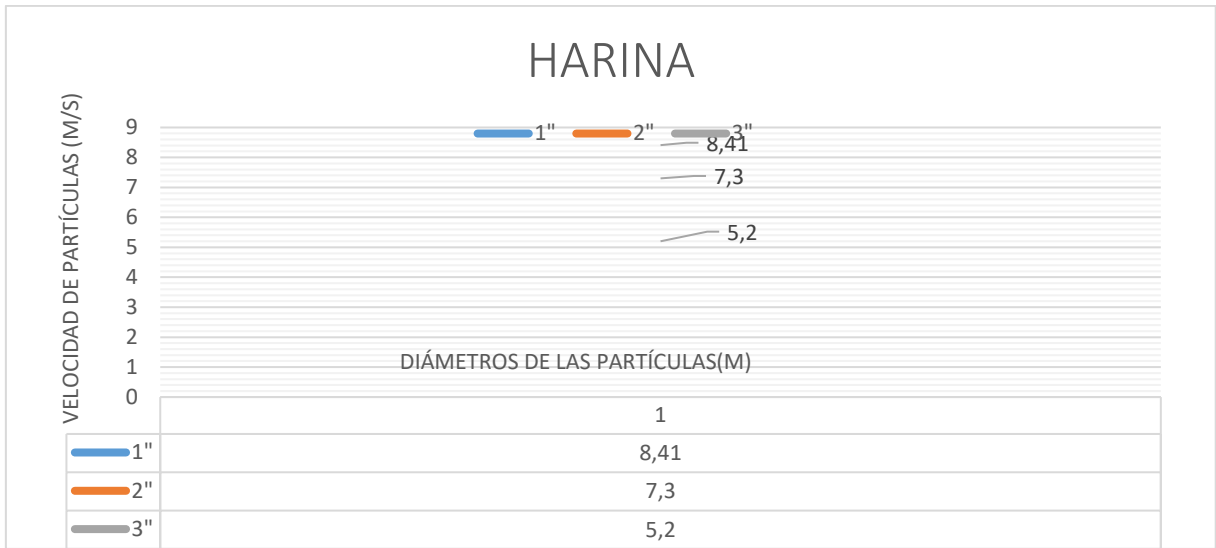


Figura 5.4. Relación de la velocidad con el diámetro de la partícula (harina)

Experimento 5: Aquí para analizar el arroz son las medidas que nos indica la siguiente cita [24] menciona que el arroz tiene largo y ancho por lo tanto se lo en cuenta como espesor y resulta que el arroz es similar a las partículas ya experimentadas por lo cual como resultado nos arrojó que su velocidad ideal para una tubería uniforme es de 5,73 m/s.

Tabla 5.5. Análisis de la velocidad de flotación del arroz.

ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS				
TIPO DE MATERIAL	DIÁMETRO(m)	VELOCIDAD (m/s)		
		3"	2"	1"
ARROZ	0.00126	5.73	6.54	8.45
ARROZ	0.00199	6.31	7.85	10.6

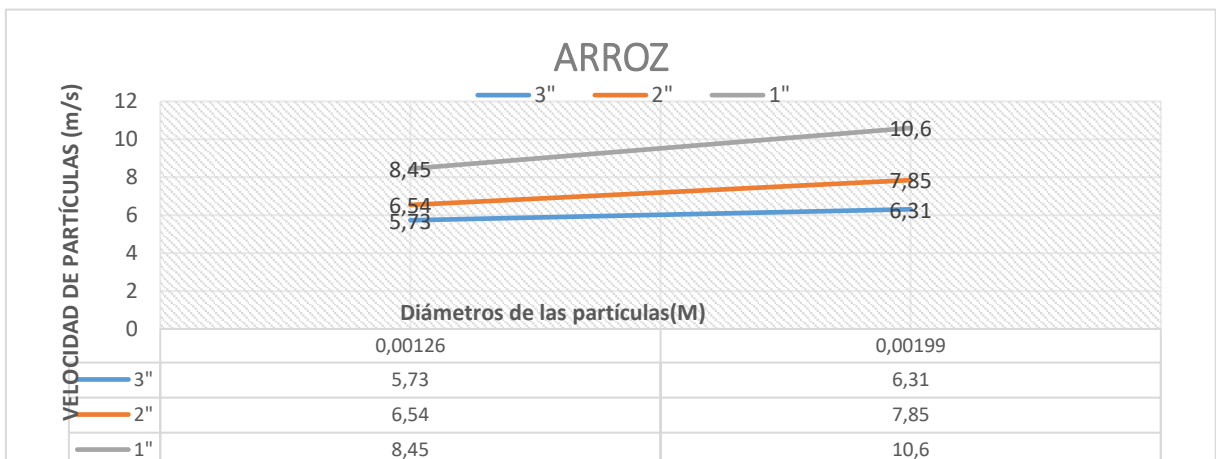


Figura 5.5. Relación de la velocidad con el diámetro de la partícula (arroz)

Experimento 6: Por sus características que posee una capa exterior además de espiga, la cebada tiene variedades distintas por lo cual en sector agrario se lo puede clasificar en dos grupos tanto para machica como arroz de cebada y sus dimensiones van hacer variadas como ya citado [25] que dice que la cebada de menor envergadura tiene un diámetro de 2,5mm y su diámetro mayor de 4 mm y lo por cual los resultados obtenidos fueron que 6,7 m/s para una tubería uniforme con una velocidad constante.

Tabla 5.6. Análisis de la velocidad de flotación de la cebada

ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS				
TIPO DE MATERIAL	DIÁMETRO(m)	VELOCIDAD (m/s)		
		3"	2"	1"
CEBADA	0,0025	6,7	9,69	11,2
CEBADA	0,004	7,12	10,36	12,7

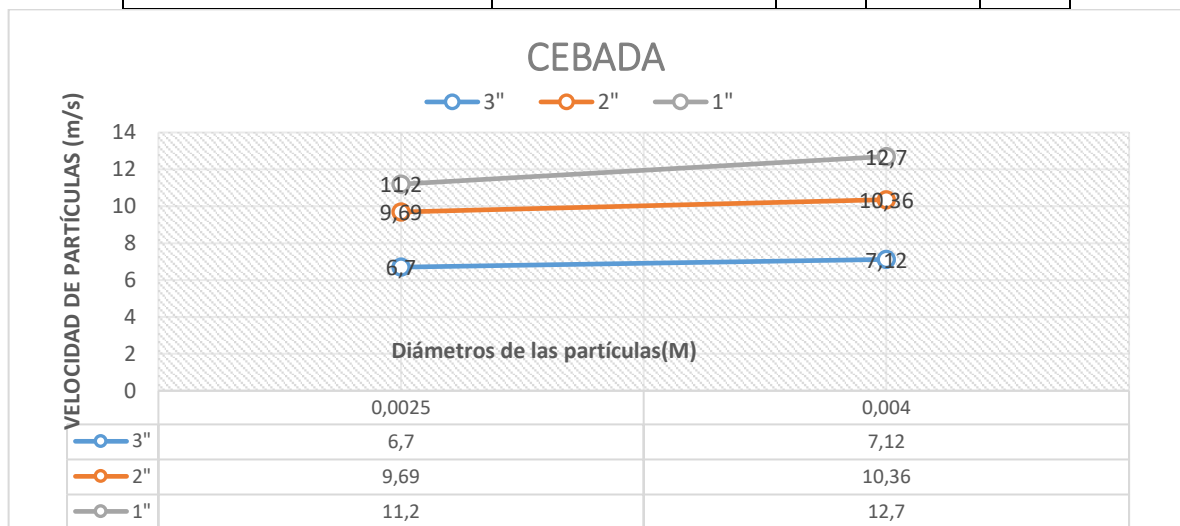


Figura 5.6. Relación de la velocidad con el diámetro de la partícula (cebada)

6 ANÁLISIS DE IMPACTO

Se analizaron cuatro impactos, que son: económico, ambiental, práctico y tecnológico.

6.1 Impacto Económico

En la siguiente tabla se puede observar un presupuesto detallado que se ha utilizado en el diseño de un banco de pruebas experimental, sin descartar el aumento del mismo conforme a las modificaciones que se vayan a realizar.

Tabla 6.1. Costos de diseño y horas de impresión en 3D.

Diseño del banco de pruebas			
Elemento	Cantidad	Costo Unitario	Total
Tiempo de diseño y Horas de impresión en 3D	200	1,25	250,00
Total			250,00

Fuente: [Investigador].

