



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA**

TEMA:

**“SISTEMA DE SEPARACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS DE BAJA
DENSIDAD (FUNDAS, BOTELLAS DE PLÁSTICO Y PAPEL) POR MEDIO DE UN
SISTEMA DE AIRE Y CAÍDA LIBRE”.**

AUTOR: CRISTIAN GEOVANNY ANGAMARCA IPIAL

DIRECTOR: ING. DIEGO ORTIZ

Ibarra, 2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR

DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL AUTOR	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100428171-1
APELLIDOS Y NOMBRES:	ANGAMARCA IPIAL CRISTIAN GEOVANNY
DIRECCIÓN:	IBARRA- YACUCALLE- AV. TEODORO GÓMEZ DE LA TORRE Y ANTONIO CORDERO
EMAIL:	cgangamarcai@utn.edu.ec
TELÉFONO FIJO / MÓVIL:	0994019379

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“SISTEMA DE SEPARACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS DE BAJA DENSIDAD (FUNDAS, BOTELLAS DE PLÁSTICO Y PAPEL) POR MEDIO DE UN SISTEMA DE AIRE Y CAÍDA LIBRE”.
AUTOR:	ANGAMARCA IPIAL CRISTIAN GEOVANNY
FECHA:	06 de julio de 2021
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
DIRECTOR:	ING. DIEGO ORTIZ



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de septiembre del 2021

El Autor:

Firma:


Nombre: Cristian Geovanny Angamarca Ipiál

Cédula: 100428171-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DIRECTOR

Certifico que el trabajo de grado titulado “SISTEMA DE SEPARACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS DE BAJA DENSIDAD (FUNDAS, BOTELLAS DE PLÁSTICO Y PAPEL) POR MEDIO DE UN SISTEMA DE AIRE Y CAÍDA LIBRE”, ha sido desarrollado en su totalidad por el señor: Cristian Geovanny Angamarca Ipial portador de la cédula de identidad número: 100428171-1; previo a la obtención del título de Ingeniería en Mecatrónica.



Firmado electrónicamente por:

**DIEGO LUIS
ORTIZ**

**ING. DIEGO ORTIZ
DIRECTOR DE TESIS**

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por permitirme gozar de vida y salud, por tener y disfrutar cada día de mi familia.

Agradezco a mis padres por ser ese pilar fundamental en la trayectoria educativa que he seguido, por apoyarme y guiarme en cada decisión que me ha llevado hacia donde estoy. El camino recorrido no ha sido nada fácil, pero gracias a su apoyo, comprensión y cariño todo se volvió más fácil de culminar. Gracias por creer en mí.

Un agradecimiento muy especial para mi madrecita Nelly quién con cada aliento y esfuerzo supo confiar y creer en mí, quién a pesar de toda dificultad siempre se mostró fuerte y con ganas de seguir adelante con nosotros sus hijos. Gracias por inculcar en mí todos los valores que hoy me definen como persona; esa garra de seguir adelante, de no dejarme vencer así los problemas sean grandes, que todo en la vida tiene solución.

A mi hermano mayor Eduardo por su compañía, su valentía, por estar en los momentos cuándo más lo he necesitado y por su gran corazón que en tiempos difíciles ha cargado en su espalda a toda la familia.

A mis hermanos/as Shirley, Dennis y Kimberly por su compañía a lo largo de mis estudios.

A mi tío Edison Ipial quién siempre fue un ejemplo para mí, gracias por enseñarme a luchar y darlo todo. Gracias por enseñarme a forjar un carácter fuerte, a ser un guerrero, a que no todo en la vida va a salir como uno quiere, a que si te caes siempre debes levantarte más fuerte; gracias por ser esa inspiración que necesitaba en tiempo difíciles, gracias por aquellas palabras que siempre llevaré en mi corazón: “SIEMPRE FUERTE, COMO CORAZÓN DE LEÓN”. Gracias por todo LEIS.

A Brayan Ch y Christian P por su compañía en el transcurso de la carrera, por ser esos amigos con los que una persona puede contar.

Un enorme agradecimiento a Andrés G, por brindarme su ayuda en tiempos de apuro, por compartirme sus conocimientos y más que todo gracias por ser un gran amigo.

A mis amigos que conocí en el transcurso de la carrera: Diego A, Wagner C, Luis D, Dennis M, Rogger R, David P, Fabricio G, Diana R, Kevin D, Ana V y a todos quiénes conformamos ASO_CIME.

A los ingenieros Víctor Erazo, Fernando Valencia, Diego Ortiz, David Ojeda, Dr. Marco Jaramillo; gracias por impartir sus conocimientos, su experiencia y su calidad como docentes.

A nuestro tutor de tesis externo al ingeniero PhD. Víctor Cárdenas, quien compartió su valioso tiempo en el desarrollo de la tesis, gracias por confiar y creer en nosotros, por compartir sus conocimientos y por ser una de las mejores personas que he conocido tanto ética como moralmente.

A mis mejores amigos David C y José C, por brindarme su apoyo de hermanos, por ayudarme a superarme y creer en mí.

Crisgeovanny.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi querida madre Nelly en reconocimiento al esfuerzo y sacrificio que realizó para ayudar a convertirme en profesional, por brindarme un apoyo incondicional, por su ejemplo y buenos consejos que me ayudan a seguir adelante.

A mis hermanos Eduardo, Shirley, Kimberly, Dennis y mi sobrino Gael como prueba de que nada es difícil en la vida, todo es cuestión de agallas y perseverancia. Espero ser un ejemplo y motivación de seguir adelante para todos ustedes, en todo lo que se propongan siempre estaré ahí para apoyarlos.

Crisgeovanny.

RESUMEN

La presente investigación muestra el diseño y construcción de un sistema separador de residuos sólidos domésticos mediante un sistema de aire y caída libre por medio de su densidad. El objetivo que se plantea es separar las botellas plásticas de fundas y papel. Para lograr este objetivo se plantean varias soluciones que por medio de la casa de la calidad se determinó la mejor en función de los parámetros y características determinadas por la voz del cliente y voz del ingeniero.

Sabiendo el resultado final se procede a construir y ensamblar el prototipo para ejecutar las pruebas experimentales.

El prototipo consta con 2 funciones: caída libre y sistema de aire. La primera función separa las botellas plásticas por acción de su peso cayendo libremente a un ducto de salida y la segunda función separa los materiales livianos (fundas plásticas y papeles), los cuáles son empujados hacia un ducto lateral debido a un flujo de aire, logrando así la separación de los materiales más livianos de las botellas plásticas.

Se implementó 2 blowers (venterolos) capaces de generar el flujo de aire necesario para empujar dichos materiales y no tiendan a caer de manera conjunta con las botellas.

Para validar el prototipo, se realizaron pruebas de funcionalidad; y del análisis de los resultados se llegó a obtener una eficiencia del 0,75.

Palabras clave: residuos sólidos, densidad, presión, plástico, caída libre.

ABSTRACT

This research shows the design and construction of a domestic solid waste separator system through an air system and free fall through its density. The objective is to separate the plastic bottles from covers and paper. To achieve this objective, several solutions are proposed that, through the quality house, the best was determined based on the parameters and characteristics determined by the voice of the customer and the voice of the engineer.

Knowing the final result, we proceed to build and assemble the prototype to run the experimental tests.

The prototype has 2 functions: free fall and air system. The first function separates the plastic bottles by action of their weight falling freely into an outlet duct and the second function separates the light materials (plastic bags and papers), which are pushed into a lateral duct due to an air flow, achieving thus the separation of the lightest materials from plastic bottles.

2 blowers were implemented capable of generating the necessary air flow to push said materials and not tend to fall together with the bottles.

To validate the prototype, functionality tests were carried out; and from the analysis of the results, an efficiency of 0.75 was obtained.

Keywords: solid waste, density, pressure, plastic, freefall.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
CONSTANCIAS	iii
CERTIFICACIÓN DIRECTOR.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Alcance	3
1.4 Justificación	3
1.5 Contexto.....	4
CAPÍTULO II.....	6
MARCO REFERENCIAL	6
2.1 Métodos de separación de residuos por medio de su densidad.....	6
2.2 Máquinas existentes de separadores de residuos por su densidad	7
2.3 Características y propiedades de los residuos inorgánicos (fundas de plástico, botellas de plástico y papel).....	10
2.3.1 Características y propiedades del papel.....	10
2.3.2 Características y propiedades del plástico	11
2.4 Parámetros necesarios para la separación de residuos por densidad	12

2.4.1	Parámetros a tener en cuenta para separar residuos.....	13
2.5	Consideraciones para la selección de materiales para el diseño y construcción del sistema de separación por densidad.....	14
2.6	Normativas vigentes de diseño de máquinas	14
CAPÍTULO III		16
METODOLOGÍA.....		16
3.1	Casa de la calidad.....	16
3.1.1	Necesidades relevantes de la casa de la calidad	16
3.2	Análisis funcional	17
3.3	Análisis modular	18
3.4	Alternativas de solución por cada módulo.....	20
3.4.1	MÓDULO 1: Sistema de ingreso de residuos.	20
3.4.2	MÓDULO 2: Separación de residuos por caída libre y sistema de aire...	21
3.4.3	Soluciones posibles.....	23
3.5	Aplicación de la matriz de criterios ponderados.....	24
3.6	SOLUCIÒN FINAL DE ACUERDO A CADA FUNCIÒN	31
3.7	Cálculos del sistema.....	32
3.7.1	Tolva de ingreso	32
3.7.2	Presión de aire	34
3.8	Análisis de los componentes críticos del sistema	36
3.8.1	Análisis de la estructura.....	36
3.8.2	Análisis de la tolva	40
3.9	Análisis CFD.....	45
CAPÍTULO IV		48
RESULTADOS		48
4.1	Construcción del sistema	48
4.2	Pruebas experimentales.....	52

	xii
4.2.1 Análisis de las pruebas experimentales	52
CAPÍTULO V	60
5.1 CONCLUSIONES	60
5.2 RECOMENDACIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Westeria Fördertechnik GmbH [14]	7
Figura 2: AIR-KNIVE [14]	8
Figura 3: STEINET RAYOS X [15]	9
Figura 4: AIR-LIFT [15]	10
Figura 5: Análisis funcional nivel 0	17
Figura 6: Análisis funcional nivel 1	18
Figura 7: MÓDULO 1 (Sistema de ingreso de residuos)	19
Figura 8: MÓDULO 2 (Separación de residuos por caída libre y sistema de aire).....	19
Figura 9: Posibles soluciones de las 4 funciones.....	23
Figura 10: Diseño tolva de ingreso.....	26
Figura 11: Diseño ducto de caída libre.....	28
Figura 12: Selección de venterol como sistema de inyección de aire	30
Figura 13: Diseño de la función tolva de salida	31
Figura 14: Datos de entrada para diseñar una tolva.....	32
Figura 15: Diseño completo del prototipo.....	36
Figura 16: Diagrama de fuerza cortante y momento flector.....	37
Figura 17: Simulación de esfuerzo por Von Mises	38
Figura 18: Factor de seguridad	38
Figura 19: Desplazamiento de la viga	39
Figura 20: Simulación por Von Mises estructura.....	40
Figura 21: Simulación desplazamiento estructura.....	40
Figura 22: Esfuerzo Von Misses tolva de entrada.....	41
Figura 23: Análisis de esfuerzos de desplazamiento tolva de ingreso.....	41
Figura 24: Esfuerzo Von Mises tubo cuadrado ingreso.....	42
Figura 25: Deformación tubo cuadrado ingreso	42
Figura 26: Esfuerzo Von Mises tubo cuadrado salida papel	43
Figura 27: Desplazamiento salida de papel	43
Figura 28: Esfuerzo Von Mises tubo cuadrado salida botellas.....	44
Figura 29: Desplazamiento salida de botellas	44
Figura 30: Flujo de aire con 3 orificios de entrada.....	45
Figura 31: Área que abarca el flujo de aire con 3 orificios verticales	46
Figura 32: Flujo de aire con 2 orificios de entrada.....	46

Figura 33: Área que abarca el flujo de aire con 2 orificios horizontales.....	47
Figura 34: Construcción de la estructura.....	49
Figura 35: Construcción tolva de ingreso.....	49
Figura 36: Tolva de salida de materiales livianos	50
Figura 37: Ducto de caída libre	50
Figura 38: Ducto de salida botellas	51
Figura 39: Construcción y montaje	51
Figura 40: Prueba 1.....	53
Figura 41: Prueba 2.....	54
Figura 42: Prueba 3.....	54
Figura 43: Prueba 4.....	55
Figura 44: Prueba 5.....	56
Figura 45: Prueba 6.....	57
Figura 46: Prueba 7.....	57
Figura 47: Prueba 8.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resultados visuales del plástico [17].....	11
Tabla 2: Densidad del plástico [17].....	12
Tabla 3: Flotabilidad del plástico [17].....	12
Tabla 4: Parámetros para separar residuos por el método de aire y flotación	13
Tabla 5: Voz del cliente e ingeniero	16
Tabla 6: Soluciones tolva de ingreso	20
Tabla 7: Solución ducto caída libre	21
Tabla 8: Solución inyección de aire	21
Tabla 9: Solución tolva de salida.....	22
Tabla 10: Evaluación y ponderación de cada criterio.....	24
Tabla 11: Evaluación de soluciones de la tolva de ingreso respecto al mantenimiento	25
Tabla 12: Evaluación de soluciones de la tolva de ingreso respecto a la seguridad.....	25
Tabla 13: Evaluación de soluciones de la tolva de ingreso respecto al costo	26
Tabla 14: Solución de la función tolva de ingreso	26
Tabla 15: Evaluación de soluciones del ducto de caída libre respecto al manteni.....	27
Tabla 16: Evaluación de soluciones del ducto de caída libre respecto a la seguridad ..	27
Tabla 17: Evaluación de soluciones del ducto de caída libre respecto al costo	27
Tabla 18: Solución de la función ducto de caída libre	28
Tabla 19: Evaluación de soluciones de inyección de aire respecto al mantenimiento..	29
Tabla 20: Evaluación de soluciones de inyección de aire respecto a la seguridad.....	29
Tabla 21: Evaluación de soluciones de inyección de aire respecto al costo.....	30
Tabla 22: Solución de la función inyección de aire.....	30
Tabla 23: Densidades típicas de residuos sólidos.....	33
Tabla 24: ángulos de reposo de algunos materiales	33
Tabla 25: Tabla de pruebas experimentales	52
Tabla 26: Análisis de las pruebas realizadas	59

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Problema

El reciclado es un proceso en el que los desechos vuelven a obtener la función de ser útiles para las personas [1]. Un informe del Banco Mundial (BM) menciona que los desechos causados en el planeta en 2016 alcanzaron los 2010 millones de toneladas. Por ello el BM, predice llegar a los 3400 millones de toneladas en el año 2050. Es decir, que en poco más de tres décadas se generara casi un 70% más de basura de todo tipo. Sin embargo, el informe apunta especialmente a un componente problemático como es el plástico, del que en 2016 se provocaron 242 millones de toneladas de desperdicios, cuya idónea administración, reutilización y reciclaje son primordiales para minimizar su enorme efecto en el ecosistema [2] [3] [4]. Además, recientes estudios nos revelan que los ecuatorianos generan 0,57 kg de residuos rígidos a diario [5].

Un informe de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) nos menciona que en Latinoamérica y el Caribe se reporta un gran problema que son los vertederos a cielo abierto. En la zona se crea un volumen de casi 540 000 toneladas cotidianas y se calcula que, para el 2050, los desechos producidos por los países americanos lleguen a 671 000 toneladas de basura al día. Además de la acumulación de dichos materiales, el más grande problema es el destino final de los desperdicios [6].

La división de residuos urbanos inorgánicos de la misma forma que el papel, fundas plásticas, vasos plásticos, botellas de plástico, entre otros es importante para minimizar la contaminación ambiental de los océanos. En Ecuador conforme a una investigación realizada por María Fernanda Solís en 2016 menciona que el 4.1% de los cantones bota la basura a los ríos donde los desperdicios tienen la posibilidad de viajar centenares de

kilómetros y llegar hasta el mar, por otro lado, la basura que queda en los ríos se vuelve un foco de contaminación para las personas [7]. El director ejecutivo de Conservación Internacional-Ecuador (CI) Luis Suárez, explica que el problema es más grave debido a que los desperdicios como el plástico al momento de desintegrarse pueden llegar a la cadena alimenticia, lo que perjudica la salud de las especies animales como al ser humano [7].

