

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO
PARA GRANO DE CAFÉ PERGAMINO CON SISTEMA DE LLENADO Y
PESAJE DE SACOS**

CARLOS EDUARDO ACOSTA MATEUS

ARLEY ALFONSO COY GRANADOS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2015

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO
PARA GRANO DE CAFÉ PERGAMINO CON SISTEMA DE LLENADO Y
PESAJE DE SACOS**

CARLOS EDUARDO ACOSTA MATEUS

ARLEY ALFONSO COY GRANADOS

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

JULIAN ERNESTO JARAMILLO IBARRA

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

En la vida nada es posible sin la voluntad de Dios, por eso es necesario fortalecer los cimientos del conocimiento y aún más los valores que guían nuestras vidas, pues no todos tenemos la oportunidad y la habilidad para transitar por estos senderos de conocimiento y valores tan valiosos en la formación de un modelo que ha futuro haga diferencia.

Por eso en primera instancia quiero dedicar mi trabajo de grado a Dios, fuente de vida y guía espiritual, sin su voluntad no hubiese sido posible culminar esta importante etapa de mi vida.

De igual manera a mis papis, Luis Alfonso Coy Camargo y Paulina Granados Sánchez de quienes he recibido su apoyo incondicional, son ellos los que me han enseñado a soñar y me han demostrado que con esfuerzo y dedicación todo es posible en la vida, además han sabido guiarme por el camino del éxito dándome su apoyo moral para culminar cada una de las etapas de mi vida y desde el seno de hogar fueron ellos los primeros en iniciar mi formación como persona, inculcando siempre la humildad, la sencillez, el respeto, la responsabilidad y demás valores que son vitales en la formación tanto personal como profesional, son las personas que con su esfuerzo y dedicación me han venido abriendo paso por el arduo camino de la vida hasta obtener la siempre soñada y anhelada felicidad, convirtiéndose así en fuente de mi inspiración para culminar cada una de las metas que me he trazado.

También a Lina Mayerli Coy Granados mi hermana quien ha sido partícipe de mis alegrías al igual que de mis tristezas, siempre me ha brindado su apoyo incondicional y esas palabras de aliento para afrontar los momentos difíciles, además fue esa personita que siempre me motivo para culminar mi carrera como ingeniero Mecánico y de esta manera hacer realidad uno de los sueños de mis papis, ver a sus hijos formados íntegramente y como todos unos profesionales.

“Benditos sean los obstáculos el poderlos vencer es la satisfacción de mi vida, gracias Dios mío”

Arley A. Coy Granados

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios primeramente, por su infinita bondad y por regalarme el don de la vida, a mis papás y a mi hermana personas que me han acompañado durante todo mi proceso de formación como persona y hoy como profesional.

También quiero brindar los más sinceros agradecimientos a mis compañeros los de: "la Plagueta; Karen Astrid Rojas Parra, Miguel Ángel Gonzales Pineda, Jhon Jairo Aguilón Niño, Raúl Antonio Corredor Báez, Eduard Yesid Chacón Lamus, y Andrey Mauricio Santos Combariza", personas con las cuales compartí aparte de una aula de clase, gratos y amargos momentos y de quienes me llevo inolvidables recuerdos, además les agradezco porque como siempre les mencione se convirtieron en mi segunda familia en esta importante etapa de mi vida... la formación como profesional.

Mis agradecimientos a la Universidad Industrial de Santander y a la escuela de Ingeniería Mecánica por haberme acogido en sus aulas, a mis maestros que a lo largo de mi carrera supieron compartirme sus conocimientos académicos y éticos. El agradecimiento profundo a mi director de tesis, Ing. Julián Ernesto Jaramillo Ibarra, por su confianza y quién supo guiarme para el desarrollo de este proyecto.

De igual manera quiero agradecer a mi compañero de tesis Carlos Eduardo Acosta por su comprensión, por su confianza y por su apoyo para haber podido terminar satisfactoriamente este proyecto.

Arley A. Coy Granados

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen por permitirme la vida, salud y fortaleza para alcanzar mis objetivos.

A mi madre Rosaura Mateus Mateus por su incondicional apoyo y comprensión durante todo este proceso, a cada uno de los consejos recibidos durante toda mi vida, pues ellos fueron parte indispensable en mi crecimiento personal.

A mi padre Baldomero Acosta Coy por toda su colaboración y compromiso los cuales hicieron posible alcanzar este logro en mi vida.

A mis hermanos por todo su apoyo y colaboración quienes han estado a mi lado en todos los momentos en los que los he necesitado.

A mi novia Lizeth Dayanna Cardozo Rodríguez y a mi hijo Ethan Sebastián Acosta Cardozo por ser ese apoyo y amor incondicional en el día a día y convertirse en la nueva inspiración y motor de mi existencia.

A mis suegros Luis Severo Salas y Yardley Rodríguez por abrirme las puertas de su casa, brindarme su amistad y permitirme ser un miembro más de su familia. Por todo su apoyo, el cual fue de vital importancia durante estas últimas etapas de mi carrera.

Finalmente a todas aquellos compañeros y amigos de la universidad quienes me brindaron su amistad y apoyo durante todo el proceso de formación profesional.

Carlos Eduardo Acosta Mateus

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Julian Ernesto Jaramillo Ibarra, director del proyecto de grado por su orientación y colaboración.

A la Cooperativa Cafetera del Nororiente Colombiano por su colaboración y permitirnos realizar las pruebas del equipo al interior de sus instalaciones.

Carlos Eduardo Acosta Mateus

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	22
1. DESCRIPCION DEL PROYECTO “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO PARA GRANO DE CAFE PERGAMINO CON SISTEMA DE PESAJE Y LLENADO DE SACOS”.....	23
1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	23
2. JUSTIFICACION PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.....	25
3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	26
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
3.1.1 Objetivos específicos.....	27
4. CAFE.....	28
4.1 HISTORIA ORIGEN DEL CAFE	28
4.1.1 Leyenda del café.	28
4.1.2 Llegada del café a América.....	29
4.2 HISTORIA DEL CAFE EN COLOMBIA.....	30
4.2.1 Caracterización del café.....	30
4.2.2 Proceso de producción de café Colombiano.	32
5. SISTEMAS DE TRANSPORTE DE GRANO.....	34
5.1 SISTEMAS DE BANDA TRASPORTADORA.....	34
5.2 SISTEMA DE TORNILLO SIN FIN.....	35
5.3 SISTEMAS DE TRANSPORTE POR CANGILONES.....	36
5.4 SISTEMA DE TRANSPORTADOR TUBULAR POR CABLES O CADENAS ...	38
5.5 SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO	39
6. SELECCION DEL TRANSPORTE NEUMATICO.....	41

6.1	SELECCION DE LA ALTERNATIVA ADECUADA.....	41
6.1.1	Descripción general del sistema de transporte neumático	42
6.1.2	Propiedades de los cereales para transporte neumático.....	44
7.	FUNDAMENTOS DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NUEMATICO	46
7.1	FLUIDIZACION.....	46
7.1.1	Características de un lecho fluidizado.....	47
7.1.1.1	Procesos:.....	48
7.1.1.2	Variables:.....	48
7.1.2	Clasificación de partículas de fluidización.	49
7.1.3	Tipos de transporte neumático.....	50
7.2	VELOCIDAD DE BLOQUEO EN TRANSPORTE VERTICAL	51
7.3	VELOCIDAD DE RUPTURA EN TRANSPORTE HORIZONTAL	53
7.4	CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE NEUMATICO	55
7.4.1	Transporte neumático en fase diluida.	56
7.4.2	Transporte neumático en fase densa.	57
7.5	CLASIFICACION DE LOS TRANSPORTADORES NEUMATICOS.....	59
7.5.1	sistema de presión negativa o de vacío.	60
7.5.2	Sistema de presión positiva (Presión).....	62
7.5.3	Sistema combinado Presión- Vacío.	63
8.	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO	65
8.1	SUMINISTRADORES DE ENERGIA (FUENTES DE AIRE)	65
8.1.1	Generalidades.	65
8.1.2	Tipos de elementos soplantes.	67
8.1.2.1	Compresor.	67
8.1.2.2	Ventilador.....	67
8.1.2.3	Soplador.....	68

8.2	SISTEMAS DE CONDUCCIÓN DE MATERIAL.....	69
8.2.1	Generalidades.	69
8.3	TUBERIAS	70
8.4	VALVULAS ROTATIVAS.....	71
8.5	VALVULA DE DESVIO	73
8.6	INYECTORES DE TIPO VENTURI.....	74
8.7	BOQUILLA DE SUCCION	75
9.	SEPARADORES CENTRIFUGOS O CICLONES	77
9.1	GENERALIDADES	79
9.2	TIPOS DE SEPARADORES CICLÓNICOS.....	81
9.2.1	Ciclones convencionales.....	82
9.2.2	Ciclones de alta eficiencia.....	83
9.2.3	Ciclones de alta capacidad.	83
10.	FUNDAMENTO TEORICO	85
10.1	METODO RUNGE-KUTTA	85
10.2	NUMERO DE MACH	86
10.2.1	Regímenes de flujo según M.	86
10.2.2	Régimen incompresible.....	86
10.2.3	Régimen subsónico.	87
10.2.4	Régimen transónico.....	87
10.2.5	Régimen supersónico.	87
10.2.6	Régimen hipersónico.	87
11.	CALCULO Y DISEÑO DE LOS COMPONENTES PARA EL SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO.....	88
11.1	REQUERIMIENTOS INICIALES DE DISEÑO.....	90
11.1.1	Cálculo de velocidades de bloqueo.....	91

11.1.2 Cálculo de velocidad de ruptura.....	92
11.2 DISEÑO Y SELECCION DE CICLON.....	93
11.3 DIMENSIONAMIENTO PARA NUEVAS CONDICIONES	98
12. SELECCION DE TUBERIA.....	100
12.1 LONGITUD DE LA TUBERIA DE TRANSPORTE	100
12.2 DIAMETRO DE LA TUBERÍA DE TRANSPORTE	101
12.3 DETERMINACION DEL DIAMETRO DE TUBERIA	101
12.3.1 Selección del diámetro para la etapa de succión.	102
13. TOLVA DE VACIADO DE SACOS.....	105
14. SISTEMA DE PESAJE DE SACOS	106
14.1 DESCRIPCION DE LA BASCULA.....	106
15. CALCULO DE PERDIDAS DE PRESION DEL SISTEMA.....	107
15.1 CALCULO DE PERDIDAS EN ETAPA DE SUCCION	110
15.2 CALCULO DE PERDIDAS EN LA ETAPA DE SOLO AIRE	113
15.3 CALCULO DE PERDIDA DE PRESION DEL FILTRO DE MANGA.....	115
16. CALCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO.....	117
17. SELECCION COMERCIAL DEL MOTOR.....	119
18. SELECCION DEL VENTILADOR DE ALTA PRESION.....	122
19. ANALISIS ESTATICO DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA..	124
19.1 ANALISIS ESTATICO DEL SOPORTE BESE O BASTIDOR	124
19.1.1 Perfil seleccionado y análisis de la sección transversal.....	127
19.1.2 Análisis de la sección crítica P5.	128
19.2 ANALISIS CAE DEL PERFIL.....	129
19.3 ANALISIS CAE DE LA TOLVA	131
19.4 ANALISIS CAE DEL CICLON.....	133

19.4.1 Simulación de flujo en el ciclón.....	133
20. CONSTRUCCION	135
20.1 MANUFACTURA METALMECANICA.....	135
21. PRESUPUESTO	140
22. CONCLUSIONES.....	142
23. RECOMENDACIONES.....	144
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	145
BIBLIOGRAFIA.....	147
ANEXOS	148

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Planta de café.....	29
Figura 2: Composición de café cereza.....	32
Figura 3: Pasos del proceso de producción de café.....	33
Figura 4: Sistema de banda transportadora.....	35
Figura 5: Sistema de transporte de tornillo sin fin.....	36
Figura 6: Sistema de transporte por canjilones.....	38
Figura 7: Sistema de transporte tubular.....	39
Figura 8: Sistema de transporte neumático.....	40
Figura 9: Tubería dañada por flujo de material.....	45
Figura 10: Formación de lechos fluidizados en ducto vertical.....	47
Figura 11: Clasificación de partículas de Geldart (1973).....	49
Figura 12: Patrones de flujo para transporte en tubería horizontal.....	55
Figura 13: Transporte neumático fase diluida.....	57
Figura 14: Transporte neumático fase densa.....	58
Figura 15: Patrones de flujo.....	58
Figura 16: Sistemas de transporte disponible para transporte neumático.....	60
Figura 17: Sistema de presión negativa.....	62
Figura 18: Sistema de presión positiva.....	63
Figura 19: Sistema combinado Presión-Vacío.....	64
Figura 20: Tipos de suministradores de energía (aire).....	66
Figura 21: Características de variación de presión y caudal de distintos compresores.....	67
Figura 22: Curva característica de un ventilador.....	68
Figura 23: Curva característica de un soplador.....	69
Figura 24: Presión de trabajo aproximada de diversos dispositivos de dosificación.....	70
Figura 25: Tubería flexible con acoplamiento por bridas.....	71
Figura 26: Válvula dosificadora.....	72

Figura 27: Relación entre cantidad de material dosificado y revoluciones de la válvula rotativa.....	73
Figura 28: Válvula de desvío.	74
Figura 29: Alimentador Tipo Venturi.....	75
Figura 30: Boquilla de succión.....	76
Figura 31: Distintos tipos de ciclones.....	78
Figura 32: Parámetros geométricos del separador ciclónico standard.	81
Figura 33: Dimensiones ortogonales de un grano de café pergamino.....	89
Figura 34: Geometría de un ciclón.....	96
Figura 35: Tubería de transporte de material.	101
Figura 36: Tolva para almacenamiento de material.	105
Figura 37: Bascula electrónica.....	106
Figura 38: Diagrama cuerpo libre de la mezcla grano de café y el fluido de transporte.....	107
Figura 39: Ubicación de placa de características motor eléctrico para un.....	120
Figura 40: Ventilador centrífugo de alta presión.....	123
Figura 41: Curva característica del ventilador.....	123
Figura 42: Bastidor principal.	124
Figura 43: Fuerzas sobre el bastidor.....	125
Figura 44: Diagrama de corte carga y momento.	126
Figura 45: Datos del perfil en L.....	127
Figura 46: Análisis de tensión de Von Mises.....	129
Figura 47: Análisis de desplazamiento.....	130
Figura 48: Análisis de factor de seguridad.	130
Figura 49: Análisis de tensión de Von Mises.....	131
Figura 50: Análisis de desplazamiento.....	132
Figura 51: Análisis de factor de seguridad.	132
Figura 52: Malla de simulación.	133
Figura 53: Líneas de flujo del ciclón.....	134
Figura 54: Construcción ciclón.....	136
Figura 55: Construcción, ensamblaje tolva y soportes.....	136
Figura 56: Acabado y pintura ciclón, tolva.....	137
Figura 57: Construcción base estructura.	138
Figura 58: Ensamblaje del sistema.	138

Figura 59: Sistema de transporte neumático en funcionamiento.....	139
---	-----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de Geldart para el comportamiento de diferentes partículas.....	50
Tabla 2: Tipos de sistemas de transporte neumático.....	59
Tabla 3: Eficiencia de remoción de los distintos ciclones.....	82
Tabla 4: Características de los ciclones convencionales.....	82
Tabla 5: Características de los ciclones de alta eficiencia.....	83
Tabla 6: Características de los ciclones de alta capacidad.....	84
Tabla 7: Parámetros de diseño para ciclones de entrada tangencial.....	94
Tabla 8: Correlaciones de geometría basadas en la tabla 4 ciclones tipo Zens.....	97
Tabla 9: Geometría obtenida para transporte de 2 ton/h.....	97
Tabla 10: Geometría obtenida para transporte de 10 ton/h.....	98
Tabla 11: Resultado de pérdidas de presión de la tubería en la etapa de succión.....	113
Tabla 12: Resultado de pérdidas de presión de la tubería en la etapa de solo aire.....	115
Tabla 13: Resultados de pérdidas totales del sistema.....	117
Tabla 14: Propiedades Acero A36.....	128
Tabla 15: Esfuerzo normal.....	128
Tabla 16: Costos materiales.....	140
Tabla 17: Costos mano de obra.....	140
Tabla 18: Otros gastos.....	141
Tabla 19: Costos totales.....	141

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A VALORES DE VELOCIDAD TERMINAL Y FACILIDAD DE FLUIDIZACION ALGUNOS GRANOS.....	149
ANEXO B PROPIEDADES FISICOMECAICAS PARA GRANO DE CAFÉ PERGAMINO.....	150
ANEXO C CARACTERISTICAS DEL MOTOR.....	152
ANEXO D SELECCIÓN DEL VENTILADOR.....	153
ANEXO E MANUAL SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO PARA GRANO DE CAFÉ PERGAMINO CON SISTEMA DE LLENADO Y PESAJE DE SACOS.....	155
ANEXO F PLANOS DE CONSTRUCCION.....	165

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO PARA GRANO DE CAFÉ PERGAMINO CON SISTEMA DE LLENADO Y PESAJE DE SACOS*.

AUTORES: ARLEY ALFONSO COY GRANADOS

CARLOS EDUARDO ACOSTA MATEUS†

PALABRAS CLAVE: TRANSPORTE NEUMÁTICO, CAFÉ PERGAMINO, PRESIÓN DE VACÍO, CICLÓN, TURBINA REGENERATIVA.

DESCRIPCION:

El café es uno de los productos alimenticios insignia de Colombia a nivel internacional, debido a esto un amplio porcentaje de la población colombiana se ha dedicado al cultivo, producción y comercialización de este producto. Por tal motivo, nace la necesidad de investigar, diseñar y construir equipos que contribuyan a tecnificar el sector agrícola cafetero con el fin de agilizar y aprovechar cada uno de los subproductos obtenidos durante el proceso de extracción de un grano de café de la mejor calidad. Por esta razón, se decidió realizar el diseño y construcción de un equipo con sistema de transporte neumático con capacidad de transportar, ensacar y pesar 2000 Kg de grano de café pergamino en un tiempo de 1 hora, logrando así optimizar el proceso que ha venido realizándose en forma manual por un número considerable de operarios, lo cual se logra a partir de implementar presiones de vacío (succión).

La selección de este sistema de transporte sobresale sobre otras alternativas de transporte de alimentos debido a los requerimientos presentes dentro de las instalaciones para las cuales va a ser ubicado, además de una mayor eficiencia en la recolección reduciendo el uso de tolvas de gran tamaño para almacenamiento que si requerirán en otros sistemas de transporte.

Se busca que el equipo sea una maquina con un costo asequible y que sea un producto que genere un interés por parte de diferentes instituciones cafeteras, las cuales se puedan estar interesadas en tener un equipo de estos al interior de sus centros de recolección, pues esta máquina será un sistema que tendrá facilidad de transporte, operación y mantenimiento a bajo costo. Además de conservar las características físico-químicas del café sin afectar en ningún momento su calidad. Se espera que a mediano plazo este equipo pueda ser implementado no solo en los centros de acopio de las cooperativas de cafeteros, sino que también sea implementado al interior de las fincas productoras de café.

* Proyecto de grado

† Facultad de Ingenierías Físico- Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Julián Ernesto Jaramillo Ibarra

ABSTRACT

TITLES: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PNEUMATIC CONVEYING SYSTEM FOR COFFEE PERGAMINO WITH A BAGGED AND WEIGHING SYSTEM*.

AUTHORS: ARLEY ALFONSO COY GRANADOS

CARLOS EDUARDO ACOSTA MATEUS†

KEY WORDS: PNEUMATIC CONVEYING, COFFEE PERGAMINO, VACUUM PRESSURE

SUMMARY:

The coffee is one of the most representative Colombian food products. Due to this, a wide Colombian farmers percentage have dedicated their fields to grow, to produce and to market this product. For this reason originated the necessity of develop equipment that allow technify the coffee agriculture sector, to get facilitate and to leverage every component that can be obtained during the coffee bean extraction process with the best quality. To can contribute with this goal, we have decided to implement the design and construction of a pneumatic conveying system. That can to transport, make packing and weighing 2000 Kg of coffee in 1 hour, this will let to optimize the old manual process made for a group of people who spend many time in this activity. This will achieve with the implementation of vacuum pressure, and it will get to optimize the old manual process made for a group of people who spend many time in this activity. This be achieve with the implementation of vacuum pressure.

The selection of this kind of transport excels over other transport alternatives, due to the actual requirements within some grain recollection plants where it will be located, also of a greater efficiency in the recollection process with the decrease of the use of large storage hoppers of grain before to be transported by suction air current.

We want to search that this equipment has an affordable cost and that this product could be of interest for different coffee institutions who want to purchase the product, inasmuch as machine will be easy to transport, to operate and to do the maintenance with low cost. Also it will keep the main physical and chemical characteristics that the Colombian grain coffee has, without affecting the quality. We hope that medium term this equip can be used in every storage center together to the different coffee fields.

* Graduation Project

† Faculty of Physics – Mechanic. School of Mechanic Engineering. Director Julian Ernesto Jaramillo Ibarra

INTRODUCCION

El desarrollo de sistemas de transporte para la industria agrícola y alimenticia ha sido implementado de manera exitosa desde hace décadas. A raíz de ello las diferentes industrias se han visto obligadas a diseñar y seleccionar los tipos de maquinaria más adecuados para cada necesidad de transporte que se presente dentro de sus organizaciones.

Dentro de esta serie de investigaciones los ingenieros han desarrollado el sistema de transporte neumático, con el cual se pueden transportar una gran variedad de materiales sólidos particulados, desde harinas, granos, pellets plásticos hasta carbón.

En las aplicaciones iniciales de este tipo de transporte se utilizaba aire a alta velocidad para transportar pocos sólidos que quedaban suspendidos en el aire, este sistema se denominó **transporte en fase diluida**. Sin embargo, dado que el uso de este método requería altos caudales de aire para operar eficientemente se tuvo que desarrollar otro tipo de sistema y es aquí cuando se centra la atención en el sistema de **transporte en fase densa**, en el cual los sólidos no se encuentran totalmente en estado de flotación (suspendidos) y los requerimientos de aire se ven reducidos considerablemente^[11]. Este menor requerimiento de aire, generalmente requiere de una mayor presión para impulsar los sólidos e implicara, un menor requerimiento de energía.

Al trabajar con bajas velocidades de material sólido junto a menores caudales de aire, la degradación por causa tanto de la abrasión, como la erosión de las partículas provocada por el choque entre sí mismas y con las paredes de los ductos de transporte también disminuye en comparación con el transporte en fase diluida

* Perry R., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", McGraw-Hill, 6th edition, 1997.

1. DESCRIPCION DEL PROYECTO “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO PARA GRANO DE CAFE PERGAMINO CON SISTEMA DE PESAJE Y LLENADO DE SACOS”

1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA

El desarrollo agroindustrial del sector cafetero en Colombia, ha experimentado durante los últimos años un importante crecimiento investigativo y tecnológico, desde los procesos de control de siembra y desarrollo de la planta, hasta la extracción y proceso de obtención de cada uno de los productos derivados del café listos para su consumo. El departamento de Santander actualmente es uno de los departamentos de mayor producción cafetera a nivel nacional gracias a la excelente calidad del grano obtenido en estas tierras, lo cual es un logro muy importante dado el mercado nacional e internacional que posee el café colombiano. Actualmente en la región se carece de algunos equipos adecuados que permitan mantener este nivel de prestigio y demanda de café.

La cooperativa de caficultores de Santander como miembro de la federación nacional de cafeteros es una de las organizaciones líderes del sector cafetero de Santander, al igual que otras organizaciones privadas ubicadas en la provincia Comunera de Santander, las cuales actualmente no cuentan con un sistema tecnificado que permita el transporte y empaquetado de sacos de café en cada una de sus sedes. Por ello se requiere realizar el diseño y construcción de un sistema de transporte neumático para café pergamino, en el cual se puede llevar a cabo el transporte de grano, dosificación y pesado de los sacos de café en forma semi-

automatizada, con el fin de implementar y comercializar dicho sistema en los centros de acopio distribuidos a lo largo de la región.

Actualmente las operaciones de transporte y control de llenado de sacos de café son realizadas en forma manual por un número considerable de personal y en algunos casos no se cuenta con las herramientas adecuadas para dichas operaciones, aunque siendo este el único medio de transporte no deja de ser un método aceptable de manejo del material. Por tal motivo se da solución a esta situación mediante el diseño y construcción de un sistema de transporte neumático para café pergamino con sistema semi-automatizado de empacado de sacos y pesaje.

2. JUSTIFICACION PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Al realizar este proyecto de grado se pretende cumplir con la necesidad de transportar, llenar y pesar sacos de café pergamino en forma semi-automatizada en los diferentes centros de acopio de las cooperativas de caficultores de Santander, debido a que en la región no se ha desarrollado ni implementado ninguna clase de sistema relacionado. Por tal motivo, se hace necesario y adecuado diseñar un sistema de transporte neumático que satisfaga tales necesidades.

Aunque los sistemas de transporte neumático en la actualidad se encuentran ampliamente desarrollados por parte de industrias extranjeras, tales diseños, no se han realizado para el transporte de café pergamino y adicionalmente a esto, no se les ha desarrollado un sistema conjunto al llenado y pesado de sacos.

Los sistemas de transporte neumático son ampliamente utilizados en la industria de transporte de materiales, ya sean particulados en polvos finos o materiales a granel de dimensiones mayores, dado que son sistemas adecuados, versátiles y en la mayoría de ocasiones económicos para el desarrollo de muchos procesos industriales. Con el desarrollo de este proyecto se pretende cumplir con las nuevas necesidades del mercado.

3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

3.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander encargada de la formación de profesionales de alta calidad ética, técnica y científica haciendo extensión hacia la comunidad mediante el diseño y construcción de un sistema de transporte neumático para café pergamino con sistema de llenado y pesaje de sacos.

3.1.1 Objetivos específicos

- Realizar un estudio investigativo mediante documentación bibliográfica sobre la viabilidad de la implementación del sistema de transporte neumático para café pergamino.
- Construir un prototipo de transporte de sistema neumático para café pergamino, con capacidad de dos toneladas por hora aproximadamente. Para esto se requiere:
 - Diseño de ciclón
 - Diseño de estructura soporte
 - Selección de tuberías de aspiración
 - Selección de soplador
 - Diseño de la boquilla de aspiración
- Desarrollar un sistema semi-automático para el proceso de llenado y pesaje de sacos.
- Realizar los planos de construcción y ensamble del prototipo mediante la utilización de la herramienta software solidworks.

4. CAFE

4.1 HISTORIA ORIGEN DEL CAFE

El café ha sido una de las bebidas más aceptadas a través de los siglos, dada sus características únicas e inconfundibles como lo son su aroma y sabor estimulante obtenidos a partir de un grano tostado y molido. El uso de este grano data históricamente alrededor del año 675 d.c en India y países Árabes. El producto se empezó a preparar en forma similar a la preparación de vino. Por ello recibió el nombre “nombrekahwa”, siglos después este producto fue extendido a Egipto, Turquía en donde su nombre fue cambiado por “akahvé” esto debido a los idiomas manejados en estos países. Viajes posteriores a través de estos países permitieron el ingreso de este grano al continente europeo, dentro de estas travesías e innumerables historias de posibles personajes que incursionaron el grano de café a Europa se refieren al Botánico sueco Carlos de Linno de llevar este producto a países europeos en el siglo XIV y así dar su nombre final a este producto, el cual fue clasificado y extendido a países alrededor del mundo*.

4.1.1 Leyenda del café. El pastor, intrigado por lo que ocurría, decidió llevar las muestras de hojas y frutos a un monasterio llamado Cheodet, donde los monjes por curiosidad pusieron los granos a cocinar. Al probar la bebida, les pareció tan fea que arrojaron al fuego los restos de la infusión. Pero los granos, a medida que se quemaban, despedían un agradable aroma[†]. Los monjes intentaron entonces volver a preparar una bebida con los granos tostados y quedaron fascinados con el resultado. Al tomarse el café, las oraciones de los monjes ya no fueron suaves y

* CAFÉ DE COLOMBIA. Proexport Colombia 2013. Historia del café Colombiano.

† Pendergrast. Mark. El café: historia del grano que cambio al mundo. Editorial Javier Vergara S.A. Buenos Aires. 2002.

tranquilas sino llevadas a coro con alegría. La leyenda cuenta que el abad del monasterio le dio el nombre de Kaaba a la bebida, que en árabe quiere decir piedra preciosa de color café.

Figura 1: Planta de café.



Fuente: cartilla cafetera, Cenicafe.