Tabla 6.2. Costos de materiales del banco de pruebas

Elementos para el desarrollo del banco de pruebas			
Elementos	Cantidad	Costo Unitario	Total
Arduino Mega 2560	1	23	23
Pantalla Nextion Pro	1	55	55
Sensor Mps 20N0040	1	15	15
Anemómetro	2	23.5	47
Interruptor Conector	1	1.75	1.75
Mod Relé 2 Canales	1	4.5	4.5
ADC un Canal	1	2.75	2.75
Servomotor N6995	1	12.5	12.5
Separadores Cables	2	7.5	15
Cable Timbre	2m	0.35	0.7
Juego Cable dupon M-M	1	1.75	1.75
Red Suich grande PD6828	2	1	2
Cable Pc	1	11.5	11.5
Tubos acrílicos 1", 2", 3"	3	45	135
Codos 45°	2	0.8	1,60
TOTAL			329.05

Tabla 6.3. Costo total del banco de pruebas

Costo total empleado en el banco de pruebas
--

Elementos	Cantidad	Costo Unitario	Total
Costo total de diseño e impresión en 3D	1	250	250
Costo total de elementos	1	329,05	329,05
Total			579,05

6.2 Impacto Ambiental

Dentro del banco de prueba diseñado y construido se puede hablar de un daño ambiental casi imperceptible debido al poco consumo de energía eléctrica que el mismo necesita, así como la cantidad de aire que circula a través de todo el sistema instalado.

Cuando se trabaja directamente con partículas llenas de impurezas estas al momento de aplicar presión y flujo de viento pueden desprenderse de la partícula, siendo las mismas más livianas o incluso de carácter microscópico podrían generar afectaciones en el sistema respiratorio del operador.

Cuando hablamos ya de sistemas a gran escala o de instalación dentro de la industria estos equipos aumentan considerablemente su tamaño tanto de potencia, consumo, conductos, entre otros los cual al momento de inicializar con el sistema este se verá en la necesidad de consumir una gran cantidad de energía eléctrica, mecánica, y de flujo de aire, lo cual causaría un impacto negativo al medio ambiente por la conversión de las variables antes dichas en el ambiente como es el caso de la energía eléctrica que se disipara en calor esto producido por el motor que genera el soplado de aire.

6.3 Impacto Práctico

Cuando hablamos de sistemas de succión hoy por hoy en la industria encontramos estos sistemas sobre dimensionados o con serios problemas de diseño tanto mecánico como de procesos. Este banco de pruebas ayudará a generar constantes y variables que se pueden usar como valores teóricos de las partículas con el fin de poder realizar diseños más eficientes. Por ende, el impacto práctico que se ve reflejado dentro del banco se podría dividir en sus funciones dentro del sistema.

Flujo de aire: dentro de las variables que se usan para la simulación real de las partículas esta variable nos ayudara a visualizar la cantidad que requiere cada partícula a fin de alcanzar un grado de flotación óptimo.

Presión de flujo: será la cantidad necesaria para que la partícula se mueva de la tolva hacia la tubería de prueba de modo que esta variable se pueda medir con sensores y visualizar el efecto que produce dentro de la partícula.

Cantidad de partículas: la cantidad máxima y mínima que lograra admitir el sistema para que las mismas puedan flotar o no dentro de las tuberías de prueba.

Las variables mencionadas son un ejemplo de lo que se puede controlar dentro del banco experimental de modo que cuando se habla del impacto práctico que genera, se ve que existen diversas formas en la que la máquina contribuye con este propósito a fin de obtener ecuaciones de manera experimental y bibliográfica.

6.4 Impacto Tecnológico

Como se menciona en impacto práctico el uso de estos sistemas no es nuevo dentro de la industria, aunque los mismos sistemas se encuentren mal diseñados, el propósito de esta maqueta es ayudar a mejorar estas variables de modo que las empresas o personas puedan aplicar de forma correcta las variables cantidades y flujos necesarios para transportar productos de un sitio a otro.

Bancos de pruebas de velocidades posiblemente ya exista dentro del mercado nacional e internacional los mismos que se al ser producidos a gran escala su costo será elevado, esta es una gran ventaja del banco experimental construido para la Universidad Técnica de Cotopaxi ya al ser diseñado por estudiante de dicho establecimiento la documentación quedará a disposición de los alumnos que forman parte de la universidad de tal forma que el código implementado es abierto y se pueda llegar a manipular. Mediante los conocimientos adquiridos en la universidad se puede aplicar lo que es una de nuestras sub líneas dentro de la carrera, el diseño y construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos, así logrando un diseño adecuado y eficiente que ayudará a estudiantes de ingeniería de la carrera de Electromecánica.

7 CONCLUSIONES

- La velocidad de flotación para la quinua es 5,7 m/s en una tubería de 3 pulgadas a un flujo de aire constante, en cambio para una tubería de 2 pulgadas con la misma velocidad que ejerce el Blower la velocidad de cambio.
- Para evidenciar una velocidad de flotación de las partículas se tendrá en cuenta, que la altura sea superior a los 0,30 m, gracias a que se puede regular la velocidad de flujo de aire.
- En un sistema de flotación de partículas, se observa que cada ensayo realizado hay diferentes tamaños y pesos por lo cual sé que el tamaño es proporcional a la velocidad de flotación ya que, a mayor velocidad para la flotación, mayor es el diámetro de la partícula.

8 RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar un análisis de desgaste en el sistema ya que la fricción entre los granos y la pared interna tanto de tubería como del flujo mismo es alta, así a futuro poder dimensionar un sistema de transporte neumático.
- Procurar dosificar la velocidad del flujo de aire gradualmente, para poder ir determinando con qué velocidad cada partícula experimentada se va moviendo dentro de la tubería.
- Evitar una mezcla de partículas dentro de la tubería, para ello antes de cada ensayo realizar una limpieza, desprendiendo la tubería vertical.

9 REFERENCIAS

- [1] I. Martín, R. Salcedo, and R. Font, “MECÁNICA DE FLUIDOS Transporte cantidad movimiento sólido-fluido,” *Mecánica de fluidos*, p. 50, 2011, [Online]. Available: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/9/tema4_flujo_externo.pdf.
- [2] W. S. H. Terán , G. Torres, O. Arteaga, “Mecánica de Fluidos,” *Mecánica de fluidos*, vol. 1, no. ESPE, p. 122, 2018, doi: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15410/1/Mecanica%20de%20Fluidos.pdf>.
- [3] A. C. Solé, *Neumática e Hidráulica*. Maracombo, España, 2012.
- [4] E. M. Diaz, “NEUMÁTICA BÁSICA,” *NEUMÁTICA BÁSICA*, p. 136, 2010.
- [5] E. T. Tamayo, “Modelación matemática del transporte neumático del mineral laterítico en fase densa,” *Minería y Geol.*, vol. 23, no. 1, pp. 1–31, 2007.
- [6] F. Cabrejos, M. Isabel, and J. Rojas, “Transporte neumático de materiales sólidos a granel,” *Congr. CONAMET*, vol. 1, p. 6, 2004.
- [7] D. E. S. En, F. Diluida, M. J. Sierra, F. A. Ortega, E. A. López, and V. P. Villarreal, “ECONOMICO PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO,” pp. 70–75, 2013.
- [8] C. R. Romeva, *Diseño concurrente*, Primera. Barcelona, 2002.
- [9] T. Y. Fracción and R. Pm, “DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: PARTÍCULAS,” Manizales Colombia, 2012.
- [10] G. G. F. Cabrejos, “UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO,” p. 119, 2017.
- [11] J. E. Flores, G. Villaflor, J. W. Velasco, and E. R. Bisonard, “Determinación de la Velocidad de Transporte de Partículas por Saltos en Conductos Horizontales Determination of the Velocity of Particles Transported by Saltation in Horizontal Ducts,” vol. 28, no. 6, pp. 199–206, 2017.
- [12] E. Agaliotis, M. R. Rosenberger, C. E. Schvezov, and A. E. Ares, “PUSHING DE PARTICULAS SÓLIDAS POR UNA INTERFASE DE SOLIDIFICACIÓN,” pp. 1673–1678, 2007.
- [13] P. Obtener, E. L. Grao, M. A. E. Trja, and E. N. Ciencias, “Velocímetro de partículas