Los desechos como el plástico, fundas de polietileno, papeles que comúnmente llegan al mar ya sea por vía aérea, fluvial o inclusive transportadas por el mismo ser humano son drásticamente peligrosas para las especies marinas, aves, entre otros. Con lo mencionado anteriormente se propone a través de la siguiente investigación diseñar y construir un sistema de separación de residuos urbanos inorgánicos por medio de su densidad, obteniendo una separación de las botellas plásticas de fundas y papel.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un prototipo de un sistema de separación de residuos sólidos domésticos por medio de un sistema de aire.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir los diferentes tipos y métodos existentes para la separación de residuos inorgánicos por medio de su densidad.
- Diseñar el sistema de separación de residuos inorgánicos.
- Construir el prototipo del sistema de separación de residuos inorgánicos por medio de su densidad.
- Verificar los resultados con prueba y error del sistema de separación de residuos por medio de su densidad.

1.3 Alcance

En el presente trabajo se diseñó y se construyó un prototipo de un sistema separador de residuos inorgánicos por medio de su densidad, el cuál realiza la separación de los residuos entrantes como: fundas de plástico, botellas de plástico y papel, logrando la separación de residuos de diferentes densidades.

El diseño consta con planos detallados de su construcción mecánica y de su ensamble.

1.4 Justificación

Actualmente el reciclaje juega un papel muy importante en la reducción de la contaminación al medio ambiente debido a que las personas se han vuelto consumistas sin consciencia [8].

La mayor parte de las personas viven en una sociedad consumista que no valora las cosas que lo rodea, los materiales comprados se desechan de forma inmediata sin saber a dónde van a parar gran parte de los residuos, no importa si el desecho es de papel, plástico, aluminio, cartón o vidrio. Aquellos desperdicios vuelven al ser humano por medio de la cadena alimentaria y el otro porcentaje se transforma en materiales de contaminación que perjudican al ecosistema, entre dichos desechos se tiene el plástico el cual perjudica la salud humana como las de mares y costas del planeta [8].

Si bien es cierto los desechos que no son reutilizados por las personas van a parar de manera directa al océano por diferentes vías ya sean aéreas, fluviales o incluso transportadas por el mismo hombre, tales desperdicios ocasionan una contaminación prácticamente en todos los ecosistemas especialmente el acuático [9].

Una tortuga puede llegar a fallecer tan rápido atrapada en una bolsa plástica; sin embargo, también hay animales como las ballenas que padecen por días, meses o inclusive años a causa de los desechos como el plástico hasta finalmente llegar a fallecer gracias a la inviabilidad de alimentarse, los pájaros como los pelicanos a menudo confunden objetos plásticos con comida y padecen las consecuencias hasta el punto de morir. Estudios realizados en el Mar del Norte, revelaron que la porción de plástico ingerido por las aves es de 0.3 gramos, el equivalente a una cantidad de comida de una persona adulta si se escala la medida y peso del pájaro al del ser humano [9].

El sistema de separación de residuos inorgánicos a realizar busca reducir la llegada de materiales como plásticos, fundas, papeles, entre otros lleguen al mar e inclusive a tierras donde provoca la muerte de animales como aves o especies marinas.

La separación de este tipo de residuos ayudaría a reducir la contaminación del medio ambiente y a preservar el ecosistema.

1.5 Contexto

DISEÑO DE UNA PLANTA RECICLADORA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL MANCOMUNA CON EL PUEBLO CAÑARÍ DE LOS CANTONES: CAÑAR, BIBLIÁN, EL TAMBO, Y SUSCAL EN EL AÑO 2014 (ENRIQUE LEONARDO ORMAZA SALAMEA) [10].

En el trabajo se desarrolla los procedimientos mecánicos de separación por densidad el cual separa materiales ligeros de los pesados por medio de varias técnicas, entre las más empleadas se tiene la separación neumática o flotación.

MÉTODOS PARA LA SEPARACIÓN DEL PVC CONTAMINANTE EN EL RECICLADO DEL PET (LIDIA LARA ALVAREZ SALTILLO) [11].

La investigación muestra el sistema de flotación es un método de separación simple para materiales de diferentes densidades. El método implica depositar el material en un tanque lleno de agua o de otro líquido como soluciones salinas o mezclas de agua con alcohol. El material más ligero flota y el pesado se hunde. Para que el sistema de flotación trabaje eficientemente las densidades de los materiales deben ser diferentes entre sí. El PET y el PVC tienen densidades muy similares, por consiguiente, no pueden ser separados por el sistema normal de flotación.

SEPARACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS PARTICULADOS POR DIFERENCIA DE DENSIDADES (DANIELA CECILIA ARÉVALO GONZÁLEZ) [12].

El trabajo presentado muestra un estudio de separación de la mezcla de plástico reciclados y mezcla de plásticos vírgenes mediante el método de diferencia de densidades. Lo cual antes de realizar la separación se debe reducir el tamaño de dichos plásticos por medio de un molino de cuchillas para así facilitar el trabajo.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Métodos de separación de residuos por medio de su densidad

Para lograr una separación de residuos por medio de su densidad existen diferentes métodos los cuales se mencionan a continuación:

- *Separación manual:*

Gran parte de plásticos son clasificados a mano, es un método sencillo que no requiere de tecnología. Consiste en un método ineficiente y de labor intensa en la separación de los materiales plásticos [11].

- *Separación por flotación:*

El sistema de flotación es un procedimiento de división fácil para materiales de diferentes densidades. El procedimiento involucra depositar el material en un tanque lleno de agua o de otro líquido como soluciones salinas o mezclas de agua con alcohol. El material más ligero flota y el pesado se hunde. Para que el sistema de flotación trabaje eficientemente las densidades de los materiales tienen que ser diferentes entre sí [11].

- *Separación por aire:*

Este procedimiento divide el material más ligero como el plástico o papel por medio de un flujo de aire [13].

2.2 Máquinas existentes de separadores de residuos por su densidad

En la figura 1 se tiene un dispositivo que separa sustancias ligeras usando una corriente de aire. El sistema se alimenta a través de una cinta transportadora 1 que termina poco antes y por encima de un tambor 2. El tambor gira en sentido de las agujas del reloj.

Los residuos golpean en el punto central del tambor 2, de modo que los más pesados 3 van en contra la dirección de rotación del tambor 2 y así bajen a una bandeja transportadora. Una corriente de aire sopla entre la cinta transportadora 1 y el tambor 2, la corriente de aire transporta materiales de desecho más ligeros 5 de modo que estos caigan en dirección de la rotación del tambor 2. Los residuos llegan a un canal de recogida 6 o una cinta transportadora.

El aire que se sopla a través del espacio entre la cinta transportadora 1 y el tambor 2 es generado por un ventilador 7. El sistema se encuentra dentro de una carcasa 8, el exceso de aire generado es expulsado por una salida de aire 9 [14].

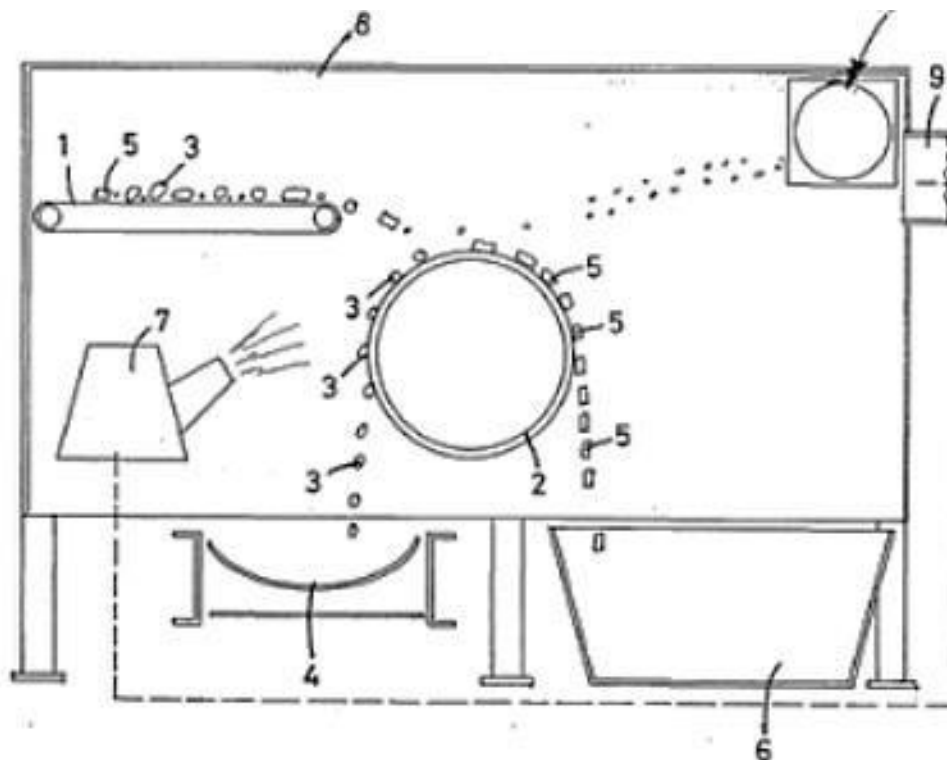


Figura 1: Westeria Fördertechnik GmbH [14]

En la figura 2 se puede apreciar el montaje del sistema de separación de residuos AIR-KNIVE, el cual logra la separación de estos materiales por medio de una aspiración que cuenta con válvulas de regulación hacia los tubos de transporte, logrando separar los materiales más ligeros y llevarlos hacia su depósito para su posterior tratamiento.



Figura 2: AIR-KNIVE [14]

En la figura 3 se observa un clasificador de aire con triple separación, un transportador 2 posee una Gutmischung 3 que promueve hacia arriba. La mezcla 3 contiene componentes ligeros y pesados. La cinta transportadora 2 tiene una primera sección 4 sobre el que corre oblicuamente hacia arriba y en un punto de flexión 5 en una segunda porción 6, menos empinada que se extiende hacia arriba. Debido a la velocidad de funcionamiento de la cinta transportadora 2, la mezcla de material 3 se eleva brevemente de la cinta transportadora 2 poco después del doblado 5 antes de volver a reposar sobre la cinta transportadora 2. En el área donde la mezcla 3 de la cinta transportadora 2 despega, el aire también puede entrar por debajo o dentro de la mezcla 3. En este caso, un ventilador 7 encima del doblado 5, genera un flujo de aire dirigido hacia arriba, que transporta material más ligero 8. Se crea un canal de flujo regular en el que dos cubiertas 9 cuelgan desde arriba por delante y detrás del pliegue 5. En un recipiente 10 un dispositivo

de transporte adicional que traslada el resto de la mezcla 3. Aguas arriba de esta segunda etapa de separación hay una primera etapa de separación, que tiene una cinta de alimentación 11 que suministra lo que se conoce como una mezcla gruesa 3 que se denominan material pesado. La cinta de alimentación 11 termina a una distancia delante de un tambor 12, cuya circunferencia superior del tambor se extiende en la dirección de transporte de la cinta de alimentación 11. Los componentes pesados caen en el espacio que resulta de la distancia entre la cinta de alimentación 11 y el tambor 12. Los componentes restantes más ligeros de la mezcla gruesa alcanzan el área superior de la circunferencia del tambor, que no solo es causada por la velocidad de funcionamiento de la cinta de alimentación 11 y el posicionamiento de la cinta de alimentación 11 con respecto al tambor 12, sino también mediante un ventilador de soporte 14, que impulsa un flujo de aire hacia arriba en el espacio entre la cinta de alimentación 11 y el tambor 12. [15].

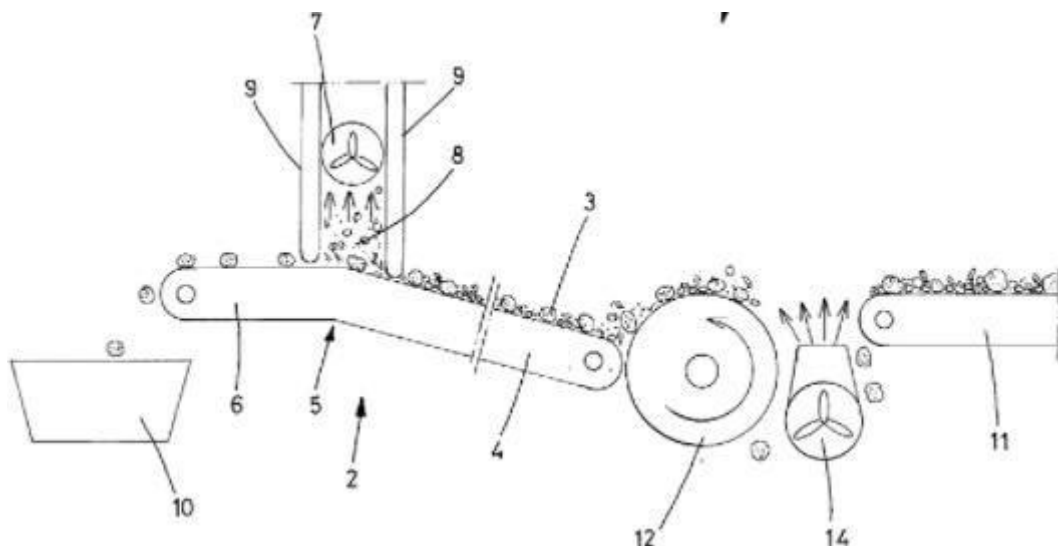


Figura 3: STEINET RAYOS X [15]

AIR-LIFT se muestra en la figura 4, el diseño de esta máquina está compuesto principalmente por un aspirador (AIR-LIFT) que logra absorber los materiales más livianos para ser expulsados por un ducto especial. La banda de alimentación se encarga de transportar los residuos, los más pesados se quedan y tienden a caer por efecto de la gravedad hacia su depósito. Este diseño muestra una idea simple pero efectiva para separar los residuos livianos de los pesados [15].

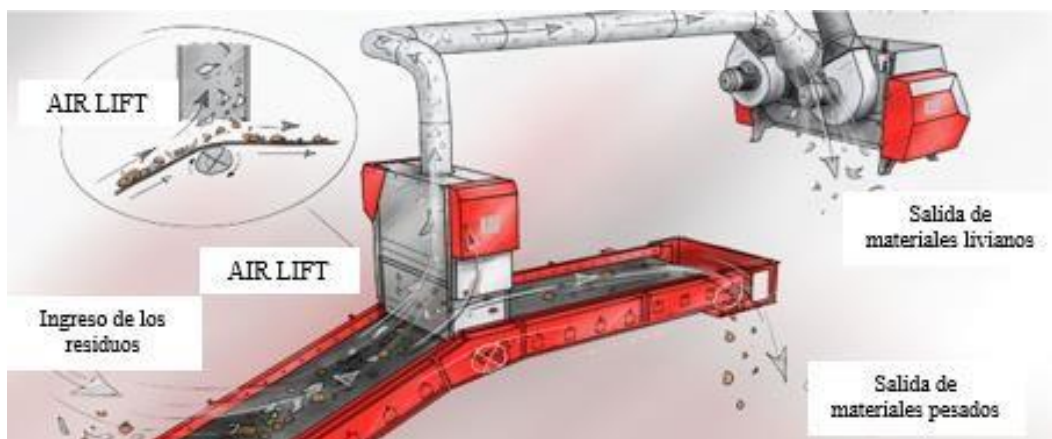


Figura 4: AIR-LIFT [15]

2.3 Características y propiedades de los residuos inorgánicos (fundas de plástico, botellas de plástico y papel).

Para lograr una separación de residuos funcional por medio de su densidad es necesario conocer y tener en cuenta las características y propiedades de los residuos a separar para lograr un ahorro de energía y una separación exitosa.

2.3.1 Características y propiedades del papel

Para lograr la separación de papeles es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Masa base: La masa base del papel es el peso por unidad de área, sus unidades están expresadas en $\frac{g}{m^2}$ [16].

- Espesor del papel: El espesor del papel es el calibre del mismo expresado en milésimas de pulgada [16].
- Densidad del papel: La densidad es la masa por unidad de volumen o gravedad específica $\frac{g}{cm^3}$. La densidad puede obtenerse de la masa base y el espesor [16], como se ve en la *Ecuación 1*.

$$D = \frac{W1}{T1 \times 18.08} = \frac{W2}{T2} \quad (1)$$

Dónde:

W1, Peso base en libras

W2, Peso base en g/m²

T1, Espesor en mils (0.001 in)

T2, Espesor en micras (0.001 mm)

2.3.2 Características y propiedades del plástico

Arley Steven [17] resume las propiedades de los plásticos en las siguientes tablas, conllevando datos que serán útiles al igual que las fundas plásticas.