4.1.2 Llegada del café a América. Holanda como principal productor y comercializador de café en el mundo decide en 1714 llevar sus cultivos de café a sus colonias americanas en la Guyana holandesa (Surinam), posteriormente los franceses realizaron la misma tarea, pero se le atribuye al capitán francés Gabriel De Clieu, quien pasó innumerables aventuras para llevar viva la planta a su destino y poder llevar la semilla del café que permitiera ver hoy en día la totalidad de plantaciones en Latinoamérica, pues Holanda y Francia manejaban gran recelo en sus plantaciones, lo cual no permitía que nadie ajeno a sus monarquías pudiera acceder a tan maravilloso fruto.

4.2 HISTORIA DEL CAFE EN COLOMBIA

A pesar de la variedad de versiones sobre la incursión del café en Colombia, se narra su entrada por el oriente de Colombia a los departamentos de Santander, Norte de Santander y Cundinamarca cuyas plantas provenían de Venezuela. Otra versión describe este ingreso por el Urabá antioqueño cuya semilla procedía de los países Centro Americanos. Sin embargo una de las versiones más confiables cita al padre jesuita español José Gumilla en el año de 1736 quien introdujo la planta en Colombia a través de río Orinoco y posteriormente sembrada en sus monasterios de Santander y años después llevada a Popayán. Con lo cual se puede concluir que la iglesia católica se constituyó en un gran referente para la propagación de dichos cultivos. Algunos sacerdotes católicos ponían como penitencia por confesión de pecados que cada fiel debería sembrar una planta de café, penitencia que sería adoptada por muchos más sacerdotes del nororiente colombiano.*

Después de ser el departamento santandereano el principal productor de la época, a comienzos del siglo XX se llevó su semilla a través de las regiones montañosas de la cordilleras colombianas especialmente a los departamentos de Antioquia, Risaralda, Caldas, Tolima y valle del cauca siendo estos primeros los que actualmente reciben más reconocimiento como principales productores de café en el país.

4.2.1 Caracterización del café. Para el cultivo de café se debe reunir una serie de características previas que permitan obtener un desarrollo de la planta y grano de café de óptimas condiciones de calidad, para ello se deben seleccionar climas tropicales con características especiales de temperatura, presión, altitud y

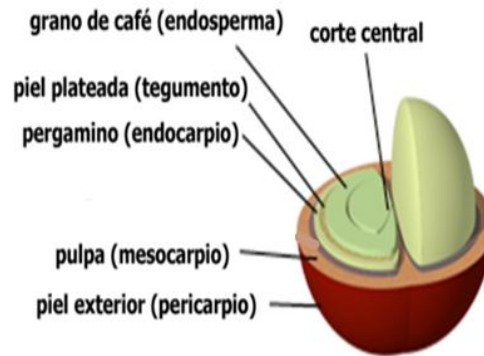
* Villegas. Lilibiana. Cafés de Colombia. Villegas Editores. Bogotá. 2008

propiedades del suelo donde será sembrada. Estas condiciones se encuentran generalmente entre 1200 y 1800 metros de altura sobre el nivel del mar con temperaturas de 19 a 21,5 grados centígrados, una concentración de agua de riego de 120 milímetros mensuales, zona de cultivo donde predomine un aire húmedo y condiciones solares en la cuales llega el sol entre 1600 y 2000 horas de sol al año.* Con estas condiciones se logran realizar cosechas durante todo el transcurso del año en las diferentes regiones de Colombia.

El fruto de café denominado café cereza está compuesto por: una **pulpa** formada por una epidermis (pericarpio) que le da el color rojo característico que depende del grado de maduración del fruto, envuelto por esta epidermis se encuentra el **mucilago** (mesocarpio) que es una capa gruesa de tejido esponjoso que posee un espesor aproximado de 0,5 mm, al interior de este mucilago se encuentran dos granos enfrentados por su cara plana denominados **almendras** los cuales poseen un revestimiento de doble membrana: la primera de las membranas se denomina **pergamino** (endocarpio) la cual es de un color amarillo pálido con una consistencia dura y frágil, la segunda membrana denominada **película plateada** que es más delgada y está completamente adherida al **grano** (albumen) (figura 2).

* ROA. G. BENEFICIO ECOLÓGICO DEL CAFÉ COLOMBIANO. ed. Cenicafe, 1999. P. 13.

Figura 2: Composición de café cereza.



Fuente: <http://www.nuestrocafe.com>.

Para la Federación Nacional de Cafeteros colombiana, se denomina café a todo grano de café almendra en estado crudo, el cual este cubierto por un pergamino que se encuentre seco de trilla, tipo federación con contenidos de humedad entre 10% y 12% (base húmeda) y libre de cualquier defecto o impureza que imposibilite su comercialización. A estos tipos de granos que presentan defectos se les denomina pasilla.

4.2.2 Proceso de producción de café Colombiano. Para el proceso de obtención de café se debe realizar en proceso riguroso y delicado que permita entregar uno de los mejores cafés del mundo (figura 3), dicho proceso consiste en:

1. **Recolección de café cereza:** granos maduros de color rojo o amarillo.
2. **Despulpado:** se despulpa el grano de café, se retira la cereza.
3. **Fermentación:** los granos se dejan en reposo.
4. **Lavado:** se retira el mucilago con chorros de agua y se eliminan azúcares.
5. **Secado:** expone el grano al sol o a hornos que permiten reducir el grado de humedad para poder conservar el grano a futuro, se obtiene el **café pergamino**.

6. **Tostado:** se retira cascara pergamino y se realiza tostado lo cual generara el sabor y aroma característico del café.

Figura 3: Pasos del proceso de producción de café.



5. SISTEMAS DE TRANSPORTE DE GRANO

Para el manejo de material de carácter alimenticio ya sea como materia prima o producto listo para distribución y consumo inmediato se han diseñado gran variedad de equipos que realizan el transporte, distribución y en algunas ocasiones el empacado del mismo. Este tipo de equipos son diseñados y construidos bajo ciertos estándares legales, ambientales y requerimientos por parte de la organización que lo implementa. Dada la gran variedad de materiales, lugares de almacenamiento y transporte, Dentro de los sistemas de transporte para material a granel más usados se encuentran:

5.1 SISTEMAS DE BANDA TRANSPORTADORA

Este tipo de sistemas de transporte tiene como función principal recibir el producto en forma continua y conducirlo hasta un punto de descarga, son sistemas de funcionamiento sencillo ampliamente utilizadas a nivel industrial en el transporte de bultos o cargas separadas como materiales a granel en líneas de procesos donde funcionan de manera automática sin la necesidad de tener ningún operario realizando un control continuo de dicho equipo. Estos sistemas constan esencialmente de una banda flexible, un tambor impulsor, un tambor tensor, rodillos de apoyo tensor, motor de baja potencia, dispositivos de carga y descarga, dispositivos limpiadores de banda. Todo esto dispuesto sobre un bastidor metálico diseñado adecuadamente, lo cual facilita la comercialización y manufactura por parte de la industria local.

Este tipo de maquina a pesar de ser un método de transporte muy utilizado, presenta una serie de parámetros que dependiendo de las aplicaciones resultan adecuados para el manejo del material, como la selección adecuada del tipo de banda a implementar, sistemas de alimentación continuos, dentro de los pocos inconvenientes que presenta su implementación se encuentra la ausencia de conductos herméticos que evitan la volatilización e inhalación de material pulverulento y pérdida de material durante su transporte (figura 4).

Figura 4: Sistema de banda transportadora.



Fuente: <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/>.

5.2 SISTEMA DE TORNILLO SIN FIN

Sistema modular de transporte, usado para transporte de materiales alimenticios los cuales en la gran mayoría de los casos se encuentran a elevadas temperaturas, materiales a granel, cascaras, polvos y productos de biomasa principalmente para servicio mediano o pesado, los cuales pueden estar acompañados de material pulverulento que puede emanar sustancias nocivas por lo cual es un sistema fácil de hermetizar. Se debe tener sumo cuidado con la selección del material a

transportar ya que no se debe utilizar para transporte de materiales de gran dimensión, abrasivos o pegajosos. Según su modo de empleo pueden ser dispuestos en dirección vertical, horizontal u oblicua.

Los principales componentes de este tipo de sistemas son: un tornillo sin fin soportes intermedios para el eje, bridas de unión, bocas de alimentación y descarga, tapa superior y unidad motora de accionamiento (figura 5).

Figura 5: Sistema de transporte de tornillo sin fin.



Fuente: <http://www.flexcomltda.com/>.

5.3 SISTEMAS DE TRANSPORTE POR CANGILONES

Sistemas de transporte más utilizado en aplicaciones verticales o inclinadas para gran variedad de productos a granel de diversos tamaños en estado húmedo, seco o líquido; materiales abrasivos, polvorientos o granulación fina, con capacidades elevadas de transporte a gran distancia. Su selección depende de:

- Según el tipo de carga (directamente desde la tolva o por degrado)

- Según el tipo de descarga (centrífuga, por gravedad, positivos)

Este tipo de sistemas puede ser manufacturado y comercializado cómodamente por las industrias de la región debido a que no requiere de una estructura compleja de sostenimiento, además que la disposición de espacio en el cual se puede ubicar este tipo de transporte representa una ventaja considerable con respecto a otro tipo de sistemas en los cuales se desea elevar la carga a grandes distancias. Uno de los inconvenientes más grandes que se presentan en el transporte por cangilones, consisten en la gran cantidad de pérdida de material durante el transporte, dado que los cangilones rebosan de materiales que posteriormente caen por gravedad y en la mayoría de casos es depositado en el tambor tensor, requiriendo así un constante mantenimiento y limpieza de esta área de lo contrario el sistema fallaría.

Los componentes principales del sistema son: cangilones (variedad de materiales), órgano de tracción del cangilón (banda transportadora o cadenas eslabonadas), cabeza tensor, cabezal motriz, grupo de accionamiento, estructura de soporte o camisa (figura 6).

Figura 6: Sistema de transporte por canjilones.



Fuente: <http://www.beumergroup.com>

5.4 SISTEMA DE TRANSPORTADOR TUBULAR POR CABLES O CADENAS

Sistemas de transporte mecánico continuo por tracción en circuitos cerrados para material a granel. Estos materiales pueden ser frágiles, granulados, en polvos, material triturado entre otros. Se pueden implementar a cortas o largas distancias tanto verticales como horizontales con múltiples puntos de alimentación y descarga en donde el material es arrastrado por los discos sujetos a un cable o cadena, los materiales de construcción varían en relación al material que se vaya a transportar. Este sistema representa una amplia ventaja con relación a otros sistemas de transporte dada su fácil fabricación de componentes, disposición de espacio para trabajar, bajo consumo energético, sistema cerrado libre de agentes contaminantes y eliminación de sistemas de ventilación que implementan varios sistemas de transporte actualmente (figura 7).

Figura 7: Sistema de transporte tubular.



Fuente: <http://www.codols.com/>.

5.5 SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO

Sistemas de transporte por medio de inyección de un gas a presión para realizar el desplazamiento de partículas de tamaños que no excedan los parámetros de diseño (secas, finas, granel) suspendidas dentro del fluido al interior de tuberías verticales u horizontales completamente herméticas donde los materiales generalmente son no cohesivos, de fácil escurrimiento por gravedad y no abrasivos. Estos sistemas son prácticos, adecuados y económicos según los procesos en los que se desean implementar. Industrialmente los transportes neumáticos son desarrollados en el campo minero, cementero, químico, alimentario, farmacéutico entre otros. Se puede realizar la carga y descarga de material desde diferentes puntos en los cuales para algunos no es necesaria la condición de tener tolvas de alimentación o descarga, es decir este proceso lo pueden realizar desde cualquier punto sobre la superficie de una bodega (barcos cargueros, camiones, graneros) hasta otro punto con las mismas características.

Comparado con los sistemas de transporte mecánicos, este sistema presenta algunas ventajas tales como:

- Manejo hermético de las líneas de proceso con lo cual se eliminan las pérdidas de material y crean ambientes de trabajo limpios.
- Espacios de trabajos pequeños con relación a otros sistemas de transporte.
- Reducción de costos de mantenimiento
- Automatización rápida
- Capacidad y longitud de transporte muy variadas

Los sistemas de transporte neumático se clasifican dado la dirección de flujo del aire y las características del material a transportar; la clasificación debida a la dirección del flujo de aire refiere a sistemas de aspiración o succión (presión negativa), sistemas de impulsión (presión positiva) y sistemas mixtos (presiones combinadas) todos ellos trabajando a alta, media o baja presión, según la característica del material a transportar. El material puede ser desplazado en fase densa o en fase diluido. Esto es paquetes compactos del material transportado o material suelto fluidizado respectivamente (figura 8).

Figura 8: Sistema de transporte neumático.



Fuente: <http://www.kongskilde.com/>.

6. SELECCION DEL TRANSPORTE NEUMATICO

6.1 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ADECUADA

Realizando un riguroso estudio de todas las variables involucradas para el desarrollo de este proyecto, al igual que cada una de las necesidades y limitaciones que se tiene por parte de los caficultores interesados de la región, se ha seleccionado el sistema más adecuado y satisfactorio para dar cumplimiento adecuado de cada una de las características expuestas en este documento.

Por esta razón se decide diseñar y construir un sistema de transporte neumático por aspiración (succión o presión negativa) en el cual se toma el café pergamino almacenado dentro de las bodegas de las fincas y centros de acopio mayorista mediante la aspiración del grano a través de un boquilla y transportado a través de una tubería para depositarlo en un dispositivo ciclónico que realice la separación del grano con respecto del fluido de transporte, al igual que de partículas pequeñas de carácter indeseado. Todo ello bajo el objetivo principal de conservar cada una de las propiedades físico-mecánicas y químicas que caracterizan al café de mejor calidad producido en Santander, además se integrará un sistema divergente de llenado, en el cual se tomará el café pergamino almacenado en el separador ciclónico y se distribuirá en forma continua en los dos puntos de alimentación de sacos donde serán pesados de manera automatizada para finalmente ser sellados.

Dado que esta modalidad de maquina a construir poseerá un peso significativo una vez entra en funcionamiento, se opta por considerarla como una maquina móvil que en la medida de las posibilidades sea desplazada en forma segura al área de

trabajo. Además, cabe resaltar que la mayoría de las piezas utilizadas en la construcción de esta máquina son de fácil adquisición y manufactura en el mercado local, lo cual también incurrirá en la realización de un mantenimiento más sencillo para la máquina.

6.1.1 Descripción general del sistema de transporte neumático. Una de las técnicas más importantes para transportar materiales en la industria es el movimiento del material suspendido en un flujo de aire, entre distancias horizontales y verticales que varían de unos pocos metros a cientos* . El transporte neumático es usado en la industria para transportar sólidos que pueden tener un diámetro en un rango de micras hasta 60 (mm). Generalmente, este sistema es empleado cuando los sólidos son difíciles de transportar económicamente usando sistemas convencionales. Existe una gran variedad de procesos que emplean transportes neumáticos para mover sólidos como por ejemplo productos agrícolas, farmacéuticos y metales pulverizados. Usando sistemas neumáticos, hay un mínimo riesgo de generación de polvo, e incluso pueden ser transportados materiales peligrosos con seguridad por medio de aire presurizado†.

El sistema de transporte neumático de material consiste principalmente en mover sólidos, ya sean polvos o partículas granulares dentro de una tubería. El movimiento del material se da por la combinación de un diferencial de presión y mediante una corriente de flujo de gas (aire) a presión‡.

Un transportador neumático presenta algunas limitaciones debido a que no puede transportar materiales húmedos (solo permite un nivel bajo de humedad) ni que

* Perry. Robert H. Biblioteca del ingeniero químico. Volumen III. 2da Edición. México. 1987. Sección 7. p. 16.

† Mills. David. "Pneumatic Conveying Cost-Effective Design". Chemical Engineering. February 1990. p. 70.

‡ DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO

tengan tendencia a adherirse, ya que la tubería podría quedar obstruida por el apelmazamiento del material, también está limitado su uso a materiales con baja fragilidad y baja abrasividad debido a que el material puede romperse al chocar con la tubería y con otras partículas, la abrasividad es un factor a tener en cuenta especialmente en los codos, debido a que en éstos elementos puede darse un desgaste excesivo.

En general un transportador neumático requiere más potencia por peso de material transportado que otras alternativas de transporte pero sus ventajas pueden compensar ésta deficiencia.

El transporte neumático puede ser usado con una gran cantidad de productos, como arena, cemento, harina, productos químicos y productos alimenticios, entre otros. Debido a que el transporte se realiza mediante tuberías, es en general un proceso bastante limpio tanto para el producto como para el ambiente. Con las normas medioambientales actuales se convierte en una alternativa importante en diversos procesos industriales, además permite una gran flexibilidad en los recorridos, cambios de dirección y una fácil automatización lo que reduce los costos asociados al proceso de producción*.

Otra de las ventajas es que permite la descarga de material mediante sistemas de vacío o aspiración, lo que lo hace importante cuando se requiere descargar material a granel de forma vertical como en el caso de barcos o vagones de tren o cuando

* MIXTO DE DOS ETAPAS PARA CEREALES. Trabajo de grado para otorgar el título de ingeniero mecánico. Bucaramanga. universidad industrial de Santander. Facultad de ingeniería físico-mecánica. Escuela de ingeniería mecánica. 1999. P.29.

éstos se encuentran apilados. La cantidad de material que se puede transportar depende fundamentalmente de dos factores; el primero es la caída de presión que se puede dar en la línea de transporte y el segundo es el diámetro de la tubería. Generalmente la caída de presión depende de las características del elemento soplante, pero un buen diseño debe jugar con la combinación de ambos parámetros; no existe una combinación general que permita transportar todos los materiales de manera satisfactoria, cada producto posee características especiales y la decisión final a menudo se ve influenciada por factores indirectos, como son los costos iniciales del transportador o los costos de producción.

6.1.2 Propiedades de los cereales para transporte neumático. Para transportar neumáticamente un material se debe analizar varias propiedades características del propio material, entre ellas el grado de abrasividad, ya que si éste es demasiado alto se tendrá un desgaste prematuro de la tubería de transporte y de los demás componentes del sistema, también es importante revisar su tendencia a pegarse, entre partículas y con las superficies, ya que se puede generar taponamiento de la tubería y un consumo excesivo de potencia, el material para el transporte neumático debe estar relativamente seco, y poseer poca fragilidad si se desea que mantenga su integridad a lo largo del recorrido, ya que la fricción y los impactos son permanentes (figura 9).

Figura 9: Tubería dañada por flujo de material.



Fuente: <https://www.google.com.co/search/tuberias>.

En general los cereales poseen propiedades que los hacen fáciles de transportar neumáticamente (Ver Anexo A), son algunos de los materiales más comunes en éste tipo de transporte.

7. FUNDAMENTOS DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO

7.1 FLUIDIZACION

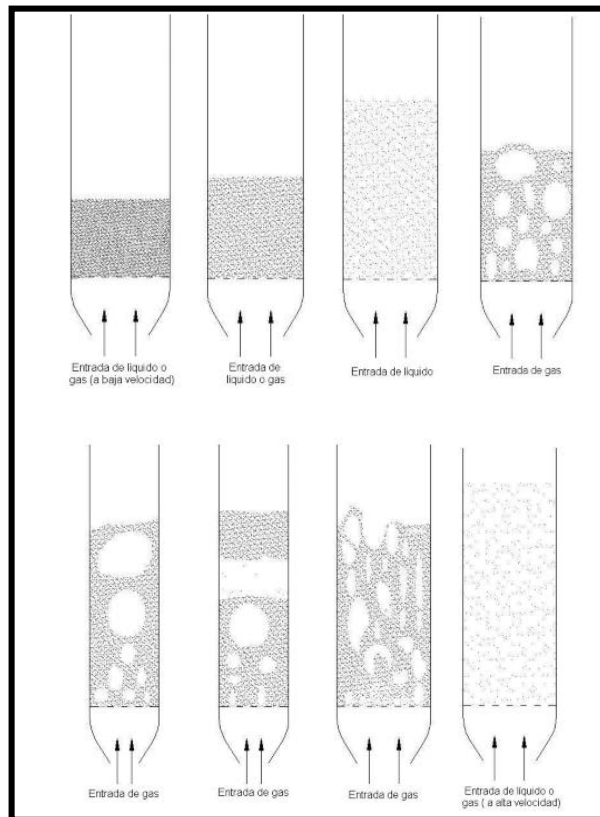
El principio de análisis de fluidización consiste en el estudio del fenómeno por el cual una masa o lecho de partículas es suspendido (levita) al entrar en contacto con la acción de un medio fluido ya sea un gas o un líquido. Este estudio generalmente es realizado suspendiendo las partículas sólidas al interior de un ducto vertical dentro del cual está el fluido de estudio.

Dentro de este estudio se establecen condiciones de estado para un lecho de partículas. Se refiere a lecho en estado fijo cuando la velocidad del fluido que pasa a través de las partículas es muy baja, esto ocasiona que las partículas se encuentren en un leve reposo unas sobre otras en la parte inferior del ducto. Caso opuesto se presenta cuando las partículas son elevadas a alturas considerables dentro del ducto; esto se debe a la presencia de altas velocidades de fluido atravesando cada una de las partículas que en algunas ocasiones son expulsadas bruscamente.

Para lograr una relación intermedia en la cual las partículas no sean expulsadas y que no se acumulen en la base del ducto, se buscan aquellas velocidades que permitan a cada partícula estar suspendida de forma individual dentro del fluido, permitiendo así que el lecho de partículas permanezca inmóvil en relación con las paredes del ducto. Este último caso se denomina “lecho fluidizado” y en esto se fundamentan los sistemas de transporte neumático. Dado este análisis se aprecia que el parámetro importante que permite determinar si un lecho de partículas

presenta o no fluidización es la velocidad a la cual pasa el fluido a través del lecho de partículas (figura 10).

Figura 10: Formación de lechos fluidizados en ducto vertical.



Fuente: Handbook of Pneumatic Conveying Engineering [1].

7.1.1 Características de un lecho fluidizado. Para lograr la fluidización de las partículas se deben tener en cuenta variables y procesos que intervienen en el comportamiento de los lechos fluidizados.

7.1.1.1 Procesos:

- La mezcla de partículas entre sí mismas
- Transferencia de calor y masa
- El transporte adecuado de las partículas

7.1.1.2 Variables:

- Velocidad mínima de fluidización
- velocidad terminal
- La porosidad de la mezcla
- Esfericidad o forma de las partículas
- El número de Reynolds dentro del proceso

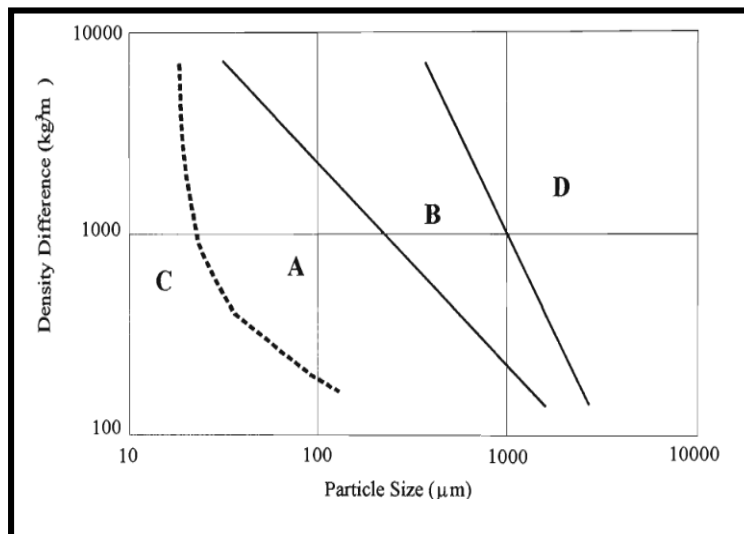
Estos parámetros establecidos anteriormente serán analizados posteriormente dentro de este documento.

Para sistemas de mezcla sólido – gas como el que se analiza en este documento los lechos generalmente no son homogéneos, esto debido a que presenta diferentes volumen de porosidad y burbujas (espacios formados entre las diferentes partículas fluidizadas) ocasionando que las partículas salten aleatoriamente en el seno de dicho lecho. Una vez que se aumenta el tamaño de las burbujas y estas llegan a tener el tamaño del diámetro de tubería el comportamiento de las partículas serán completamente diferentes pues acá se generara un acumulamiento exagerado de partícula lo cual no permitirá que se presente una fluidización

adecuada. Este fenómeno se denomina formación de **slugs**. Estos diferentes comportamientos clasifican a los dos diferentes sistemas de transporte neumático.

7.1.2 Clasificación de partículas de fluidización. Mediante una investigación realizada a partículas sólidas se pueden clasificar estas partículas en cuatro grandes grupos que caracterizan a los materiales a granel en función de su capacidad de fluidificación y de retención de aire, diferencias de densidad y tamaños de las partículas. Esta clasificación es denominada clasificación de GELDART* (figura 11). Esta clasificación es la más utilizada actualmente en toda la industria de partículas (tabla 1).

Figura 11: Clasificación de partículas de Geldart (1973).



Fuente: Handbook of Pneumatic Conveying Engineering ^[1].

Grupos:

A. polvos de grano fino y baja densidad, buena fluidización y retención de aire.

* Mills. David. "Pneumatic Conveying Cost-Effective Design". Chemical Engineering. February 1990.

- B. granos medianos de densidad media, fluidizables y retención de aire baja.
- C. polvos finos de mayor densidad, cohesivos, difíciles de fluidificar con mala retención de aire.
- D. granulometrías gruesas, mayor densidad, no fluidizables, sin capacidad de retención de aire.

Tabla 1: Clasificación de Geldart para el comportamiento de diferentes partículas.

	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
Características principales	Ideales para fluidización Muestran un rango de no burbujeo	Comienzo del burbujeo a U_{mf}	Cohesivas, dificultad para fluidizar	Tamaño elevado
Partículas típicas	Catalizadores de craqueo	Arena de construcción	Harina Cemento	Grava Granos de café
Expansión del lecho	Alta	Moderada	Baja por aparición de canales	Baja
Velocidad de desaireación	Lenta, lineal	Rápida	Inicialmente rápida, luego exponencial	Rápida
Propiedades de burbujas	Formación y coalescencia de burbujas hasta tamaño máximo	Crecimiento de burbujas sin tamaño límite	No hay burbujas, sólo canales	Crecimiento de burbujas sin tamaño límite
Mezcla de partículas	Alta	Moderada	Muy baja	Baja
Mezcla de gas	Alta	Moderada	Muy baja	Baja
Aparición de chorros	No	Sólo en lechos poco profundos	No	Sí, incluso en lechos profundos

Fuente: Handbook of Pneumatic Conveying Engineering [1].

7.1.3 Tipos de transporte neumático. Aún no existe un consenso general para decidir cuándo se presenta transporte en fase densa y fase diluida, en general se recurre a observaciones y descripción de dichas observaciones para determinar el tipo de transporte que se está presentando.

Existen algunos valores generales de algunas características del transportador neumático como son la velocidad del fluido o el nivel de presión que pueden indicar

fase densa o fase diluida, pero estos valores dependen de la bibliografía que se analiza. Otros autores simplemente definen su concepto de fase densa y fase diluida, no existe un límite claramente visible para pasar de un tipo de transporte a otro. Algunas veces se recurre a dos conceptos para diferenciarlos.

Para ello se utilizaran, las velocidades de **bloqueo** y **ruptura** para ductos verticales y horizontales respectivamente, las cuales permiten establecer el límite entre el transporte en fase diluida y en fase densa. Estos conceptos se definen en las secciones siguientes considerando las relaciones entre la velocidad del gas, el caudal másico de sólido y la caída de presión por unidad de longitud tanto en transporte vertical como horizontal.

7.2 VELOCIDAD DE BLOQUEO EN TRANSPORTE VERTICAL

En páginas anteriores se mencionó el fenómeno de fluidización y se hizo referencia que en la medida en que se trabaja con bajas velocidades de fluido para impulsar una concentración de partículas dentro de un ducto, estas partículas no lograrán ser suspendidas. Generándose así una gran concentración de partículas dentro de la tubería, que no serán suspendidas por ningún motivo a estas bajas velocidades y así se generara un lecho fluidizado. Este fenómeno se denomina **bloqueo** y generalmente conlleva grandes fluctuaciones de presión^{*}[12]. Por lo tanto se puede concluir que la velocidad bloqueo es la velocidad más baja a la cual las partículas sólidas pueden tratar de estar suspendidas por un flujo de fluido, dicho en otras palabras es la velocidad a la cual se puede trabajar en fase diluida para un cierto caudal de partículas sólidas.

^{*} PERRY R., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", McGraw-Hill, 6th edition, 1997.