- basado en Cámaras digitales,” vol. Priemero, p. 171, 2006.
- [14] D. Managing, G. Managing, and E. F. D. Canada, “Flotación de Finos y Gruesos Aplicada a la Recuperación de Minerales de Cobre,” *Flot. partículas*, vol. 1, p. 18, 2010.
- [15] O. Inzunza, F. Baeza, and G. Salgado, “Impresiones 3D , Nueva Tecnología que Apoya la Docencia Anatómica,” vol. 33, no. 3, pp. 1176–1182, 2015.
- [16] J. Gonzalo and A. Marin, “Impresoras 3D,” *Impr. 3D*, p. 135, 2014.
- [17] J. Varela, “Impresión 3D y COVID-19,” vol. 9, p. 7, 2020.
- [18] E. Serna, *Desarrollo e innovación en ingeniería*, Segunda. Antioquia-Medellin, 2017.
- [19] H. Lozada, J. Carlos, T. Flores, and M. Castillo, “Redalyc.Unidad Básica de Comunicación Serial en un Microcontrolador,” vol. I, p. 6, 2006.
- [20] J. P. Baeza and J. Pomares, “Manual de arduino revision,” vol. I, p. 9, 2009.
- [21] E. En, “LA NUEVA GENERACION EN TUBERÍA DE PVC ORIENTADO,” *LA NUEVA Gener. EN TUBERÍA PVC ORIENTADO*, p. 28.
- [22] C. P. Mendoza *et al.*, “Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje,” *Agric. Técnica en México*, vol. 32, no. 3, pp. 341–352, 2006.
- [23] Nurhastuti, “TAMAÑO DEL GRANO EN LA NORMA PARA LA QUINUA,” vol. 1, p. 11, 2019.
- [24] S. Olmos, “Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz Cátedra de Cultivos II Facultad de Ciencias Agrarias,” *UNNE. Corrientes - 2006 – Argentina.*, p. 13, 2007.
- [25] G. B. Cajamarca and I. S. Montenegro, “Selección de una línea promisorio de cebada (*Hordeum vulgare* L.) Bio-fortificada, de grano descubierto y bajo contenido en fitatos, en áreas vulnerables de la sierra sur ecuatoriana,” *Tesis*, pp. 1–118, 2015, [Online]. Available: http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23473/1/TESIS_CEBADA.pdf.
- [1] I. Martín, R. Salcedo, and R. Font, “MECÁNICA DE FLUIDOS Transporte cantidad

- movimiento sólido-fluido,” *Mecánica de fluidos*, p. 50, 2011, [Online]. Available: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/9/tema4_flujo_externo.pdf.
- [2] W. S. H. Terán , G. Torres, O. Arteaga, “Mecánica de Fluidos,” *Mecánica de fluidos*, vol. 1, no. ESPE, p. 122, 2018, doi: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15410/1/Mecanica%20de%20Fluidos.pdf>.
- [3] A. C. Solé, *Neumática e Hidráulica*. Maracombo, España, 2012.
- [4] E. M. Diaz, “NEUMÁTICA BÁSICA,” *NEUMÁTICA BÁSICA*, p. 136, 2010.
- [5] E. T. Tamayo, “Modelación matemática del transporte neumático del mineral laterítico en fase densa,” *Minería y Geol.*, vol. 23, no. 1, pp. 1–31, 2007.
- [6] F. Cabrejos, M. Isabel, and J. Rojas, “Transporte neumático de materiales sólidos a granel,” *Congr. CONAMET*, vol. 1, p. 6, 2004.
- [7] D. E. S. En, F. Diluida, M. J. Sierra, F. A. Ortega, E. A. López, and V. P. Villarreal, “ECONOMICO PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO,” pp. 70–75, 2013.
- [8] C. R. Romeva, *Diseño concurrente*, Primera. Barcelona, 2002.
- [9] T. Y. Fracción and R. Pm, “DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: PARTÍCULAS,” Manizales Colombia, 2012.
- [10] G. G. F. Cabrejos, “UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO,” p. 119, 2017.
- [11] J. E. Flores, G. Villafior, J. W. Velasco, and E. R. Bisonard, “Determinación de la Velocidad de Transporte de Partículas por Saltos en Conductos Horizontales Determination of the Velocity of Particles Transported by Saltation in Horizontal Ducts,” vol. 28, no. 6, pp. 199–206, 2017.
- [12] E. Agaliotis, M. R. Rosenberger, C. E. Schvezov, and A. E. Ares, “PUSHING DE PARTICULAS SÓLIDAS POR UNA INTERFASE DE SOLIDIFICACIÓN,” pp. 1673–1678, 2007.
- [13] P. Obtener, E. L. Grao, M. A. E. Trja, and E. N. Ciencias, “Velocímetro de partículas basado en Cámaras digitales,” vol. Priemero, p. 171, 2006.

- [14] D. Managing, G. Managing, and E. F. D. Canada, “Flotación de Finos y Gruesos Aplicada a la Recuperación de Minerales de Cobre,” *Flot. partículas*, vol. 1, p. 18, 2010.
- [15] O. Inzunza, F. Baeza, and G. Salgado, “Impresiones 3D , Nueva Tecnología que Apoya la Docencia Anatómica,” vol. 33, no. 3, pp. 1176–1182, 2015.
- [16] J. Gonzalo and A. Marin, “Impresoras 3D,” *Impr. 3D*, p. 135, 2014.
- [17] J. Varela, “Impresión 3D y COVID-19,” vol. 9, p. 7, 2020.
- [18] E. Serna, *Desarrollo e innovación en ingeniería*, Segunda. Antioquia-Medellin, 2017.
- [19] H. Lozada, J. Carlos, T. Flores, and M. Castillo, “Redalyc.Unidad Básica de Comunicación Serial en un Microcontrolador,” vol. I, p. 6, 2006.
- [20] J. P. Baeza and J. Pomares, “Manual de arduino revision,” vol. I, p. 9, 2009.
- [21] E. En, “LA NUEVA GENERACION EN TUBERÍA DE PVC ORIENTADO,” *LA NUEVA Gener. EN TUBERÍA PVC ORIENTADO*, p. 28.
- [22] C. P. Mendoza *et al.*, “Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje,” *Agric. Técnica en México*, vol. 32, no. 3, pp. 341–352, 2006.
- [23] Nurhastuti, “TAMAÑO DEL GRANO EN LA NORMA PARA LA QUINUA,” vol. 1, p. 11, 2019.
- [24] S. Olmos, “Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz Cátedra de Cultivos II Facultad de Ciencias Agrarias,” *UNNE. Corrientes - 2006 – Argentina.*, p. 13, 2007.
- [25] G. B. Cajamarca and I. S. Montenegro, “Selección de una línea promisorio de cebada (*Hordeum vulgare* L.) Bio-fortificada, de grano descubierto y bajo contenido en fitatos, en áreas vulnerables de la sierra sur ecuatoriana,” *Tesis*, pp. 1–118, 2015, [Online]. Available: [http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23473/1/TESIS CEBADA.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23473/1/TESIS%20CEBADA.pdf).

10 ANEXOS

Anexo 1 Figura de tolva para recepción de partículas



Anexo 2 Anemómetro dentro de la tubería.



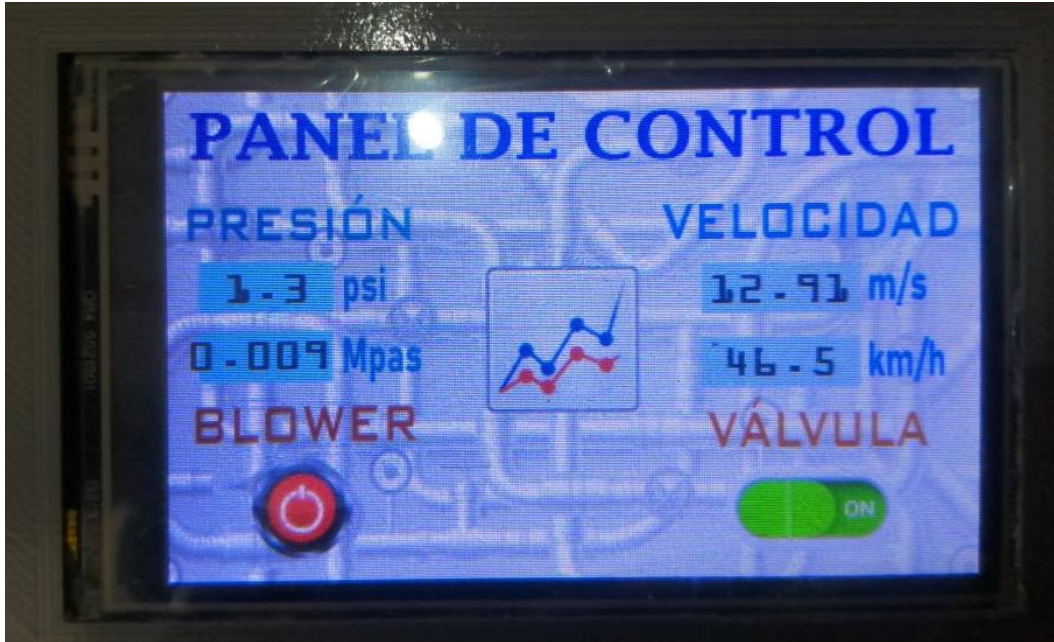
Anexo 3 Diámetros de tubería de 1, 2, 3 pulgadas



Anexo 4 Banco de pruebas experimental culminado.