Tabla 1: Resultados visuales del plástico [17].

Plástico	Color, Transparencia, Traslucidez	Flexibilidad	Facilidad para cortarlo
PET	Transparente	no	No
HDPD	Traslúcido	si	No
PVC	color blanco	no	No
LDPE	Transparente	si	Si
PP	Transparente	si	no
PS	color blanco	si	Si
OTROS	Traslúcido	si	Si

Tabla 2: Densidad del plástico [17].

Tipo de Plástico	PET	HDPD	PVC	LDPE	PP	PS	OTROS
Densidad experimental (g/cm³)	0,6	0,83	1,05	0,4	0,3	0,85	0,67
Densidad teórica (g/cm³)	1,38	0,952	1,4	0,92	0,9	1,05	valor cambiante
Error de relativo (%)	56,52	12,46	25	56,52	66,67	19,05	valor no comparable

Tabla 3: Flotabilidad del plástico [17].

Tipo de plástico	flota en agua	flota en agua salada
PET	no	No
HDPD	si	Si
PVC	no	No
LDPE	si	Si
PP	si	Si
PS	si	Si
OTROS	si	Si

2.4 Parámetros necesarios para la separación de residuos por densidad

Según la revista PLASTIC TECHNOLOGY [18] los parámetros más usados para separar los plásticos son:

Color: diferenciar diversos componentes de mezclas de materiales ha sido un criterio muy utilizado en la selección manual. En la actualidad ya se dispone de métodos automáticos basados en la diferencia de colores [18].

Tamaño de partícula: puesto que propiedades como fuerza, flexibilidad y resistencia al impacto varían de un material a otro, los constituyentes de la mezcla cambian en función al tamaño de partícula durante la etapa de reducción de tamaño. Si un cierto componente

tiene un tamaño de partícula considerablemente más grande o más pequeño que los demás, puede facilitarse la separación de éste del resto del material [18].

Densidad: cada material plástico presenta una densidad característica que cambia en base a su pureza. Existe una gran variedad de métodos de separación que utilizan diferencias de densidades, como es el caso de flotación, ciclones, lixiviaciones, etc. [18].

2.4.1 *Parámetros a tener en cuenta para separar residuos*

Tabla 4: *Parámetros para separar residuos por el método de aire y flotación*

MÉTODO DE FLOTACIÓN	MÉTODO DE AIRE
Densidad del residuo	Densidad del residuo
Volumen del cilindro	Peso
Capacidad por litro	Presión o caudal del aire.
Cantidad de soluciones salinas	Velocidad del material

Para lograr la separación de residuos por medio del aire es necesario conocer la masa del residuo a separar [19], el cual está dada por la ecuación 2:

$$Volumen = \frac{masa}{densidad} \quad (2)$$

También es necesario saber la velocidad de caída del material a separar [20] que está dada por la ecuación 3:

$$Velocidad\ promedio = \frac{desplazamiento\ vectorial}{tiempo\ transcurrido} \quad (3)$$

Para calcular la producción de aire de un compresor:

- ✓ Se tiene que averiguar cuál es la capacidad del depósito del compresor.
- ✓ El caudal necesario para separar los residuos ligeros (fundas y papel) de los pesados (botellas plásticas).

2.5 Consideraciones para la selección de materiales para el diseño y construcción del sistema de separación por densidad

Carles Riba [21] presenta diversas consideraciones generales sobre la selección de materiales:

a) Respuesta a la función:

El material elegido debe responder a las exigencias de la función de la pieza o componente [21]. Para este caso debe cumplir la función de evitar la corrosión del material y evitar fugas de aire.

b) Conformación y fabricación:

En la fabricación de las piezas se debe utilizar un fondo y pintura anticorrosiva como indica la norma UNE-EN ISO 12944 para cumplir con la función del material y alargar la vida útil del mismo.

c) Costo y suministro:

Es necesario conocer los sitios que disponen del material, saber sus precios para realizar la adquisición de estos.

d) Facilidad de reciclaje:

Algunos materiales resultaron reciclables debido a que su mecanizado se lo realizó de manera incorrecta pero esa misma pieza puede dar origen a otra que incentive al uso del material dañado.

2.6 Normativas vigentes de diseño de máquinas

Las normativas referentes para el diseño del prototipo se rigen en las mencionadas a continuación:

- *International Standards Organization (ISO)*: Es una organización no gubernamental formada por las entidades de normas nacionales de la mayoría de los países del mundo (157 países al momento de impresión de este documento). Una secretaría central situada en Ginebra, Suiza, coordina el sistema. ISO genera normas para diseñar, fabricar y usar maquinaria de manera más eficiente, segura y limpia. Estas normas también facilitan y permiten que sea más justo el comercio entre países. [23]

Dentro de las normas ISO esta:

- ❖ La EN ISO 12100 ofrece a los diseñadores una vista general completa de la fabricación de máquinas que son seguras para su uso previsto.
- ❖ La EN o IEC 62061 constituye una norma de sector específica subordinada a la IEC 61508. Describe la realización de sistemas de mando eléctricos relativos a la seguridad de máquinas y considera el ciclo de vida completo, desde la fase de diseño a la puesta fuera de servicio [23], [24].

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Este capítulo detalla los métodos y estrategias que se utilizó en la planificación del diseño y a construcción de la máquina separadora de residuos sólidos inorgánicos por medio de su densidad y caída libre, abarca también los cálculos del diseño de la tolva de ingresos de residuos (debido al ángulo de inclinación que esta tolva debería tener para evitar una adherencia del objeto).

3.1 Casa de la calidad

Según Carles Rivas en su texto de Diseño Concurrente dice que el desarrollo de la casa de calidad “consiste en un proceso estructurado que permite traducir los requerimientos y deseos de los usuarios en requerimientos técnicos de ingeniería en cada fase del diseño y fabricación” [25]. A continuación, se muestra las necesidades más relevantes tanto del cliente como del ingeniero.

3.1.1 Necesidades relevantes de la casa de la calidad

Tabla 5: *Voz del cliente e ingeniero*

VOZ DEL CLIENTE	VOZ DEL INGENIERO
Costo	Separación de desechos sólidos (papel-fundas de botellas)
Cantidad de desechos	Seguro
Ergonómico	Ingresos de desechos amplio
Diferentes materiales de reciclaje	Materiales nacionales
Longitud mediana de la máquina	Ergonómico

Normas de seguridad	Capacidad
Fácil adquisición de componentes	Semiautomático
Máquina semiautomática	Dimensionamiento
Trabajar con aire	Residuos sólidos domésticos
Movilidad de desechos	

Con la ayuda de la casa de la calidad se puede enlazar la voz del ingeniero con los requerimientos del cliente para obtener las necesidades más relevantes con las que se debe diseñar el prototipo (**Ver Anexo A**).

3.2 Análisis funcional

Determina las funciones del sistema a través de diagramas de flujo. A continuación, se presenta los diagramas de flujo del análisis funcional del sistema de separación de residuos sólidos domésticos por medio de un sistema de aire y caída libre.

NIVEL 0

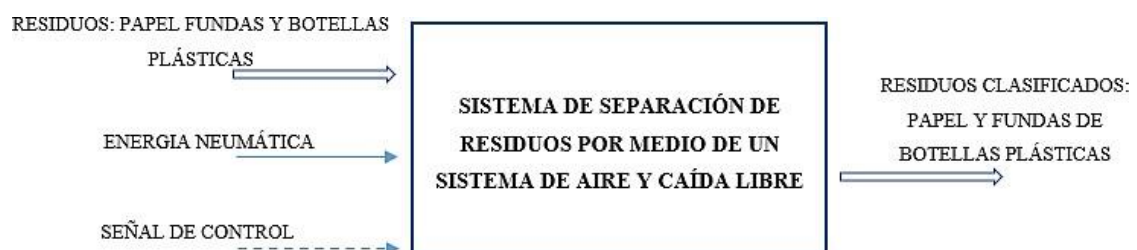


Figura 5: Análisis funcional nivel 0

NIVEL 1

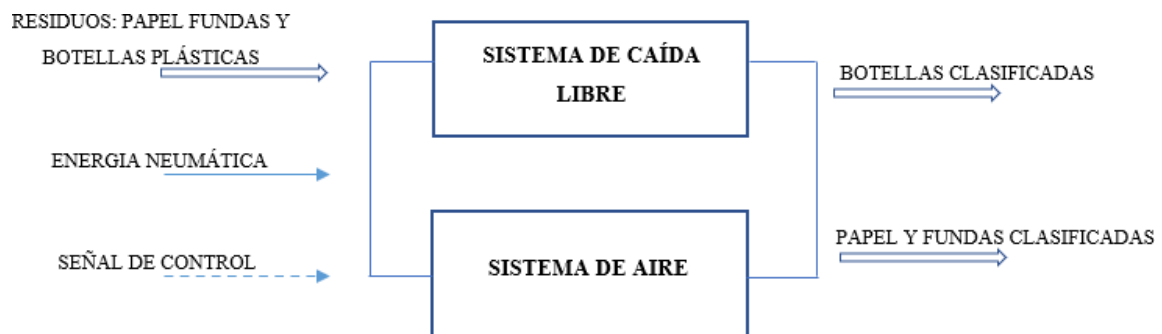


Figura 6: Análisis funcional nivel 1

3.3 Análisis modular

Para el análisis modular se procede a realizar una división en varios bloques funcionales, estos análisis servirán para considerar diferentes soluciones en cada módulo, tomando en cuenta todas las variables necesarias e importantes, como son: material, energía y señal para cada uno de los bloques funcionales establecidos, los cuales son:

MÓDULO 1: Sistema de ingreso de residuos.

MÓDULO 2: Separación de residuos por caída libre y sistema de aire.

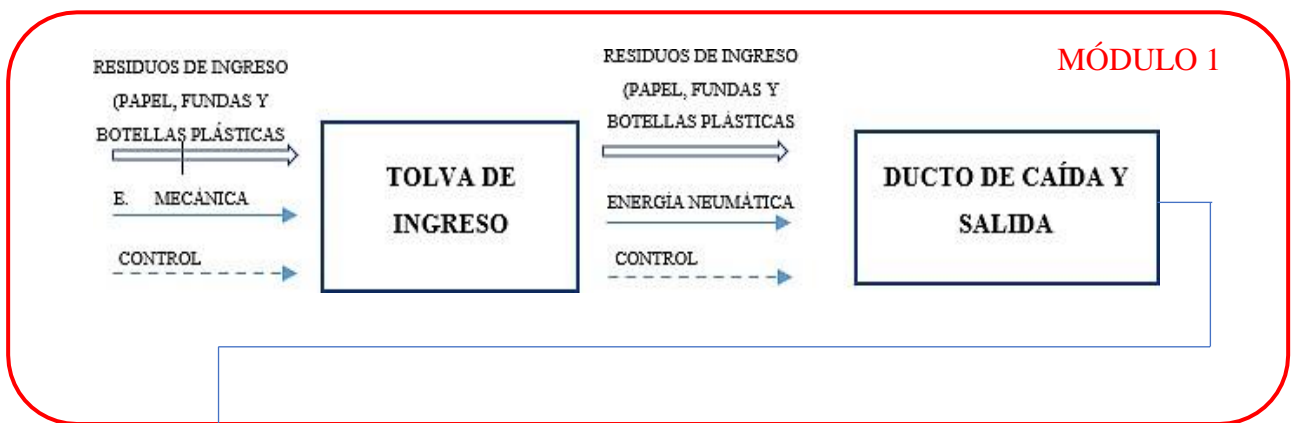


Figura 7: MÓDULO 1 (Sistema de ingreso de residuos)

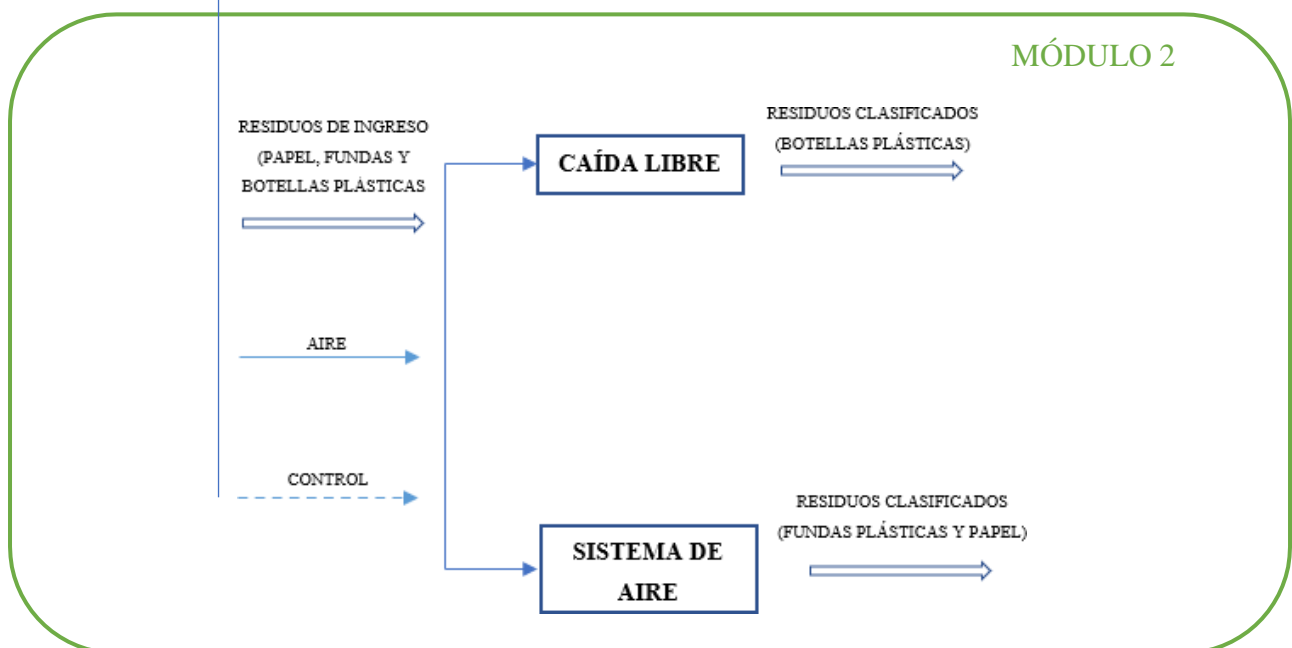


Figura 8: MÓDULO 2 (Separación de residuos por caída libre y sistema de aire)

3.4 Alternativas de solución por cada módulo

3.4.1 MÓDULO 1: Sistema de ingreso de residuos.

Tabla 6: Soluciones tolva de ingreso





FUNCIÓN	SOLUCIÓN	VENTAJA	DESVENTAJA
Tolva de ingreso	<p><i>Tolva abierta</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptable a cualquier capacidad. • Dirección fija. • Poco material de construcción. • Fácil construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Espacio limitado • Desbordamiento de residuos
	<p><i>Tolva cuadrada</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor área de recepción. • Dirección fija. • Fácil construcción. • Evita el desbordamiento de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Más material para su construcción
	<p><i>Tolva cónica</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Dirección fija. • Evita el desbordamiento de residuos. • Mayor área de recepción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solo es usado en la industria alimenticia. • Más material para su construcción • Construcción más compleja.

Tabla 7: Solución ducto caída libre

FUNCIÓN	SOLUCIÓN	VENTAJA	DESVENTAJA
<i>Ducto (caída libre)</i>	<p><i>Cilíndrico</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> No puede existir adherencias del material 	<ul style="list-style-type: none"> Manufactura más compleja
	<p><i>Cuadrado</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> Facilidad de fabricación 	<ul style="list-style-type: none"> Puede haber adherencias del material.

3.4.2 MÓDULO 2: Separación de residuos por caída libre y sistema de aire.

Tabla 8: Solución inyección de aire

FUNCIÓN	SOLUCIÓN	VENTAJA	DESVENTAJA
<i>inyección de aire</i>	<p><i>Aire comprimido</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> Fácil instalación. Presiones regulables. 	<ul style="list-style-type: none"> Instalación por compresor. Uso de unidad de mantenimiento. Costo. Presión en punto.





	<p><i>Ventilador</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Presiones moderadas. • Fácil instalación. • Costo moderado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las presiones de aire no pueden ser suficientes. • Montaje complicado debido a su forma.
	<p><i>Blower</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Presiones moderadas. • Fácil instalación. • Económico. • Regulación de presión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Montaje complicado debido a su forma.