La velocidad de bloqueo marcara el límite entre el transporte en fase diluida y fase densa para tuberías verticales. Este efecto de bloqueo se logra disminuyendo las velocidades de fluido para un caudal de solido dado o manteniendo constante la velocidad de fluido mientras se aumenta el caudal de material sólido.

Dentro de las diferentes correlaciones que permiten determinar la velocidad de bloqueo, la correlación de Punwani. (1976)* [5] es la más utilizada en la industria de transportes neumáticas, esta correlación tiene en cuenta en considerable efecto de la densidad del fluido de transporte.

$$\frac{V_{bloq}}{\varepsilon_b} - V_{bloq} = \frac{G_s}{\rho_g(1 - \varepsilon_b)} \quad (01)$$

$$\rho_f^{0.77} = \frac{2250 * D_T * (\varepsilon_b^{-4.7} - 1)}{\frac{V_{bloq}}{\varepsilon_b} - V_T} \quad (02)$$

Donde:

V_{bloq} = velocidad de bloqueo

ε_b = porosidad de la mezcla a velocidad de bloqueo

ρ_g = densidad del material solido

$G_s = \frac{\dot{m}_g}{A}$ Flujo de material solido

ρ_f = densidad del fluido de transporte

D_T = diámetro nominal de tubería

V_T = velocidad terminal de una partícula de sólido.

* PERRY R., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", McGraw-Hill, 6th edition, 1997.

7.3 VELOCIDAD DE RUPTURA EN TRANSPORTE HORIZONTAL

En los análisis de sistemas de transporte con tramos de tubería horizontal, el comportamiento de las partículas sólidas presenta cierta similitud con el comportamiento para tuberías verticales. Cuando se suministra un fluido a altas velocidades, el material sólido estará suspendido completamente sin presentarse ningún rastro de sedimentación.

En la medida que la velocidad de fluido disminuye para el mismo caudal de sólidos y la caída de presión será pequeña, hasta el punto en el cual la velocidad de fluido será tan pequeña que no podrá mantener los sólidos en suspensión y el material sólido se encontrará sedimentado en el fondo de la tubería; cuando este fenómeno se presenta a dicha velocidad se le denomina **velocidad de ruptura o sedimentación*** la cual representa el límite entre el transporte en fase diluida y fase densa para los sistemas de transporte neumático.

Tal como se mencionó anteriormente no existe forma exacta de determinar dicho fenómeno, pero para ello existen diferentes correlaciones para determinar esta velocidad. Dentro de las más utilizadas se encuentran las correlación de Risk (1973) [5] y la correlación de Rhodes (2003)[†] siendo esta última la más practicada, pues la correlación de Risk presenta un porcentaje de error de +/- 50%.

$$V_{rup} = \left[\frac{4 * \dot{m}_g * 10^{(1440 * d_p) + 1.96} * g^{\frac{(1100 * d_p) + 2.5}{2}} * D_T^{\left(\frac{(1100 * d_p) + 2.5}{2} - 2\right)}}{\pi * \rho_f} \right]^{\frac{1}{(1100 * d_p) + 2.5 + 1}} \quad (03)$$

* PERRY R., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", McGraw-Hill, 6th edition, 1997.

† PERRY R., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", McGraw-Hill, 6th edition, 1997.

Donde:

g =aceleración de la gravedad

D_T = diámetro nominal de tubería

d_p = tamaño promedio del grano de café pergamino

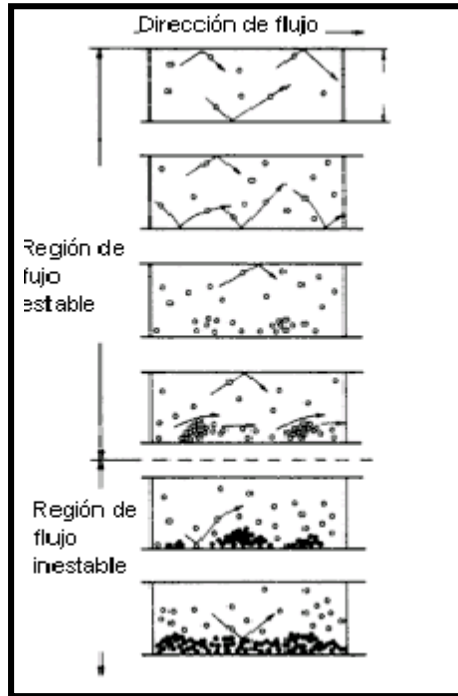
ρ_f = densidad del fluido

Con el fin de minimizar la mayor cantidad de pérdidas por fricción, abrasión y costos de operación lo más deseable es poder operar a la menor velocidad posible tanto en ductos verticales como horizontales.

Dado que experimentalmente se ha podido demostrar que en la gran mayoría de los casos la velocidad de ruptura siempre es mayor que la velocidad de bloqueo siempre y cuando se presente tramos de tuberías horizontales y verticales. Es por esta condición que se selecciona la velocidad del fluido con el fin de evitar el fenómeno de ruptura, si esto sucede también se podrá evitar el fenómeno de bloqueo.

La figura 12 presenta la evolución desde flujo altamente diluido hasta descender a transporte en fase densa con acumulación de material en la base de la tubería.

Figura 12: Patrones de flujo para transporte en tubería horizontal.



Fuente: Chemical Engineers' Handbook.

7.4 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE NEUMATICO

Los sistemas de transporte neumático se clasifican básicamente según el factor de material transportado o concentración. El parámetro relación de mezcla (másica) o concentración es el siguiente^{*}:

$$R_{sg} = \frac{m_g}{m_f} = \frac{G_g}{G_f} \quad (06)$$

Donde:

m_g , G_g = Masa o peso del sólido transportado; $kg / sg, kgf / s$

m_f , G_f = Masa o peso del flujo de aire; $kg / sg, kgf / s$

^{*} Coz, Federico. VENTILACIÓN INDUSTRIAL. Manual del Curso, PUCP, Lima, 2001.

De acuerdo a este criterio existen lo siguientes sistemas de transporte neumático:

- Sistemas de fase diluida o baja concentración

$$R_{sg} < 15$$

- Sistemas de fase densa o alta concentración

$$R_{sg} > 15$$

Una vez conocidas las siguientes relaciones, es necesario decidir qué sistema utilizar, es decir, un sistema de “fase diluida” o baja concentración o un sistema de “fase densa” o alta concentración.

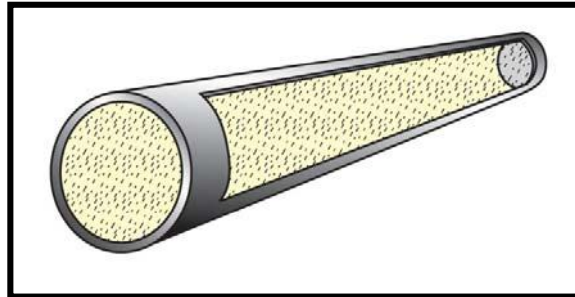
7.4.1 Transporte neumático en fase diluida. Un sistema de transporte en “fase diluida” es aquel en donde el flujo en suspensión es bombeado a través de la tubería de transporte relativamente a baja presión y altas velocidades, donde el medio de transporte es un gas, usualmente aire. El material a ser transportado es introducido a la tubería de una manera controlada permitiendo a las partículas ser llevadas en suspensión hasta el punto de destino. Como consecuencia de que las partículas viajan en suspensión, estas no interfieren entre sí, de modo que la resistencia de cada partícula puede calcularse sin mayor dificultad y además se desprecia la compresibilidad del aire* (figura 13).

Se requieren grandes volúmenes de aire; el arrastre producido mantiene el sólido en suspensión al interior de la corriente, el gasto energético es importante por la necesidad de un suministro continuo de gran cantidad de fluido. Dependiendo de las características de abrasividad del material se pueden presentar inconvenientes de desgaste excesivo en la tubería. Debido a la gran cantidad de aire disponible

* Velan. B. India. “Pneumatic Conveying System Types and Components”. POWDER. HANDLING & PROCESSING. Volume 5. No. 4. November 1993. p. 311.

para el transporte y su alta velocidad permite un flujo continuo de gran cantidad de material.

Figura 13: Transporte neumático fase diluida.



Fuente: Fase diluida. (Mactenn, 2009).

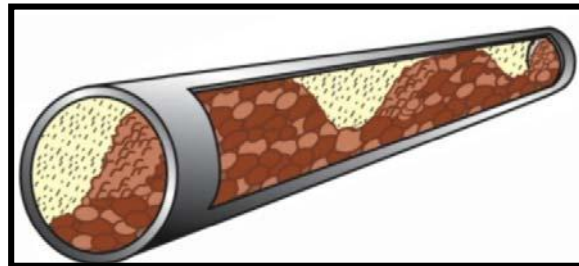
7.4.2 Transporte neumático en fase densa. Un sistema de transporte en “fase densa” es aquel en donde el material es movido dentro de la tubería de transporte hacia el punto de destino en un flujo de no-suspensión, es decir, el material avanza sobre el fondo del ducto, a modo de oleadas gracias a la alta presión del gas. Las presiones requeridas son más altas que aquellas requeridas en los sistemas de “fase diluida”. El sistema de transporte de “fase densa” es esencialmente una operación por tandas mientras que el sistema de “fase diluida” es una operación continua. Las altas presiones y la alta concentración de material involucradas en el transporte de fase densa requieren de equipos robustos y de especificación de válvulas, actuadores, etc. que deben considerarse para el ciclo natural de la operación*.

El volumen de aire requerido es bastante menor que en fase diluida, el sólido se transporta por empuje haciendo “paquetes”, para ello se requiere un menor flujo de aire pero una mayor presión. La energía requerida es menor, al igual que el desgaste en la tubería, es recomendable cuando el material transportado es

* B. Velan, India, loc. cit.

abrasivo, se pueden generar taponamientos debido a que el material crea una capa sobre la superficie inferior de la tubería, lo que restringe el flujo (figura 14).

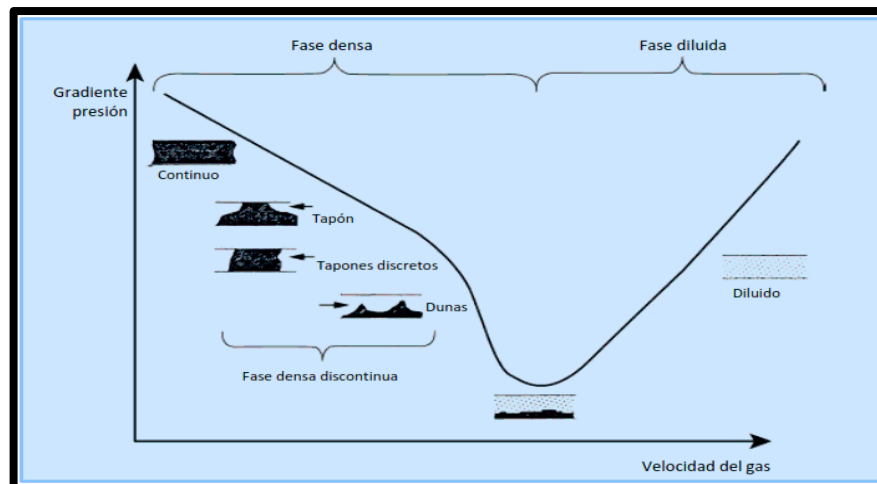
Figura 14: Transporte neumático fase densa.



Fuente: Fase densa. (Mactenn, 2009).

En la figura 15, se muestran 5 patrones para transporte horizontal dentro de la fase densa.

Figura 15: Patrones de flujo.



Fuente: Chemical Engineers' Handbook

Los sistemas de transporte neumático de "fase diluida" y "fase densa", a su vez poseen distintas variaciones, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Tipos de sistemas de transporte neumático.*.

TIPOS DE SISTEMAS DE TRANSPORTE NEUMATICO	
FLUJO EN SUSPENSION (fase diluida)	<ul style="list-style-type: none"> • Presión • Vacío • Combinación presión-vacío
FLUJO EN NO-SUSPENSIÓN (fase densa)	<ul style="list-style-type: none"> • Conector simple • Conector múltiple • Bypass de aire externo • Bypass de aire interno

7.5 CLACIFICACION DE LOS TRANSPORTADORES NEUMATICOS

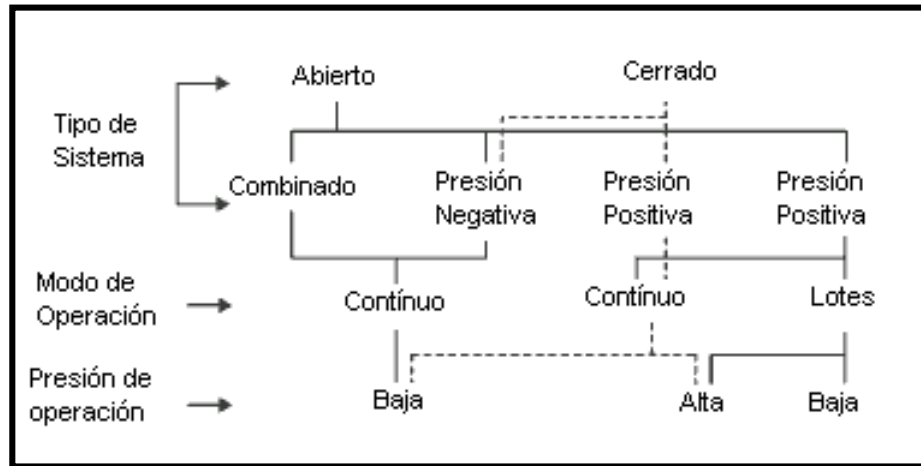
Dentro de los sistemas de flujo en suspensión existen básicamente dos tipos de transportes: a) Sistemas a presión negativa o de vacío caracterizados por una relativa baja capacidad y bajas pérdidas de presión; y b) Sistemas de presión positiva o presión, los cuales tienen una mayor capacidad y más altas pérdidas de presión. Se puede decir que el uso de estos dos sistemas depende de[†]:

- Cuando se quiere transportar desde distintos puntos hacia un solo punto, se usa un sistema de presión negativa.
- Cuando se quiere transportar desde un punto hacia distintos puntos, se usa un sistema de presión positiva.

* B. Velan, India, loc. cit.

† Fischer, John, op. cit., p. 115.

Figura 16: Sistemas de transporte disponible para transporte neumático.



Fuente: Alden, John L., loc. cit.

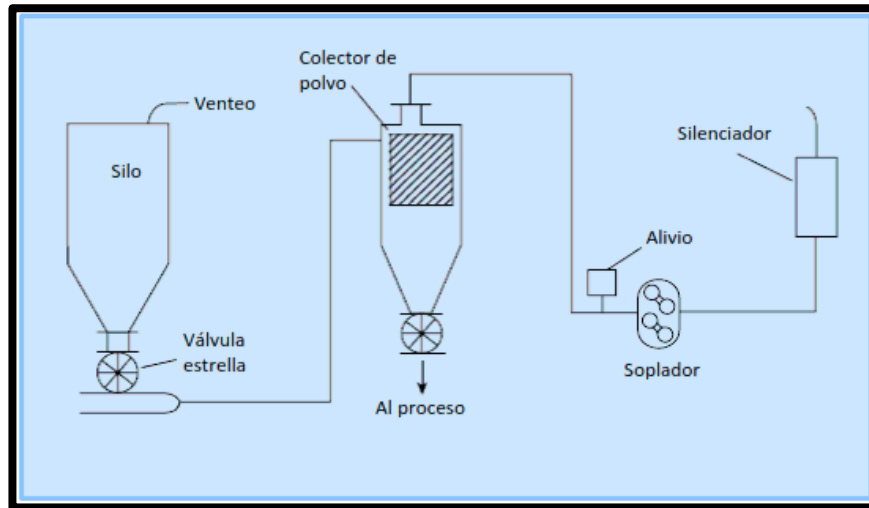
7.5.1 sistema de presión negativa o de vacío. Estos sistemas se caracterizan por una relativa baja capacidad y bajas pérdidas de presión. En un sistema negativo, la unidad de producción de vacío está situado al final del sistema, lejos del punto de inyección de material. Es necesario, en consecuencia, poner una unidad separadora o colector que separe el material del aire, entre el punto de inyección y la salida del sistema*.

Cuando se desea transportar material apilado o de depósitos abiertos como barcos, el sistema de succión es la mejor opción, también lo es cuando se realizan labores de limpieza. Debido a que el aire succionado por la unidad de potencia atraviesa el cuerpo de la misma, es importante que se realice un filtrado riguroso de la corriente de gas para evitar daños a la unidad. Se debe prestar especial atención a los siguientes detalles:

* Alden, J DESIGN OF INDUSTRIAL VENTILATION SYSTEMS. 5th Edition. Industrial Press Inc. New York. 1982 p. 186.

- 1) Cuando se transporta de forma continua, el material depositado en el recipiente de almacenamiento debe ser retirado continuamente, esto se hace generalmente mediante una válvula dosificadora en la base del mismo. Se pueden presentar problemas debido a que el aire que entra a la unidad de potencia puede ser obtenido a través de las fugas en ésta válvula y no del sitio donde se encuentra el material a transportar.
- 2) El recipiente de almacenamiento debe ser diseñado para lidiar con el vacío del sistema.
- 3) Debido a que el aire succionado por la unidad de potencia atraviesa el cuerpo de la misma, es importante que se realice un filtrado riguroso de la corriente de gas para evitar daños a la unidad.
- 4) La figura 17 representa las configuraciones más comunes para el sistema de transporte neumático por succión, el primero permite transportar desde diversos puntos a un sitio común, el segundo posee una manguera flexible que permite alcanzar lugares complicados y llevar el material hasta un separador.

Figura 17: Sistema de presión negativa.

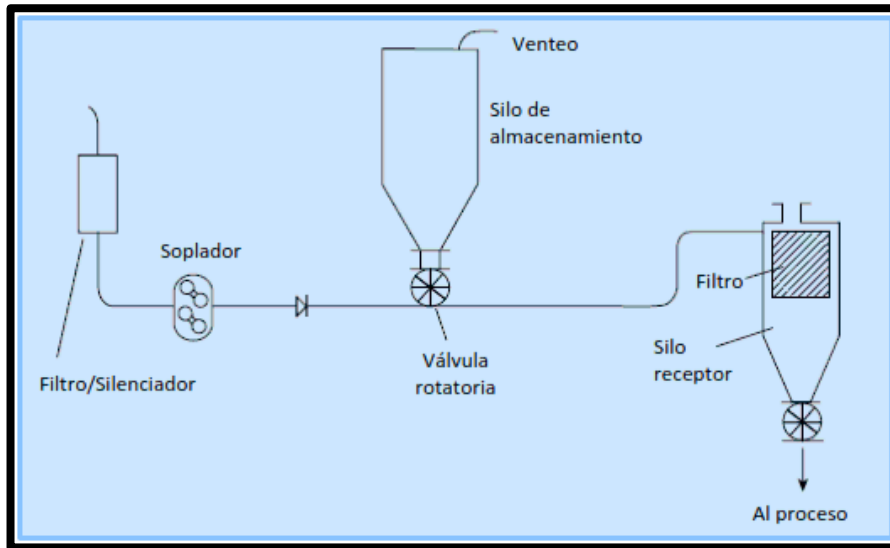


Fuente: <http://www.dynamicair.com/pdf/9906-7-es.pdf>

7.5.2 Sistema de presión positiva (Presión). Estos sistemas se caracterizan por tener mayor capacidad y mayor pérdida de presión que los sistemas de vacío. En un sistema de presión positiva, la fuente de flujo de aire está localizada a la cabecera de la línea, y el aire empuja el sólido a través del ducto de transporte. Es de suponer que existirá una presión positiva en el punto en donde ingresa el material a la línea; por lo tanto se debe usar un alimentador de alguna clase* (figura18).

* Fischer, John, op. cit., p. 115.

Figura 18: Sistema de presión positiva.



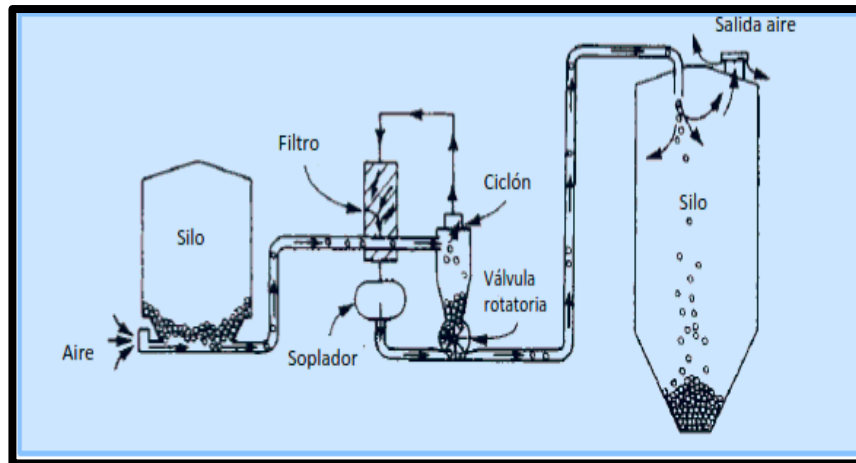
Fuente: <http://www.dynamicair.com/pdf/9906-7-es.pdf>

7.5.3 Sistema combinado Presión- Vacío. Los sistemas combinados ofrecen las ventajas de los sistemas de vacío y presión positiva; la parte en vacío del sistema remueve material de distintas tolvas, mientras que la parte presurizada alimenta las partículas hacia varias tolvas de descarga. Los sistemas combinados, aunque son ideales para muchas aplicaciones dentro de plantas industriales (figura 19), son limitados en la distancia de transporte y en el rango del flujo del producto. Este comportamiento es esperado dada las limitaciones de presión del sistema.

Pueden funcionar con una sola unidad de potencia pero en éste caso se debe tener en cuenta que la diferencia de presión total del sistema (sección de vacío + sección de presión) debe ser lograda con el mismo elemento. En el caso de que no sea posible realizar el proceso con una sola unidad, se usan dos, la primera ubicada al final de la etapa de succión y la segunda al inicio de la zona de presión se debe poseer un sistema de filtrado al final de cada etapa para evitar daños internos a la unidad propulsora y envío de material a la atmósfera. Adicionalmente, es fundamental que el tamaño de la tubería en cada etapa del proceso sea

cuidadosamente escogido debido a que las condiciones de presión y de cantidad de material (cuando se cuenta con dosificación al final de la primera etapa) pueden ser muy diferentes.

Figura 19: Sistema combinado Presión-Vacío.



Fuente: <http://www.dynamicair.com/pdf/9906-7-es.pdf>.

8. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO

Los componentes son generalmente comunes para los dos tipos de sistemas “fase diluida y fase densa” aunque los equipos utilizados en los sistemas de “fase densa” son designados para manejar altas presiones en la operación.

Los sistemas de transporte neumáticos son en general bastante simples, poseen pocas partes en movimiento y son ampliamente recomendados para transporte de granos o polvos, sus partes principales son: una fuente de gas comprimido, (generalmente aire) un elemento dosificador de material, una tubería de transporte y un elemento separador de la mezcla (sólido-fluido), también puede existir un sistema de filtrado, cuando las condiciones lo requieran. De igual forma, si el sistema lo requiere se pueden utilizar válvulas de desvío para cambiar los recorridos del material y sus respectivos sitios de carga y descarga.

8.1 SUMINISTRADORES DE ENERGIA (FUENTES DE AIRE)

8.1.1 Generalidades. El corazón del sistema de transporte neumático, es la fuente de aire. Es a menudo una de las decisiones más importantes a tomar. Se debe tener mucho cuidado con la elección de la fuente de aire adecuada cuando se realiza un diseño, debido a que por lo general éste elemento es el de mayor costo y la capacidad potencial de transporte depende directamente de éstos elementos, al igual que la mayor parte de la potencia consumida.

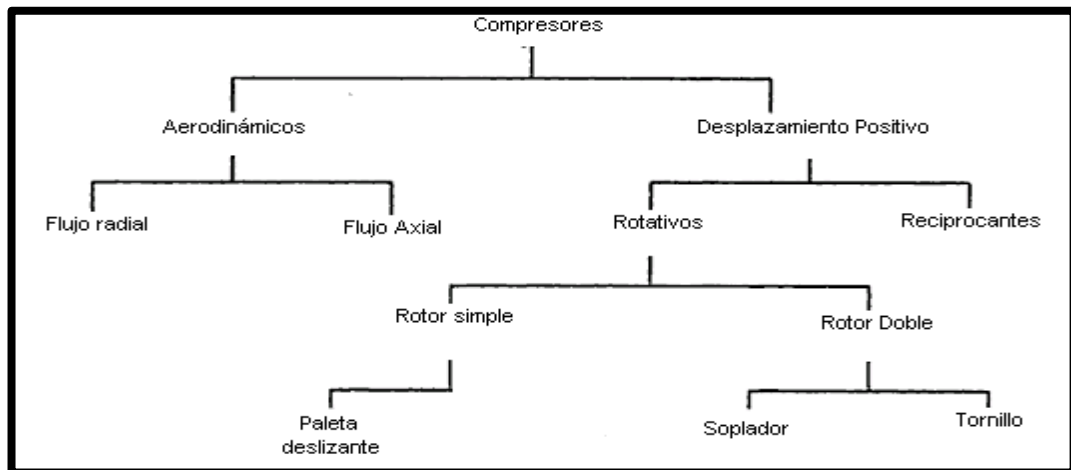
Los requerimientos de presión están fuertemente influenciados por la distancia de transporte, para largas distancias a menudo se utilizan varias unidades ubicadas a

intervalos en la tubería; de ésta forma se evita tener un solo equipo de gran tamaño y poco rentable.

Los accesorios que posee el sistema son otra fuente importante de caídas de presión. Las válvulas dosificadoras, los codos y las tuberías de diámetro reducido generan un componente importante de los requerimientos de presión que debe suplir la unidad.

Las necesidades de gas dependen fundamentalmente de la cantidad de material a transportar, el diámetro de la tubería, de la relación másica de material y fluido escogido. Un aumento en los parámetros anteriores implica mayores caudales de aire, la unidad debe ser capaz de proveer el volumen de aire requerido para el funcionamiento adecuado del sistema. Existe una gran variedad de unidades de movimiento de aire por lo que se puede satisfacer de manera adecuada cualquier necesidad (figura 20).

Figura 20: Tipos de suministradores de energía (aire).

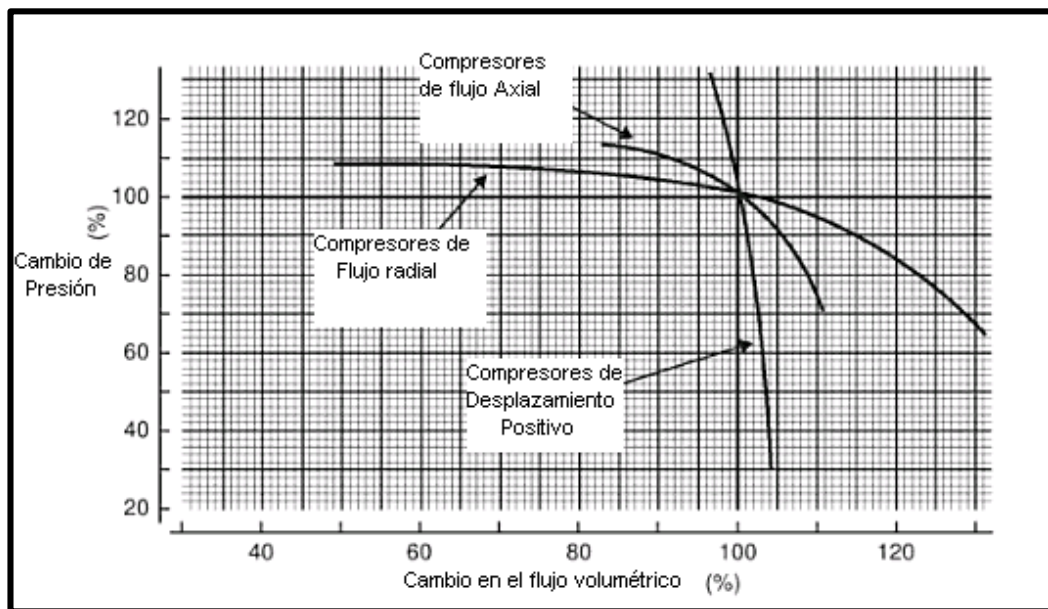


Fuente: Alden, John L., loc. Cit.