Anexo 5 Panel de control



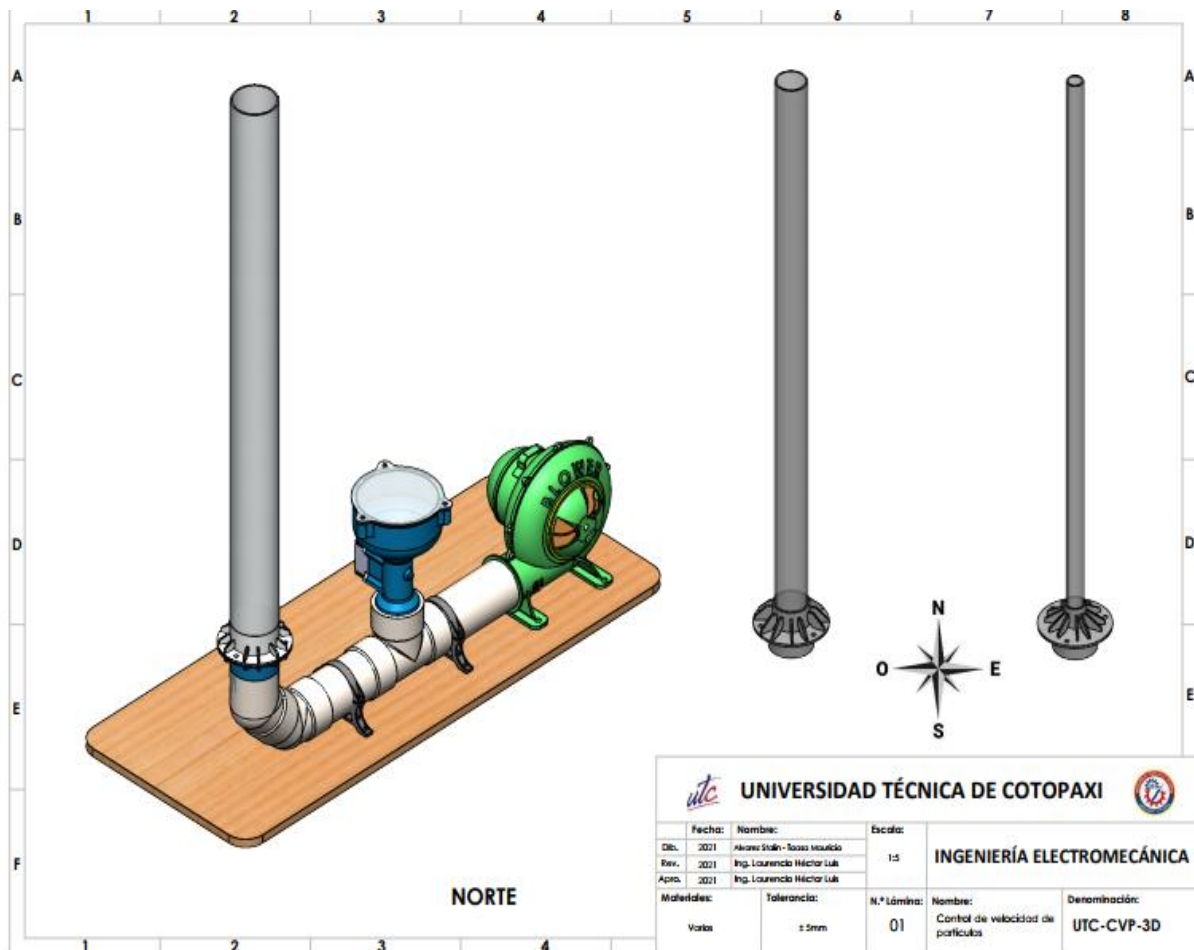
Anexo 6 Experimentos realizados.

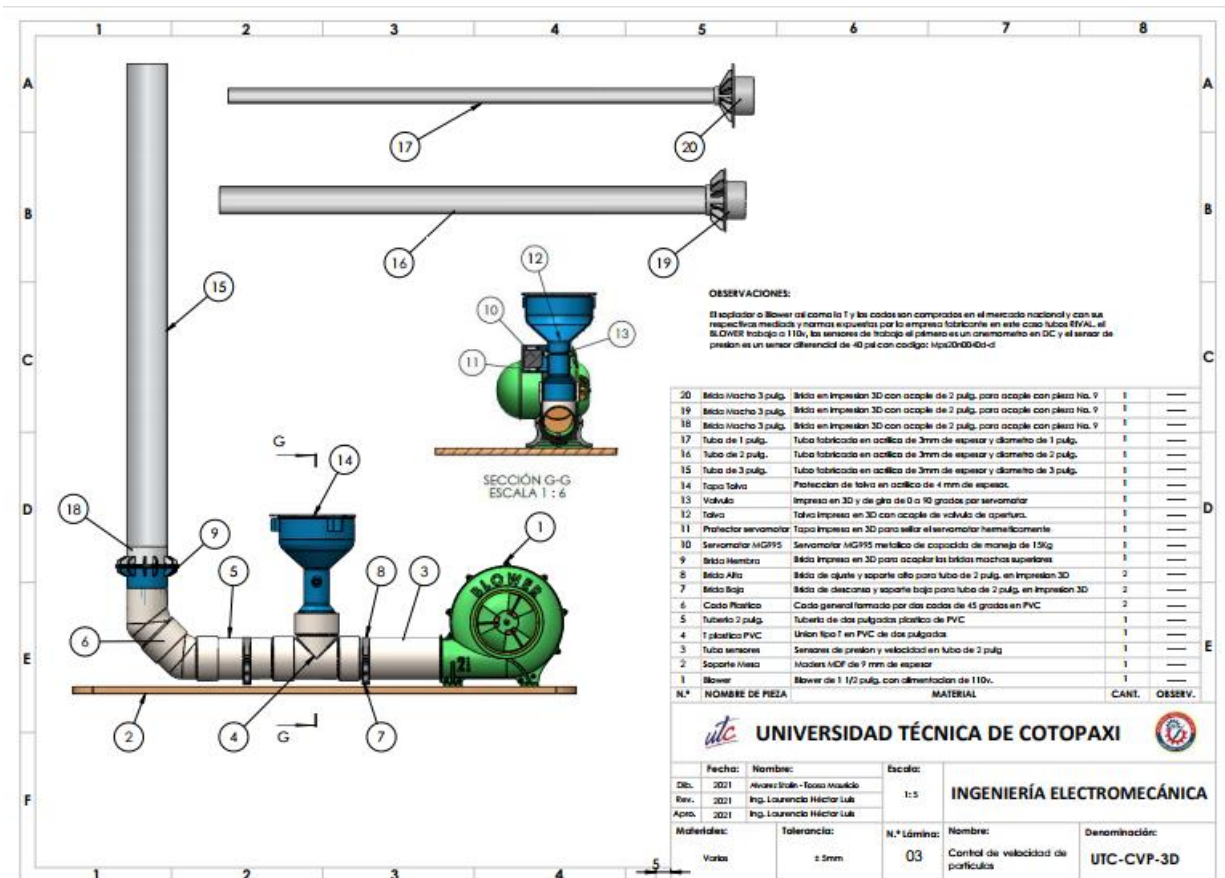
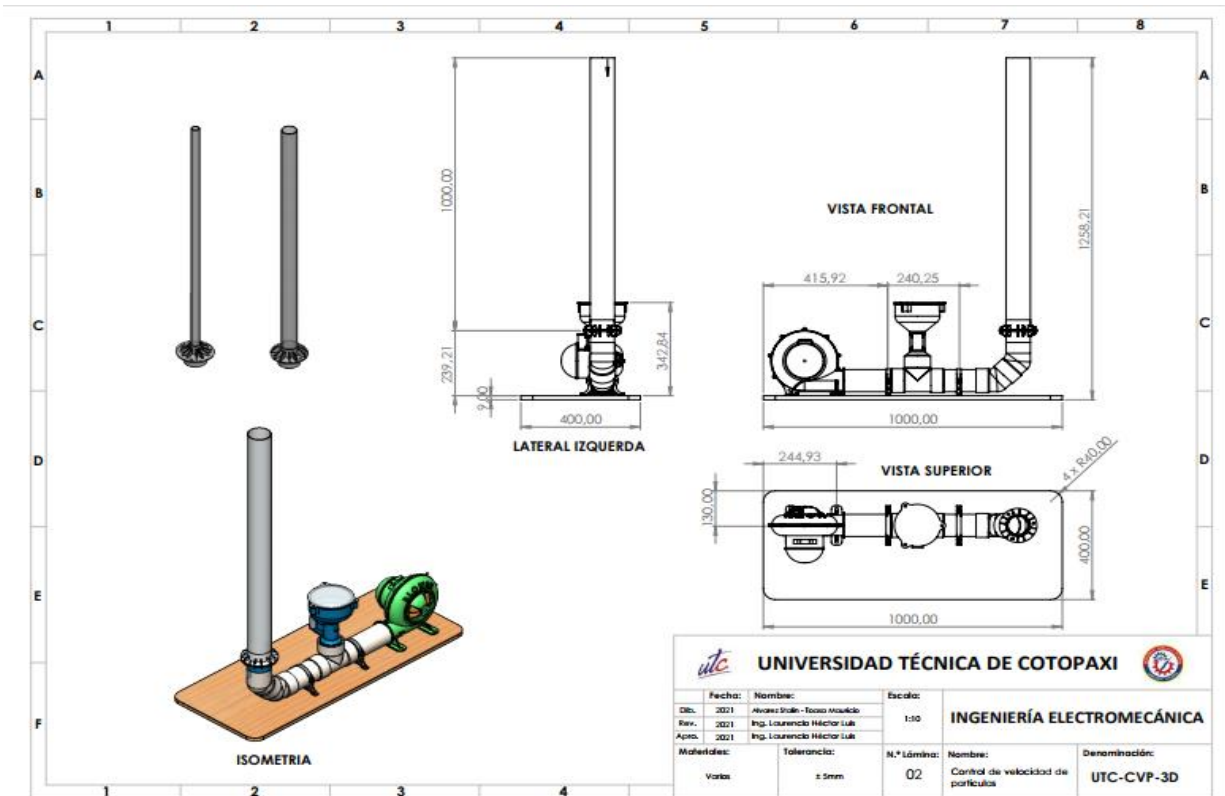