Tabla 9: Solución tolva de salida

FUNCIÓN	SOLUCIÓN	VENTAJA	DESVENTAJA
<i>Tolva de salida de materiales livianos</i>	<p><i>Tolva abierta</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptable a cualquier capacidad. • Dirección fija. • Poco material de construcción. • Fácil construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Espacio limitado • Desbordamiento de residuos
	<p><i>Tolva cuadrada</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor área de recepción. • Dirección fija. • Fácil construcción. • Evita el desbordamiento de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Más material para su construcción

	<p><i>Tolva cónica</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Dirección fija. • Evita el desbordamiento de residuos. • Mayor área de recepción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solo es usado en la industria alimenticia. • Más material para su construcción • Construcción más compleja.
--	--	---	---

3.4.3 Soluciones posibles

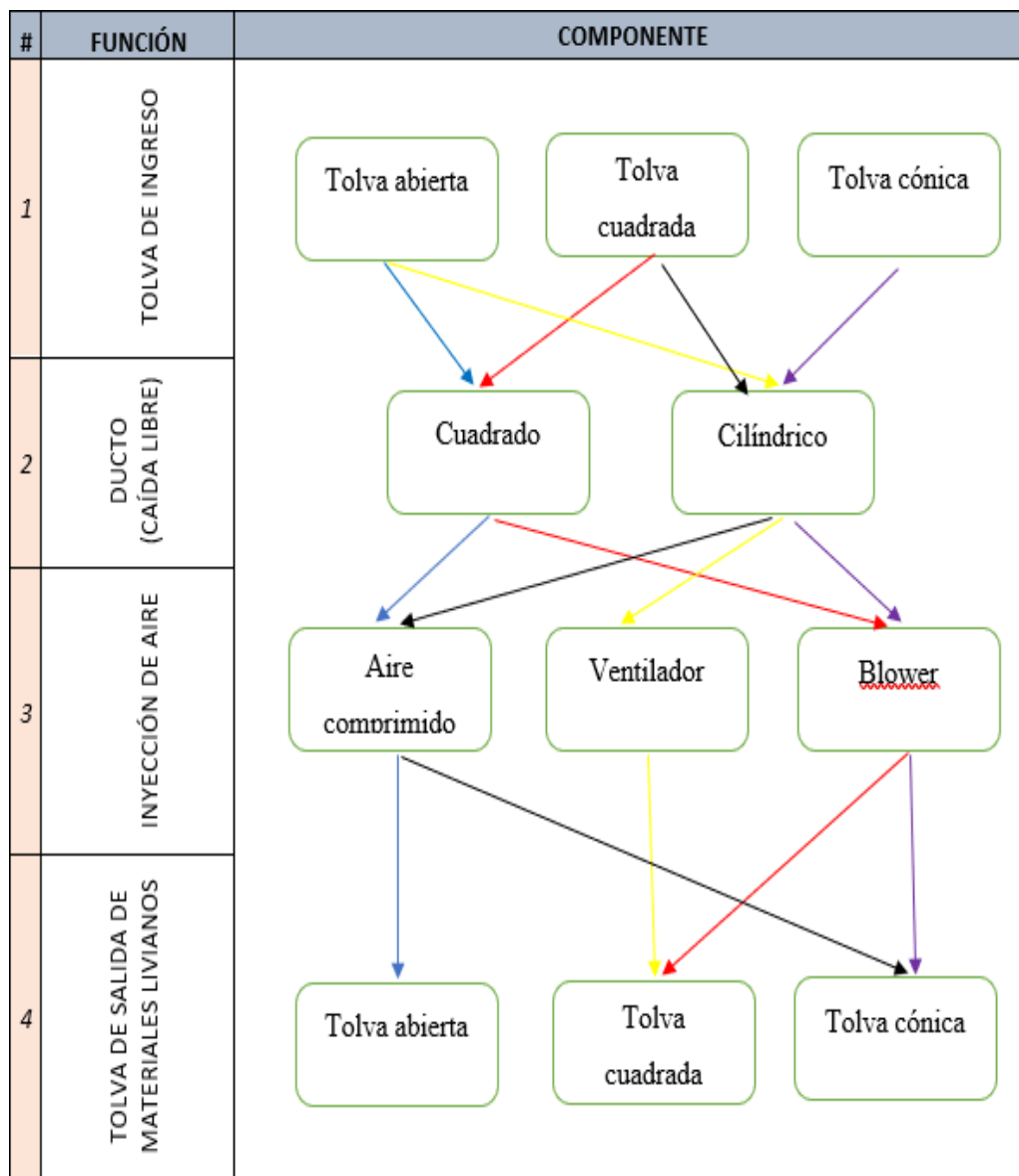


Figura 9: Posibles soluciones de las 4 funciones

3.5 Aplicación de la matriz de criterios ponderados

Esta tabla de criterios se la realiza para lograr definir cuál criterio tiene mayor importancia en la solución final.

Criterios para evaluar:

- a) **Mantenimiento:** disponibilidad del material en el mercado en caso de realizar un cambio rápido, fácil montaje y desmontaje.
- b) **Seguridad:** el material debe ser seguro tanto para la vida útil de la máquina como para la seguridad del operario.
- c) **Costo:** presupuesto con el que se cuenta para la fabricación del prototipo.

Tabla 10: Evaluación y ponderación de cada criterio

Costo > Seguridad > Mantenimiento					
Criterio	Mantenimiento	Seguridad	Costo	$\sum +1$	Ponderación
Mantenimiento		0,5	0	1,5	0,25
Seguridad	0,5		0,5	2	0,33
Costo	1	0,5		2,5	0,42
			Suma	6	1

- Función tolva de ingreso

Se utilizará la letra “T” para definir la palabra tolva seguido de su posición en todas las evaluaciones.

Se utilizará las siguientes tolvas

- T. abierta*
- T. cuadrada*
- T. cónica*

Tabla 11: Evaluación de soluciones de la tolva de ingreso respecto al mantenimiento

cuadrada > cónica > abierta					
Mantenimiento	<i>T. abierta</i>	<i>T. cuadrada</i>	<i>T. cónica</i>	$\sum +1$	Ponderación
<i>T. abierta</i>		0,5	0	1,5	0,25
<i>T. cuadrada</i>	0,5		1	2,5	0,42
<i>T. cónica</i>	1	0		2	0,33
				6	1

Tabla 12: Evaluación de soluciones de la tolva de ingreso respecto a la seguridad

cuadrada = abierta > cónica					
Seguridad	<i>T. abierta</i>	<i>T. cuadrada</i>	<i>T. cónica</i>	$\sum +1$	Ponderación
<i>T. abierta</i>		0,5	1	2,5	0,42
<i>T. cuadrada</i>	0,5		1	2,5	0,42
<i>T. cónica</i>	0	0		1	0,17
				6	1

Tabla 13: Evaluación de soluciones de la tolva de ingreso respecto al costo

cuadrada = abierta > cónica					
Costo	T. abierta	T. cuadrada	T. cónica	$\sum +1$	Ponderación
T. abierta		0,5	1	2,5	0,42
T. cuadrada	0,5		1	2,5	0,42
T. cónica	0	0		1	0,17
				6	1

Solución función tolva

Tabla 14: Solución de la función tolva de ingreso

SOLUCIÓN	Costo	Seguridad	Mantenimiento	\sum	Prioridad
T. abierta	0,18	0,14	0,06	0,38	2
T. cuadrada	0,18	0,14	0,10	0,42	1
T. cónica	0,07	0,06	0,08	0,21	3

Al finalizar las ponderaciones de la función tolva de ingreso se obtiene el resultado final la cual se procede a diseñar tal como se muestra en la figura 10.

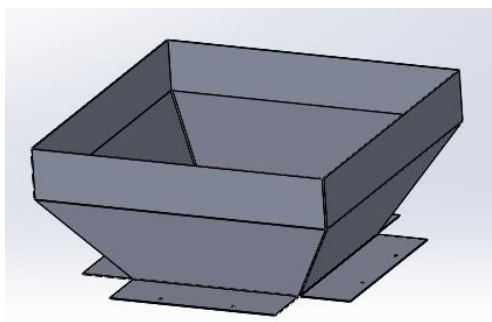


Figura 10: Diseño tolva de ingreso

- Función ducto (caída libre)

Se utilizará los siguientes ductos de acuerdo a su forma:

a) *Cilíndrico*

b) *Cuadrado*

Tabla 15: Evaluación de soluciones del ducto de caída libre respecto al mantenimiento

cilíndrico = cuadrado				
Mantenimiento	<i>cilíndrico</i>	<i>cuadrado</i>	$\Sigma +1$	Ponderación
<i>Cilíndrico</i>		0,5	1,5	0,50
<i>Cuadrado</i>	0,5		1,5	0,50
			3,0	1

Tabla 16: Evaluación de soluciones del ducto de caída libre respecto a la seguridad

cuadrado > cilíndrico				
Seguridad	<i>cilíndrico</i>	<i>cuadrado</i>	$\Sigma +1$	Ponderación
<i>Cilíndrico</i>		0	1	0,33
<i>Cuadrado</i>	1		2	0,67
			3	1

Tabla 17: Evaluación de soluciones del ducto de caída libre respecto al costo

cilíndrico > cuadrado				
Costo	<i>Cilíndrico</i>	<i>cuadrado</i>	$\Sigma +1$	Ponderación
<i>cilíndrico</i>		1	2	0,67
<i>cuadrado</i>	0		1	0,33
			3	1

Solución función ducto (caída libre)

Tabla 18: Solución de la función ducto de caída libre

SOLUCIÓN	Costo	Seguridad	Mantenimiento	Σ	Prioridad
<i>Cilíndrico</i>	0,28	0,11	0,13	0,51	1
<i>Cuadrado</i>	0,14	0,22	0,13	0,49	2

Al finalizar las ponderaciones de la función ducto (caída libre) se obtiene el resultado final la cual se procede a diseñar tal como se muestra en la figura 11.

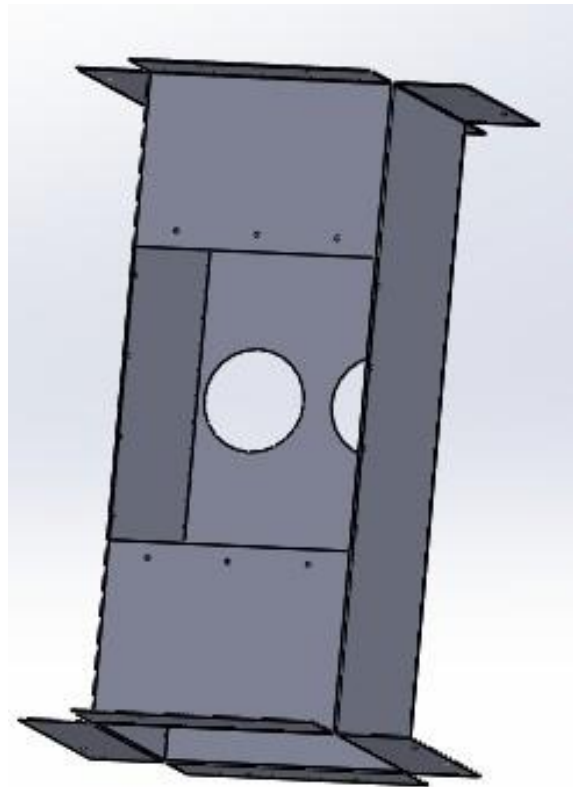


Figura 11: Diseño ducto de caída libre

- Función inyección de aire

Se utilizará las siguientes opciones debido a su flujo de aire:

- Aire comprimido*
- Ventilador*
- Blower (venterol)*

Tabla 19: Evaluación de soluciones de inyección de aire respecto al mantenimiento

blower = ventilador = aire comprimido					
Mantenimiento	<i>aire comprimido</i>	<i>blower</i>	<i>ventilador</i>	$\Sigma +1$	Ponderación
<i>aire comprimido</i>		0,5	0,5	2,0	0,33
<i>Blower</i>	0,5		0,5	2,0	0,33
<i>ventilador</i>	0,5	0,5		2,0	0,33
				6,0	1

Tabla 20: Evaluación de soluciones de inyección de aire respecto a la seguridad

aire comprimido > ventilador > blower					
Seguridad	<i>aire comprimido</i>	<i>blower</i>	<i>ventilador</i>	$\Sigma +1$	Ponderación
<i>aire comprimido</i>		1	1	3	0,50
<i>blower</i>	0		0	1	0,17
<i>ventilador</i>	0	1		2	0,33
				6	1

Tabla 21: Evaluación de soluciones de inyección de aire respecto al costo

blower > ventilador > aire comprimido					
Costo	<i>aire comprimido</i>	<i>Blower</i>	<i>ventilador</i>	$\Sigma +1$	Ponderación
<i>aire comprimido</i>		0	0	1	0,17
<i>blower</i>	1		1	3	0,50
<i>ventilador</i>	1	0		2	0,33
				6	1

Solución función inyección de aire

Tabla 22: Solución de la función inyección de aire

SOLUCIÓN	Costo	Seguridad	Mantenimiento	Σ	Prioridad
<i>aire comprimido</i>	0,07	0,17	0,08	0,32	3
<i>blower</i>	0,21	0,06	0,08	0,35	1
<i>ventilador</i>	0,14	0,11	0,08	0,33	2

Al finalizar las ponderaciones de la función inyección de aire se obtiene el resultado final la cual se procede a diseñar tal como se muestra en la figura 12.



Figura 12: Selección de venterol como sistema de inyección de aire

- Función tolva de salida de materiales livianos

Para esta función se tomará la solución de la función (tolva de ingreso) debido a que ambas tienen la misma finalidad.

Soluciones:

- T. abierta*
- T. cuadrada*
- T. cónica*

Al finalizar las ponderaciones de la función tolva de salida se obtiene el resultado final la cual se procede a diseñar tal como se muestra en la figura 13.

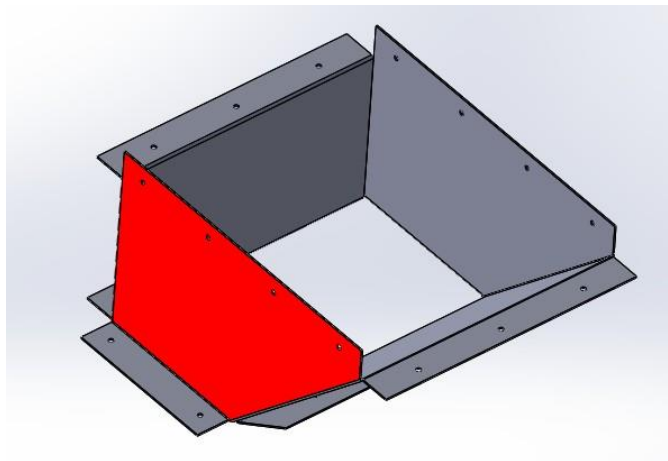


Figura 13: Diseño de la función tolva de salida

3.6 SOLUCIÓN FINAL DE ACUERDO A CADA FUNCIÓN

Se plantearon cinco posibles soluciones las cuales se detallan a continuación:

- Solución azul: *tolva abierta – ducto cuadrado – aire comprimido – tolva abierta*
- Solución negra: *tolva cuadrada – ducto cilíndrico – aire comprimido – tolva cónica*
- Solución amarilla: *tolva abierta – ducto cilíndrico – ventilador – tolva cuadrada*
- Solución roja: *tolva cuadrada – ducto cuadrado - blower – tolva cuadrada*
- Solución morada: *tolva cónica – ducto cilíndrico – blower – tolva cónica*

Aplicando los resultados de cada función de acuerdo a las tablas se obtiene que el resultado óptimo es la *solución d “tolva cuadrada – ducto cuadrado - blower – tolva cuadrada”*.

3.7 Cálculos del sistema

Al obtener los resultados de la matriz de criterios ponderados se procede a realizar los cálculos necesarios para el dimensionamiento del sistema.