8.1.2 Tipos de elementos soplantes. Dentro de los dispositivos más comunes están: los compresores, ventiladores y sopladores:

8.1.2.1 Compresor. En el mercado existe gran variedad de éste tipo de equipos, en general permiten tener niveles medios o altos de presión y un caudal elevado de aire (una sola unidad puede generar presiones de 60 PSI o superiores y caudales de 3000 pies³/min), se utilizan en sistemas de trabajo pesado; puede presentar inconvenientes debido a que en algunos tipos el flujo es altamente pulsante y variable como se muestra en la figura 21.

Figura 21: Características de variación de presión y caudal de distintos compresores.



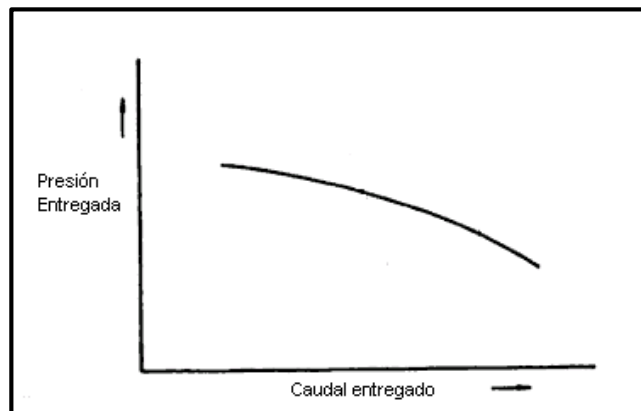
Fuente:<https://www.google.com.co/search?q=Características+de+variación+de+presión+y+caudal+de+diversos+compresores&source>.

8.1.2.2 Ventilador. Estos dispositivos generan altos caudales de fluido a baja presión, generalmente se usan en sistemas de fase diluida y de poca longitud, su uso se da en sistemas con pocas posibilidades de obstrucción de la tubería. Pueden

ser usados en sistemas mixtos de presión y vacío, especialmente con materiales ligeros y con poca adherencia.

El aumento en la rata de material transportado se puede dar, incrementando el diámetro de la tubería, pero esto implica un mayor caudal de aire requerido. Presenta la desventaja de que un aumento en la caída de presión en el sistema, ocasiona una gran variación del caudal entregado debido a los requerimientos de presión, lo anterior puede generar inconvenientes cuando se presenta acumulación de material y en consecuencia una mayor caída de presión como se muestra en la figura 22, en éste caso es probable que el flujo de aire suministrado no sea suficiente para mantener suspendido el material y se obstruya la tubería.

Figura 22: Curva característica de un ventilador.

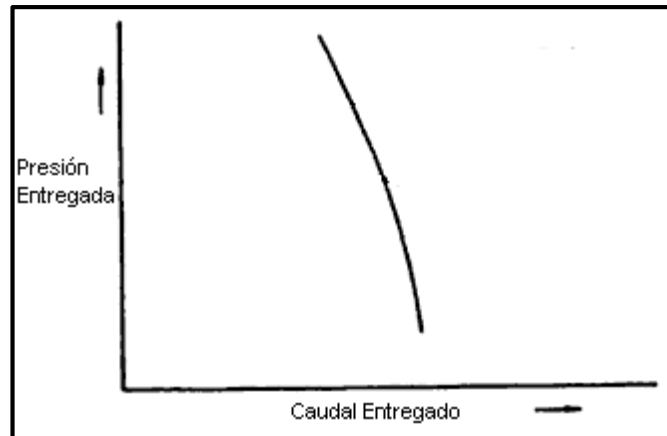


Fuente:<https://www.google.com.co/search?q=curva+caracteristica+de+un+ventilador&source>

8.1.2.3 Soplador. Estos dispositivos son usados ampliamente en sistemas con caídas de presión inferiores a 1 bar, usualmente son los equipos más utilizados en sistemas de fase diluida, ya que permiten niveles medios de caudal y presión. Pueden ser utilizados en sistemas mixtos, y su curva característica indica que tienen poca variación en el caudal entregado independientemente de los requerimientos de presión como se representa en la figura 23, esto hace que las obstrucciones en

la tubería ocasionadas por el material depositado debido a disminución en el caudal de aire son menos probables que con el uso de ventiladores.

Figura 23: Curva característica de un soplador.



Fuente:<https://www.google.com.co/search?q=curva+caracteristica+de+un+soplador&source>

8.2 SISTEMAS DE CONDUCCIÓN DE MATERIAL

8.2.1 Generalidades. Un dosificador introduce un material prácticamente estacionario a corrientes de gas a alta velocidad, ya sean presurizadas o en vacío. Es el elemento individual que más contribuye con la caída de presión del sistema, esto se debe principalmente a un intercambio de momento del fluido a las partículas junto con una gran cantidad de turbulencia en la mezcla solido-fluido en la zona de alimentación, por ésta razón deben ser cuidadosamente seleccionados buscando minimizar las pérdidas de éste tipo.

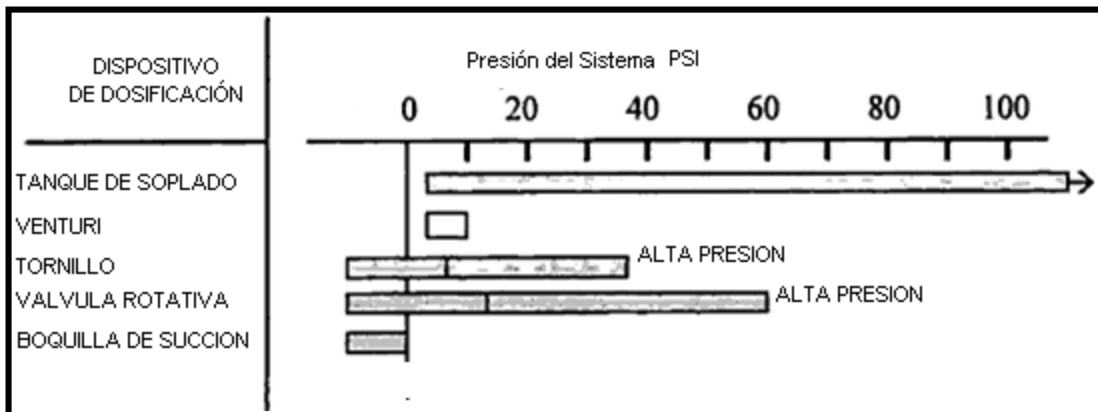
Los sistemas de dosificación de material son muy importantes porque permiten controlar la relación másica de material a transportar por un volumen determinado

de aire, de ésta forma se puede cambiar la potencia requerida por el transportador o el tipo de transporte, que puede pasar de fase densa a diluida y viceversa.

En sistemas combinados pueden funcionar como separadores entre las etapas del transportador, donde funcionan como sellos o como dosificadores para el empaque del producto transportado al final de la etapa, generalmente se ubican en la base de los separadores o de los elementos de almacenamiento de material.

Dependiendo de la presión de trabajo del sistema (figura 24), se selecciona el sistema de dosificación más conveniente como muestra la tabla 19.

Figura 24: Presión de trabajo aproximada de diversos dispositivos de dosificación.



Fuente: Alden, John L., loc. Cit.

8.3 TUBERIAS

Las tuberías para sistemas de transporte neumático son por lo general de acero y pvc. En caso que el material transportado no sea compatible con el acero, se puede usar acero inoxidable, pvc o aluminio. Las tuberías de acero inoxidable pueden ser de pared delgada para que sean más económicas (figura 25).

Los acoplamientos de las tuberías pueden ser de tipo bridas convencionales o pueden tener acoplamientos tipos abrazadera. En la industria alimentaria los acoples de fácil desmontaje son esenciales para la limpieza del lugar.

Figura 25: Tubería flexible con acoplamiento por bridas.

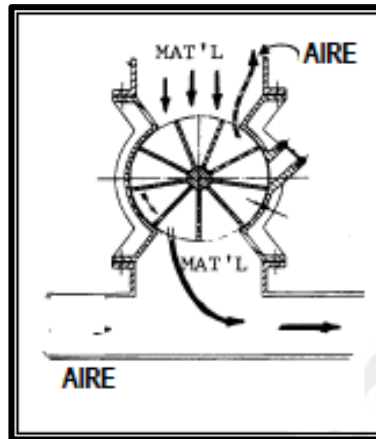


Fuente:<https://www.google.com.co/search?q=tuberia+transporte+neumatico&source>

8.4 VALVULAS ROTATIVAS

Son los sistemas más usados en los sistemas de presión positiva y negativa debido a que proveen un rango de flujo uniforme. La máxima presión de operación es usualmente 1 bar. Estas unidades permiten al material caer dentro del flujo presurizado mientras que evitan que el aire a presión escape a través de ellos ver figura 26.

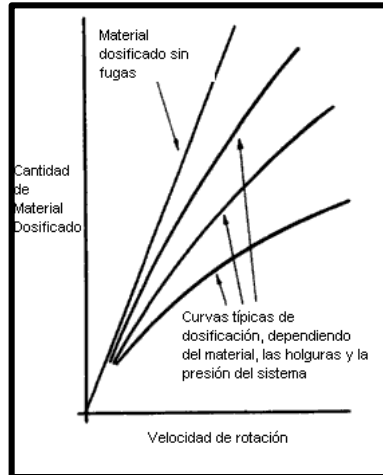
Figura 26: Válvula dosificadora.



Fuente: <https://www.google.com.co/search?q=valvulas+rotativas&source>

Con las válvulas rotativas se debe prestar atención al tiempo de llenado de los bolsillos, ya que éste puede ser bastante pequeño si se tiene en cuenta que éstos dispositivos tienen una velocidad de rotación entre 20 y 60 revoluciones por minuto, si el número de paletas es muy grande es probable que no se tenga un llenado adecuado, pues el material no tendrá tiempo de fluir ni hacia el interior ni hacia el exterior, la figura 27 muestra la relación entre la cantidad de material dosificado y las revoluciones de la válvula.

Figura 27: Relación entre cantidad de material dosificado y revoluciones de la válvula rotativa.

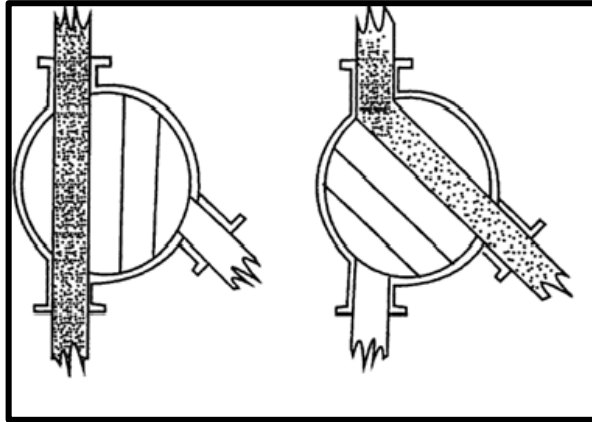


Fuente: <http://www.dspace.espol.edu.ec/>

8.5 VALVULA DE DESVIO

Las válvulas de desvío son elementos mecánicos que se encargan de cambiar la trayectoria del material transportado en la corriente de gas mediante la alineación de la tubería de entrada con diversos puertos como lo muestra la figura 28.

Figura 28: Válvula de desvío.



Fuente: <https://www.google.com.co>

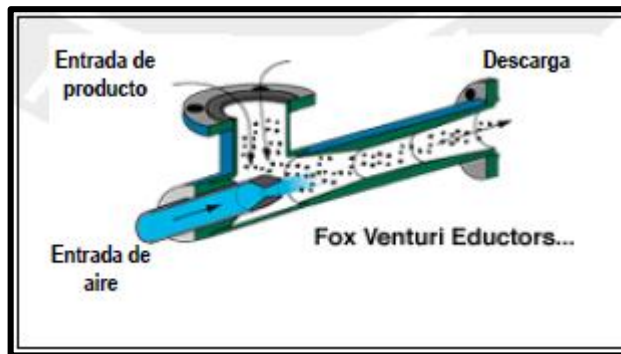
Existen múltiples configuraciones de válvulas de desvío, existen diseños con accionamiento manual o automático, normalmente con elementos neumáticos, éste tipo de válvulas permiten la carga y descarga de material desde y hacia distintos recipientes de almacenamiento.

8.6 INYECTORES DE TIPO VENTURI

Los inyectores de tipo Venturi (figura 29) son utilizados generalmente en sistema de presión positiva para crear un vacío que pueda succionar el material de la tolva de almacenamiento. Posee una caída de presión máxima en la línea de transporte de aproximadamente 0.3 bar, la cual limita la capacidad de transporte. Además, su uso está restringido a capacidades por encima de 5 ton/h, densidades a granel por encima de 700 kg/m³ y a distancias mayores a 150 m*.

* B. Velan, India, op. cit., p. 313.

Figura 29: Alimentador Tipo Venturi.



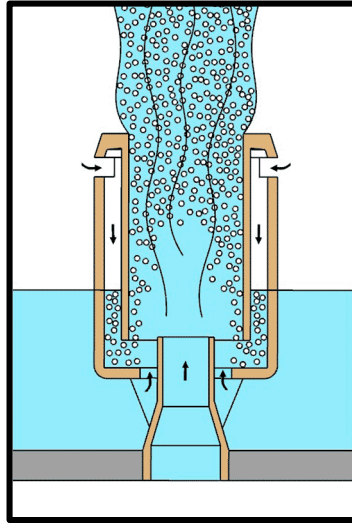
Fuente: <https://www.google.com.co/search?q=Alimentador+Tipo+Venturi>

8.7 BOQUILLA DE SUCCION

Mecánicamente es un sistema bastante simple que se usa en sistemas de vacío, consiste de 2 tubos concéntricos, el interno está conectado directamente a la línea de transporte, el externo de un diámetro poco mayor posee la parte inferior abierta y la parte superior cubierta pero con perforaciones que permiten el paso de aire hacia el tubo interno. Mediante el deslizamiento del elemento externo sobre el interno se modifica la forma y la cantidad de material que es transportado.

Debido al suministro de aire a través del espacio entre los tubos se evita el atascamiento de material en la punta de la boquilla, es muy útil en labores de limpieza debido a que permite una gran versatilidad, sobre todo si se monta el tubo externo sobre una tubería flexible (figura 30).

Figura 30: Boquilla de succión.



Fuente: <https://www.google.com.co/search?q=boquillas+de+succion&source>

9. SEPARADORES CENTRIFUGOS O CICLONES

Los ciclones son equipos mecánicos estacionarios, ampliamente utilizados en la industria, que permiten la separación de partículas de un sólido o de un líquido que se encuentran suspendidos en un gas portador, mediante la fuerza centrífuga. En tanto, los hidrociclones son equipos que permiten la separación de líquidos de distintas densidades, o de sólidos de líquidos*.

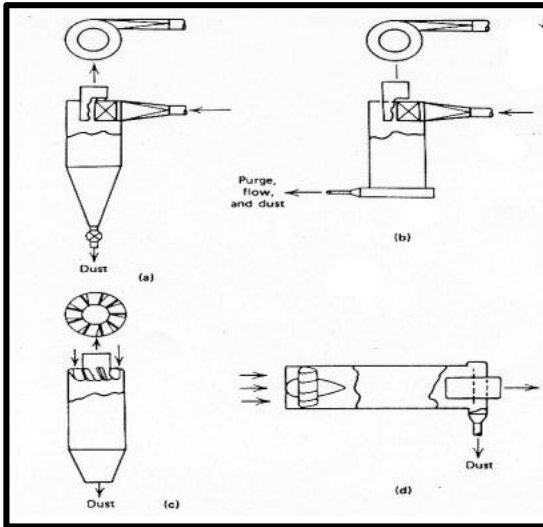
Los ciclones son equipos muy sencillos, que al no poseer partes móviles son de fácil mantenimiento. Tienen la desventaja de ser poco versátiles, ya que no se adaptan a cambios de las condiciones de operación, por lo cual son poco flexibles a los cambios de concentración de polvos, caudal de gas y distribución de tamaños de partículas.

El principio de funcionamiento de un ciclón se basa en la separación de las partículas mediante la fuerza centrífuga (del orden de cientos de g), lo que lo hace más efectivo que las cámaras de sedimentación, además ocupan un espacio mucho menor que éstas.

La figura 31 representa algunos de los diferentes ciclones conocidos a nivel comercial.

* <http://www.ing.unlp.edu.ar/dquimica/paginas/catedras/iofq809/apuntes/Ciclones.pdf>

Figura 31: Distintos tipos de ciclones.



Fuente: file:/Dialnet/InfluenciaDeLaLongitudDelConoDeUnCiclónSobreLasVar-4051836.pdf.

- (a)- entrada tangencial y descarga axial (Figura 1.a).
- (b)- entrada tangencial y descarga periférica (figura 1 b).
- (c)- entrada y descarga axiales (figura 1.c).
- (d)- entrada axial y descarga periférica (figura 1.d).

Los ciclones de entrada de gas axial funcionan de manera similar que los de entrada tangencial, solo que en la entrada del gas (entrada anular) tienen dispuestos unos álabes fijos que le imprimen el movimiento en espiral al gas sucio que entra al ciclón. Los ciclones axiales tienen diámetros menores que los tangenciales (25 a 305 mm), debido a esto tienen alta eficiencia, pero baja capacidad.

Los ciclones de entrada tangencial y descarga axial representan el ciclón tradicional y, aunque se pueden construir con diámetros más grandes, lo más frecuente es que éstos se encuentren entre los 600 y los 915 mm. En los ciclones con entrada tangencial y descarga periférica, el gas sufre un retroceso en el interior del equipo

al igual que ocurre en un ciclón convencional. Sin embargo, presenta el inconveniente de que el polvo no es eliminado en su totalidad de la corriente gaseosa, aunque sí se produce una concentración del mismo.

En los ciclones con entrada y descarga axial la diferencia fundamental se encuentra en que los diámetros son de menores dimensiones (entre 25 y 305 mm), con lo que gracias a esta característica su eficiencia es mayor aunque su capacidad es menor. Por otra parte, los ciclones de entrada axial y salida periférica proporcionan un flujo directo que es muy adecuado para conectarlos a fuentes de gran volumen, donde los cambios en la dirección del gas podrían ser un inconveniente*.

El principio de funcionamiento tanto de los ciclones axiales como los tangenciales es el mismo.

9.1 GENERALIDADES

Las partes principales son: la entrada de gas sucio, conectada tangencialmente en la parte superior del cuerpo cilíndrico o barril del ciclón, las cuales se pueden apreciar en la figura 32.

El barril cumple la función de imprimir al gas un movimiento en espiral descendente. Conectado al barril hay un cono invertido que cumple la función de conducir el polvo separado hacia el tubo de descarga, de longitud variable, también denominado cola o pierna del ciclón.

En la base del cono invertido se produce la inversión del flujo de gas debido a que la aceleración centrífuga va disminuyendo proporcionalmente con la conicidad, de modo que el gas comienza allí una espiral en forma ascendente, concéntrica a la

* <http://www.ing.unlp.edu.ar/dquimica/paginas/catedras/iofq809/apuntes/Ciclones.pdf>

espiral descendente, saliendo el gas limpio por el conducto superior de salida. Los polvos separados son descargados en la pierna del ciclón. En la cola del ciclón puede existir o no una válvula de chanela que se abre solamente por el peso de los sólidos acumulados en la pierna del ciclón, produciendo de esta manera la descarga de los polvos.

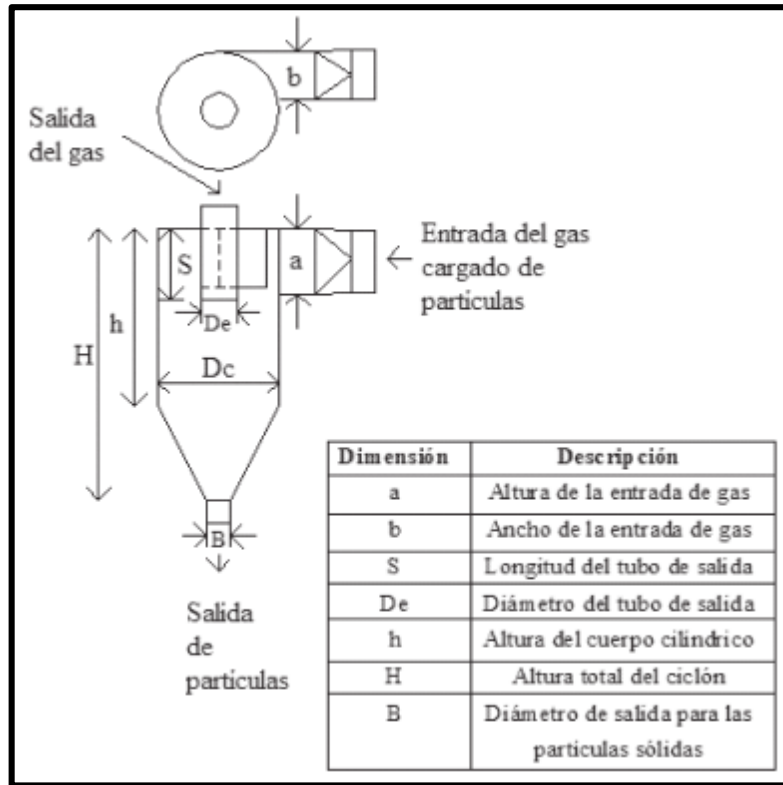
Los ciclones pueden operar a altas temperaturas. La temperatura máxima depende del material de construcción del ciclón. Para ciclones construidos en acero al carbono la máxima temperatura de operación es de 800 °C*. En cuanto a la presión, lo importante es la diferencia de presión a la cual está sometido el ciclón. Si es un ciclón interno, por ejemplo en un lecho fluidizado que opera a altas presiones, la diferencia de presión interna y externa del ciclón es nula, por lo cual no deben tenerse consideraciones de resistencia en su diseño.

En cambio si se trata de un ciclón es externo que procesa gas sucio a alta presión, tendrá una presión interna mucho mayor que la externa, lo cual deberá tenerse en cuenta en el diseño del mismo.

La fricción de las partículas sólidas erosionan severamente las paredes interiores del ciclón. Para disminuir el deterioro del mismo suele colocarse mallas del tipo hexagonal que se recubren con cemento.

* <http://www.ing.unlp.edu.ar/dquimica/paginas/catedras/iofq809/apuntes/Ciclones.pdf>

Figura 32: Parámetros geométricos del separador ciclónico standard.



Fuente: file:/Dialnet/InfluenciaDeLaLongitudDelConoDeUnCiclónSobreLasVar-4051836.pdf.

9.2 TIPOS DE SEPARADORES CICLÓNICOS

Los ciclones se clasifican básicamente en 3 grandes familias o tipos los cuales tienen características definidas; ciclones de alta eficiencia, ciclones de alta capacidad y ciclones convencionales, todos ellos presentan similitudes en cada uno de los parámetros que determinan su forma geométrica. Figura 32.

En la tabla 3 se presentan los valores de eficiencia de separación estándar es decir partículas de un tamaño superior a 10 micrómetros, para partículas de 10 micrómetros y de 2,5 micrómetros para cada familia.

Tabla 3: Eficiencia de remoción de los distintos ciclones.

Familia de ciclones	Eficiencia de remoción (%)		
	PST	PM10	PM2.5
Convencionales	70 - 90	30 - 90	0 - 40
Alta eficiencia	80 - 99	60 - 95	20 - 70
Alta capacidad	80 - 99	10 - 40	0 - 10

Fuente: file:/Dialnet/InfluenciaDeLaLongitudDelConoDeUnCiclónSobreLasVar-4051836.pdf.

9.2.1 Ciclones convencionales. Este tipo de ciclones se encuentran en una gran cantidad de tamaños, la entrada al equipo puede ser rectangular o circular. Sirven para la separación de partículas más grandes, la caída de presión no es tan elevada y en general poseen una buena eficiencia de separación para la mayoría de las aplicaciones.

Las tablas 4, 5 y 6 presentan un resumen de las características de las principales familias de ciclones de entrada tangencial.

Tabla 4: Características de los ciclones convencionales.

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón			
		Lapple	Swift	Peterson-Whitby	Zenz
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.5	0.583	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.25	0.25	0.208	0.25
Altura de salida	S/Dc	0.625	0.6	0.583	0.75
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.5	0.5	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	2.0	1.75	1.333	2.0
Altura parte cónica	z/Dc	2.0	2.0	1.837	2.0
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.75	3.17	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.25	0.4	0.5	0.25
Factor de configuración	G	402.88	381.79	342.29	425.41
Número cabezas de velocidad	NH	8.0	8.0	7.76	8.0
Número de vórtices	N	6.0	5.5	3.9	6.0

Fuente: file:/Dialnet/InfluenciaDeLaLongitudDelConoDeUnCiclónSobreLasVar-4051836.pdf.

9.2.2 Ciclones de alta eficiencia. Los ciclones de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales. Los ciclones de alta eficiencia pueden remover partículas de 5 μm con eficiencias hasta del 90%, pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes. Este tipo de ciclones tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de mayores costos de energía para mover el gas sucio a través del ciclón. Por lo general, el diseño del ciclón está determinado por una limitación especificada de caída de presión, en lugar de cumplir con alguna eficiencia de control especificada.

Tabla 5: Características de los ciclones de alta eficiencia.

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón		
		Stairmand	Swift	Echeverri
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.44	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.2	0.21	0.2
Altura de salida	S/Dc	0.5	0.5	0.625
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.4	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.5	1.4	1.5
Altura parte cónica	z/Dc	2.5	2.5	2.5
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.9	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.375	0.4	0.375
Factor de configuración	G	551.22	698.65	585.71
Número cabezas de velocidad	NH	6.4	9.24	6.4
Número de vórtices	N	5.5	6.0	5.5

Fuente: file:/Dialnet/InfluenciaDeLaLongitudDelConoDeUnCiclónSobreLasVar-4051836.pdf.

9.2.3 Ciclones de alta capacidad. Los ciclones de alta capacidad están diseñados para partículas de más de 20 micrómetros aunque en cierto grado ocurra la colección de partículas más pequeñas. Se ha reportado que los multiciclones han alcanzado eficiencias de recolección de 80 a 95 % para partículas de 5 μm .

Tabla 6: Características de los ciclones de alta capacidad.

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón	
		Stairmand	Swift
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.75	0.8
Ancho de entrada	b/Dc	0.375	0.35
Altura de salida	S/Dc	0.875	0.85
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.75	0.75
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.5	1.7
Altura parte cónica	z/Dc	2.5	2.0
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.7
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.375	0.4
Factor de configuración	G	29.79	30.48
Número cabezas de velocidad	NH	8.0	7.96
Número de vórtices	N	3.7	3.4

Fuente file:/Dialnet/InfluenciaDeLaLongitudDelConoDeUnCiclónSobreLasVar-4051836.pdf.

10. FUNDAMENTO TEORICO

Debido a la cantidad de variables involucradas para el cálculo de las diferentes caídas de presión en los sistemas de transporte neumático, se deben realizar diversas iteraciones matemáticas, por lo que se hace necesario la utilización de métodos matemáticos que faciliten estos cálculos, para el caso de este proyecto se utilizara el método Runge-Kutta.

10.1 METODO RUNGE-KUTTA

Uno de los métodos más utilizados para resolver numéricamente problemas de ecuaciones diferenciales ordinarias con condiciones iniciales es el método de Runge-Kutta* de cuarto orden, el cual proporciona un pequeño margen de error con respecto a la solución real del problema y es fácilmente programable en un software para realizar las iteraciones necesarias. Es conveniente utilizar el método Runge-Kutta de cuarto orden, ya que para el cálculo de sistemas de transporte neumático se hace necesario hacer cálculos repetitivos con el propósito de encontrar las mejores condiciones de funcionamiento de los distintos componentes del sistema.

El método de Runge-Kutta se utiliza para resolver ecuaciones diferenciales de la forma explícita:

$$\begin{cases} \frac{dy(x)}{dx} = f(x,y) \\ y(x_0) = y_0 \end{cases}$$

* http://fisica.udea.edu.co/~lab-gicm/Curso%20de%20Instrumentacion/2011_RungeKutta.pdf

O en su forma implícita:

$$f(x, y, \frac{dy}{dx}) = 0 \quad \text{con} \quad y(x_0) = y_0$$

$$f(x, y, \frac{dy}{dx}) = 0 \quad \text{con} \quad y(x_0) = y_0$$

10.2 NUMERO DE MACH

En la mecánica de fluidos, el número de Mach (M)^{*} es una cantidad adimensional siendo este uno de los parámetros más importantes de los flujos unidimensionales que se presentan en el análisis de flujo compresible, el número de Mach, M , es la relación de la velocidad local del flujo a la velocidad local del sonido dentro del fluido, o sea $M = \frac{V_f}{C}$, donde v_f es la velocidad local, y C la velocidad del sonido. El número de Mach es una de las medidas de la importancia que tienen en un flujo determinado, los efectos de la compresibilidad^{†[7]}.