Anexo 7 Velocidad del aire a la salida de la tubería.



Anexo 8 Planos





Anexo 9 Código de programación

```
#include <Q2HX711.h>
#include <Servo.h>
#include "Nextion.h"

#define motor1    32
#define motor2    33
#define valvel    A0

const byte MPS_OUT_pin = 3; // OUT data pin
const byte MPS_SCK_pin = 2; // clock data pin
int avg_size = 10; // #pts to average over
float k = 0.0;
float kl = 0.0;
float j = 0.0;
float avg_val = 0.0; // variable for averaging

int avg_size1 = 10; // #pts to average over
float i1 = 0.0;
float i2 = 0.0;
float j1 = 0.0;
float avg_val1 = 0.0; // variable for averaging

Q2HX711 MPS20N0040D(MPS_OUT_pin, MPS_SCK_pin); // start comm with the HX710B

Servo myservo;

int pos = 30;

//declaramos los objetos de los componentes usados
NexDSButton blower = NexDSButton(3, 1, "blower");
```

```
NexDSButton valvula = NexDSButton(3, 2, "valvula");
```

```
NexText pres = NexText(3,3,"presion");
```

```
NexText velo = NexText(3,7,"vel2");
```

```
NexText pres1 = NexText(3,6,"pres2");
```

```
NexText velo1 = NexText(3,4,"velocidad");
```

```
NexText pres2 = NexText(4,2,"presion2");
```

```
NexText velo2 = NexText(5,3,"velocidad2");
```

```
NexWaveform gpres = NexWaveform(4,3,"grafpres");
```

```
NexWaveform gvel = NexWaveform(5,4,"grafvelocidad");
```

```
NexTouch *nex_listen_list[] =
```

```
{  
    &blower,  
    &valvula,  
    NULL  
};
```

```
void prender_motor()
```

```
{  
    uint32_t estadomotor;  
    blower.getValue(&estadomotor);  
    if (estadomotor == 1)  
    {  
        digitalWrite(motor1, 1);  
        digitalWrite(motor2, 1);  
    }  
    else  
    {  
        digitalWrite(motor1, 0);  
        digitalWrite(motor2, 0);  
    }  
}
```

```

    }
}
void prender_compuerta()
{
    uint32_t estadocompuerta;
    valvula.getValue(&estadocompuerta);
    if (estadocompuerta == 1)
    {
        for (pos = 30; pos <= 120; pos += 5) {
            myservo.write(pos);
            delay(15);
        }
    }
    else
    {
        for (pos = 120; pos >= 30; pos -= 5) {
            myservo.write(pos);
            delay(15);
        }
    }
}

```

```
int Lecturas[10]; //Vector de lecturas.
```

```
int i = 0, Total = 0, Promedio = 0;
```

```
float velcal = 0.0;
```

```
void setup() {
```

```
    //Serial2.begin(9600);
```

```
    myservo.attach(7);
```

```

myservo.write(pos);
pinMode(motor1, OUTPUT);
pinMode(motor2, OUTPUT);

digitalWrite(motor1, LOW);
digitalWrite(motor2, LOW);

for(i=0; i< 10; i++) //Inicialización del vector.
  Lecturas[i] = 0;
i=0;

nexInit();

blower.attachPop(prender_motor);
valvula.attachPop(prender_compuerta);

dbSerialPrintln("setup done");
}

void loop() {
  nexLoop(nex_listen_list);

  for (int i2i=0;i2i<avg_size1;i2i++){
    avg_val1 += analogRead(valvel)/100; // add multiple ADC readings
    delay(100); // delay between readings
  }
  avg_val1 /= avg_size1;
  j1 = avg_val1;
  if(j1 < 1.3)
  {
    i1 = 0;
  }
}

```

```

else if(j1 > 1 and j1 < 4.1)
{
  i1 = abs(j1)*8.73;
}
else if(j1 > 4.1 and j1 < 5.5)
{
  i1 = abs(j1)*7.85;
}
else if(j1 > 5.5)
{
  i1 = abs(j1)*6.97;
}
i2 = i1*0.277778;
  char conversionvel1[10];
  dtostrf(i2,2,2,conversionvel1);
  velo1.setText(conversionvel1);
  char conversionvel[10];
  dtostrf(i1,2,1,conversionvel);
  velo.setText(conversionvel);
  velo2.setText(conversionvel);
  gvel.addValue(0,i1);

for (int ii=0;ii<avg_size;ii++){
  avg_val += MPS20N0040D.read(); // add multiple ADC readings
  delay(50); // delay between readings
}
avg_val /= avg_size;
j = avg_val / 10000;

if(j < 961.5)
{
  k = 0;

```

```
}  
else  
{  
    k = abs(j-961)*1;  
    kl = k*0.00689;  
}  
char conversionpres1[10];  
    dtostrf(kl,0,3,conversionpres1);  
    pres1.setText(conversionpres1);  
char conversionpres[10];  
    dtostrf(k,2,1,conversionpres);  
    pres.setText(conversionpres);  
    pres2.setText(conversionpres);  
    gpres.addValue(0,k);  
//delay(100);  
}
```



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

**PRÁCTICA DE LABORATORIO
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
ALVAREZ MURILLO STALIN TOASA TENORIO JHONATAN	J. VILLAROEL	H. LAURENCIO
FECHA:30-07-2021	FECHA:30-07-2021	FECHA: 30-07-2021

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA	IELM 306	Titulación

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	MECÁNICA DE FLUIDOS	DURACIÓN (HORAS)
01	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS SOLIDAS	3

1	OBJETIVO
	El presente proyecto tiene como objetivo visualizar la velocidad de flujo de aire requerido para determinar de forma experimental la velocidad de flotación de partículas sólidas mediante un sistema neumático.