3.7.1 Tolva de ingreso

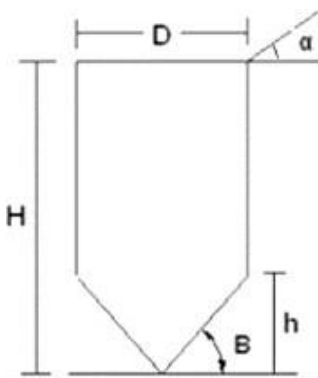


Figura 14: Datos de entrada para diseñar una tolva

- D: diámetro de la tolva
- H: altura de la tolva
- β : ángulo de caída del material
- h: altura de caída
- α : ángulo de reposo

Debido al diseño preliminar de la máquina separadora de residuos por medio de su densidad se plantea un diámetro de entrada de la tolva de 600 mm y un diámetro de desfogue de 400 mm. Para su diseño se procede a determinar el ángulo de inclinación de la tolva para evitar que los materiales pasantes por esta no tiendan a resbalar.

Los materiales que pasarán son botellas de plástico, fundas plásticas y papel, de los cuales por medio de su densidad se puede determinar cuál de ellos presenta mayores problemas para resbalar. De acuerdo a la tabla 23:

- Densidad típica del plástico: 65kg/m³
- Densidad típica del papel: 50kg/m³

Tabla 23: Densidades típicas de residuos sólidos

Componentes	Variación en Kg/m ³	Típico en Kg/m ³
Residuos de comida		
En hogares	131-481	291
En mercados	475-950	540
Residuos de jardinería	59-225	101
Madera	131-320	237
Papel y cartón	42-131	50
Plásticos	42-131	65
Textiles	42-101	65
Vidrio	160-481	196
Latas de hojalata	50-160	89
Otros metales	65-1151	280

Se escoge la densidad típica del papel debido a que este material tendría más problemas para deslizarse debido a que presenta menor densidad comparado con el plástico.

Así mismo se establece el ángulo de reposo del material escogido el cuál es ($\alpha = 19^\circ$) según la tabla 24.

Tabla 24: ángulos de reposo de algunos materiales

MATERIAL	ÁNGULO DE REPOSO
Abono	-
Arena	21
Hojas secas	45
Vidrio	30-44
Papel	19

El ángulo de inclinación de la tolva está dado por la ecuación 4.

$$\beta = \alpha + 15^\circ \quad (4)$$

$$\beta = 19^\circ + 15^\circ$$

$$\beta = 34^\circ$$

Para calcular el volumen que puede abarcar la tolva:

$$D = 60\text{cm}$$

$$H = 60\text{cm}$$

$$h = \tan(\beta) \times \frac{D}{2} \quad (5)$$

$$h = \tan(34^\circ) \times \frac{60\text{cm}}{2}$$

$$h = 18,7\text{cm} \approx 19\text{cm}$$

Siendo la fórmula del volumen total:

$$V_{total} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4} \quad (6)$$

$$V_{total} = \frac{\pi \cdot 60^2 \cdot 60}{4}$$

$$V_{total} = 1,70\text{m}^3$$

3.7.2 Presión de aire

A partir de un venterol (blower) se procede a calcular la presión de aire necesaria para lograr que los objetos más livianos (hojas de papel y fundas plásticas) tiendan a salir empujados por la tolva de salida de estos materiales.

Los datos de entrada dados por el venterol son:

- $\omega = 3400 \text{ rpm}$
- Radio (r): 0.01

- $A_{salida}: 0.0032 \text{ m}^2$
- Densidad del aire (ρ) = 1.29 kg/m^3

$$Caudal = V * A_{salida} \quad (7)$$

$$V = \omega * r \quad (8)$$

$$V = 3400rpm * 0.01m = 34m/s$$

$$Caudal = 34 \frac{m}{s} * 0.0032m^2 = \frac{6.53m^3}{h}$$

$$P_{aire} = \frac{1}{2} * \rho * V^2 \quad (9)$$

$$P_{aire} = 745620 Pa = 7.4 \text{ bares}$$

La presión de aire que proporciona el venterol es aproximadamente de 7 bares. Entonces se procede a calcular la presión necesaria para el empuje de los materiales más livianos.

$$m_{botella} = 56gr$$

$$a = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 0,548 N$$

$$P_{aire} = \frac{F}{A} \quad (10)$$

$$A_{botella} = 0.032m^2$$

$$P_{aire} = 17.125 Pa$$

Con el resultado obtenido se puede decir que es necesario 1 bar para empujar los materiales livianos y así lograr su separación de las botellas de plástico.

Una vez determinado el uso de los venteroles y el ángulo de inclinación de la tolva se procede al diseño del prototipo teniendo como resultado la figura 14 y así continuar con su construcción.

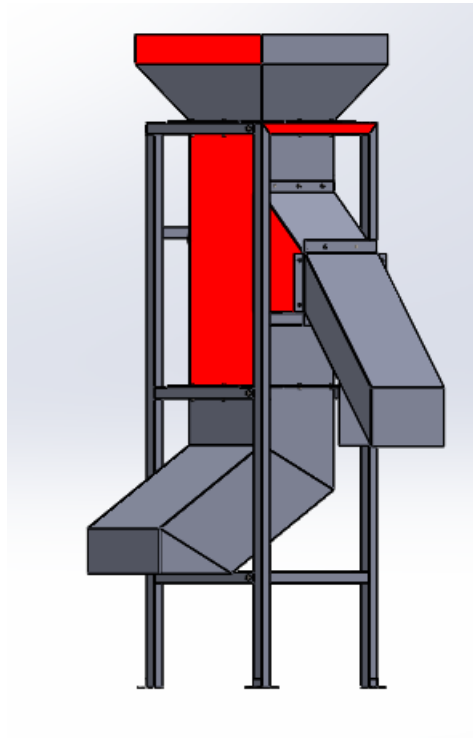


Figura 15: Diseño completo del prototipo

3.8 Análisis de los componentes críticos del sistema

3.8.1 Análisis de la estructura

Se realiza un estudio de esfuerzos donde se apoyan la tolva de entrada y los ductos de salida y caída libre como se aprecia en la figura 15. Para el análisis se toma una parte de la estructura la cual está representada por una viga, a la cual se aplica una carga de 764.4 N la cual está dada por el peso de las piezas que soporta la estructura (77 kg) más el peso de la basura que ingresa a la tolva (1 kg), el peso de la basura se define pesando todos los materiales a separar que contiene una funda de basura (botellas plásticas, fundas y papel).

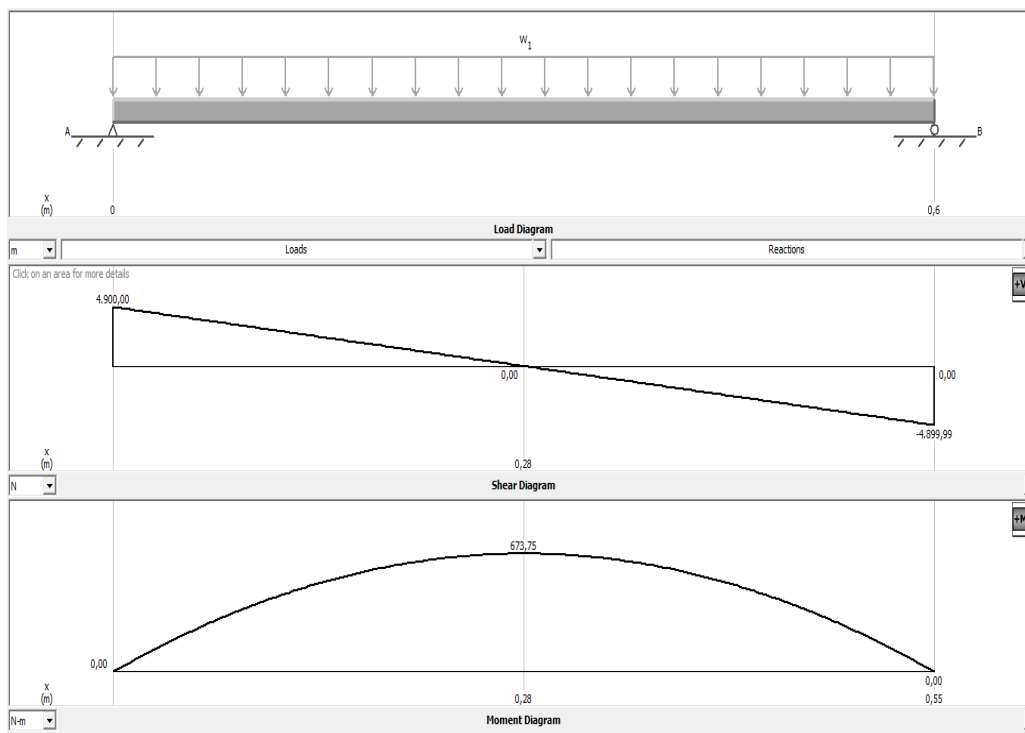


Figura 16: Diagrama de fuerza cortante y momento flector

De la figura 16 se obtiene el momento flector máximo $M=673,75\text{Nm}$. Para la construcción se utiliza tubo cuadrado de $1\frac{1}{2}$ in de 2 mm de espesor (t) (ASTM A36), sus propiedades mecánicas son:

- $S_u=400\text{ MPa}$
- $S_y=250\text{ MPa}$
- $E=200\text{ GPa}$

La ecuación 11 permite obtener la sección de un tubo cuadrado.

$$S = \frac{(a^4 - (a-2t)^4)}{6 \cdot a} \quad (11)$$

$$S = 3,28 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$$

Con la sección del tubo se procede a calcular el esfuerzo con la ecuación 12 y el factor de seguridad de la viga se calcula con la ecuación 13.

$$\tau = \frac{M}{S} \quad (12)$$

$$\tau = 205,5 \text{ MPa}$$

$$N = \frac{Sy}{\tau} \quad (13)$$

$$N = 1,22$$

Se procede a realizar la simulación de una viga por Von Mises tal como se muestra en la figura 17 y 18, el cual su esfuerzo es $T=181.116\text{MPa}$ y el factor de seguridad $N= 1.165$

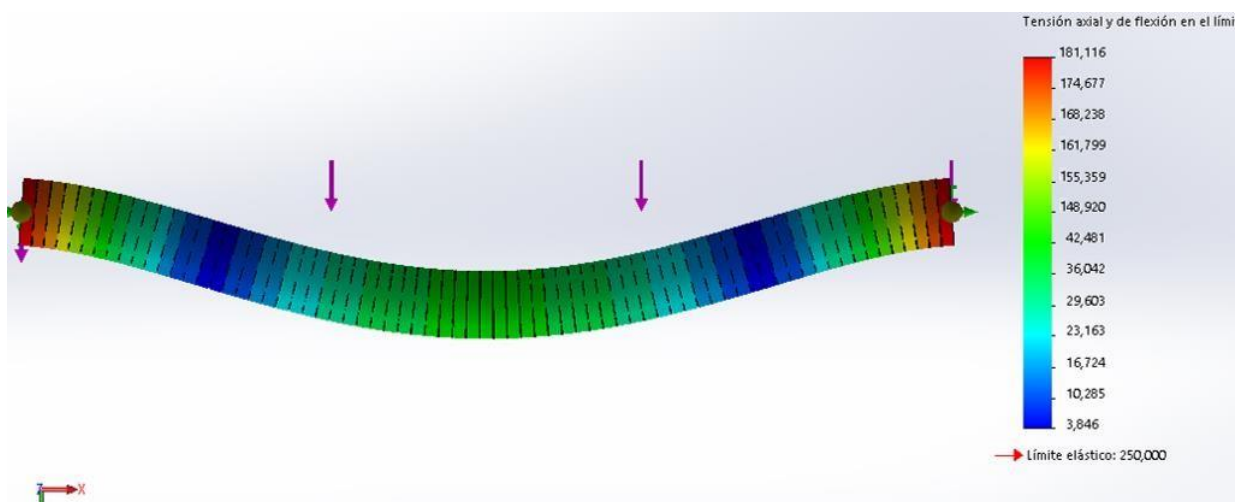


Figura 17: Simulación de esfuerzo por Von Mises

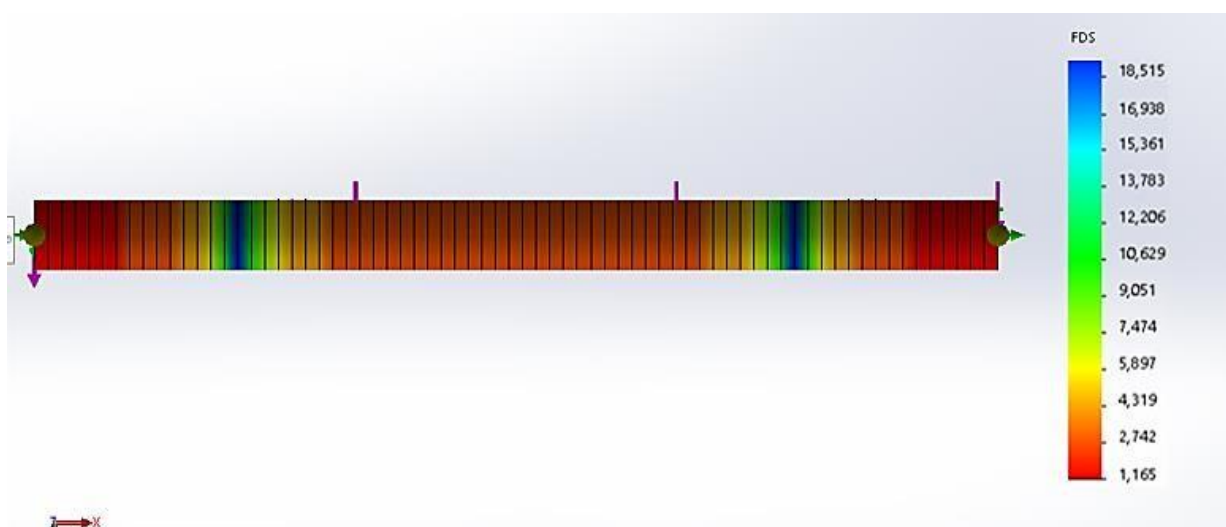


Figura 18: Factor de seguridad

Con los datos obtenidos el esfuerzo calculado es 205.5 MPa y el esfuerzo simulado 181.116 MPa obteniendo un error de 12%. En cambio, el factor de seguridad calculado es 1.22 y el factor de seguridad simulado es 1.165 obteniendo un error de 4.5%. estos datos indican que el diseño es admisible.

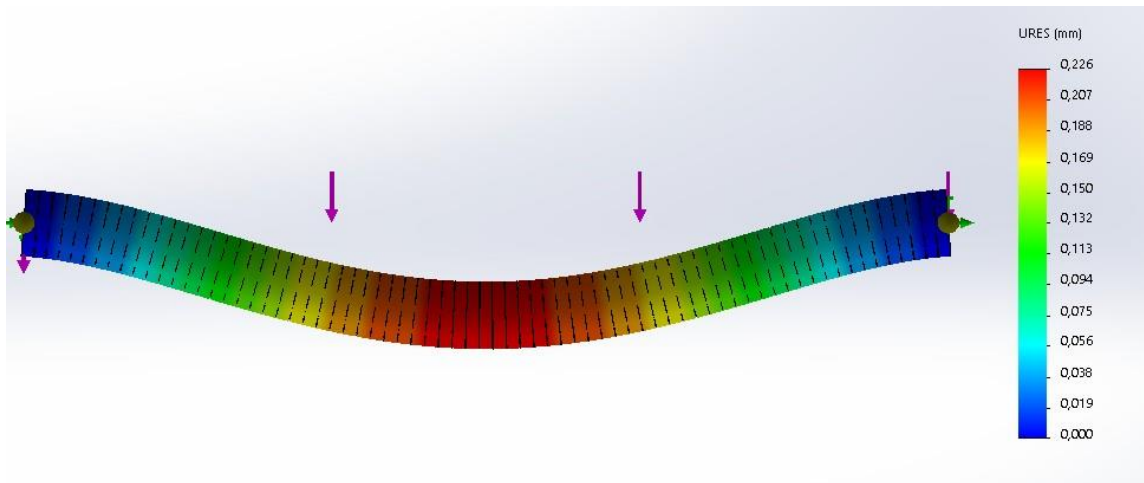


Figura 19: Desplazamiento de la viga

Conociendo los datos de diseño tanto teóricos como simulados los cuales reflejan un margen de error admisible se procede a simular toda la estructura y así observar su comportamiento. A la estructura se le aplicó una carga de 1000 kilogramos, sabiendo que normalmente ingresa un aproximado de 200 kg/h para obtener la clasificación óptima.

La estructura metálica del sistema de aire se validó mediante un software de análisis de elementos finitos como se puede apreciar en la figura 20, dando como resultado la tensión axial y de flexión en el límite superior 108.55 MPa.