10.2.1 Regímenes de flujo según M. Teniendo como base el número de Mach se definen generalmente cinco regímenes de flujo, en la siguiente forma:

10.2.2 Régimen incompresible. El número de Mach es pequeño en comparación con la unidad (aproximadamente 0.2 en un gas perfecto). En esta clasificación, los efectos de compresibilidad se consideran, generalmente insignificantes.

^{*} <http://es.scribd.com/doc/105247685/Numero-de-Mach>

[†] MUNSON Young. Fundamentos de Mecánica de fluidos. Universidad Estatal de Iowa. 4 ed.

10.2.3 Régimen subsónico. El número de Mach es inferior a la unidad, pero tiene una magnitud suficiente para quedar fuera de la clasificación del régimen de un flujo incompresible.

10.2.4 Régimen transónico. El número de Mach es muy cercano a uno, es decir varía de valores ligeramente menores a la unidad y escasamente superiores a ella.

10.2.5 Régimen supersónico. Es donde el número de Mach es superior a la unidad.

10.2.6 Régimen hipersónico. Es cuando el número de Mach es muy superior a la unidad.

Lo que se pretende con el cálculo del número de Mach, es determinar si el fluido (aire) utilizado, tiene un comportamiento compresible o incompresible.

11. CALCULO Y DISEÑO DE LOS COMPONENTES PARA EL SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO

Para el cálculo y diseño de este sistema de transporte neumático para grano de café pergamino se realizó una minuciosa investigación al interior de una finca cafetera en el municipio de Simacota Santander en la cual se tomaron 100 frutos de café pergamino seco de cada 11 sacos de café y posteriormente se determinaron densidades promedio, tamaño promedio del grano. Estos datos fueron comparados con investigaciones realizadas por entidades como CENICAFE (centro nacional de investigación del café)^{[2] [3]}, La Universidad Nacional de Colombia con sede en Medellín.

Este proceso de corroborar información permitió establecer que los datos obtenidos de la investigación realizada por los autores son aproximadamente similares a los obtenidos por las instituciones anteriormente citados (ANEXO B). De dicha investigación se obtuvo:

- Densidad promedio del grano de café pergamino basada en el contenido de humedad en base seca[†].

$$\rho_g = 365.884 + (2.707 * \%CH)$$

Donde:

%CH representa el contenido de humedad en base seca (bs).

$$\%CH = 5.21 \text{ b.s}$$

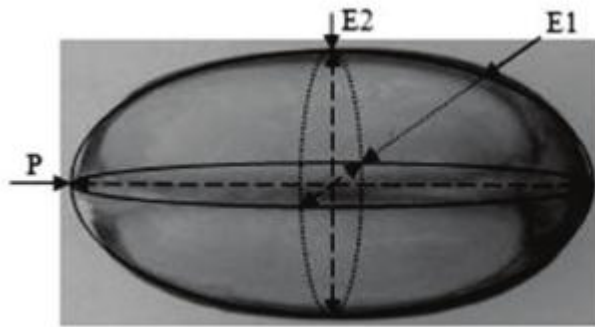
$$\rho_g = 380 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

* Oliveros. Carlos. Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del fruto de café. 2012.

† Oliveros. Carlos. Beneficio ecológico del café. 1999. Pg. 205.

- Tamaño promedio de un grano de café pergamino definido por las dimensiones ortogonales (figura 33) para las diferentes muestras realizadas (ANEXO B).

Figura 33: Dimensiones ortogonales de un grano de café pergamino.



Fuente: Evaluación de propiedades físicas y mecánicas del fruto de café. CENICAFE.

$$d_p = (E_1 * E_2 * P)^{\frac{1}{3}} \quad (07)$$

$$d_p = 9530 \text{ micrometros}$$

- Coeficiente de fricción del grano de café* con respecto a otro material (ANEXO B)
 - Poli cloruro de vinilo (PVC) $\lambda = 0.31$
 - Metal (lamina de acero) $\lambda = 0.56$
- Velocidad terminal de un grano de café pergamino (velocidad mínima a la cual un grano de café pergamino empieza a ser arrastrado establemente por un fluido)

* Oliveros. Carlos. Coeficientes de fricción ángulos de reposo de granos de café. CENICAFE.1985

$$V_t = 9.702 \frac{m}{s}$$

- Velocidad recomendada de transporte se determina considerando un factor de seguridad de 1.8 veces la velocidad terminal del grano de café, con ello se garantizara que esta velocidad de fluido impulsara al grano de café en forma cómoda, sin generar bloqueos o movimientos bruscos del grano.

$$V_{fr} = 1.8 * 9.702 \frac{m}{s} = 17.464 \frac{m}{s}$$

11.1 REQUERIMIENTOS INICIALES DE DISEÑO

- $\dot{M}g = 2000 \frac{kg}{h}$ (capacidad de transporte de café pergamino)
- $L_h = 4m$ (longitud tramo tubería horizontal)
- $L_v = 2m$ (longitud tramo tubería vertical)

La densidad del fluido (aire) se determina dependiendo las condiciones atmosféricas que se presenten en el lugar donde se desea implementar el equipo para transporte neumático. Dado este parámetro se estipulan las condiciones atmosféricas de Bucaramanga:

$$\rho_f = \frac{P}{RT}$$

Donde:

- $P = 90.65 \text{ KPa}$ (presión ambiente de Bucaramanga)*

* Puerto Efrain. Diseño e ingeniería de ventilación y climatización. Presión atmosférica de capitales colombianas. <https://efrainpuerto.wordpress.com>.

- $R = 0.2871 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{K}$ (constante específica del fluido)
- $T = 22 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($295.15 \text{ } ^\circ\text{K}$)

$$\rho_f = \frac{P}{RT} = 1.068 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

11.1.1 Cálculo de velocidades de bloqueo. De las ecuaciones (01) y (02) respectivamente:

$$\frac{V_{bloq}}{\varepsilon_b} - V_{bloq} = \frac{G_s}{\rho_g(1 - \varepsilon_b)}$$

$$\rho_f^{0.77} = \frac{2250 * D_T * (\varepsilon_b^{-4.7} - 1)}{\left(\frac{V_{bloq}}{\varepsilon_b} - V_T\right)^2}$$

Donde:

V_{bloq} = velocidad de bloqueo (m/s)

ε_b = porosidad de mezcla a velocidad de bloqueo

ρ_g = densidad del material sólido

$G_s = \frac{\dot{m}_g}{A}$ Flujo de material sólido por unidad de área

ρ_f = densidad del fluido de transporte

D_T = diámetro nominal de tubería

$$G_s = \frac{4 * 0.55}{\pi * 0.0762^2} = 120.60 \frac{\text{Kg}}{\text{s} * \text{m}^2}$$

$$\frac{V_{bloq}}{\varepsilon_b} - V_{bloq} = \frac{120.6}{380(1 - \varepsilon_b)}$$

$$1.068^{0.77} = \frac{2250 * 0.0762 * (\varepsilon_b^{-4.7} - 1)}{\frac{V_{bloq}}{\varepsilon_b} - V_{bloq}}$$

Se presenta un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas el cual al ser desarrollado simultáneamente se obtiene.

- $\varepsilon_b = 0.9498$
- $V_{bloq} = 15.22 \frac{m}{s}$

11.1.2 Cálculo de velocidad de ruptura. De la ecuación (03), (04), (05) respectivamente:

$$V_{rup} = \left[\frac{4 * \dot{m}_g * 10^{(1440 * d_p) + 1.96} * g^{\frac{(1100 * d_p) + 2.5}{2}} * D_T^{\left(\frac{(1100 * d_p) + 2.5}{2} - 2\right)}}{\pi * \rho_f} \right]^{\frac{1}{(1100 * d_p) + 2.5 + 1}}$$

Donde:

g = aceleración de la gravedad

D_T = diámetro de tubería

d_p = tamaño promedio del grano de café pergamino

ρ_f = densidad del fluido

\dot{m}_g = flujo másico de grano de café pergamino

$$V_{rup} = \left[\frac{4 * 0.55 * 10^{15.68} * 9.81^{6.5} * 0.0762^{(6.5-2)}}{\pi * 1.23} \right]^{\frac{1}{(2*6.5)+1}} = 16.03 \frac{m}{s}$$

A partir de los resultados obtenidos se puede comprobar que para transporte neumático con tramos verticales y horizontales combinados, la velocidad de ruptura es siempre mayor que la velocidad de bloqueo*, dado que en tramos horizontales de tubería para transporte de material, es más probable que se formen acumulamientos sobre la superficie de la tubería, caso que no sucede en los tramos verticales. Por lo tanto se debe seleccionar la velocidad del fluido de transporte con el fin de evitar la ruptura es decir velocidades por encima de este valor garantizaran que no se formen taponamientos en cualquier tramo de tubería

11.2 DISEÑO Y SELECCION DE CICLON

En el proceso de selección y diseño de un equipo ciclónico se debe tener presente que existen criterios específicos que permiten realizar una separación adecuada de partículas con respecto de otras sustancias presentes en el medio de transporte. Dentro de estos criterios principalmente se cuenta con determinar: el tamaño de la partícula a ser transportada y la velocidad del fluido de transporte (aire) en el conducto de entrada del ciclón.

Se selecciona un ciclón que permita separar de manera uniforme los granos de café del aire que lleva partículas indeseadas. Por tal motivo la gama de ciclones convencionales permite suplir tal demanda, dentro de esta gama de ciclones se selecciona un ciclón de entrada tangencial y salida axial tipo Zenz. La entrada

* PERRY R., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", McGraw-Hill, 6th edition, 1997.

tangencial permitirá que al ingresar el grano a determinada velocidad no se vea afectado por grandes impactos contra la pared del ciclón, esto es debido al principio de impactación inercial generado por las fuerzas centrífugas, además de permitir una mejor distribución y circulación del grano. Se adopta una salida axial para cumplir con las demás especificaciones de diseño del sistema.

Los fabricantes de ciclones del tipo entrada tangencial realizan sus diseños basados en una serie de parámetros preestablecidos, los cuales se aprecian en la tabla 7. Del cual V_s representa la velocidad de ruptura (V_{rup}) determinada anteriormente.

Tabla 7: Parámetros de diseño para ciclones de entrada tangencial.

Parámetro	Valor
Diámetro del ciclón (D_c)	< 1.0 m
Caída de presión (ΔP)	< 2,488.16 Pa
Relación de velocidades (V_i/V_s)	< 1.35
Velocidad de entrada (V_i)	15.2 – 27.4 m/s

Fuente: file:/Dialnet/InfluenciaDeLaLongitudDelConoDeUnCiclónSobreLasVar-4051836.pdf.

Las relaciones másicas entre el grano de café y el fluido de transporte dentro de un ciclón se consideran asumiendo un comportamiento del sistema dentro de un límite entre fase diluida y fase densa, esto se realiza para proveer un flujo constante de grano de café. Por tal motivo se recomienda utilizar una relación másica ($\mu = 10$) solo para el diseño del ciclón, la cual representa el límite entre fase densa y diluida respectivamente*. Posteriormente para el análisis de los demás componentes del sistema se podrá apreciar que esta relación másica se determina a partir de datos conocidos.

* GONZALES Pedro. Sistema de transporte neumático para quinua. Perú. Universidad Católica. 2005

Para el dimensionamiento del ciclón, primero se debe establecer los siguientes parámetros iniciales:

1. Caudal de fluido de transporte a la entrada del ciclón (Q_f)
2. Área del ducto de entrada del ciclón (A_{dec})
3. Geometría del ciclón (figura 34)

De los parámetros anteriores:

1. Flujo másico y Caudal de fluido

$$\dot{M}_f = \frac{\dot{M}g}{\mu} = \frac{2000}{10} = 200 \frac{kg}{h}$$

$$Q_f = \frac{\dot{M}_f}{\rho_f} = \frac{200}{1,068} = 187.26 \frac{m^3}{h} = 0,052 \frac{m^3}{s}$$

Donde:

$$\dot{M}g = \text{flujo másico de café } \frac{kg}{h}$$

$$\dot{M}_f = \text{flujo másico de aire } \frac{kg}{h}$$

μ = relación másica café y aire

ρ_f = densidad del aire

Q_f = caudal de aire

2. Área ducto de entrada ciclón

$$A_{dec} = \frac{Q_f}{V_{fec}} = \frac{0.052}{17.464} = 0,0029 m^2$$

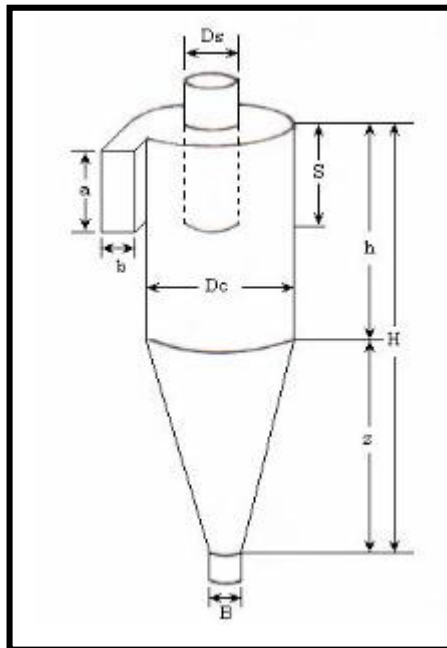
Donde:

V_{fec} = velocidad de fluido de transporte a la entrada del ciclón igual a la velocidad recomendada de transporte.

3. Geometría del ciclón

Mediante las relaciones matemáticas las cuales han sido desarrolladas a partir de procesos investigativos* por parte de industrias dedicadas al transporte y separación de materiales granulados para alimentos, químicos entre otros, se pueden apreciar en la tabla 8.

Figura 34: Geometría de un ciclón.



D_c = Diámetro ciclón

a = Altura de entrada

b = Ancho de entrada

s = Altura salida

D_s = Diámetro salida

h = Altura parte cilíndrica

z = Altura parte cónica

H = Altura total del ciclón

B = Diámetro salida de granos de café

G = Factor de configuración

NH = Número de cabezas de velocidad

N = Numero de vórtices

* Martínez Benet. Cálculo y diseño de ciclones en ingeniería química. Madrid. 1989

Tabla 8: Correlaciones de geometría basadas en la tabla 4 ciclones tipo Zens.

$a = 0.5 * D_c$	$b = 0.25 * D_c$	$A_{dec} = a * b$	$S = 0.75 * D_c$
$D_s = 0.5 * D_c$	$h = 2.0 * D_c$	$z = 2.0 * D_c$	$H = 4.0 * D_c$
$B = 0.25 * D_c$	$G = 425.41$	$NH = 8.0$	$N = 6.0$

Se obtienen los siguientes resultados a partir de las condiciones de diseño.

Tabla 9: Geometría obtenida para transporte de 2 ton/h.

$D_c = 0.1442$	$a = 0.07212$	$b = 0.036$	$A_{dec} = 0.0029$
$S = 0.108$	$D_s = 0.072$	$h = 0.29$	$z = 0.29$
$H = 0.580$	$B = 0.036$	$G = 425.41$	$NH = 8.0$ $N = 6.0$

*unidades en metros

Analizando la tabla 9, se concluye que el diámetro del ciclón (D_c) tiene dimensiones muy pequeñas en relación con el servicio que tiene que prestar este equipo para transportar $2\text{Ton}/h$. Por tal razón y siguiendo recomendaciones de diseñadores y fabricantes de equipos ciclónicos de tipo industrial consistentes en:

- Como el flujo másico a transportar es relativamente pequeño en comparación con los flujos másicos generalmente transportados ($10\text{Ton}/h$ en adelante). Se debe asumir un flujo másico mínimo relacionado con las recomendaciones, para obtener un dimensionamiento del ciclón centrado a la realidad del propósito operativo. Por tal motivo y exclusivamente solo para el dimensionamiento de este equipo ciclónico se asumirá un flujo másico de ingreso al ciclón de $10\text{Ton}/h$.

11.3 DIMENSIONAMIENTO PARA NUEVAS CONDICIONES

1. Flujo másico y caudal de fluido

$$\dot{M}_f = \frac{\dot{M}g}{\mu} = \frac{10000}{10} = 1000 \frac{kg}{h}$$

$$Q_f = \frac{\dot{M}_f}{\rho_f} = \frac{1000}{1.068} = 936.3 \frac{m^3}{h} = 0.26 \frac{m^3}{s}$$

2. Área de ducto de entrada ciclón

$$A_{dec} = \frac{Q_f}{V_{fec}} = \frac{0.226}{17.464} = 0.0148 m^2$$

Una vez más haciendo uso de las ecuaciones presentadas en la tabla 7 se obtiene las nuevas dimensiones para un ciclón (ver tabla 9) para las condiciones establecidas anteriormente:

Tabla 10: Geometría obtenida para transporte de 10 ton/h.

$D_c = 0.32$	$a = 0.16$	$b = 0.080$	$A_{dec} = 0.013$
$S = 0.24$	$D_s = 0.16$	$h = 0.64$	$z = 0.64$
$H = 1.20$	$B = 0.15$	$G = 425.41$	$NH = 8.0 \quad N = 6.0$

*unidades en metros

Una vez determinada la geometría del ciclón seleccionado se debe comprobar si existen o no condiciones de resuspensión (relación de velocidades), esto consiste en el comportamiento de aquel material que continua flotando y filtrándose por la sección de salida de solo aire en lugar de depositarse en el fondo una vez ha ingresado al ciclón, lo cual incurre en fallas de diseño, construcción y funcionamiento. Para ello se recurre a la relación expuesta en la tabla 7 para relaciones de velocidades donde se asume un valor de entrada de velocidad

conservador que se encuentre entre 15.2 m/s y 27.4 m/s y que sea cercano a la velocidad recomendada de transporte para el grano de café pergamino que en este caso es 17.46 m/s para ello se toma un valor de 2.4 m/s adicionales a la velocidad recomendada de transporte. Por tal motivo la velocidad recomendada en etapa de succión es:

$$V_{rec.succ} = 20 \frac{m}{s}$$

$$Re_{suspension} = \frac{V_{rec.succ}}{V_{rup}}$$

$$Re_{suspension} = \frac{20}{16.03} = 1.248 < 1.35$$

Este valor de resuspensión permite comprobar las condiciones expuestas en la tabla 7. Comprobando una vez más que la selección del ciclón es la adecuada. Se debe determinar las pérdidas de presión inherentes para el ciclón mediante la ecuación de perdidas (08)*.

$$\Delta P_c = 0.5 * \rho_f * V_{rec.succ}^2 * NH \quad (08)$$

$$\Delta P_c = 0.5 * 1.23 * 20^2 * 8 = 1968 Pa$$

Este valor de presión es menor al estipulado por la tabla 7. Lo cual resulta aceptable para nuestro diseño.

* Martínez Benet. Cálculo y diseño de ciclones en ingeniería química. Madrid. 1989

12. SELECCION DE TUBERIA

Uno de los aspectos más importantes por definir, para el correcto funcionamiento del sistema de transporte neumático, es la velocidad del aire de transporte a la entrada de la tubería. Este parámetro es clave para asegurar un flujo continuo de material dentro del sistema.

Es necesario entonces, para el correcto diseño del sistema, comenzar por fijar diversas variables que influyen directamente en el proceso de cálculo, tal es el caso, del tipo de material que se desea transportar, la cantidad de material que se desea transportar y a qué distancia se desea transportar dicho material.

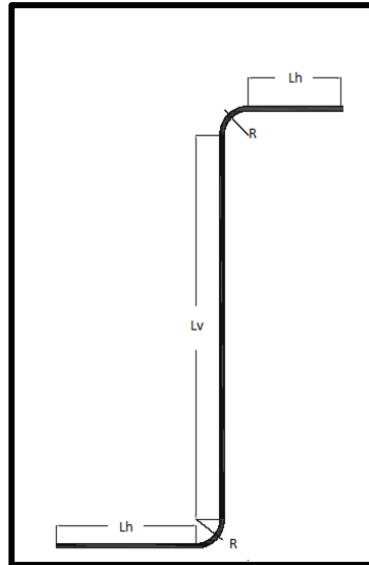
12.1 LONGITUD DE LA TUBERIA DE TRANSPORTE

Es necesario definir en este punto, la distancia de transporte, así como la dirección y todos los detalles de la tubería.

Es primordial definir la distancia real que recorrerá la tubería de transporte, así como también definir claramente la orientación de los distintos tramos que compondrán el sistema, junto con el número de curvas y accesorios para proceder a calcular luego las pérdidas de carga del sistema.

La longitud de la tubería de transporte debe ser considerada en términos de las longitudes individuales de los tramos horizontales, verticales hacia arriba y verticales hacia abajo (figura 35).

Figura 35: Tubería de transporte de material.



12.2 DIAMETRO DE LA TUBERÍA DE TRANSPORTE

Como ya fue explicado, el diámetro de la tubería de transporte es una de las variables principales en términos de lograr una determinada tasa de flujo de material.

Es por esto necesario, seleccionar de forma intuitiva un diámetro de tubería. En caso que el diámetro seleccionado no cumpla con los requisitos, será necesario volver a seleccionar un diámetro de tubería distinto, para asegurar la tasa de flujo requerida en el sistema.

12.3 DETERMINACION DEL DIAMETRO DE TUBERIA

Para la determinación del diámetro de tubería en la etapa de succión se tendrán en cuenta los siguientes datos de entrada:

- Flujo másico de grano a transportar: $\dot{M}_g = 2000 \text{ kg} / \text{h}$
- Densidad del grano a transportar (café pergamino): $\rho_g = 380 \text{ kg} / \text{m}^3$
- Densidad del fluido, para nuestro caso aire a condiciones ambiente:
 $\rho_f = 1.068 \text{ kg} / \text{m}^3$
- Velocidad del fluido recomendada para el transporte de grano de café a la entrada de la tubería*:

$$v_{fr} = 1.8 * V_T$$

$$v_{fr} = 17.46 \text{ m} / \text{s}$$

- Porosidad adimensional:

$$\varepsilon = 0.9498$$

12.3.1 Selección del diámetro para la etapa de succión. En este caso esperamos unas pérdidas de presión pequeñas, para el cálculo de la relación másica diluida, como se mencionó anteriormente, suponemos un diámetro, para posteriormente hallar las pérdidas en la tubería.

Diámetro nominal asumido para la tubería de transporte: $D_{sg} = 3 \text{ in}$ con este diámetro calculamos la relación máxima de la siguiente forma:

- Se calcula el flujo másico de material en kg / s .

$$\dot{m}_g = \frac{\dot{M}_{gs}}{3600}$$

* Suarez Enrique. Uribe José. DETERMINACION DE PROPIEDADES PARA ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE PRODUCTOS AGRICOLAS (GRANOS) Y TRANSPORTE NEUMATICO. Trabajo de grado para otorgar el título de ingeniero químico. Bucaramanga. Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico químicas. Escuela de ingeniería quiimica.1988

\dot{m}_g = Flujo másico del grano en succión en kg / s

\dot{M}_{gs} = Flujo másico del grano en succión en kg / h

$\dot{m}_g = 0.55kg / s$

- Con el diámetro supuesto inicialmente se calcula el área de la tubería de succión del sistema.

$$A_{sg} = \left(\frac{\pi * D_{sg}^2}{4} \right) \quad (10)$$

A_{sg} = Área transversal de la tubería de succión en m^2

D_{sg} = Diámetro nominal para la tubería de Policloruro de vinilo (PVC) de succión del sistema en m

$D_{sg} = 0.0762 m$

$A_{sg} = 0.0046 m^2$

- Se calcula el caudal de fluido (aire) que pasa a través de la tubería en succión:

$$Q_{fs} = v_{fr} * \varepsilon * A_{sg} \quad (11)$$

Q_{fs} = Caudal del fluido a través de la tubería de succión $\frac{m^3}{s}$

ε = porosidad de la mezcla

v_{fr} = Velocidad del fluido recomendada para el transporte de grano de café m / sg

$Q_{fs} = 0.076 \frac{m^3}{s}$

- Se calcula el flujo másico del fluido (aire).

$$\dot{m}_f = Q_{fs} * \rho_f \quad (12)$$

\dot{m}_f = Flujo másico del fluido en *kg / s*

$$\dot{m}_f = 0.081 \text{ kg / s}$$

- Se calcula la relación másica.

$$R_{sg} = \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_f}$$

R_{sg} = Relación másica en succión (adimensional)

$$R_{sg} = 6.7$$

De acuerdo a la teoría de los diferentes sistemas de transporte neumático y con los resultados obtenidos podemos observar que para nuestro caso tenemos un sistema de transporte en fase diluida, de acuerdo a lo descrito en la sección 8. En la cual se hace referencia a la existencia de fase diluida si la relación másica real $\mu < 10$.

13.TOLVA DE VACIADO DE SACOS

Teniendo en cuenta los requerimientos del sistema planteado y para lograr hacer más eficiente el mismo, se ha decidido realizar la inclusión de una tolva de vaciado (figura 36). la cual permitirá la descarga económica a los sacos. La tolva es diseñada con capacidad para almacenar 100 kg de grano, esto con el propósito de que en el momento de retirar cada uno de los sacos del sistema de pesaje no se haga necesario detener el equipo, lo cual permitirá un trabajo continuo. Esta tolva de vaciado se encontrara en contacto hermético con la parte inferior a la salida del ciclón.

Figura 36: Tolva para almacenamiento de material.



Fuente: www.tecmoncade.com

14. SISTEMA DE PESAJE DE SACOS

Para el sistema de pesaje de sacos se utiliza una báscula con pantalla digital, la cual permitirá adquirir el peso correspondiente a un saco de café pergamino, el cual es de 40 kg.

Al ser un elemento de medición, la báscula debe brindar repetitividad y exactitud y ya que se encuentra expuesta en un ambiente vulnerable a golpes o malos tratos del operario en el momento de retirar los sacos, por tal razón es conveniente utilizar una báscula que satisfaga los requerimientos del sistema. Se utiliza una báscula electrónica, Marca/ Modelo DAYANG TSC 150.

14.1 DESCRIPCION DE LA BASCULA

Báscula electrónica liquidadora de piso tipo con plataforma en tubo y cubierta en acero inoxidable, indicador liquidador en acero inoxidable, pedestal tubo de 60 cm., con teclado numérico, 8 memorias, tara, cero. Operación con batería recargable y cargador (incluido). Plataforma en acero inoxidable de 30 x 40cm. Capacidad: 150kg x 50g (figura 37).

Figura 37: Báscula electrónica

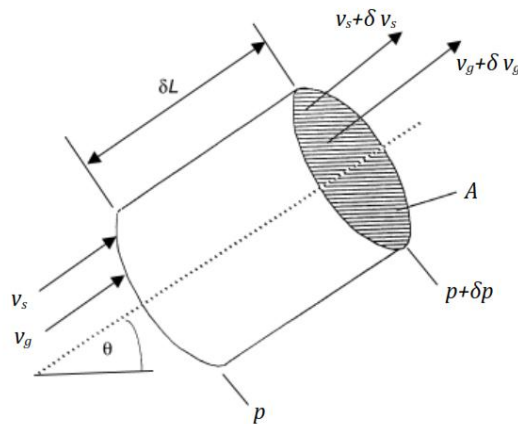


Fuente: <http://www.dlpbasculas.com/catalogodlp.pdf>

15. CALCULO DE PERDIDAS DE PRESION DEL SISTEMA

Para el cálculo de las pérdidas de presión en la tubería horizontal como vertical, se realiza un análisis del comportamiento del grano de café y del fluido de transporte (aire) mediante (figura 38):

Figura 38: Diagrama cuerpo libre de la mezcla grano de café y el fluido de transporte.



Fuente: PERRY R., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", McGraw-Hill, 6th edition, 1997.

- Cantidad de movimiento para el grano de café y fluido de transporte en eje X.

$$\rho_g * \frac{dv_g}{dt} = -\frac{d}{dx} [(1 - \varepsilon) * P - \rho_f * g * \text{sen}\theta - F_{sp} + F_{fg}]$$

$$\rho_g * \frac{dv_f}{dt} = -\frac{d}{dx} [(\varepsilon * P) - \rho_f * g * \text{sen}\theta - F_{fp} + F_{fg}]$$

$$F_{fp} = \frac{f_f}{D} * \frac{\rho_f}{2} * Vg^2 + F_v$$

Donde:

F_{sp} = Fuerza de interacción entre el material y la pared o superficie de la tubería.