2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
----------	-------------------------------

2.1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se basará en partículas, las mismas con características especiales son transportadas de una estación a otra a través de sistemas de tuberías impulsadas por un sistema de soplado de aire, por lo general es realizado de forma empírica debido a que no se conoce a ciencia cierta las características de las partículas, así como las propiedades que poseen al momento de ser transportadas por dichas tuberías. Para solucionar la problemática en torno a las características y propiedades de las partículas, se plantea el diseño de un banco experimental de velocidad de flotación a través de una tubería de diámetro constante, de tal manera que sea más fácil determinar las características necesarias de los objetos de estudio a fin de poder realizar a futuro sistemas de transporte, que cumplan con normas específicas de diseño y construcción. Para la implementación del banco de pruebas se dispone de un blower universal, al cual se le implementará un sistema de tuberías, con una tolva para la alimentación de las partículas y con un sistema de tuberías abiertas para la elevación de las mismas a fin de conseguir una medida de acuerdo al flujo de viento, de este modo las empresas que deseen implementar este tipo de sistemas les ayudará a reducir tiempos de transporte, el objetivo es determinar las velocidades en el flujo de aire requerido para la flotación de partículas sólidas, a fin de utilizar los resultados obtenidos para un adecuado diseño de sistemas de transportes neumáticos, a consecuencia de esto se obtuvo que la velocidad de transporte neumático tendrá que ser mayor dependiendo de las dimensiones, como es el caso de la harina que necesita un caudal de aire mucho menor que es 5 m/s a diferencia del maíz blanco que se mueve a una velocidad 15.73 m/s.

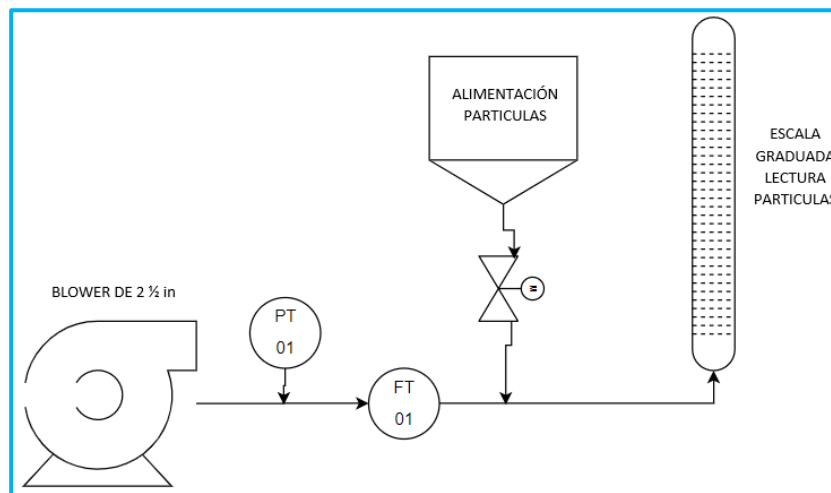


Figura 2.1. Diagrama P&ID del banco de partículas

En el transporte neumático por tuberías horizontales y verticales, se han diferenciado, perfectamente en dos zonas:

- La zona dispersa.
- La zona de dispersión.

La diferencia entre ambas zonas está establecida por el carácter constante de la velocidad de la partícula en la zona dispersa y el carácter variable de la misma en la zona de dispersión.

Técnica experimental para determinar la velocidad de flotación

Para determinar la velocidad de flotación de las partículas sólidas primeramente se realizó el experimento con una velocidad mínima de aire a través de la tubería, este valor se controla mediante un anemómetro que se encuentra en la entrada del tubo. Iniciamos con una velocidad mínima del aire para cada experimento, se tomó como datos el diámetro de la partícula como también el diámetro de la tubería, se observó que las partículas mantuvieron flotando dentro del tubo y se tomó la velocidad del aire con un anemómetro a la salida, la velocidad de flujo del aire al cual las partículas flotan se puede determinar mediante la fórmula [1]:

$$V_G = \frac{4*Q}{\pi*D^2} \text{ (m/s)}$$

Donde:

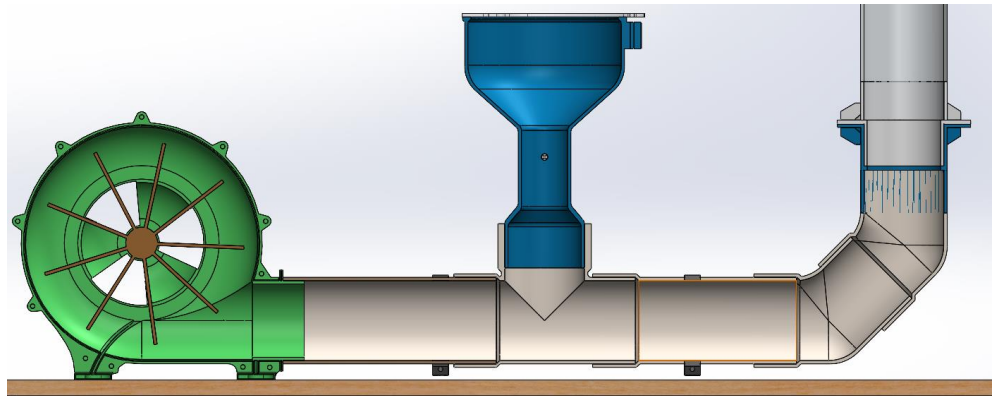
D= Diámetro interior de la tubería

Q = Flujo del aire

2.2. EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos: Blower, impresiones en 3D tolva, tubería de 3 pulgadas, anemómetro.

Materiales: tubería pvc Clase 500 según ISO 16422,200g maíz, 200g trigo, 200g cebada,200g quinua.



Varilla de construcción $\phi=19\text{mm}$ y $L=600\text{mm}$

2.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD

EPP: Mandil.

Instrucciones de seguridad:

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio
- Lea y comprenda el manual de seguridad y operación de la máquina de ensayos de flotación
- No corra dentro del laboratorio
- Regule la velocidad de la máquina

- Aleje los dedos del blower

2.4. TRABAJO PREPARATORIO

2.4.1. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Para iniciar el ensayo se sujeta a abrir la tolva, para proceder a introducir las partículas a probar, después encendemos el banco experimental, continuando a seleccionar la electroválvula que dirige las partículas hacia la tubería, luego accionamos el generador de flujo y se lo va regulando hasta encontrar la velocidad ideal indicada para cada partícula.

2.4.2. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Para los ensayos se sigue los siguientes pasos:

- 1.- Establecer las mismas cantidades de material de las diferentes partículas.
- 2.- Regular la velocidad del blower inicialmente cerrado, luego a la mitad y finalmente completo.
- 3.- Verificar que las partículas se eleven a una distancia indicada (aproximadamente 50 cm), donde se observa que las partículas se queda flotando o estable.
- 4.- Medir la velocidad final con el anemómetro manual al final de cada tubo y registrar en la tabla N° 1, hacer esto para los 3 diámetros de tubería, con todos los productos.
- 6.- Tomar las lecturas arrojadas de cada partícula
- 7.- Realizar las comparaciones entre todas las partículas medidas en la tabla N°1.
- 8.- Sacar conclusiones de los resultados obtenidos.

2.4.3. Repetir el paso 2.4.2 solo para maíz con diferentes diámetros de tubería y anotar en la tabla N°2

- 1.- Establecer la misma cantidad de maíz con diferentes diámetros del mismo.
- 2.- Regular la velocidad del blower inicialmente cerrado, luego a la mitad y finalmente completo.
- 3.- Verificar que las partículas se eleven a una distancia indicada (aproximadamente 50 cm), donde se observa que las partículas se queda flotando o estable.
- 4.- Medir la velocidad final con el anemómetro manual al final de cada tubo y registrar en la tabla N° 2, hacer esto para los 3 diámetros de tubería, con el maíz.
- 6.- Tomar las lecturas arrojadas de cada partícula
- 7.- Realizar las comparaciones del maíz con diferentes diámetros en la tabla N°2.
- 8.- Sacar conclusiones de los resultados obtenidos.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

INFORME DE PRÁCTICA

Nota: El informe debe ser conciso, simple y claro, no debe contener más de 5 hojas, no carátula, no carpetas, no binchas, se debe presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja para impresión.