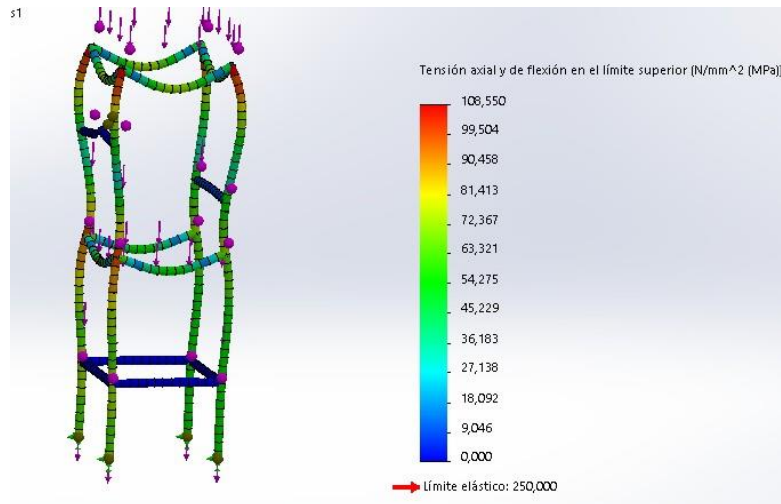


Figura 20: Simulación por Von Mises estructura

En la figura 21 se aprecia que la deformación que sufre la estructura, lo cual indica que el diseño es aceptable

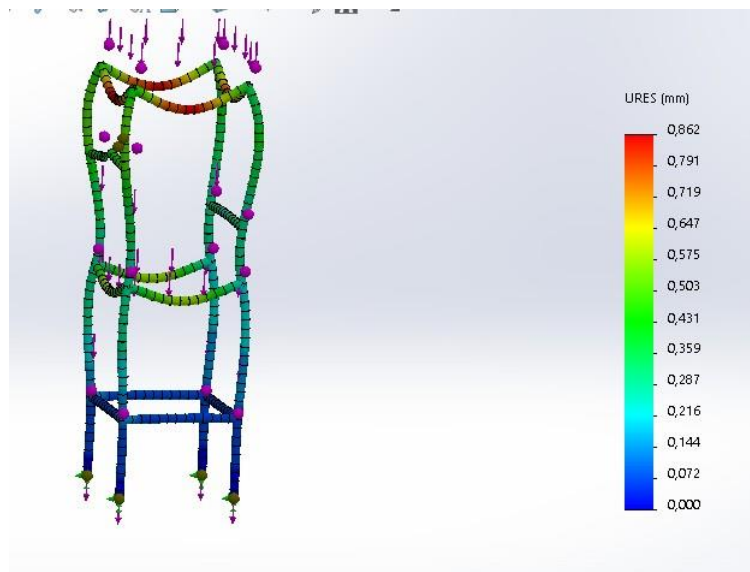


Figura 21: Simulación desplazamiento estructura

3.8.2 Análisis de la tolva

Se considera necesario conocer la presión que los residuos sólidos producen en las paredes de la tolva, cuando esta se encuentra llena en su totalidad. Como datos para el cálculo se conoce

$$\rho = \frac{133,18 \text{ kg}}{\text{m}^3}, \text{ la altura de la tolva es } 30 \text{ cm y la gravedad } g = \frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2}$$

$$P = \rho * h * g \tag{14}$$

$$P = 391,55 \text{ Pa}$$

Una vez conocida la presión se realizan las simulaciones necesarias para conocer la deformación de la tolva de ingreso, ducto de caída libre, tolva de salida, ducto de salida. En las figuras 22-29 se muestra el análisis de la obteniendo como resultado el esfuerzo máximo y el desplazamiento.

El esfuerzo generado por los residuos en la tolva de ingreso es $2.15 \frac{N}{m^2}$ t tal y como se muestra en la figura 22. En la figura 23 se aprecia la deformación que sufre la tolva el cual datos refleja que el diseño es aceptable.

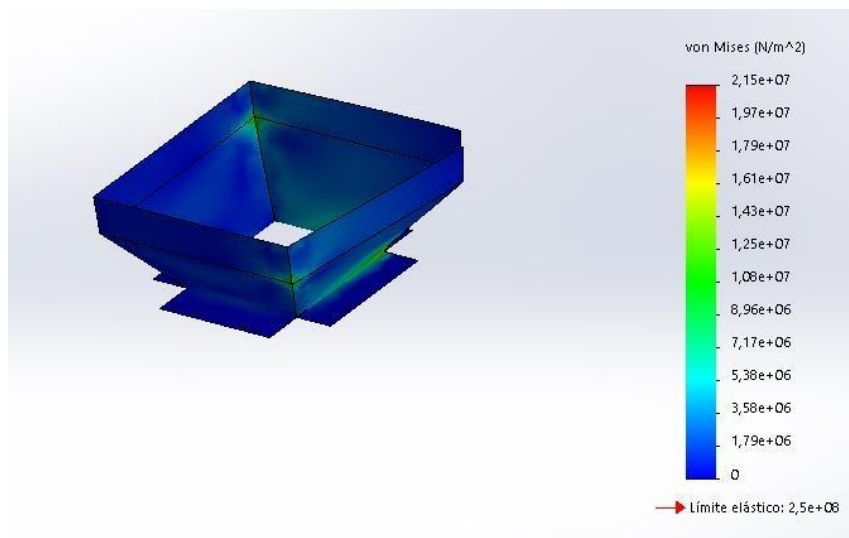


Figura 22: Esfuerzo Von Misses tolva de entrada

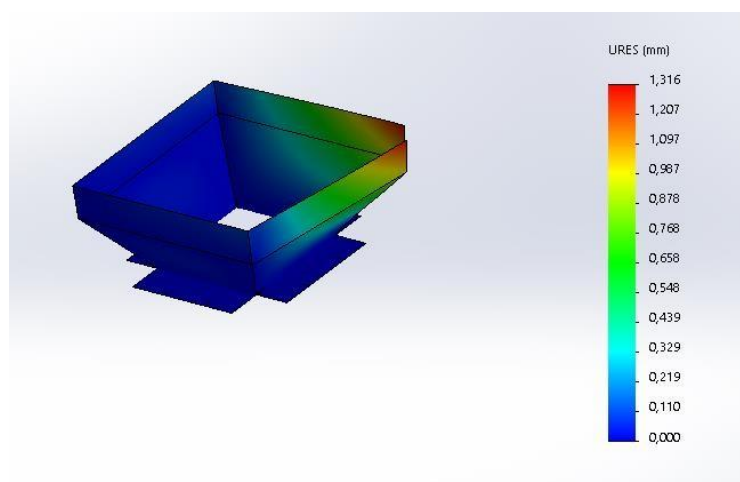


Figura 23: Análisis de esfuerzos de desplazamiento tolva de ingreso

Con una presión de 319,55 Pa se simula el esfuerzo y la deformación del tubo cuadrado de ingreso mostrado en las figuras 24 y 25 respectivamente. El esfuerzo generado por los residuos en el tubo cuadrado es $1.94 \frac{N}{m^2}$.

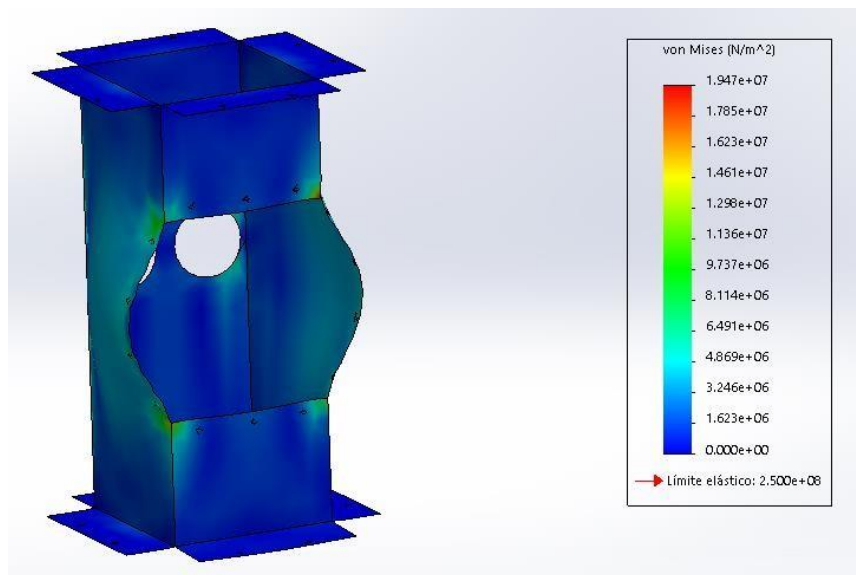


Figura 24: Esfuerzo Von Mises tubo cuadrado ingreso

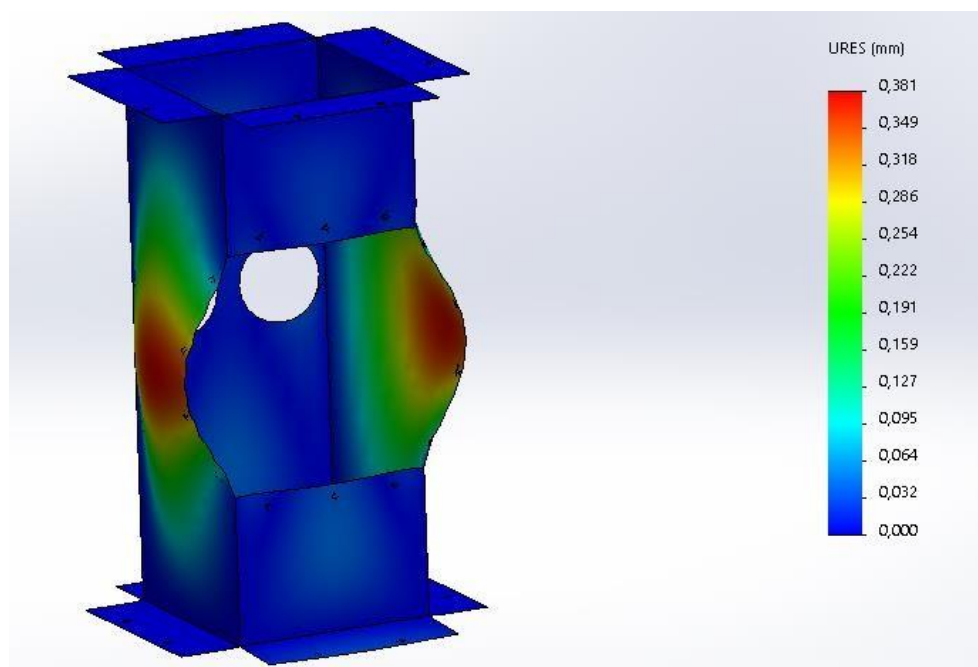


Figura 25: Deformación tubo cuadrado ingreso

Con una presión de 319,55 Pa se simula el esfuerzo y la deformación del tubo cuadrado de salida del papel mostrado en las figuras 26 y 27 respectivamente. El esfuerzo generado por los residuos en el tubo cuadrado de salida es $5.90 \frac{N}{m^2}$

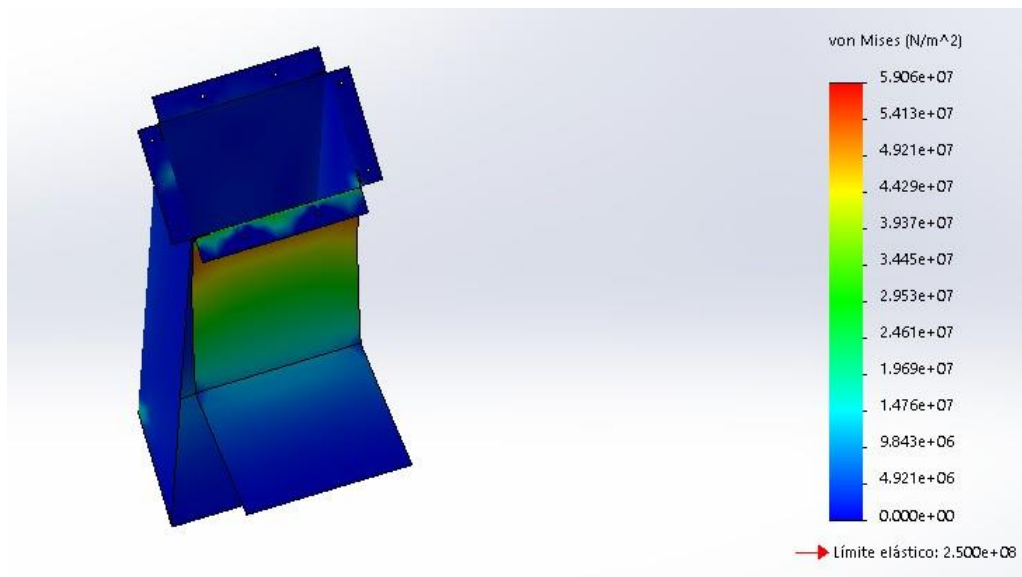


Figura 26: Esfuerzo Von Mises tubo cuadrado salida papel

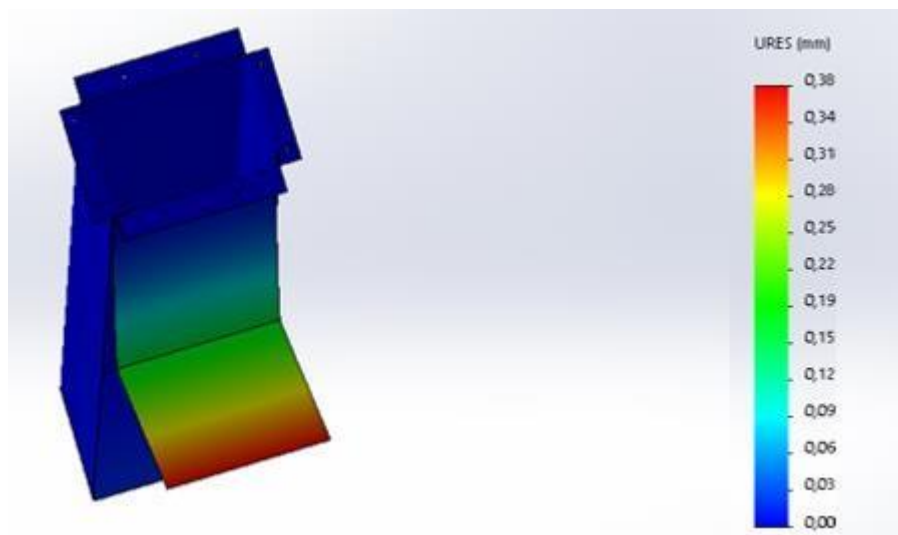


Figura 27: Desplazamiento salida de papel

Con una presión de 319,55 Pa se simula el esfuerzo y la deformación del tubo cuadrado salida de botellas mostrado en las figuras 27 y 28 respectivamente. El esfuerzo generado por los residuos en el tubo cuadrado de salida es $3.052 \frac{N}{m^2}$.