F_{fg} = Fuerza de interacción entre el gas y el material.

g = Aceleración de la gravedad.

f_g = Factor de fricción del gas

D_T = Diámetro de la tubería

V_f = Velocidad del gas

F_V = Fuerza vibracional del material

- Balance de masa

$$\rho_g * V_s = cte = \mu * \rho_f * V_{fr} = \mu * \dot{m}_f$$

- Balance de energía para el fluido

$$h + \frac{1}{2} * V_f^2 = cte$$

$$T = cte$$

$$h = h(t)$$

Donde:

h = Entalpía

T = temperatura

Pero debido a la gran cantidad de parámetros involucrados en las ecuaciones anteriores recurrimos a utilizar el método de Runge Kutta, descrito en el capítulo 11 y con ayuda del programa Matlab encontramos la respectiva solución.

Tubería horizontal

$$\left[-1 + \frac{\varepsilon^* \rho_g^* V_f^2}{\rho} + \frac{1}{2} \varepsilon^* \rho_g^* R_{sg}^* \frac{V_f^* (V_f + V_g)}{\rho} \right] \frac{dp}{dx} = \frac{f_f^* \rho_f^* V_f^2}{D} + \varepsilon^* \rho_g^* R_{sg}^* \frac{V_f^*}{V_g} \left(\frac{V}{V_g} g^* + \frac{1}{2} \frac{f_g^*}{D} V_g^2 \right) \quad (13)$$

Tubería vertical

$$\left[-1 + \frac{\varepsilon^* \rho_g^* V_f^2}{\rho} + \frac{1}{2} \varepsilon^* \rho_g^* R_{sg}^* \frac{V_f^* (V_f + V_g)}{\rho} \right] \frac{dp}{dx} = \frac{f_f^* \rho_f^* V_f^2}{D} + \varepsilon^* \rho_g^* g^* \left(1 + R_{sg}^* \frac{V_f}{V_g} \right) + \frac{1}{2} \varepsilon^* \rho_g^* R_{sg}^* \frac{V_f^*}{V_g} \frac{f_g^*}{D} V_g^2 \quad (14)$$

Además para el cálculo de las pérdidas de presión en accesorios se utiliza la ecuación que involucra el coeficiente de pérdida del accesorio con la presión dinámica que atraviesa en ese instante dicho accesorio, Este método se basa en el hecho de que todas las pérdidas de carga, por rozamiento en conductos y resistencia de forma por desprendimientos en accesorios, son función de la presión dinámica, y pueden ser calculadas multiplicando la presión dinámica por un factor de pérdidas por fricción. Para obtener la presión dinámica se debe aplicar la siguiente fórmula

$$P_{acce} = C_{per} * Pd \quad (15)$$

$$Pd = \frac{V_f^2}{4.403} \quad (16)$$

Donde:

V_f = Velocidad del fluido que pasa por el accesorio

$C_{per} = 0.3$ Coeficiente de pérdidas del accesorio (manual crane)

P_{ac} = Pérdidas en accesorios en Pascales

$$Pd = \frac{17.46^2}{4.403} = 69.23 Pa$$

$$P_{acce} = 69.23 * 0.3 = 20.77 Pa$$

Para el cálculo de las pérdidas de presión en la tubería de la etapa de succión se deben tener en cuenta los siguientes parámetros de entrada:

- Capacidad de transporte $\rightarrow M_g = 2000 kg / h$
- Diámetro de la tubería para la etapa de succión $\rightarrow D_{sg} = 0.0762 m$
- Coeficiente de fricción del fluido (aire) con respecto a la tubería del sistema $\rightarrow f_f = 0.028$
- Coeficiente de fricción del grano (café pergamino) con respecto a las paredes de la tubería del sistema ver (ANEXO A) $\rightarrow f_g = 0.31$
- Densidad del grano (café pergamino) $\rightarrow \rho_g = 380 kg / m^3$
- Diámetro del grano (café pergamino) $\rightarrow D_g = 0.0095 m$
- Viscosidad dinámica del fluido (aire) $\rightarrow \nu_f = 0.0000179 pas * s$
- Velocidad del fluido (aire), esta será la recomendada para el transporte de café pergamino $\rightarrow v_g = 17.46 m / s$
- Porosidad $\rightarrow \varepsilon = 0.9498$

15.1 CALCULO DE PERDIDAS EN ETAPA DE SUCCION

Para el cálculo de las pérdidas en la etapa de succión, además de los datos mencionados anteriormente se tendrán en cuenta los siguientes datos:

- Longitud horizontal de transporte en m

$$L_h = 4 \text{ m}$$

- Longitud vertical de transporte en m

$$L_v = 2 \text{ m}$$

- Cálculo de Reynolds

Para el cálculo del Reynolds también tenemos en cuenta el cálculo de número de Mach, descrito en el capítulo 11.

Para nuestro caso tomando la velocidad de transporte del fluido (aire) y la velocidad de sonido ($c = 343 \text{ m/s}$) realizamos el cálculo del número de Mach para determinar qué régimen tenemos, de esta manera obtenemos el siguiente resultado.

$M = 0.05$, como podemos observar, $M < 0.2$ lo que nos indica que tenemos flujo incompresible.

Teniendo en cuenta lo anterior procedemos a realizar el cálculo del Reynolds y el factor de fricción del fluido (aire) con respecto a las paredes de la tubería.

$$R_e = \frac{v_{fr} * D_{sg}}{\nu} \tag{17}$$

v_{fr} = Velocidad del fluido en la etapa de succión en m/s

D_{sg} = Diámetro nominal de la tubería en la etapa de succión en m

ν = Viscosidad dinámica del gas en $pas * s$

$$R_e = 74343.95$$

Este resultado indica que tenemos un flujo turbulento; de acuerdo a esto utilizamos la ecuación de Chen FF* para el cálculo del factor de fricción.

$$f = \frac{1}{\left[-2 * \lg \left\{ \frac{\varepsilon}{3.7065 * D_{sg}} - \frac{5.0452}{R_e} * \lg \left[\frac{1}{2.8257} * \left(\frac{\varepsilon}{D_{sg}} \right)^{1.1098} + \frac{5.8506}{R_e^{0.8981}} \right] \right\} \right]^2} \quad (18)$$

$$\varepsilon = 0.0025 \text{ (Rugosidad tubería PVC)}$$

$$f = 0.028$$

Se utiliza la siguiente relación para el cálculo de la velocidad del grano en la etapa de succión

$$v_{gs} = 0.8 * v_{fr} \quad (19)$$

v_{gs} = Velocidad del grano en la etapa de succión en m/s

v_{fr} = Velocidad del fluido en la etapa de succión en m/s

$$v_{gs} = 13.97 m/s$$

Para el cálculo de la velocidad de flotación o de arrastre, que será una velocidad muy similar a la velocidad recomendada de transporte, se utiliza la siguiente relación†:

$$v_{fl} = 1.1 * \sqrt{\rho_g} \quad (20)$$

* <http://chemengiga/2-perdidas-por-friccion>

† VEGA. Juan, ARAQUE Carlos. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO MIXTO DE DOS ETAPAS PARA CEREALES. Trabajo de grado para otorgar el título de ingeniero mecánico Bucaramanga. Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica.2009. p 120.

V_{fl} = Velocidad de flotación del grano de café pergamino en m/s

ρ_g = Densidad del grano a transportar (café pergamino) en kg/m^3

$V_{fl} = 21.44 m/s$

Como ya se mencionó anteriormente para el cálculo de las pérdidas en la sección tanto horizontal como vertical de la etapa de succión se utilizan las ecuaciones (13) y (14) respectivamente, despejando el diferencial de presión en cada una de las ecuaciones y utilizando el anteriormente mencionado método de Runge-Kutta y con ayuda de Matlab encontramos cada una de las pérdidas de presión de la tubería.

La tabla 10 muestra los resultados obtenidos tanto en la tubería horizontal como vertical, al igual que las pérdidas totales de la etapa de succión.

Tabla 11: Resultado de pérdidas de presión de la tubería en la etapa de succión.

Pérdidas	Unidad(pas)
Pérdidas tubería horizontal	8494.20
Pérdidas tubería vertical	4203.50
Pérdidas en accesorios	20.77
Pérdidas totales etapa de succión	12718.47

15.2 CALCULO DE PERDIDAS EN LA ETAPA DE SOLO AIRE

En esta parte se calcularán las pérdidas de presión de la tubería donde el aire que succiona no lleva material particulado.

Para este caso se tienen los siguientes datos de entrada:

- Capacidad de transporte $\rightarrow \dot{M}_g = 2000 \text{ kg} / \text{h}$
- Longitud horizontal de transporte $\rightarrow L_h = 0.5 \text{ m}$
- Longitud vertical de transporte $\rightarrow L_v = 2.5 \text{ m}$
- Densidad del fluido (aire) $\rightarrow \rho_f = 1.23 \text{ kg} / \text{m}^3$
- Viscosidad dinámica del fluido (aire) $\rightarrow \nu_f = 0.0000179 \text{ pas} \cdot \text{s}$
- Diámetro nominal de la tubería $\rightarrow D_{sg} = 0.0762 \text{ m}$
- Número de accesorios \rightarrow (3 codos de 90°)
- Constante de accesorios tomada del libro de Crane $\rightarrow k = 0.3$

Para realizar el cálculo de la velocidad del fluido (aire) limpio se utilizan la ecuación (16), para este caso no se tendrá en cuenta la porosidad ya que en esta etapa el fluido no se encuentra con flujo de material, además el área y la relación másica será la calculada en la etapa de succión.

$$\dot{m}_g = \frac{M_{gs}}{3600}$$

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_g}{R_{sg}}$$

Flujo másico de fluido (aire) en la sección solo aire $\rightarrow \dot{m}_f = 0.096 \text{ kg} / \text{s}$

$$Q_f = \frac{\dot{m}_f}{\rho_f}$$

Caudal en la etapa de solo aire $\rightarrow Q_f = 0.079 \text{ m}^3 / \text{s}$

$$A_{sg} = \left(\frac{\pi * D_{sg}^2}{4} \right)$$

$$V_{ff} = \frac{Q_f}{A_{sg}}$$

Velocidad del fluido en la sección solo aire $\rightarrow v_{ff} = 17.11 \text{ m/s}$

Al igual que en la sección anterior y utilizando la misma metodología calculamos las pérdidas de presión en la tubería de solo aire, para el cálculo de las pérdidas por accesorios se hace uso de la ecuación (15), el valor de estas pérdidas se aprecia en la tabla 11:

Tabla 12: Resultado de pérdidas de presión de la tubería en la etapa de solo aire.

Pérdidas	Unidad(Pas)
Pérdidas tubería horizontal	65.96
Pérdidas tubería vertical	13.22
Pérdidas en accesorios	62.31
Pérdidas totales etapa de succión	141.42

15.3 CALCULO DE PERDIDA DE PRESION DEL FILTRO DE MANGA

La caída de presión total en un filtro de mangas comprende la caída de presión debido al flujo que ingresa y sale por los ductos de entrada y salida, la caída de presión del compartimiento donde están alojadas las mangas, y la caída de presión a lo largo de las mangas. La caída de presión en el compartimiento y ductos de entrada y salida para diseños convencionales se encuentra en un rango de $1 \text{ a } 2 \text{ in } H_2O$ y la caída de presión a lo largo de las mangas puede alcanzar valores

de hasta $10 \text{ in } H_2O$. Los valores aceptables de la caída de presión total en un filtro de mangas pueden estar en el siguiente rango*:

$$p_{fi} = 2 \text{ a } 6 \text{ in } H_2O = 75 \text{ a } 150 \text{ mm } H_2O = 735.48 \text{ a } 1470.96 \text{ pas}$$

Este filtro de manga se instala en el tramo horizontal de la salida de tubería en la sección de solo aire, con el propósito de evitar partículas contaminantes que puedan alterar el correcto funcionamiento del sistema de ventilación.

* Perry, Robert H., op cit, p. 102

16. CALCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO

Para el cálculo de la potencia requerida en el sistema se tendrán en cuenta las pérdidas totales de presión tanto de la etapa de succión como etapa solo aire y las pérdidas del ciclón, todas calculadas anteriormente y las cuales se muestran en la tabla 12. Posteriormente el valor de pérdidas totales se multiplica por el caudal del sistema de succión.

Tabla 13: Resultados de pérdidas totales del sistema.

Pérdidas	Unidad(Pas)
Pérdidas totales etapa de succión	12718.47
Pérdidas totales succión solo aire	141.42
Pérdidas en el ciclón	1968.00
Pérdidas en filtro de manga	1100
Pérdidas totales del sistema	15927.26

P_T = Pérdidas totales del sistema en *pas*

$$P_T = P_s + P_d$$

P_s = Presión estática en *pas*

P_d = Presión dinámica en *pas*

$$P_d = \frac{1}{2} * \rho_f * V_{fr}^2$$

V_{fr} = Velocidad del fluido recomendada para el transporte de grano de café *m/s*

$$P_d = 166.16 \text{ pas}$$

$$P_s = 15761.80 \text{ pas}$$

$$Pot = \frac{P_s * Q_{fs}}{745.7} \quad (21)$$

Pot =Potencia requerida por el ventilador en Hp

Q_{fs} = Caudal del fluido a través de la tubería de succión m^3 / s

$$Q_{fs} = V_{fr} * A_{sg}$$

Por lo tanto la potencia requerida por el ventilador es:

$$Pot = 1.61HP$$

17. SELECCION COMERCIAL DEL MOTOR

Con el valor de potencia calculado se procede a hacer la selección del equipo que suministrará el caudal del fluido (aire) necesario para el correcto funcionamiento del sistema de transporte neumático. Puesto que el valor de potencia calculado comercialmente no se encuentra en el mercado, se procede a aproximar al valor siguiente de tal manera que se pueda encontrar fácilmente en las diferentes industrias que distribuyen este tipo de equipos.

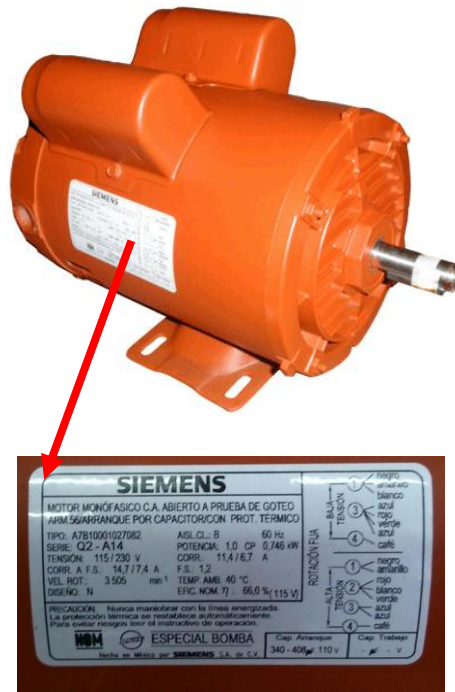
La norma NEMA* estipula una serie de factores primordiales a tener en cuenta para la selección adecuada de un motor, estos factores son:

- Tipo de corriente involucrada.
- Voltaje suministrado al motor
- Numero de fases del motor
- Frecuencia
- Potencia

Generalmente estos valores ya vienen incorporados en una placa, la cual está ubicado en una parte visible de la carcasa de cada motor (figura 37).

* National Electrical Manufactures Association

Figura 39: Ubicación de placa de características motor eléctrico para un.



Fuente: Siemens catalogo 2012. p 29.

Atendiendo a los factores de selección anteriormente mencionados, para los requerimientos del sistema de transporte neumático y teniendo en cuenta que anteriormente se determinó la potencia que se requiere para operar dicho equipo y que en los diferentes centros de almacenamiento de café en región son casas o bodegas, se procede a hacer la selección y se aproxima este valor a un más cercano comercialmente.

Atendiendo las características de suministro energético de los diferentes centros de acopio de café, se establece que son lugares con alimentación monofásica y corriente alterna (CA), en otras palabras se dice que estos lugares manejan:

- Voltaje: 110 Voltios
- Corriente alterna CA

Este voltaje será el mismo con el cual se alimente el motor seleccionado.

Con estos datos básicos se selecciona comercialmente un motor (ANEXO C):

- SIEMENS MONOFASICO JAULA DE ARDILLA A PRUEBA DE GOTEO DE 2 POLOS
- POTENCIA 2 HP
- FRECUENCIA 60 Hz
- VELOCIDAD 3480/3460 RPM

18. SELECCION DEL VENTILADOR DE ALTA PRESION

Habiendo realizado los cálculos de pérdida de presión y caudal requerido, se puede seleccionar el ventilador de alta presión adecuado, el cual pueda satisfacer los requerimientos que se necesitan para la construcción del equipo. La selección del ventilador se hace a partir de las curvas características del mismo que grafica la capacidad del ventilador, de acuerdo a sus características constructivas. Estas curvas características comparan dos parámetros fundamentales, el caudal de aire y la presión de trabajo.

A partir de los valores calculados anteriormente, se procede a seleccionar el ventilador adecuado para utilizar en el sistema de transporte neumático. Los requerimientos del sistema son:

1. Presión del sistema: 15927.26 (*Pas*)
2. Presión estática: 15841.35*pas*
3. Caudal de aire: 286.7 (m^3 / h)

Se selecciona un ventilador de marca reconocida con el fin de que sea fácil de conseguir y fácil obtener garantía. Consultando gran variedad de catálogos, el ventilador que mejor se adapta a los requerimientos del sistema es el siguiente, (ANEXO D):

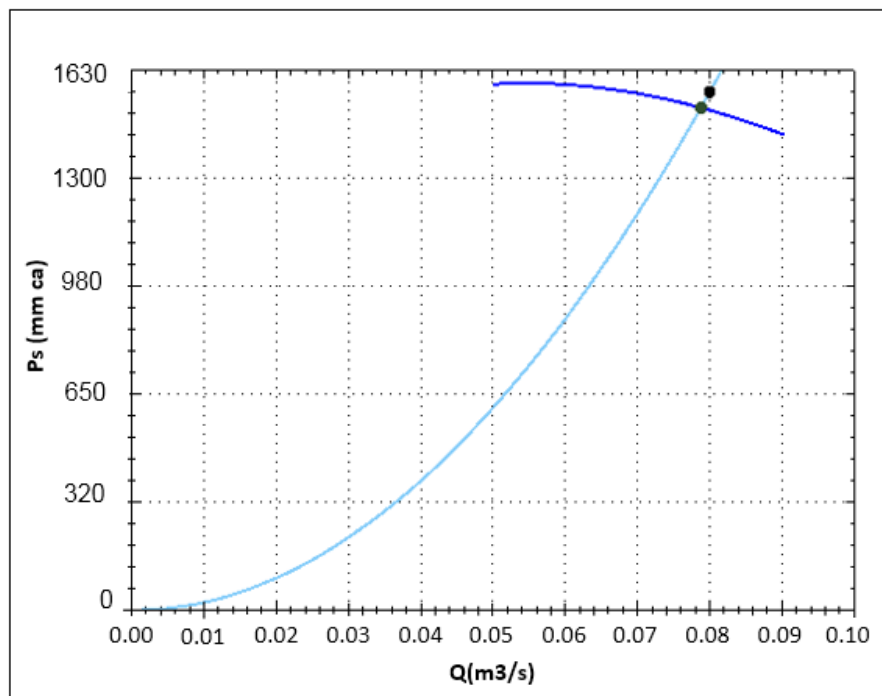
Ventilador centrífugo cerrado con rotor de aspas inclinadas hacia atrás para alta presión marca VECO, modelo VAPA900/P (figura 38).

Figura 40: Ventilador centrífugo de alta presión.



Fuente: catalogo ventiladores centrífugos marca VECO [10].

Figura 41: Curva característica del ventilador.



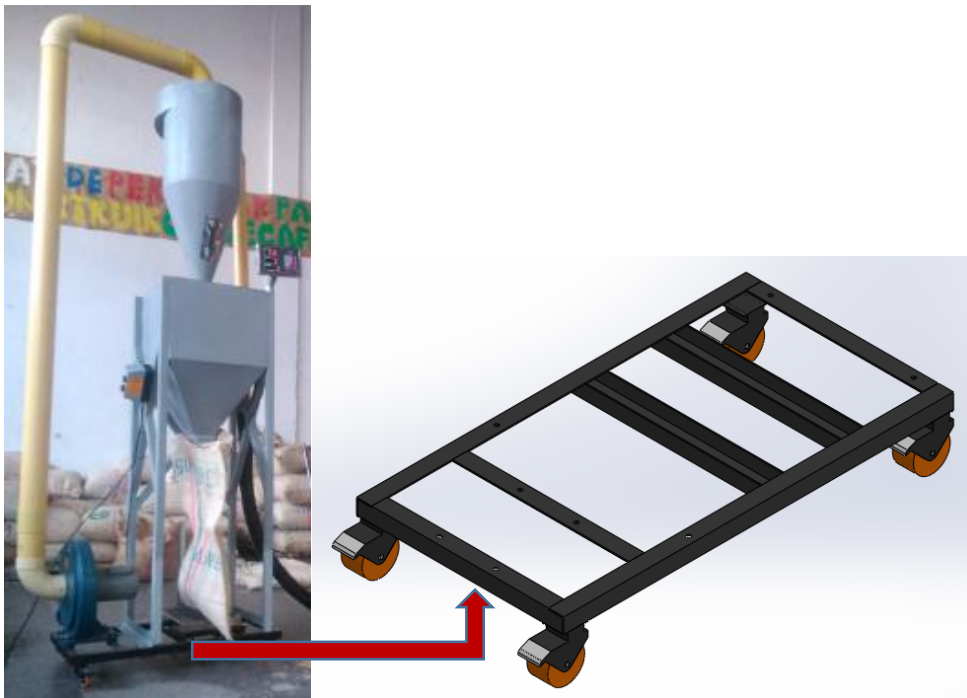
Fuente: catalogo ventiladores centrífugos marca VECO [10].

19. ANALISIS ESTATICO DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA

19.1 ANALISIS ESTATICO DEL SOPORTE BESE O BASTIDOR

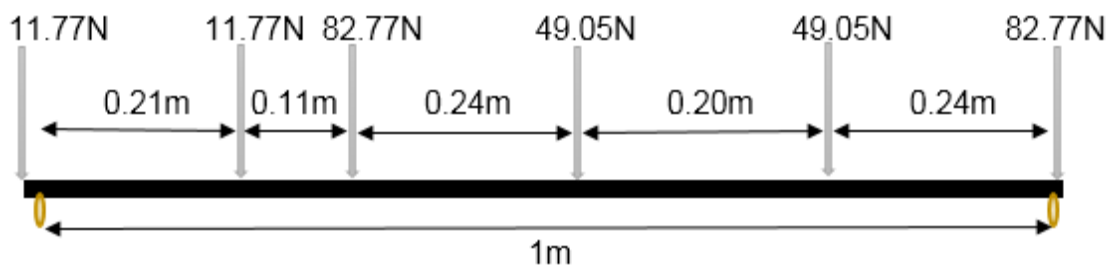
El equipo tiene un bastidor principal como lo muestra la (figura 40), el cual soporta directamente los componentes principales del sistema de transporte neumático como lo son: motor de 2hp, ventilador centrifugo de alta presión y los soportes laterales del conjunto tolva ciclón, además de la estructura soporte de la báscula utilizada para el sistema de pesaje de sacos, se realizara un análisis estático de la carga aplicada para verificar su comportamiento. El material utilizado será acero ASTM A36 de la forma geométrica de perfil en L.

Figura 42: Bastidor principal.



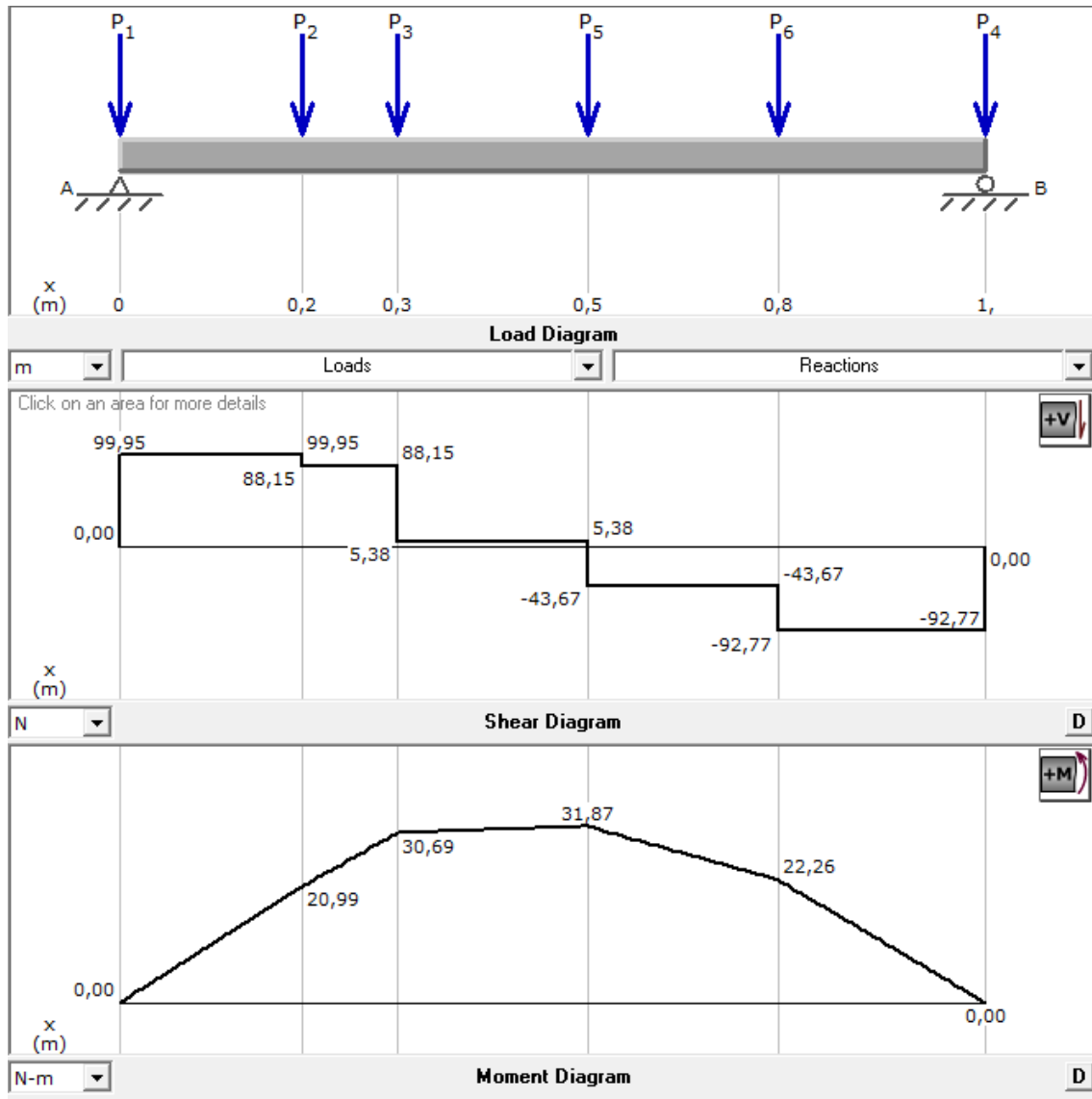
Las cargas a las cuales se someterá la viga son las correspondientes al peso del conjunto motor-ventilador que es de 30 Kg, el peso del conjunto tolva-ciclón, para este caso se tendrá en cuenta cuando el sistema está cargado y corresponde a 135 Kg y el peso del sistema de pesaje, en esta parte se tendrá en cuenta el peso correspondiente a un saco de café de 40Kg. Como se hará el análisis de una viga tendremos en cuenta que cada subconjunto básicamente tiene cuatro reacciones, las cuales calculamos con ayuda del software MD SOLID y que se muestran en la (figura 41).

Figura 43: Fuerzas sobre el bastidor.



En la (figura 42) se muestran los diagramas de carga, cortante y momento de una de las vigas principales de la base de la estructura, calculada en software de mecánica de materiales MD SOLID.

Figura 44: Diagrama de corte carga y momento.



Gracias al diagrama anterior se puede observar, que en el punto P_5 se tiene el mayor momento, siendo este el punto a tener en cuenta en el diseño y será la sección crítica para evaluar el mínimo factor de seguridad que ofrece la viga estáticamente.

19.1.1 Perfil seleccionado y análisis de la sección transversal. Se ha seleccionado un acero ASTM A36 de perfil en L del fabricante Ternium S.A, con las características especificadas en la (figura 43) y con las propiedades especificadas en la (tabla 14).

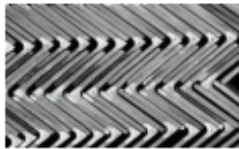
Figura 45: Datos del perfil en L.

Norma Fabricación:
NTC 4537: 2004-09-29
Normas Acero:
NTC 1920: 2012-11-21
NTC 1985: 2012-11-21

Descripción
Perfiles angulares con lados iguales, fabricados a partir de planchillas laminadas en caliente.