TEMA: DISEÑO DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS CON FINES DE TRANSPORTE NEUMÁTICO

NÚMERO DE PRÁCTICA: 01

NOMBRE(S): Álvarez Murillo Stalin Paúl, Toasa Tenorio Jhonatan Mauricio

FECHA: 30-07-2021

PARTE NUMÉRICA

1	Valores de diámetros, velocidades y tuberías
----------	--

ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS				
TIPO DE MATERIAL	DIÁMETRO(m)	VELOCIDAD (m/s)		
		3"	2"	1"
TRIGO	0.0028	8.63	9.05	9.6
QUINUA	0.002	5.7	9.14	12.9
CEBADA	0,004	7,12	10,36	12,7
MAÍZ	0.004	10.18	11.28	14.56

Obtener del anemómetro manual al final de la tubería

Tabla 1: Diámetros y velocidades.

2	A continuación, en función del análisis experimental realizamos una tabla de comparaciones de los diferentes diámetros de tubería con los diámetros del material y podemos evidenciar la velocidad de flotación.
----------	--

Tabla 2: Datos encontrados mediante el análisis experimental.

ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS EXPERIMENTAL				
TIPO DE MATERIAL	DIÁMETRO(m)	VELOCIDAD (m/s)		
		Tubería de 3"	Tubería de 2"	Tubería de 1"
MAÍZ	0.004	10.18	11.28	14.56

Ecuación para el maíz a 1 pulgada.

$$V_G = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$V_M = \frac{4 * 8,01}{\pi * 0,75^2} = 18,13\left(\frac{m}{s}\right)$$

Ecuación para el maíz a 2" pulgadas.

$$V_G = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$V_M = \frac{4 * 8,01}{\pi * 0,50^2} = 13,59\left(\frac{m}{s}\right)$$

Ecuación para maíz a 3" pulgadas.

$$V_G = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$V_M = \frac{4 * 5,65}{\pi * 0,75^2} = 11,78\left(\frac{m}{s}\right)$$

Tabla 3: Datos calculados mediante la ecuación

ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS CALCULADO				
TIPO DE MATERIAL	DIÁMETRO(m)	VELOCIDAD (m/s)		
		Tubería de 3"	Tubería de 2"	Tubería de 1"
MAÍZ	0.004	11,78	13,59	18,13

Tabla 4: Comparaciones entre la parte experimental y la parte calculada del maíz.

Diámetro del Maíz	Diámetro de la tubería exterior	Análisis Experimental	Análisis por ecuación
0,004	3 pulgadas	10,18	11,78
0,004	2 pulgadas	11,28	13,59
0,004	1 pulgadas	14,56	18,13

PARTE GRÁFICA

3	Colocar las fotografías de las fracturas de las probetas.
----------	---

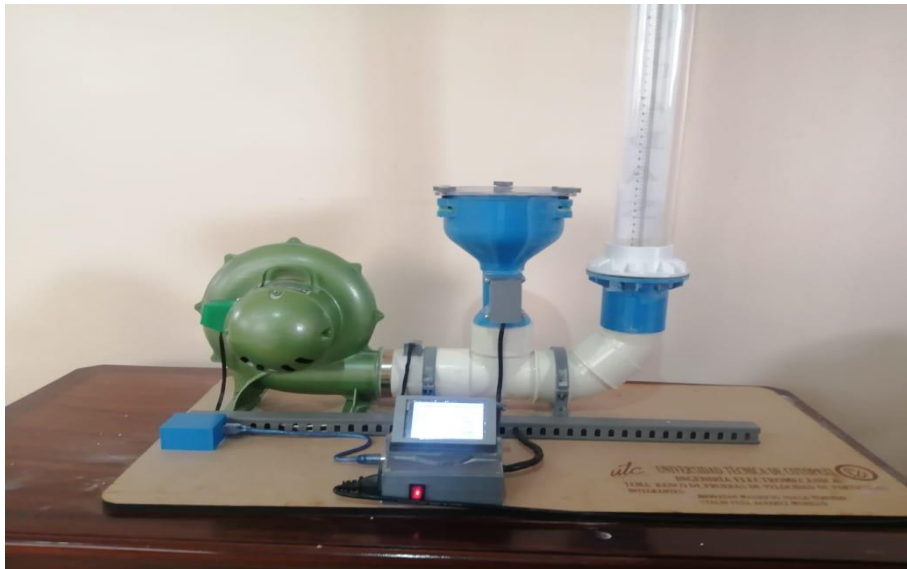


Diagrama completo del banco experimental.

PARTE ANÁLITICA

4	Describa con sus palabras que sucedió con cada una de las partículas
----------	---

- Por sus características que posee una capa exterior además de espiga, la cebada tiene variedades distintas por lo cual en sector agrario se lo puede clasificar en dos grupos tanto para machica como arroz de cebada y sus dimensiones van hacer variadas como ya citado [25] que dice que la cebada de menor envergadura tiene un diámetro de 2,5mm y su diámetro mayor de 4 mm y lo por cual los resultados obtenidos fueron que 6,7 m/s para una tubería uniforme con una velocidad constante

- En la mencionada cita [23] nos menciona sobre el tamaño de la quinua en conjunto con la unión de varios países como son por Bolivia (Estado Plurinacional de), Canadá, Costa Rica, Ecuador, Estados, gracias a esto se pudo deducir que la quinua se la puede trasladar de un lugar a otro con velocidad de 5,7 m/s para una tubería de 3 pulgadas a una velocidad constante con esto, aducimos que si la quinua se la mueve a una velocidad mayor habría rompimiento de la partícula.

5	(Describe e interprete los resultados obtenidos) Describe con sus palabras que sucedió con la velocidad de cada partícula.
----------	---

- La velocidad de cada partícula va a depender del diámetro que posee cada una de ellas ya que a mayor diámetro mayor es la velocidad de flotación.
- El margen de error de la velocidad obtenida por el anemómetro es diferente a la calculada por medio de fórmulas ya que no se toma en cuenta las pérdidas de transporte, sino como cálculos ideales.

CONCLUSIONES

6	<ul style="list-style-type: none"> • la velocidad ideal para el transporte neumático de quinua es 5,7 m/s en una tubería de 3 pulgadas a un flujo constante, debemos evitar que no haya una elevada velocidad para evitar fragmentaciones de las mismas. • La velocidad de transporte neumático tendrá que ser mayor dependiendo de las dimensiones, como es el caso de la harina que necesita un caudal de aire mucho menor que es 5 m/s a diferencia del maíz blanco que se mueve a una velocidad 15.73 m/s • En un sistema de flotación de partículas, cambia la presión si hay una reducción de la tubería, ya que a menor diámetro existe perdidas de caudal, en este caso una y dos pulgadas las mismas que se las pudo ver en la pantalla digital.
----------	--

ANEXOS

8	Anexo 1 Figura de tolva para recepción de partículas
----------	---



Anexo 2 Anemómetro dentro de la tubería.



Anexo 3 Diámetros de tubería de 1,2,3 pulgadas



BIBLIOGRAFÍA

9	<p>[1] W. S. H. Terán , G. Torres, O. Arteaga, “Mecánica de Fluidos,” <i>Mecánica de fluidos</i>, vol. 1, no. ESPE, p. 122, 2018, doi: http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15410/1/Mecanica%20de%20Fluidos.pdf.</p> <p>[2] A. C. Solé, <i>Neumática e Hidráulica</i>. Maracombo, España, 2012.</p> <p>[3] E. M. Diaz, “NEUMÁTICA BÁSICA,” <i>NEUMÁTICA BÁSICA</i>, p. 136, 2010.</p>
----------	--

MANUAL DE USUARIO DEL BANCO DE VELOCIDADES DE PARTICULAS

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El banco de velocidades de partículas es una máquina diseñada con la finalidad de visualizar el flujo y elevación en distancia que poseen diferentes partículas en diferentes dimensiones de tuberías, las tuberías se encuentran normadas en tres, dos y una pulgada respectivamente.