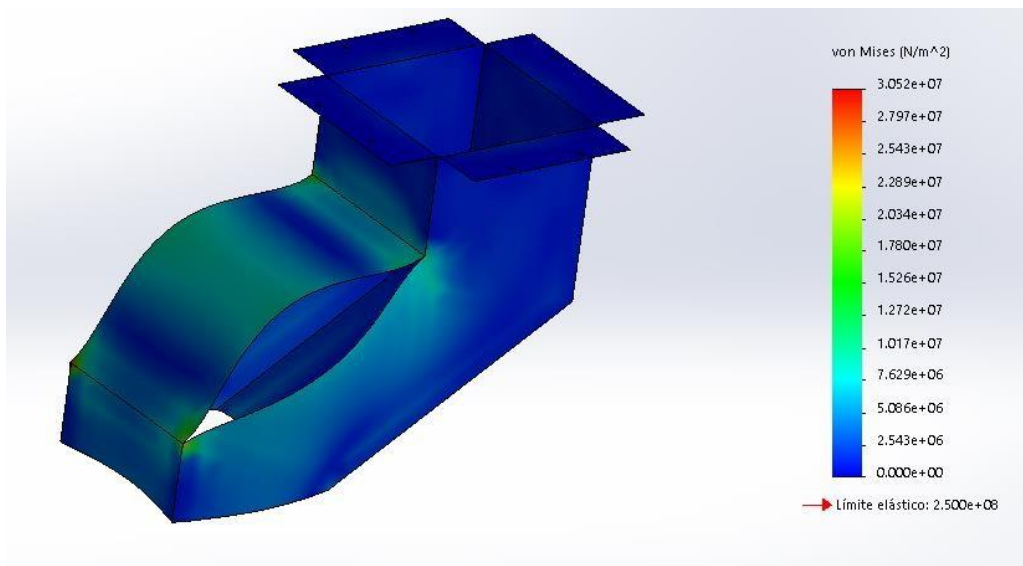


Figura 28: Esfuerzo Von Mises tubo cuadrado salida botellas

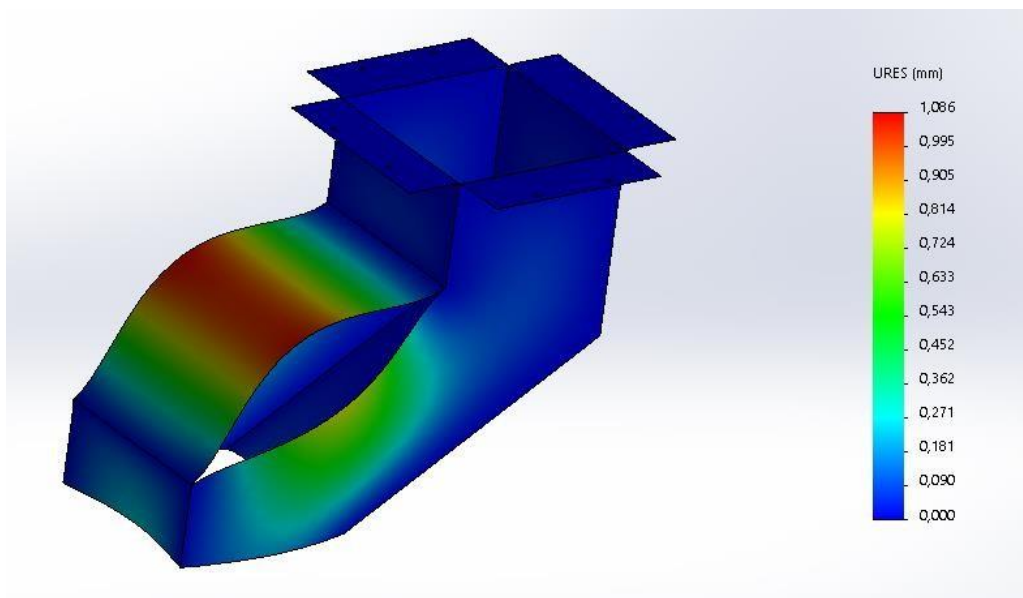


Figura 29: Desplazamiento salida de botellas

3.9 Análisis CFD

Para el análisis CFD se usa el caudal generado por los venteroles el cual es de $0.1088 \frac{m^3}{s}$, sus entradas son los orificios ubicados para cada venterol siendo en este caso 3 orificios tal como se observa en la figura 29. El mallado de la simulación inicial es 3, teniendo con esto un refinamiento moderado en el análisis.

La figura muestra la dirección del flujo de aire lo cual el ideal debido a que la dirección del aire va por el ducto de salida de las fundas y papeles, no se observa que el viento generado por los venteroles se disipe hacia la tolva de ingreso o hacia el ducto de salida de las botellas (hacia abajo).

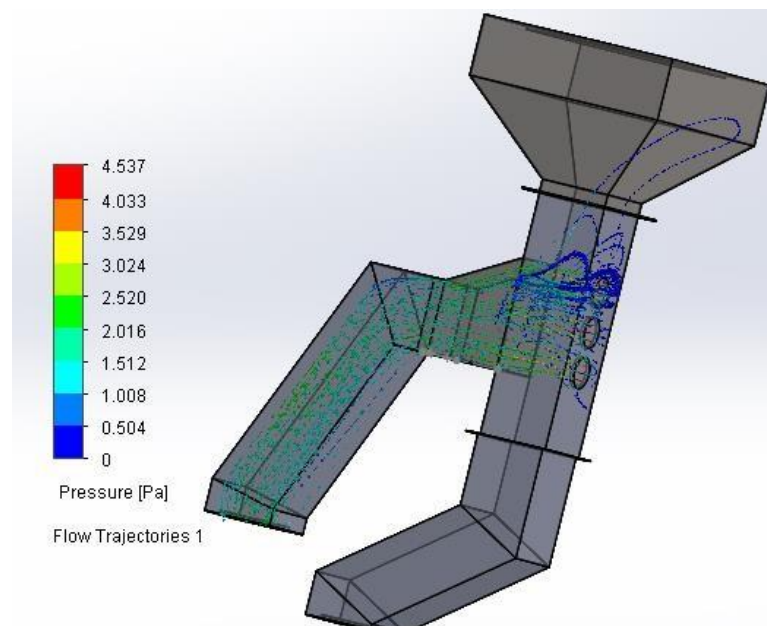


Figura 30: Flujo de aire con 3 orificios de entrada

La figura 30 muestra el área que abarca la generación de aire por parte de los venteroles, lo cual no es suficiente ya que lo ideal es cubrir toda el área del ducto cuadrado, por tal motivo es necesario acoplar más venteroles o cambiar la posición de estos de tal manera que el aire generado cubra todo el ducto y no haya espacios por donde los residuos no sean expulsados.

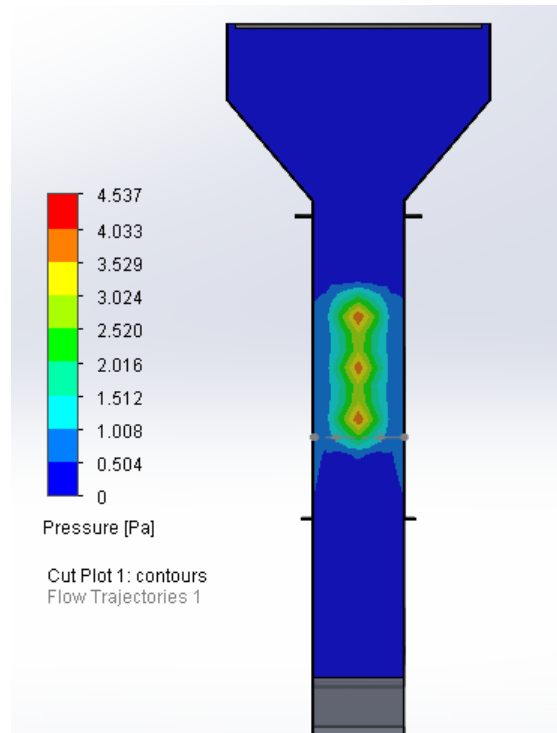


Figura 31: Área que abarca el flujo de aire con 3 orificios verticales

Se procede a realizar el cambio de posición de los venteroles, debido al espacio del ducto cuadrado se usa 2 para comprobar si el aire generado cubre toda el área sin dejar espacios por donde no puedan los residuos ser expulsados. En la figura 31 se observa que la dirección del aire es la ideal debido a que se busca no tener fujas en la parte superior e inferior del ensamble.

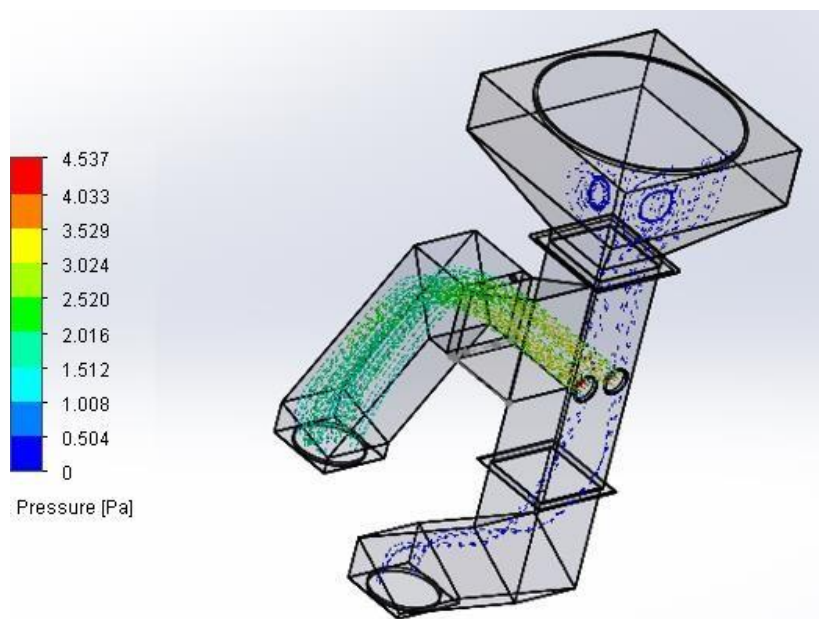


Figura 32: Flujo de aire con 2 orificios de entrada

En la figura 32 se observa que con el cambio de posición de los venteroles se logra cubrir toda el área del ducto cuadrado con aire, así todos los materiales más ligeros tienden a ser expulsados por este flujo, además se redujo un orificio de entrada que conlleva a otro venterol el cual refleja costos en la máquina.

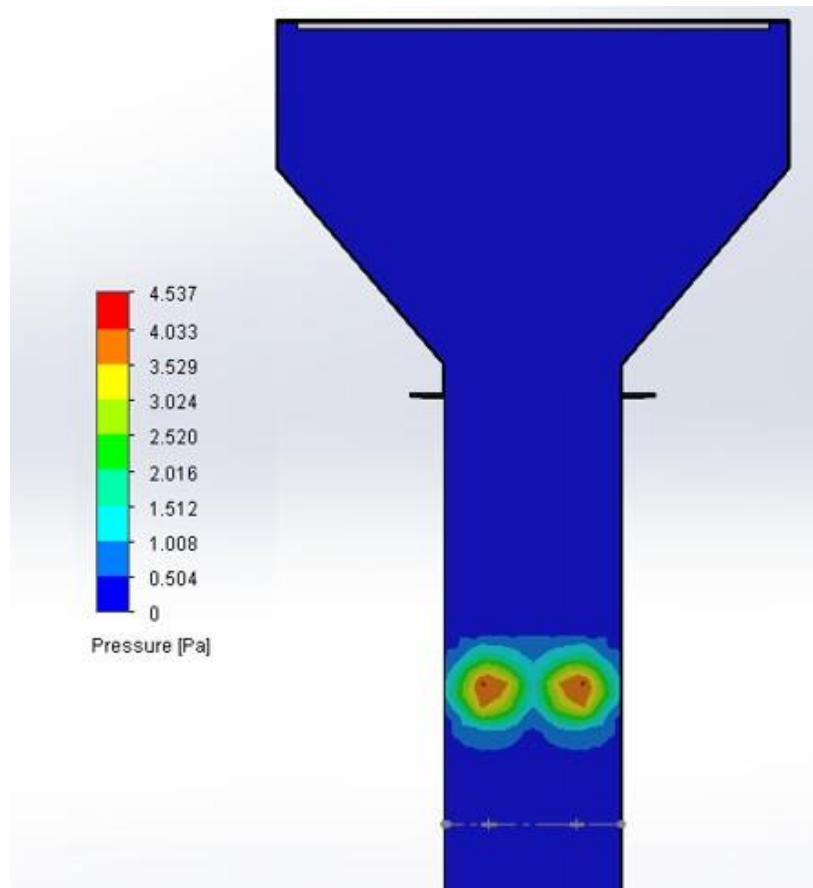


Figura 33: Área que abarca el flujo de aire con 2 orificios horizontales

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

El capítulo de resultados presenta todas las pruebas experimentales y el producto final del funcionamiento del prototipo “diseño separador de residuos sólidos domésticos por medio de un sistema de aire y caída libre”. Se aplicaron 8 pruebas experimentales donde se observa la cantidad reciclada del material a separar.

4.1 Construcción del sistema

Mediante a la ejecución del análisis QFD se pudo establecer los requerimientos del cliente y la voz del ingeniero y así obtener los requerimientos técnicos a tener en cuenta en el diseño los cuales son:

- Costo
- Dimensionamiento
- Semiautomática
- Residuos sólidos domésticos

Con estos requerimientos se procede a realizar el análisis funcional y modular, posibles alternativas y soluciones y la matriz Pugh para determinar la solución óptima, la cual nos ayuda a diseñar el prototipo y a su vez a realizar los cálculos correspondientes para el dimensionamiento de la máquina, los cuales se refleja en el diseño CAD (ver figura 17).

Con la aprobación de diseño CAD con sus respectivos planos se llevó a cabo la construcción de la estructura (figura 34), tolva de ingreso (figura 35), tolva de salida de materiales livianos (figura 36), ducto de caída libre (figura 37), ducto de salida (38), teniendo como resultado el sistema separador de residuos por medio de un sistema de aire (figura 39).



Figura 34: Construcción de la estructura



Figura 35: Construcción tolva de ingreso



Figura 36: Tolva de salida de materiales livianos



Figura 37: Ducto de caída libre



Figura 38: Ducto de salida botellas



Figura 39: Construcción y montaje

4.2 Pruebas experimentales

Una vez culminado el ensamble del sistema separador de residuos sólidos domésticos por medio de un sistema de aire y caída libre se procedió a realizar las respectivas pruebas pertinentes para validar el funcionamiento del prototipo (separar botellas de fundas y papeles). En la tabla 23 se muestra los resultados de las pruebas experimentales realizadas.

Tabla 25: *Tabla de pruebas experimentales*

PRUEBA	SISTEMA DE AIRE Y CÁIDA LIBRE		BASURA INGRESADA			
	VENTEROL 1	VENTEROL 2	# BOTELLAS	# PAPELES		# FUNDAS
				CERRADOS	ABIERTOS	
1	abierto	medio abierto	10	SI	8	8
2	medio abierto	cerrado	10	SI	8	8
3	abierto	cerrado	10	SI	8	8
4	cerrado	cerrado	10	SI	8	8
5	cerrado	cerrado	0	SI	10	10
6	cerrado	cerrado	0	NO	10	10
7	medio abierto	medio abierto	10	SI	8	8
8	abierto	abierto	10	SI	8	8

4.2.1 Análisis de las pruebas experimentales

PRUEBA 1

Al trabajar con los datos de la tabla 23 (venterol 1 : abierto y venterol 2: medio abierto) las botellas ingresadas en su totalidad cayeron por ducto debido a su peso y a la gravedad, sin embargo, los materiales más livianos como son las fundas y papeles no fueron expulsados en su totalidad debido a que uno de sus venteroles estaba a una capacidad media, por tal motivo

los materiales que pasaban por ese lado no eran expulsados teniendo un resultado de extracción de 5 de 8 fundas y 7 de 16 papeles entre abiertos y cerrados.



Figura 40: Prueba 1

PRUEBA 2

Al trabajar con los datos de la tabla 23 (venterol 1 : medio abierto y venterol 2: cerrado) las botellas ingresadas en su totalidad cayeron por ducto debido a su peso y a la gravedad, sin embargo, los materiales más livianos como son las fundas y papeles no fueron expulsados en su totalidad debido a que uno de sus venteroles estaba completamente cerrado y la presión de aire no era la necesaria para empujar los objetos, por tal motivo los materiales que pasaban por ese lado no eran expulsados teniendo un resultado de extracción de 3 de 8 fundas y 3 de 16 papeles entre abiertos y cerrados.



Figura 41: Prueba 2

PRUEBA 3

Al trabajar con los datos de la tabla 23 (venterol 1 : abierto y venterol 2: cerrado) las botellas ingresadas en su totalidad cayeron por ducto debido a su peso y a la gravedad, sin embargo, los materiales más livianos como son las fundas y papeles no fueron expulsados en su totalidad debido a que uno de sus venteroles estaba completamente cerrado y la presión de aire no era la necesaria para empujar los objetos, por tal motivo los materiales que pasaban por ese lado no eran expulsados teniendo un resultado de extracción de 5 de 8 fundas y 3 de 16 papeles entre abiertos y cerrados.



Figura 42: Prueba 3

PRUEBA 4

Al trabajar con los datos de la tabla 23 (venterol 1 : cerrado y venterol 2: cerrado) las botellas ingresadas en su totalidad cayeron por ducto debido a su peso y a la gravedad, sin embargo, los materiales más livianos como son las fundas y papeles no fueron expulsados en su totalidad debido a que ambos venteroles estaban completamente cerrados y la presión de aire no era la necesaria para empujar los objetos, por tal motivo los materiales no eran expulsados en su totalidad teniendo un resultado de extracción de 2 de 8 fundas y 2 de 16 papeles entre abiertos y cerrados.