Aplicaciones
Los perfiles angulares son utilizados para la construcción de torres de transmisión eléctrica, torres de telecomunicaciones, fabricación de vigas y columnas en celosía, cerchas, arriostramientos, en estructuras y cerrajerías en general.

Longitudes
Longitudes estándar de 6 m y 12 m.

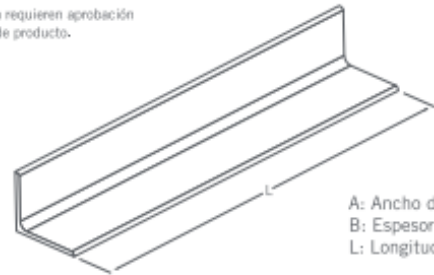
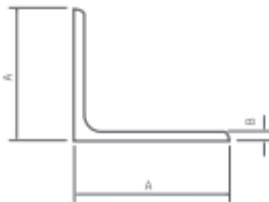


Referencia	Dimensión nominal				Peso metro nominal (kg/m)
	Ancho ala		Espesor		
	mm	Pulgadas	mm	Pulgadas	
1 1/2"x1/8"	38.10	1 1/2	3.18	1/8	1.83
1 1/2"x3/16"	38.10	1 1/2	4.76	3/16	2.68
1 1/2"x1/4"	38.10	1 1/2	6.35	1/4	3.48
1 3/4"x1/8"	44.45	1 3/4	3.18	1/8	2.14
1 3/4"x3/16"	44.45	1 3/4	4.76	3/16	3.15
1 3/4"x1/4"	44.45	1 3/4	6.35	1/4	4.12
2"x1/8"	50.80	2	3.18	1/8	2.46
2"x3/16"	50.80	2	4.76	3/16	3.63
2"x1/4"	50.80	2	6.35	1/4	4.75
2 1/2"x3/16"	63.50	2 1/2	4.76	3/16	4.57
2 1/2"x1/4"	63.50	2 1/2	6.35	1/4	6.10
3"x1/4"	76.20	3	6.35	1/4	7.29
3"x5/16"	76.20	3	7.94	5/16	9.08
3"x3/8"	76.20	3	9.53	3/8	10.71
3"x1/2"	76.20	3	12.70	1/2	13.99

Referencia	Dimensión nominal				Peso metro nominal (kg/m)
	Ancho ala		Espesor		
	mm	Pulgadas	mm	Pulgadas	
38x2.5mm*	38.00	1.50	2.50	0.09	1.44
38x3mm*	38.00	1.50	3.00	0.11	1.72
38x4.5mm*	38.00	1.50	4.50	0.17	2.52
40x3mm*	40.00	1.57	3.00	0.12	1.81
40x4mm*	40.00	1.57	4.00	0.16	2.39
40x6mm*	40.00	1.57	6.00	0.24	3.49
45x4mm*	45.00	1.77	4.00	0.16	2.70
50x3mm*	50.00	1.97	3.00	0.12	2.28
50x4mm*	50.00	1.97	4.00	0.16	3.01
50x5mm*	50.00	1.97	5.00	0.20	3.73
50x6mm*	50.00	1.97	6.00	0.24	4.43
65x5mm*	65.00	2.56	5.00	0.20	4.91
65x6mm*	65.00	2.56	6.00	0.24	5.84
75x5.5mm*	75.00	2.95	5.50	0.22	6.24
75x6mm*	75.00	2.95	6.00	0.24	6.78
75x7mm*	75.00	2.95	7.00	0.28	7.86
75x8mm*	75.00	2.95	8.00	0.31	8.92
76x4.8mm*	76.00	2.99	4.80	0.18	5.50

*Producción solo bajo pedido, previa consulta de volúmenes mínimos a planificación.

Nota: Medidas no incluidas en esta clasificación requieren aprobación por parte del área de planificación e ingeniería de producto.



A: Ancho de Ala
B: Espesor
L: Longitud

Tabla 14: Propiedades Acero A36.

VARIABLE	ECUACION	RESULTADOS
Esfuerzo de fluencia	s_y	250(Mps)
Área transversal	A	3.46(Cm ²)
Momento de inercia	I	4.45(Cm ⁴)
Altura nominal	Y	3.81(Cm)
espesor	W	0.48(Cm)

Fuente: http://www.ternium.com.co/pdf/Soluciones_Ternium_Colombia.pdf

19.1.2 Análisis de la sección crítica P5. Como se pudo observar la sección P_5 presenta el mayor momento flector igual a $31.87(N-m)$. Los esfuerzos cortantes son pequeños por tal motivo se desprecian para este cálculo. (En la tabla zz) se muestra la estimación del esfuerzo normal máximo.

Tabla 15: Esfuerzo normal.

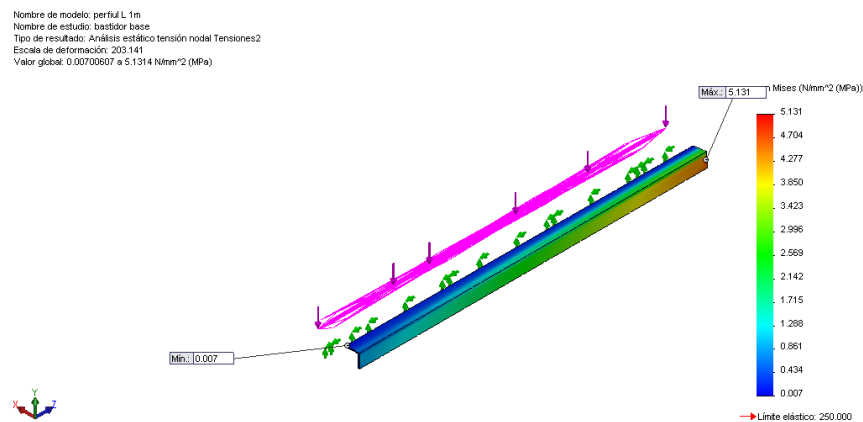
Momento flector máximo	M	31.87(N-m)
Momento de inercia	I	4.45(Cm ⁴)
Distancia al eje neutro	$C = \frac{Y}{2}$	1.905(Cm)
Esfuerzo normal máximo	$\sigma = \frac{M * C}{I}$	13.64(Mps)
Límite de fluencia A36	s_y	250(Mps)
Factor de seguridad estático	$N = \frac{s_y}{\sigma}$	18.32

De acuerdo al resultado obtenido es aceptable utilizar acero A36 de perfil en L, con un factor de seguridad de 18.32, el cual es adecuado para un bastidor.

19.2 ANALISIS CAE DEL PERFIL

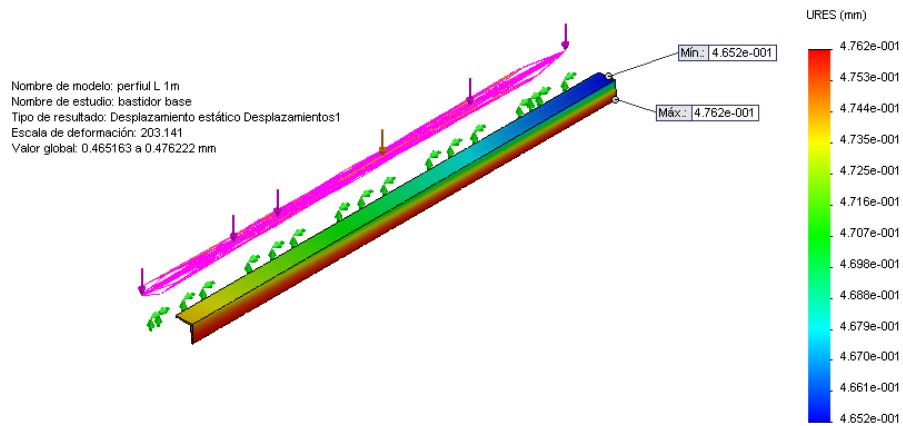
Se realizó un análisis estático para para el perfil del bastidor, con el propósito de verificar que no presenta ninguna falla con la función que tiene que desempeñar.

Figura 46: Análisis de tensión de Von Mises.



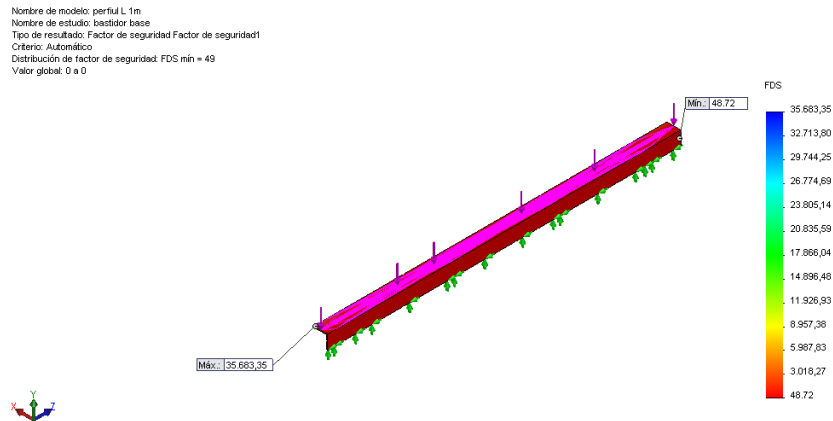
Analizando los resultados de la figura (44) se puede concluir que el bastidor no va a fallar bajo el efecto de las cargas a las que va a estar sometido, el valor máximo que soporta la pieza según este análisis es de 5131 (Mpa) y el que puede resistir la pieza es de 250000 (Mpa).

Figura 47: Análisis de desplazamiento.



Analizando los resultados de desplazamiento figura (45) que presenta el perfil del bastidor con la carga que se aplica sobre el mismo, se observa que el máximo desplazamiento es de 0,476222 (mm) siendo este un valor que no representa peligro para la operación del sistema, lo cual garantiza que el bastidor va operar correctamente.

Figura 48: Análisis de factor de seguridad.

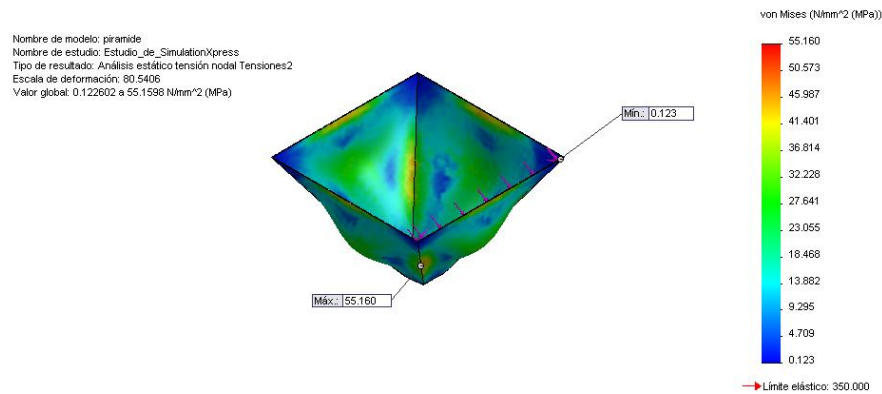


Observando los resultados de factor de seguridad figura (46) se encuentra que el valor máximo de factor de seguridad es 35683.35 y el valor mínimo es 48.72 el cual garantiza que el bastidor soporta la carga que se le impone.

19.3 ANALISIS CAE DE LA TOLVA

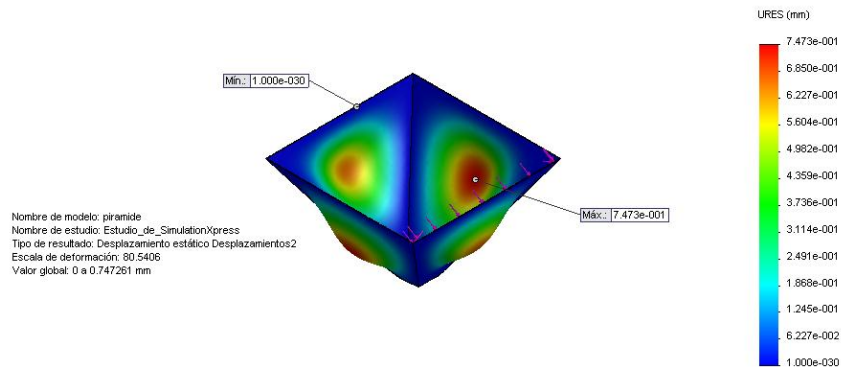
Se realizó un análisis estático para la tolva, con el propósito de verificar que no presenta alguna falla con relación a la función que desempeña. El análisis CAE se realizó como si la parte en forma de pirámide recibiera todo el peso, esto para garantizar una buena confiabilidad de la pieza.

Figura 49: Análisis de tensión de Von Mises.



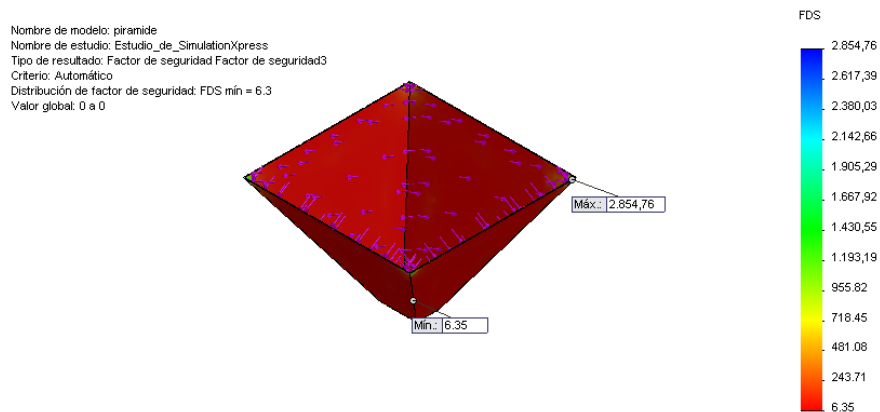
Verificando los resultados del análisis de tensión de Von Mises de la figura (47) se concluye que la tolva no va a fallar con el peso que va recibir, en la función que está realizando, el valor máximo que soporta la pieza según el análisis es de 55.160 (Mpa) y el que puede resistir la pieza es de 350.000 (Mpa).

Figura 50: Análisis de desplazamiento.



Analizando los resultados de desplazamiento figura (48) que presenta la tolva con la carga que se aplica sobre la misma, se observa que el máximo desplazamiento es de 0,747261 (mm) siendo este un valor que no representa peligro para la operación del sistema, lo cual garantiza que la tolva va operar satisfactoriamente.

Figura 51: Análisis de factor de seguridad.

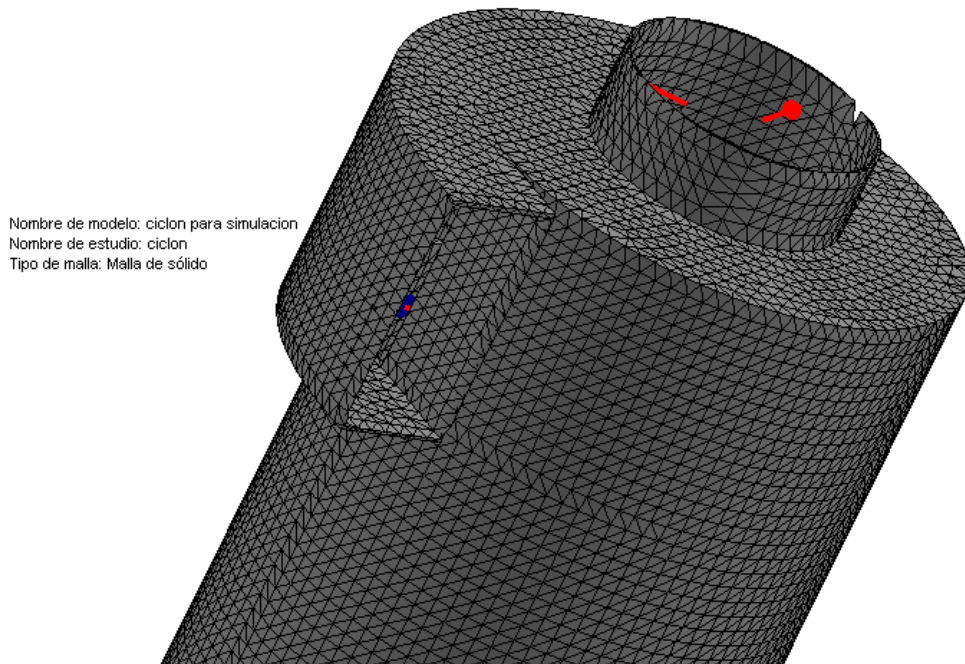


Observando los resultados de factor de seguridad figura (49) se encuentra que el valor máximo de factor de seguridad es 2854.76 y el valor mínimo es 6.35 el cual garantiza que la tolva soporta la carga que se le impone.

19.4 ANALISIS CAE DEL CICLON

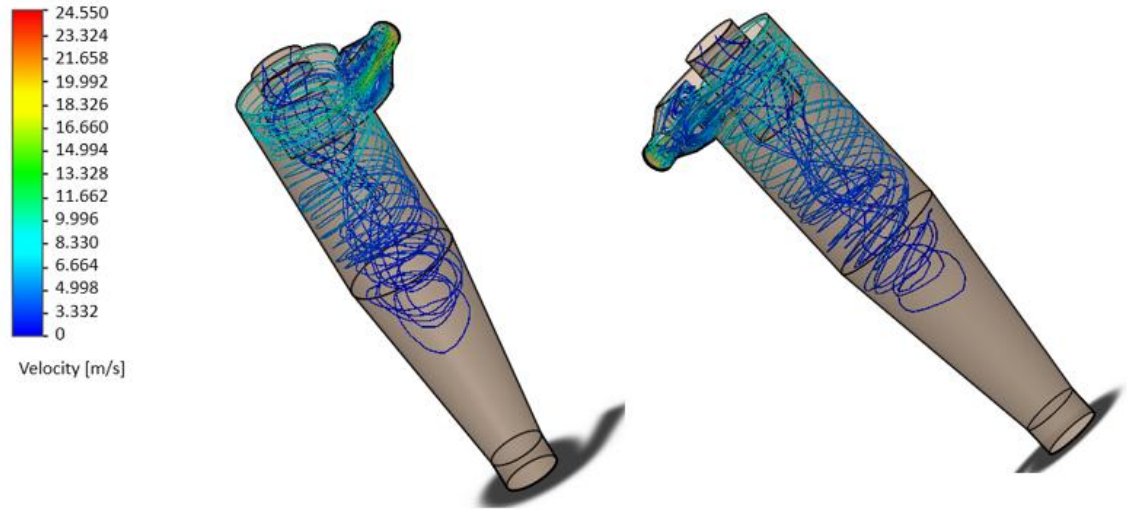
19.4.1 Simulación de flujo en el ciclón. Para el estudio de los patrones de flujo al interior del ciclón una vez obtenida la geometría del ciclón, se realizó una simulación de flujo al interior del mismo, para ello se implementó el uso del software SOLIDWORKS, con su herramienta de simulación FLOXPRESS figura (50).

Figura 52: Malla de simulación.



A través de las simulaciones realizadas se observan las distribuciones de velocidad del fluido una vez ingresa al ciclón en compañía del grano de café, comparando el valor de velocidad de fluido la cual tiene un valor de **17.11 m/s** cuando ingresa en la sección de solo aire, en este caso se presenta en el ducto superior del ciclón (figura 51).

Figura 53: Líneas de flujo del ciclón.



Del análisis de la figura (52) se comprueba que la velocidad tangencial es el componente dominante de la velocidad, debido a que esta es el responsable de la fuerza centrífuga que actúa sobre los granos de café para poder realizar la separación de este con respecto a partículas de menor densidad.

20. CONSTRUCCION

Dentro del proceso de diseño de la máquina se tuvo en cuenta para la construcción, que los procesos y materiales que se utilizaran fueran de fácil adquisición. Lo cual conlleva que en caso futuro de mantenimiento y remplazo de componentes se pueda realizar de forma sencilla.

Durante el proceso de diseño se realizó una investigación para poder determinar qué tipo de materiales se podían usar para máquinas de transporte de cereales y demás productos granulares de consumo humano.

20.1 MANUFACTURA METALMECANICA

Este proceso se inicia a partir de los planos y diseños mecánicos realizados previamente (ANEXO D), manufacturando inicialmente los elementos más importantes del sistema de transporte neumático, como lo es el ciclón y la tolva de almacenamiento.

Se decide realizar el corte de las láminas de acero Cold Roll calibre 14 para cada uno de los componentes pertenecientes al ciclón: cono ciclón, cilindro, tapa lateral, tapa superior, tapa inferior, salida de aire, entrada de grano y para la tolva de almacenamiento: lados para el cuadrado de la tolva, lados de la pirámide, salida de descarga, tapa de salida. Este trabajo se realiza con soldadura robusta y se suavizan las uniones soldadas con masilla (figura 52). Posteriormente se unen a la tolva los tubos cuadrados que servirán de soporte estructural del sistema (figura 53).

Figura 54: Construcción ciclón.



Figura 55: Construcción, ensamblaje tolva y soportes.



Luego se procede a aplicar anticorrosivos y realizar el proceso de pintura de dichas partes, para lograr mejores características estéticas y mecánicas, evitando así que la humedad y demás condiciones atmosféricas actúen negativamente sobre las superficies de los materiales (figura 54).

Figura 56: Acabado y pintura ciclón, tolva



El paso siguiente es construir la base donde reposarán todos los componentes del sistema de transporte neumático según los diseños detallados, este se construyó la base de perfil en L de acero estructural ASTM 36 de 1 1/2 x 3/16 de pulgada y unida permanentemente con soldadura WEST ARCO E6013, posteriormente se instalaron las ruedas fabricadas en Nylon de alta densidad y se aplicó proceso de pintura (figura 55).

Figura 57: Construcción base estructura.



Se procede a realizar el armado de todas las partes manufacturadas y se realiza el montaje del conjunto bascula – pantalla junto con la instalación eléctrica que permitirá encender y apagar el sistema en forma controlada (figura 56).

Figura 58: Ensamblaje del sistema.



Figura 59: Sistema de transporte neumático en funcionamiento.



21.PRESUPUESTO

A continuación se presentan todos los gastos presentados durante la ejecución del Proyecto.

Tabla 16: Costos materiales.

Piezas o materiales	Cantidad	Precio
Motor siemens 2 hp	1	\$1.500.000
Ventilador centrifugo de alta presión	1	\$800.000
Bascula cap.150 kg	1	\$600.000
Manguera flexible	5 m	\$250.000
Tubería PVC 3 in	4 m	\$40.000
Accesorios PVC	Na	\$65.000
Interruptor industrial	1	\$20.000
Rueda en nylon de alta densidad 1 ½ in	4	\$36.000
Cable conexión eléctrica	10 m	\$20.000
Bisagra	1	\$1.000
Tapón cuadrado de plástico	3	\$1.500
Lamina cold roll calibre 14	2	\$315.000
Tuvo cuadrado 1 ½ in	12 m	\$600.000
Perfil en L 1 ½ x 3/16 ASTM 36	5	\$200.000
Otros	Na	\$135.000
Total		\$4.583.500

Tabla 17: Costos mano de obra.

Piezas o materiales	Precio
Mano de obra metalmecánica	\$700.000
Pintura	\$100.000
Transporte	\$200.000
Otros	\$70.000
Total	\$1.070.000

Tabla 18: Otros gastos.

Otros	Precio
Asesoría profesores	\$2.800.000
Otras asesorías	\$300.000
Papelería	\$200.000
Total	\$3.300.000

Tabla 19: Costos totales.

Costos totales	Precio
Costos materiales	\$4.583.500
Costos mano de obra	\$1.070.000
Costos otros	\$3.300.000
Producción intelectual	\$4.000.000
Total	\$12.953.500

El desarrollo del proyecto tuvo un coste de \$12.953.500 pesos en su totalidad.

22. CONCLUSIONES

- El proyecto desarrollado es una solución al problema presente en los depósitos de la zona cafetera en cuanto al empacado de café pergamino para posteriormente ser llevado al proceso de molienda.
- Habiendo realiza el correspondiente estudio de los distintos factores que pueden afectar el correcto funcionamiento de los sistemas transporte neumático y una vez realizados los diferentes cálculos de diseño, se puede concluir que un sistema de estas características, es una alternativa viable, para dar solución al problema de llenado de sacos de granos en las bodegas de almacenamiento.
- El parámetro inicial y de mayor importancia a tener en cuenta para la selección del sistema de transporte neumático y para el cálculo de la caída de presión en la línea de transporte es la relación másica o concentración μ , (fase diluida $\mu < 15$ o fase densa $\mu > 15$). Esto no solo servirá para identificar qué tipo de sistema utilizar para transportar cada material, sino que además interviene en cada una de las expresiones para calcular la caída de presión en la línea de transporte.
- Para considerar el sistema como una alternativa de solución al problema planteado, se definieron las características que debería cumplir el equipo de transporte neumático, en este caso se hace necesario iniciar por definir una tasa de flujo esperada por el equipo, en base a la cual se realizaron los cálculos de diseño, una de las variables importante a tener en cuenta en el momento de definir una tasa de flujo esperado, es el diámetro de la tubería que se seleccionara, ya que en caso de seleccionar un diámetro de tubería de transporte incorrecto, este resultado puede traducirse en un sobredimensionamiento del ventilador, lo que incurrirá en elevados costos del equipo.

- Generalmente, los fundamentos de dimensionamiento de los sistemas de transporte neumático son completamente empíricos e incluyen factores y criterios de los fabricantes como se pudo observar principalmente en el diseño y dimensionamiento de ciclones por lo cual es indispensable de la asesoría de personal con experiencia en proyectos relacionados a la selección y montaje de equipos para transporte neumático.
- Se decidió utilizar sistema de transporte neumático de presión negativa o de vacío, teniendo en cuenta el espacio ocupado por el equipo y pensando en que fuese de fácil movilidad permitiendo de esta manera ser más eficientes en el proceso de empaclado de café.
- Se logró obtener un resultado satisfactorio en cuanto al funcionamiento del sistema de acuerdo a los parámetros para los cuales fue diseñado, cumpliendo satisfactoriamente el requerimiento deseado.
- La experiencia adquirida durante el desarrollo del proyecto permitió afianzar los conocimientos de diseño y manufactura adquiridos en la academia, además se adquirió gran conocimiento sobre los diversos componentes involucrados en los sistemas de transporte neumático, notando ventajas y desventajas de los mismos. Lo cual permitirá en futuros proyectos reducir errores y costos.
- Los aportes realizados por trabajadores con experiencia son de vital importancia ya que su experiencia les permite aportar ideas que contribuyan a reducir costos y mejorar la estética del equipo.

23.RECOMENDACIONES

- se recomienda para futuros rediseños mejorar la etapa de ensacado y pesaje de sacos mediante un sistema automatizado en el cual sea eliminada la acción manual de apertura y cierre de la compuerta de llenado y la implementación de una válvula o exclusiva dosificadora que permita mantener la presión de vacío entre la sección de salida del ciclón y la entrada a la tolva de almacenamiento.
- Si se desea implementar este equipo para transporte de grano de café tostado o en condiciones en las cuales se encuentre listo para distribución y consumo inmediato. Con el fin de cumplir normas sanitarias e ingenieriles, se deberá construir el conjunto ciclón- tolva en un acero inoxidable que cumpla con tales normas.
- si se desea aumentar las longitudes para tubería de aspiración de grano de café se recomienda recalcular cada uno de los parámetros establecidos en este documento, de lo contrario el equipo no funcionará adecuadamente debido a la falta de presión necesaria para transportar el material deseado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] **MILLS David.** Handbook of pneumatic conveying engineering. New York. Marcel Dekker. 2004. 701 p.

[2] **OSPINA Julio Ernesto.** Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia. 2002. p 59.

[3] **OLIVEROS Carlos.** Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del fruto del café. Medellín. Centro de investigación del café CENICAFE. 2012. 9 p.

[4] **VEGA TRIANA juan pablo, ARAQUE Carlos Eduardo.** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO MIXTO DE DOS ETAPAS PARA CEREALES. Trabajo de grado para otorgar el título de ingeniero mecánico. Bucaramanga. Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica.2009. 205 p.

[5] **SUAREZ pablo enrique, URIBE José Trinidad.** DETERMINACION DE PROPIEDADES PARA ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE PRODUCTOS AGRICOLAS (GRANOS) Y DISEÑO DE SILOS Y TRANSPORTE NEUMATICO. Trabajo de grado para otorgar el título de ingeniero químico. Bucaramanga. Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico químicas. Escuela de ingeniería quiimica.1988. 200 p.