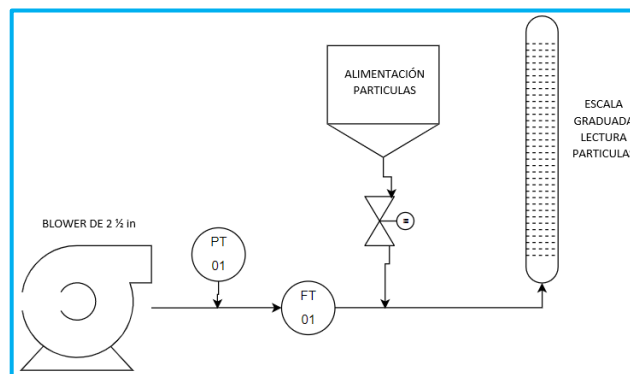
La velocidad del flujo ingresa mediante un anemómetro de tipo aspas hacia una tarjeta controlada que adquiere esta señal y la transforma en una magnitud visible y manipulable para los usuarios, dentro de la misma maquina existe también un sensor de presión en escala reducida, dicho sensor tiene una sensibilidad incluso de leer las perturbaciones de la maqueta cuando esta se mueve en el lugar de trabajo, esto debido a la presión baja que ejerce el Blower al momento de emitir el flujo.

Para el flujo de aire se consta con un soplador abierto o Blower donde mediante un cámara de succión ingresa un flujo de aire a una cámara de succión en donde a través de la salida es expulsado con una velocidad regulable.

Importante 1: La velocidad de aire se regula a través de la compuerta de estrangulamiento de succión ubicado a un costado del soplador o Blower por lo que este espacio debe estar despejado de partículas o elementos solidos que puedan llegar a ingresar por este conducto causando lecciones a los usuarios y causando fallas y daños en los equipos de trabajo.

10.1 Entorno de trabajo

Dentro del entorno de trabajo se detallarán las partes que conforman la maquinaria. El banco de pruebas consta de elementos muy diferenciados y de nombres sencillos, por tal motivo en el siguiente diagrama P&ID se detallan las partes más importantes que conforman dicho banco. Blower, sensor de presión, sensor de flujo, alimentación de partículas, válvula de acceso, tubería de salida graduada en milímetros para ubicar la distancia de elevación de las partículas.



Tubería	Característica
1 Pulgada	Mayor presión y velocidad que 2 y 3
2 Pulgada	Menor presión y velocidad que 1 y mayor que 3
3 Pulgada	Menor presión y velocidad que 1 y 2

Nota 1: La máquina está diseñada para el uso de partículas sólidas y de dimensiones reducidas.

El peso de las partículas al ingresar se deberá tomar en cuenta la tabla estipulada en el documento, ya que la distancia de elevación de las partículas dependerá esencialmente del peso de las mismas.

Las piezas de la máquina están hermetizadas de modo que no existen perturbaciones o filtraciones de aire a través de las capas de impresión, de esta forma se recomienda no usar objetos corto punzantes o elementos puntiagudos para golpear o dañar la estructura de la máquina.

10.2 Empezando a usar la máquina

Paso 1.- Antes de empezar con el uso de la máquina para la simulación de la velocidad en partículas es necesario tomar algunas precauciones, la primera surge dentro de la alimentación de aire dentro del Blower de tal forma esta zona debe estar despejada, la alimentación de la maquina es de 110 voltios de corriente de fase o de 127 voltios de corriente de línea, para este caso la polaridad o estado de la fase y neutro no afecta con el funcionamiento de la misma.

Paso 2.- Se deberá colocar cualquiera de las tres tuberías en la máquina y ajustar las bridas hasta que estén juntas mediante los tres pernos que se encuentran en la maqueta. Las bridas poseen empaques diseñados para evitar la fuga o perturbaciones del flujo de aire emitido por la máquina, dependiendo el cambio de tubería si estas dimensiones son mayor a la tubería que se encuentra fija, menor será la velocidad y siendo esta menor a la tubería fija, mayor será la velocidad.

Paso 3.- Indistintamente de su funcionamiento las partículas pueden ser cargadas en cualquier momento en la máquina bajo las siguientes condiciones:

- 1.- El sistema de flujo de aire o Blower deberá estar apagado.
- 2.- Las partículas deben respetar las dimensiones y pesos específicos emitidos dentro de este manual.

DIMENSIONES DEL MATERIAL	
TIPO DE MATERIAL	DIAMETROS (m)
Trigo	0.0028
Quinoa	0.002
Cebada	0,004

Maíz	0.004
------	-------

Paso 4.- Una vez ingresadas las partículas se deberá comprobar la tapa de seguridad y sellado de la tolva. Para esto se usará los pernos con cabeza tipo mariposa con los que cuenta la máquina, a una presión normal de ajuste por el usuario.

Importante: Los pernos poseen cabezas tipo mariposa impresa en 3D, por lo tanto no es necesario aplicar fuerza a través de ningún tipo de llaves o palancas solo con la fuerza normal aplicada por el usuario.

Dentro de la maquina existe un cable de alimentación tanto para la fuente de voltaje alterno, así como para alimentar el microcontrolador desde cable USB tipo B. antes de conectar la alimentación alterna el usuario deberá verificar que el cable del microcontrolador se encuentra en perfectas condiciones y bien conectado en el microcontrolador y la fuente de alimentación secundaria.

Nota 2: El cable de alimentación tipo B del microcontrolador también establece una conexión abierta hacia un PC de esta forma el usuario que use la maquina será capaz de trabajar con los datos obtenidos por el banco de velocidades a través de comunicación serial a una velocidad de 9600 baudios. En trama RX/TX y siguiendo las recomendaciones de este capítulo.

Nota 3: La pantalla de la maquina es una pantalla TFT táctil resistiva lo cual hace que su funcionamiento sea de pulsos puntuales y de una tasa de transición de 0.5 – 1 segundos en actuación, no ejercer demasiada presión sobre la pantalla.

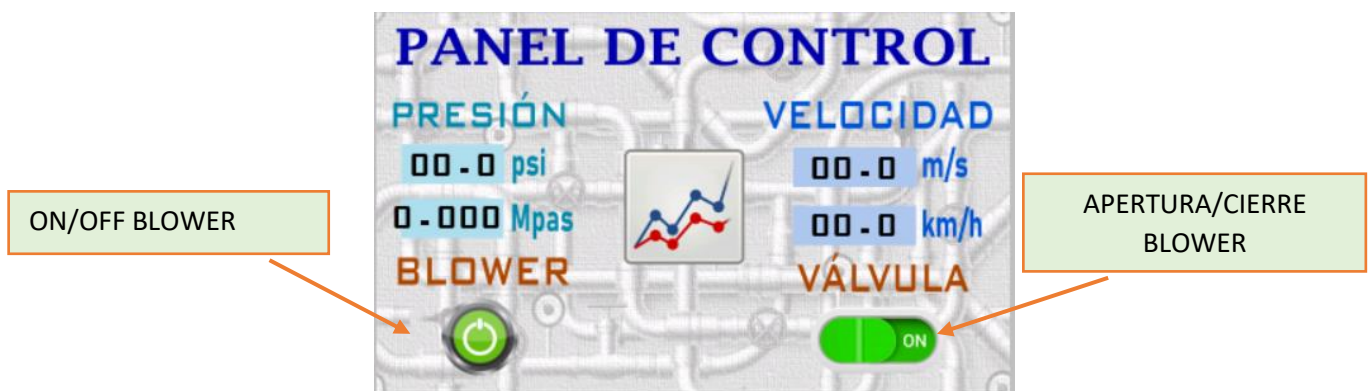
Paso 5.- El tablero de control posee un interruptor de encendido general, cuando se haya corroborado lo expuesto en los puntos anteriores, es momento de encender el equipo. El equipo a través de su pantalla TFT presentara leyendas de funcionamiento y desarrollo.



Durante este periodo la maquina no podrá ser usada hasta que la última transición acabe de cargar la programación asignada para el uso de la maqueta, tener muy en cuenta que si la pantalla en este punto es pulsada esta reconocerá estos pulsos almacenados interfiriendo con el correcto funcionamiento de las variables al momento de realizar las simulaciones.

10.3 Entorno de trabajo

Luego de que se carga por completo las transiciones de simulación en la pantalla aparecerá el entorno de trabajo donde se visualiza las lecturas y magnitudes a la que se encuentra la máquina. La pantalla de trabajo lleva como nombre PANEL DE CONTROL en donde la pantalla a través de botones de retención y un pulsador podrán realizar la manipulación de la apertura de la válvula y el encendido del Blower.



Por el lado izquierdo podemos visualizar la adquisición de datos de presión, así como las dos magnitudes en la que se puede trabajar, lo mismo para el lado izquierdo donde se visualiza la velocidad de flujo de aire expuesto por el Blower.