Los materiales que salían expulsados eran los que caían de forma directa y abiertos en su totalidad en el centro de venterol, logrando una mayor área de recepción de aire.



Figura 43: Prueba 4

PRUEBA 5

Al trabajar con los datos de la tabla 23 (venterol 1: cerrado y venterol 2: cerrado), en este caso no se ingresaron botellas para poder observar si los materiales más livianos como son las fundas y papeles logran ser expulsados sin tener otro material haciendo obstrucción (botellas) y con ambos venteroles completamente cerrados. El resultado de extracción fue de 2 de 8 fundas y 2 de 16 papeles entre abiertos y cerrados, los papeles cerrados tienden a caer por el ducto de salida de las botellas debido a que se comportan de manera similar a una botella al estar cerrados. El resultado es igual a la prueba 4, logrando establecer que las botellas no hacen obstrucción al momento de caer.



Figura 44: Prueba 5

PRUEBA 6

Al trabajar con los datos de la tabla 23 (venterol 1 : cerrado y venterol 2: cerrado), en este caso no se ingresaron papeles cerrados ni botellas para poder observar si los materiales más livianos como son las fundas y papeles logran ser expulsados sin tener otro material haciendo obstrucción (botellas) y con ambos venteroles completamente cerrados. El resultado de extracción fue de 2 de 8 fundas y 2 de 8 papeles entre abiertos y cerrados. Un resultado igual a la prueba 5, logrando establecer que las botellas no hacen obstrucción al momento de caer.



Figura 45: Prueba 6

PRUEBA 7

Al trabajar con los datos de la tabla 23 (venterol 1 : medio abierto y venterol 2: medio abierto) las botellas ingresadas en su totalidad cayeron por ducto debido a su peso y a la gravedad, las fundas y papeles abiertos fueron expulsados de igual manera por su ducto de salida, sin embargo los papeles cerrados fueron expulsados 3 de 8 ingresados, los restantes cayeron por el ductos de salida de las botellas; 5 de 8 fundas y 9 de 16 papeles entre abiertos y cerrados si fueron expulsados por sus ductos.



Figura 46: Prueba 7

PRUEBA 8

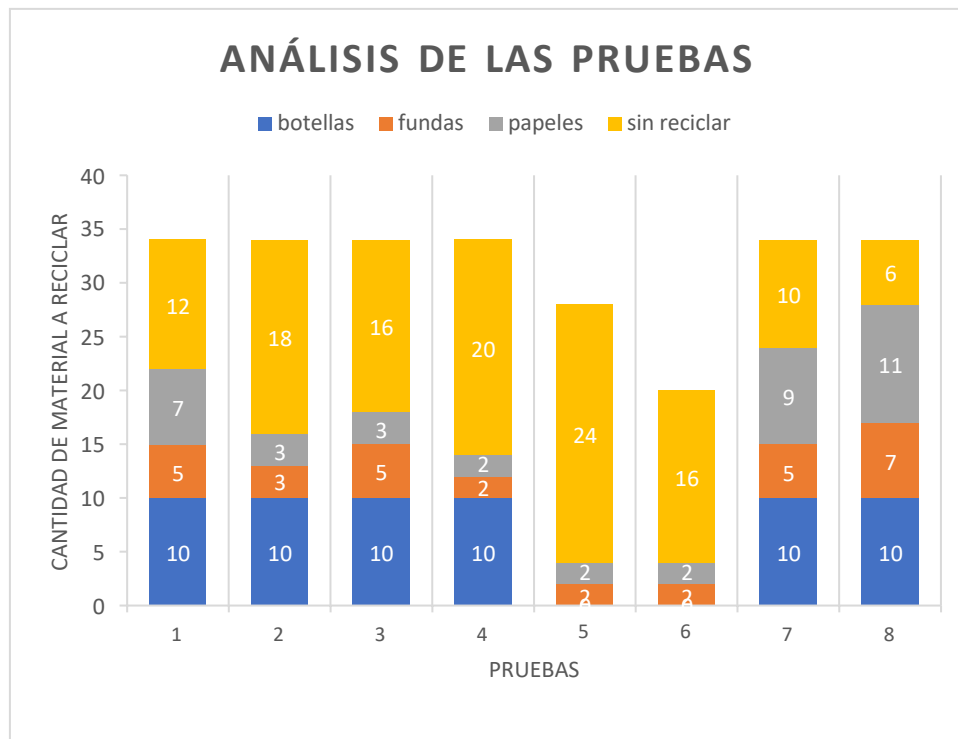
Al trabajar con los datos de la tabla 23 (venterol 1: abierto y venterol 2: abierto) las botellas ingresadas en su totalidad cayeron por ducto debido a su peso y a la gravedad, con ambos venteroles a su máxima potencia las fundas y los papeles fueron expulsados 7 de 8 y 11 de 16 respectivamente. Logrando verificar que los papeles que van cerrados no son expulsados en su totalidad, apenas 4 de 8 salieron por su ducto normal y los restantes salieron por el ducto de las botellas.



Figura 47: Prueba 8

Con las pruebas aplicadas al sistema de separación de residuos sólidos domésticos se determinó que los venteroles deben trabajar a su máxima capacidad para lograr una clasificación de un 75% de estos materiales; cabe mencionar que para lograr una mayor clasificación es necesario una clasificación manual que no permita el ingreso de materiales que no sean botellas plásticas, fundas y papel.

Tabla 26: Análisis de las pruebas realizadas



CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES

- Como resultado de la investigación bibliográfica se logró determinar 3 formas esenciales de separar los residuos sólidos por medio de su densidad, los cuales son: manual, por medio de agua y por medio de aire. La investigación ayudó a definir el método de separación de dichos residuos, el cuál fue el sistema de aire debido a que al momento de separar los residuos éste solo usa una presión de aire comparado con el sistema de agua el cuál usa como su nombre lo dice agua para separar los residuos por medio de su densidad, logrando un uso excesivo de este líquido y generando un contaminante.
- Mediante el uso correcto de la metodología mecatrónica se consiguió definir por medio de la casa de la calidad los requerimientos del cliente y del ingeniero (costo, seguridad, máquina semiautomática, separar botellas) para que el sistema propuesto cumpla con su función: separar los residuos sólidos por medio de su densidad.
- Se construyó el sistema de separación de residuos sólidos domésticos, con la finalidad de separar los residuos (botellas plásticas de fundas y papel), respetando las normas de seguridad, la ergonomía del operador, su fácil montaje y desmontaje.
- Finalmente se verificó la validación del funcionamiento del sistema con las respectivas pruebas experimentales las cuales fueron realizadas con la modificación de la presión del sistema de aire (venterolos), las presiones fueron modificadas en 3 rangos: abierto; semiabierto y cerrado, logrando determinar que el rango de separación más óptimo fue con los 2 venterolos en modo abierto.

5.2 RECOMENDACIONES

- En el sistema de aire se recomienda usar venteroles con una salida más amplia debido a que el diámetro de salida de éstos debe cubrir de manera lineal toda el área del ducto de caída libre, debido a que si un espacio no tiene suficiente aire los materiales más livianos como lo son las fundas y los papeles no tienden a separarse de las botellas.
- Al momento de construir el diseño CAD de la tolva se recomienda realizar de manera minuciosa los cortes y dobléz de la plancha metálica; si el dobléz es muy inclinado esta muestra dificultad al momento de volver a enderezar, por ende, se daña el material teniendo errores visuales en el acabado.
- Para una mejor separación de estos materiales es necesario el uso de una presión de aire extra, el cual puede ser inyección de aire por medio de un compresor, éste puede ayudar a los materiales compactos (papeles cerrados), puedan ser expulsados a su ducto de salida.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Á. A. B. Rodríguez, «Instalación de una planta de reciclaje de basura,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos60/planta-reciclaje-basura/planta-reciclaje-basura.shtml>. [Último acceso: 2019].
- [2] BBC News Mundo, «Los 10 países que más y menos basura generan en América Latina (y cómo se sitúan a nivel mundial),» BBC News, 9 octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-45755145>. [Último acceso: 24 noviembre 2019].
- [3] ECOPORTAL, «Problemas de la basura: causas, efectos y soluciones,» 01 10 2018. [En línea]. Available: <https://www.ecoport.com/temas-especiales/problemas-de-la-basura-causas-efectos-y-soluciones/>. [Último acceso: 17 12 2019].
- [4] J. D. Real, «¿Cuánta basura generas al año?,» expok, 20 febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.expoknews.com/cuanta-basura-generas-al-ano/>. [Último acceso: 24 noviembre 2019].
- [5] INEC, «ecuadorencifras,» 11 12 2015. [En línea]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/los-ecuatorianos-producen-057-kilogramos-de-residuos-solidos-diario/>. [Último acceso: 17 12 2019].
- [6] Organización de las Naciones Unidas (ONU), «Un tercio de los residuos de América Latina y el Caribe termina en basurales o en el medio ambiente,» ONU, 9 octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/un-tercio-de-los-residuos-de-america-latina-y-el-caribe>. [Último acceso: 24 noviembre 2019].
- [7] S. Morán, «Basura: los números rojos de Ecuador,» PLAN V, 23 07 2018. [En línea]. Available: <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/basura-numeros-rojos-ecuador>. [Último acceso: 19 11 2019].
- [8] HABIBHECHEM, «RECICLAJE DEL PLÁSTICO,» WORDPRESS, 21 05 2015. [En línea]. Available:

<https://reciclajedeplasticoentamulte.wordpress.com/2015/05/21/justificacion-2/>. [Último acceso: 19 11 2019].

- [9] econoticias, «Miles de animales afectados por basura en el mar,» econoticias.com, 07 12 2012. [En línea]. Available: <https://www.ecoticias.com/naturaleza/73306/Miles-animales-afectados-basura-mar>. [Último acceso: 24 11 2019].
- [10] O. Enrique, «DISEÑO DE UNA PLANTA RECICLADORA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL MANCOMUNA CON EL PUEBLO CAÑARÍ DE LOS CANTONES : CAÑAR, BIBLIÁN, EL TAMBO, Y SUSCAL EN EL AÑO 2014,» Cuenca, 2015.
- [11] L. L. Álvarez, «MÉTODOS PARA LA SEPARACIÓN DEL PVC CONTAMINANTE EN EL RECICLADO DEL PET,» Saltillo, 2009.
- [12] D. Arévalo, «SEPARACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS PARTICULADOS POR DIFERENCIA DE DENSIDADES,» Quito, 2012.
- [13] T. S.L., «TORSAN,» [En línea]. Available: <http://www.interempresas.net/Reciclaje/FeriaVirtual/Producto-Recicladores-de-residuos-solidos-Jest-140730.html>. [Último acceso: 21 12 2019].
- [14] AMBISORT, «SEPARACIÓN POR AIRE,» AMBISORT, 04 09 2017. [En línea]. Available: <https://ambisort.com/separacion-aire/>. [Último acceso: 23 12 2019].
- [15] STEINERT, «Separación de densidades con el STEINERT XSS® T: mediante transmisión de rayos X según el principio de energía dual,» STEINERT, 2019. [En línea]. Available: <https://steinertglobal.com/es/separadores-imanes-sensores/separacion-mediante-sensores/sistemas-de-separacion-por-rayos-x/steinert-xssr-t/>. [Último acceso: 23 12 2019].
- [16] «Tesis_caracteristicas_del_papel_desbloqu».
- [17] S. ARLEY , J. PEDROZA y E. ROGRÍGUEZ, «CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS RECICLABLES,» Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, COLOMBIA.

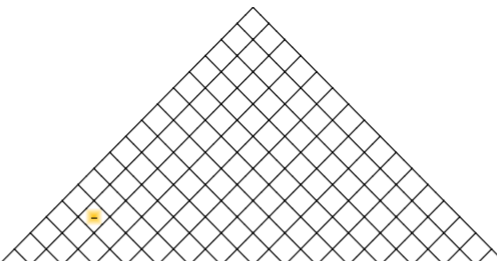
- [18] P. TECHNOLOGY, «Cómo separar los plásticos para su reciclado,» PLASTIC TECHNOLOGY, 01 04 2018. [En línea]. Available: <https://www.pt-mexico.com/art%C3%ADculos/c%C3%B3mo-separar-los-plsticos-para-su-reciclado>. [Último acceso: 26 12 2019].
- [19] OIML, «Mesure de la masse volumique,» 2011.
- [20] F. J. Bueche, FÍSICA GENERAL SCHAUM, McGraw-HILL, 1997.
- [21] C. R. Romeva, SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DISEÑO DE MÁQUINAS, BARCELONA: UPC, 2008.
- [22] R. AUTOMATION, «Sistema de seguridad para maquinaria industrial, principios normas e implementación,» ROCKWELL AUTOMATION , INC, 2011.
- [23] FESTO, «Diseño de máquinas y especificaciones de diseño,» FESTO, 2013.
- [24] H. R. Galbarro, «INGEMECÁNICA,» 16 01 2020. [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn101.html>. [Último acceso: 2020 01 16].
- [25] C. Ribas, Diseño Concurrente, Cataluña: Dunod , 2004.

ANEXOS

A. CASA DE LA CALIDAD

QFD: Casa de la calidad
 Proyecto:
 Revisión:
 Fecha:

Correlaciones	
Positivo	+
Negativo	-
No Correlacion	
Relaciones	
Fuerte	●
Moderada	○
Débil	▽
Dirección de mejora	
Maximizar	▲
Objetivo Q	Q
Minimizar	▼



N° de Fila	Tabla de Peso	Peso Relativo	Importancia del Cliente	Relación Máxima	REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE (Explicitos e Implícitos)	N° de Columna																EVALUACIÓN COMPETITIVA DEL CLIENTE					N° de Fila				
						Dirección de Mejora																									
REQUERIMIENTOS FUNCIONALES						capacidad	velocidad	dimensionamiento	ingreso de los desechos	transporte de desechos	Separación de desechos sólidos (papel limpios y sucios)	Separación por densidad (aire)	Proceso automatizado/manual	costo total	ergonomía	seguridad	mantenimiento	bajo nivel de automatización	separación de residuos sólidos	Coparm	Mayper	Beston	0	1	2	3	4	5			
1	13%	9	9		cantidad de desechos	●	●	●			○	○		●	▽		▽		2	4	4	4	5	1	2	3	4	5			
2	4%	3	9		fundas selladas		○		●				○		▽	○			3	3	3	4	2	3	4	5	1	2			
3	7%	5	9		movilidad de desechos	○	▽		○	●			○		▽		○		4	5	4	5	3	4	5	1	2	3			
4	13%	9	9		diferentes materiales	▽		▽	○	▽		●	○	○		▽			4	5	5	5	4	5	1	2	3	4			
5	12%	9	9		trabajo con aire			○			●	●		●			○	○	5	5	4	4	5	1	2	3	4	5			
6	7%	5	9		implementar personas	○		○					●	○	○	○	○		4	2	2	2	6	7	8	9	10	11			
7	13%	9	9		bajo costo	○	○	●		○	●	○	○	○	○	○	○		5	1	1	1	7	8	9	10	11	12			
8	7%	5	9		cumplir con normas de ergonomía								○	●			▽		5	5	5	5	8	9	10	11	12	13			
9	7%	5	9		cumplir con normas de seguridad		○	○				▽	○	○	●	○	○		5	5	5	5	9	10	11	12	13	14			
10	7%	5	9		duradero									●		○	●		5	5	5	5	10	11	12	13	14	15			
11	4%	3	9		máquina semiautomática		○							●			●		5	1	1	1	11	12	13	14	15	16			
12																															
13																															
14																															
15																															
16																															
Objetivos Para el Requisito Funcional																															
Relación Mínima						9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9												
Clasificación de Importancia Técnica						219,4	95,52	240,3	62,99	42,28	42,99	241,79	368,66	600	170,15	28,96	218,36	112,13													
Peso Relativo						7%	6%	11%	3%	4%	12%	8%	5%	19%	5%	7%	7%	5%													
Tabla de Peso																															
separadora de residuos sólidos						3	3	3	3	4	4	5	4	5	5	5	5	5													
Coparm						4	4	4	3	5	5	3	2	1	5	5	5	1													
Mayper						4	4	4	3	4	5	4	2	1	5	5	5	1													
Beston						5	5	5	4	5	5	4	2	1	5	5	5	1													
EVALUACIÓN TÉCNICA COMPETITIVA																															
						5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4													
						4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4													
						3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3													
						2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2													
						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1													
						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16										



B. PLANOS MECÁNICOS SISTEMA DE AIRE Y CAÍDA LIBRE