[6] **GONZALES Pedro.** Sistema de transporte neumático para quinua. Perú. Universidad Católica. 2005. 170 p.

[7] **MUNSON Young.** Fundamentos de Mecánica de fluidos. Universidad Estatal de Iowa. 4 ed.

[8] **SIEMENS.** Catalogo motores trifásicos.

[9] **KONGSKILDE.** Catalogo componentes transporte neumático.

[10] **VECO.** Catalogo equipos de ventilación de lata presión.

[11] **PERRY R.,** "*Perry's Chemical Engineers' Handbook*", McGraw-Hill, 6th edition, 1997.

BIBLIOGRAFIA

- **Assureira, Estela**, TABLAS Y GRÁFICOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS, 1999.
- **Casals**. (2010). *Casals Ventilación S.L.*
- **Cotaquispe, L.** DISEÑO DE EQUIPOS DE TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO, Lima, Junio 2001.
- **Gonzales, P.** (2006). Transporte neumático de quinua. Universidad Católica del Perú.
- **KLINZING, G.E. RISK, F.** Pneumatic Conveying of Solids. Londres, 1997. 464p.
- **Keys, S. & Chambers, A.** (1995). *Scaling Pneumatic Conveying Characteristics for Pipeline Pressure.*
- **KUNII, Daizo.** Fluidization Engineering. Sydney, 1969.
- **MILLS, David.** Pneumatic Conveying Design Guide. Oxford, 2004, 637p.
- **Mills, D.** (2004). *"Pneumatic Conveying Design Guide" Second Edition.* London, England: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- **MILLS, David. JONES, Mark.** Handbook of Pneumatic Conveying Engineering. Nueva York, 2004. 684p.
- **MUNSON, YOUNG, OKISHI.** Fundamentos de mecánica de fluidos. Cuarta edición, 2006.
- **PERRY R.,** "Perry's Chemical Engineers' Handbook", McGraw-Hill, 6th edition, 1997.
- **SIEMENS.** Catalogo motores trifásicos.
- **VECO.** Catalogo equipos de ventilación de lata presión.
- **WALPER, P.** (2011). Transporte neumático de alimento pelitizado. Universidad Austra de Chile.

ANEXOS

ANEXO A. VALORES DE VELOCIDAD TERMINAL Y FACILIDAD DE FLUIDIZACION ALGUNOS GRANOS.

El grano de café citado en este anexo hacer referencia a un grano de café en estado cereza.

- Velocidad terminal.

Material	DS (gr/cm ³)	DP (cm)	V (cm/seg)	1,8 V (cm/seg)
Frijol	0,760	1,003	1440,5	2592,9
Sorgo	0,760	0,156	568,1	1022,6
Maíz	0,720	0,950	1364,6	2456,2
Cebada	0,710	0,550	1031,0	1855,9
Arroz	0,700	0,448	924,0	1663,1
Arveja	0,580	0,715	1062,5	1912,5
Café	0,436	1,000	1089,4	1961,0

- Facilidad de fluidización.

Material	Angulo de Reposo		Compresibilidad		Angulo de Espátula		Coeficiente de uniformidad		Cohesión		Concepto
	Grados	Ptos.	%	Puntos	Gr.	Ptos.	Unid.	Puntos	%	Ptos.	
Arveja	33	21	6	23	33	21	2	23	No cohesivo	Bueno	
Arroz	41	17	7	23	41	17	2	23	No cohesivo	Bueno	
Café	38	18	10	22,5	38	18	5	22,5	No cohesivo	Bueno	
Cebada	31	22	7	23	31	22	2	23	No cohesivo	Excelente	
Frijol	37	18	5	25	37	18	6	22	No cohesivo	Bueno	
Maíz	37	18	7	23	37	18	5	22,5	No cohesivo	Bueno	
Sorgo	35	20	13	21	35	20	3	23	No cohesivo	Bueno	

ANEXO B. PROPIEDADES FISICOMECAICAS PARA GRANO DE CAFE PERGAMINO

Los datos estimados se realizaron para muestras con 0.05 y 0.01 de probabilidad en grano de café pergamino seco.

- a) **Dimensiones ortogonales promedio**, Dimensiones promedio obtenidas para una muestra de 100 granos de café de 11 sacos diferentes.

E2	E1	P
6	8,5	14
5,5	9	13
5	7,5	11,5
5	7,7	11
8	8,5	14
5	8	12,5
8	9,5	14
5	9	13
5,3	8,6	12,5
6	9	13
5,5	9	13,4
6	9,2	14

- b) **Coefficientes medios de fricción (CFM)**, coeficientes de variación (**cv**), límites de confianza superior (**S**) e inferior (**I**).

Tratamiento	Límites de confianza para la media					
	CFM	CV (%)	I(0,05)	S(0,05)	I(0,01)	S(0,01)
Metal	.56	11.56	.53	.59	.52	.60
Concreto (fraguado en contacto con formaletas de madera).	1.55	10.12	1.47	1.62	1.45	1.65
Alfagres.	1.02	13.34	.96	1.09	.94	1.11
Mayólica.	.97	13.60	.90	1.03	.88	1.05
P V C	.31	6.94	.30	.32	.29	.33
Madera cepillada (fibra perpendicular al flujo de grano).	.39	12.03	.37	.42	.36	.42
Madera cepillada (fibra paralela al flujo de grano).	.45	22.76	.40	.50	.38	.51
Madera tosca (fibra perpendicular al flujo de grano).	1.20	22.68	1.07	1.32	1.02	1.37
Madera tosca (fibra paralela al flujo de grano)	1.30	17.62	1.18	1.41	1.13	1.46

c) **Densidad aparente media (DAM)**, para diferentes estados del fruto de café.

Densidad		Estados del Café, Pulpa y Cisco									
kg/m ³		CC	CB	CL	CSA	CPS	CA	PF	PM	C	
600	CC	1,0	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4	0,5	0,04	
800	CB	1,7	1,0	0,7	0,5	0,4	0,3	0,7	0,8	0,07	
650	CL	2,4	1,5	1,0	0,8	0,5	0,4	1,0	1,2	0,10	
520	CSA	3,1	1,9	1,3	1,0	0,7	0,6	1,2	1,5	0,13	
380	CPS	4,5	2,7	1,9	1,5	1,0	0,8	1,8	2,2	0,19	
680	CA	5,6	3,3	2,3	1,8	0,2	1,0	2,2	2,7	0,23	
270	PF	2,5	1,5	1,0	0,8	0,6	0,5	1,0	1,2	0,11	
420	PM	2,1	1,3	0,9	0,7	0,5	0,4	0,8	1,0	0,09	
370	C	23,8	14,3	9,8	7,7	5,3	4,3	9,5	11,4	1,00	

CC = Café Cereza
 CB = Café en Baba
 CL = Café Lavado
 CSA = Café Seco de Agua
 CPS = Café Pergamino Seco
 CA = Café en Almendra o Café Verde
 PF = Pulpa Fresca
 PM = Pulpa Mojada

d) **Angulo de reposo medio (ARM)**, coeficientes de variación (**cv**), límites de confianza superior(**S**) e inferior (**I**).

Estado del grano	ARM (°)	CV (%)	Límites de confianza para la Media			
			I(0,05)	S(0,05)	I(0,01)	S(0,01)
Cereza	40,29	2,44	39,83	40,75	39,66	40,92
Despulpado	32,91	5,90	31,88	33,95	31,48	34,34
Lavado	40,67	1,84	40,33	41,02	40,20	41,15
Café pergamino seco	35,01	1,55	34,76	35,27	34,67	35,36
Almendra	27,75	3,00	27,36	28,15	27,22	28,29

ANEXO C. CARACTERISTICAS DEL MOTOR SIEMENS.

Motores monofásicos armazón 56

Tabla de selección
Motores monofásicos jaula de ardilla a prueba de goteo; aisl. clase B; 2 polos

Potencia CP	Tipo	Catálogo No.	Peso neto kg	Velocidad nominal r.p.m.	Tensión nominal Volt	Corriente nominal A	Factor de Servicio	Corriente a F.S. A	Long. L mm
-------------	------	--------------	--------------	--------------------------	----------------------	---------------------	--------------------	--------------------	------------

Arranque por capacitor, base rígida, con balero (uso general)

0.25	1RF3 052-2YC41	30002034	8.3	3540/3520	127/220	7.6/3.0	2.0	8.3/3.9	254
0.33	1RF3 053-2YC41	30002043	8.4	3535/3515	127/220	8.5/3.5	2.0	9.7/4.5	254
0.50	1RF3 054-2YC41	30002051	9.7	3535/3515	127/220	9.9/4.1	1.8	12.4/6.2	271
0.75	1RF3 055-2YC41	30002059	10.5	3530/3500	127/220	12.4/5.3	1.6	14.6/7.1	271
1.0	1RF3 056-2YC41	30002064	11.9	3535/3510	127/220	15.5/6.6	1.6	18.6/9.4	291
1.5	1RF3 057-2YC41	30002069	12.8	3505/3470	127/220	18.5/9.4	1.2	20.4/10.2	291
2	1RF3 058-2YC41	30002071	15.5	3480/3460	127/220	21.6/11.0	1.15	24/12	313

Arranque por capacitor, base rígida, con balero, brida "C" y flecha roscada (bomba)

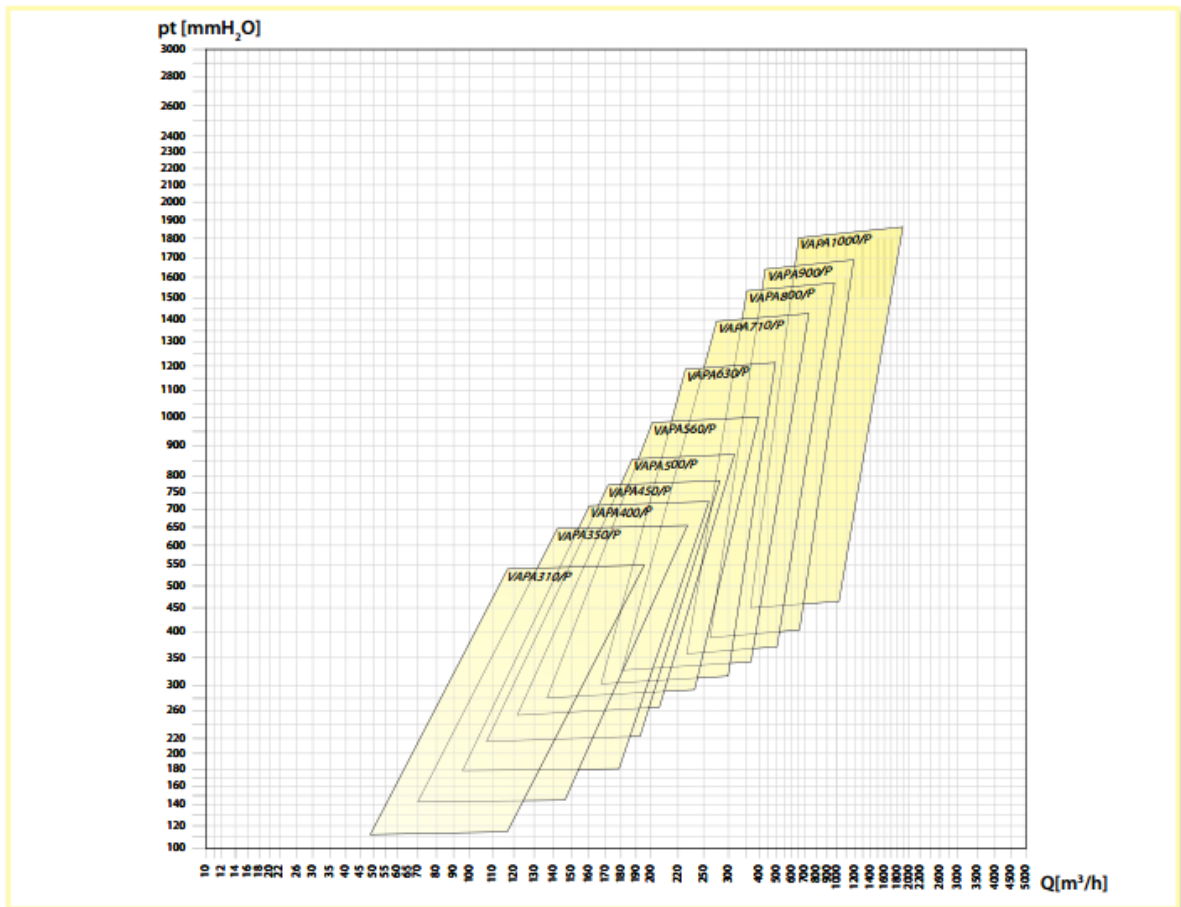
0.25	1RF3 252-2YC34	30002074	6.7	3540	127 **	4.5	1.8	5.4	258
0.33	1RF3 253-2YC34	30002078	7.5	3530	127 **	5.7	1.7	6.6	270
0.50	1RF3 254-2YC34	30002082	8.5	3540	127 **	7.5	1.6	9.0	270
0.75	1RF3 255-2YC44	30002086	10.3	3550/3530	127/220	11.6/5.0	1.6	1.35/7.0	287
1.0	1RF3 256-2YC44	30002088	11.2	3535/3515	127/220	12.3/6.0	1.4	14.5/7.5	311
1.5	1RF3 257-2YC44	30002090	13.2	3520/3500	127/220	16.6/8.4	1.2	18.2/9.7	311
2	1RF3 258-2YC44	30002092	15.5	3480/3460	127/220	21.6/11.0	1.15	24/12	320

Arranque por capacitor, sin base, con balero, brida "C" y flecha roscada (bomba)

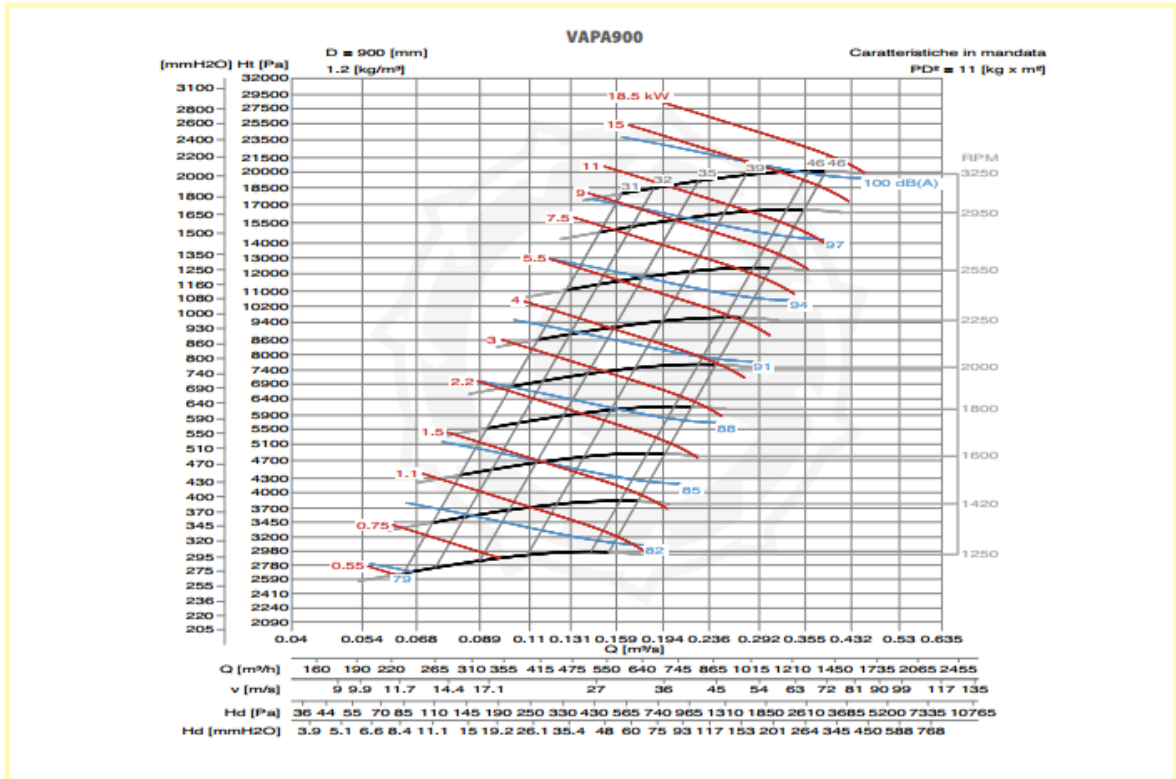
0.25	1RF3 252-2YC33	*	6.3	3540	127 **	4.5	1.8	5.4	258
0.33	1RF3 253-2YC33	*	7.1	3530	127 **	5.7	1.7	6.6	270
0.50	1RF3 254-2YC33	*	8.1	3540	127 **	7.5	1.6	9.0	270
0.75	1RF3 255-2YC43	*	9.9	3550/3530	127/220	11.6/5.0	1.6	1.35/7.0	287
1.0	1RF3 256-2YC43	*	10.8	3535/3515	127/220	12.3/6.0	1.4	14.5/7.5	311
1.5	1RF3 257-2YC43	*	12.8	3520/3500	127/220	16.6/8.4	1.2	18.2/9.7	311
2	1RF3 258-2YC43	*	15.1	3480/3460	127/220	21.6/11.0	1.15	24/12	320

ANEXO D. SELECCION DEL VENTILADOR.

a). Selección del modelo correspondiente conociendo valor de presión y caudal requerido.

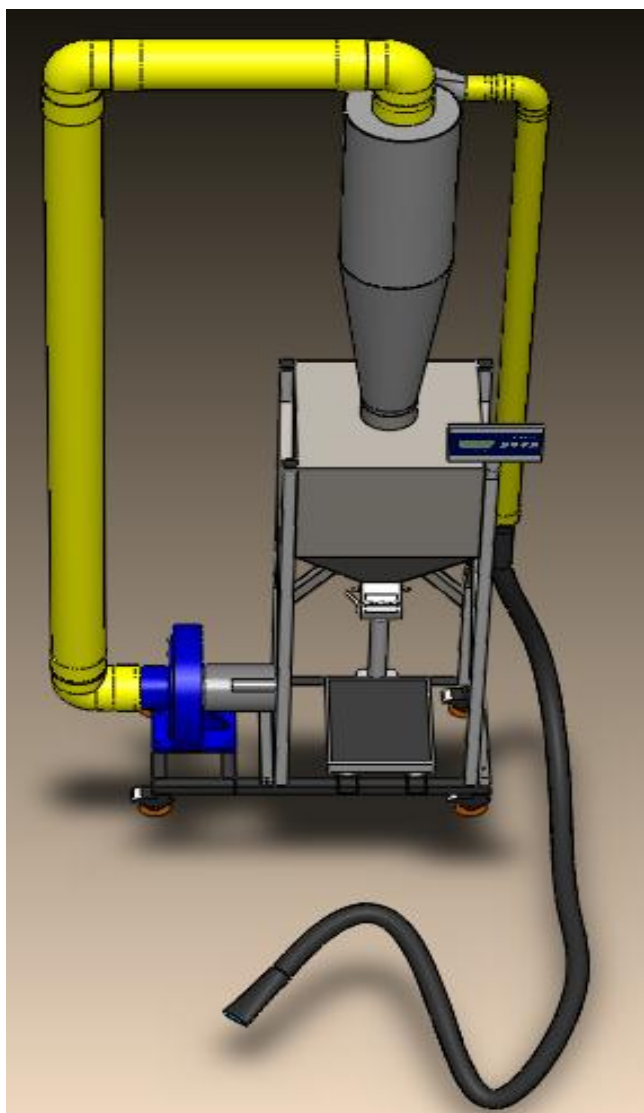


b).Curva característica del ventilador.



**ANEXO E. MANUAL SISTEMA DE TRANSPORTE
NEUMATICO PARA GRANO DE CAFE PERGAMINO CON
SISTEMA DE LLENADO Y PESAJE DE SACOS.**

**SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO PARA GRANO DE CAFE
PERGAMINO CON SISTEMA DE LLENADO Y PESAJE DE SACOS**



MANUAL DE USUARIO

CONTENIDO

1. GENERALIDADES.....	158
2. SEGURIDAD.....	159
3. COMPONENTES PRINCIPALES.....	160
4. INSTALACION.....	161
5. CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA MAQUINA.....	161
6. OPERACIÓN.....	162
7. MANTENIMIENTO.....	163
7.1 SISTEMAS DE TUBERÍAS.....	163
7.2 CICLÓN.....	163
7.3 TOLVA DE ALMACENAMIENTO.....	164
7.4 BÀSCULA.....	164

1. GENERALIDADES

El sistema de transporte neumático para grano de café pergamino con sistema de llenado y pesaje de sacos es un equipo que permite manipular, transportar, distribuir de forma rápida y sencilla grandes cantidades de café a granel depositados en diferentes lugares de trabajo, manteniendo los principales estándares de calidad representativos del café colombiano.

Este equipo de transporte es muy práctico y completo, el cual debe ser manipulado y cuidado de la mejor manera para prolongar la vida del equipo. El (los) operario(s) que se encuentren a cargo de este equipo deben contar con la adecuada capacitación que permita mantener el mejor desempeño y seguridad en las instalaciones antes, durante y después de los procesos de producción. Por tal motivo a continuación se describirán los procedimientos y recomendaciones para su adecuado ensamblaje, transporte, instalación y operación.

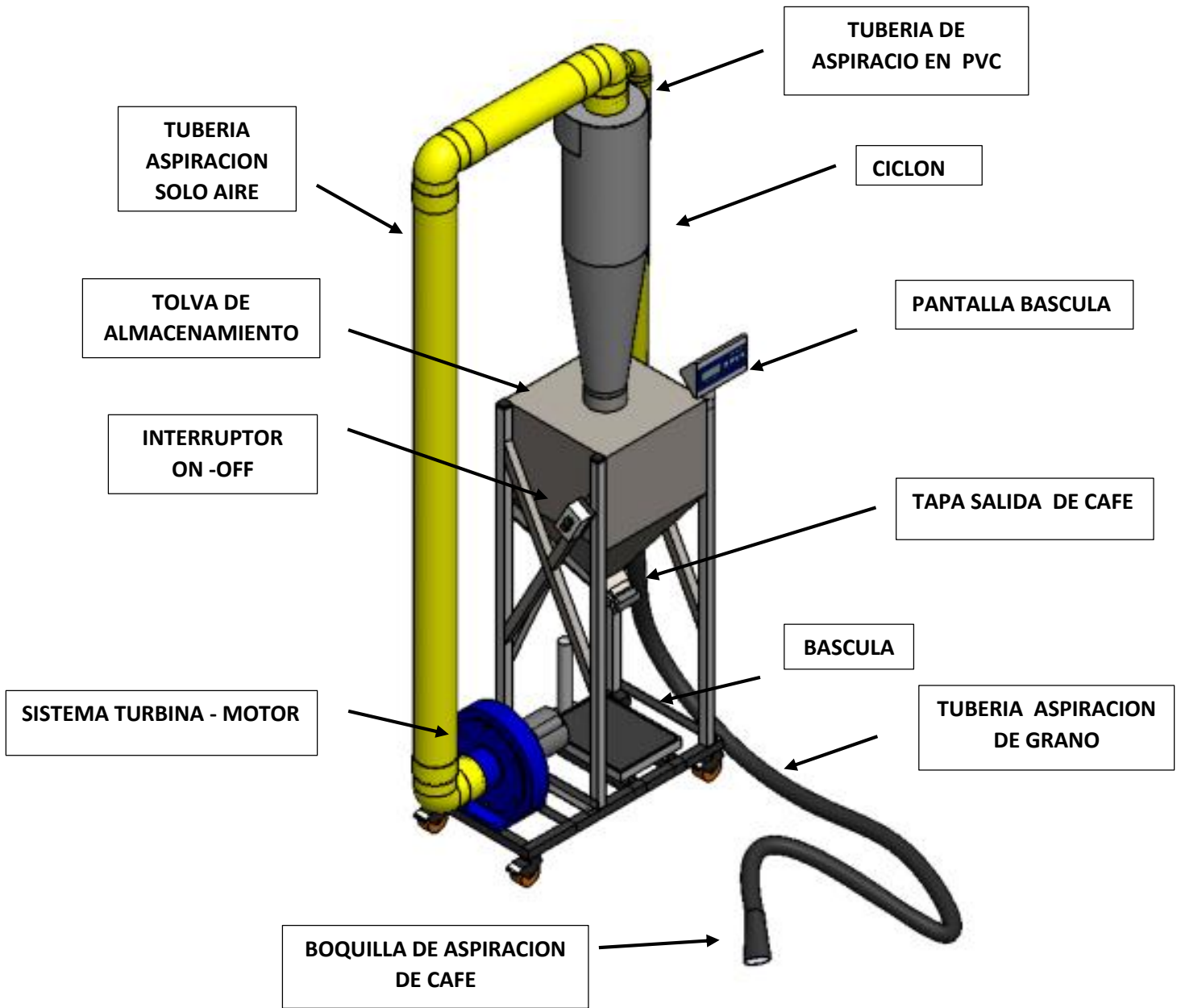
2. SEGURIDAD

Cualquier operación de limpieza o servicio de mantenimiento debe ser desarrollado por personal capacitado para dicha tarea, esto con el fin de evitar accidentes.

Para ello se recomienda:

- Desconectar la máquina del sistema de alimentación eléctrica.
- No introducir cuerpos extraños al interior de los ductos de transporte y equipos de succión.
- No introducir partículas ajenas al material que se es transportado con el fin de evitar degradación de la calidad del producto.
- Evite introducir las manos u otros materiales cerca del motor con el fin de evitar accidentes.
- Evite el contacto directo de sustancias líquidas con el motor, indicadores digitales y cualquier otro componente que puedan ocasionar cortos circuitos.
- Si se detectan comportamientos o ruidos ajenos al comportamiento normal del equipo, proceda a apagarla inmediatamente.

3. COMPONENTES PRINCIPALES



4. INSTALACION

El equipo para transporte neumático debe estar instalado sobre una superficie horizontal, con un espacio considerable a su alrededor para facilitar las labores de operación como lo es: retirar los sacos que son llenados y pesados en la báscula, permitir el libre movimiento del ducto flexible y boquilla de aspiración de grano, permitir el libre acceso para realizar los cambios periódicos del filtro de separación de materiales extraños.

El equipo se debe ubicar cerca de una fuente de alimentación eléctrica de 220 voltios.

5. CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA MAQUINA

Producción	2000 Kg/h
Voltaje	110 V
Potencia	2 HP
Frecuencia	60 Hz
Altura	2.75 m
Ancho	1 m
profundidad	0.515 m

6. OPERACION

- Comprobar la estabilidad del equipo
- Comprobar el estado de las fuentes de alimentación eléctrica.
- Comprobar el estado del sistema de pesaje.
- Comprobar que no exista presencia de material extraños en el área de trabajo.
- Comprobar que la compuerta de descarga de grano se encuentre cerrada.
- Prender la maquina desde el botón de Encendido del equipo.
- Verificar que no existan fugas de aire al interior del equipo.
- Introducir la boquilla de alimentación sobre el área donde ha sido dispuesto el café a granel.
- Comprobar el estado de alimentación de la tolva.
- Comprobar el correcto accionamiento de la compuerta de descarga.
- Comprobar el proceso de llenado y pesaje de los sacos de café.
- Una vez llenado y pesado el saco de café verificar el bloqueo de la compuerta de descarga.
- Retirar el saco de café manualmente y disponer a ubicar el siguiente saco para su posterior llenado.

7. MANTENIMIENTO

El personal que este encargado de realizar labores de mantenimiento utilizar la herramientas e indumentaria adecuadas para cumplir con las normas de seguridad en el desarrollo de dicha operación.

7.1. SISTEMAS DE TUBERÍAS

Revise periódicamente el sistema de tuberías y verifique que no se encuentra ningún tipo de obstrucción en su interior. Lo cual pueda afectar el correcto funcionamiento del equipo. Si se encuentra obstruido, proceda a retirar la tubería del resto de componentes del equipo y realice la limpieza adecuada para retirar el objeto que produce la obstrucción.

Mantenga la tubería de aspiración de grano de café alejada de productos químicos, líquidos o sólidos que afecten la calidad del café y el correcto funcionamiento del sistema.

Cambie el sistema de tuberías si se observan algunas de los siguientes problemas:

- Fugas
- Desgaste en las paredes tanto internas como externas

7.2. CICLÓN

Si se presenta acumulamiento de granos de café en la sección que comunica el ciclón con la tolva de almacenamiento, retire manualmente la tubería en la parte superior y hale hacia arriba el tanque ciclónico, una vez realizado este procedimiento proceda a desbloquear la salida del ciclón.

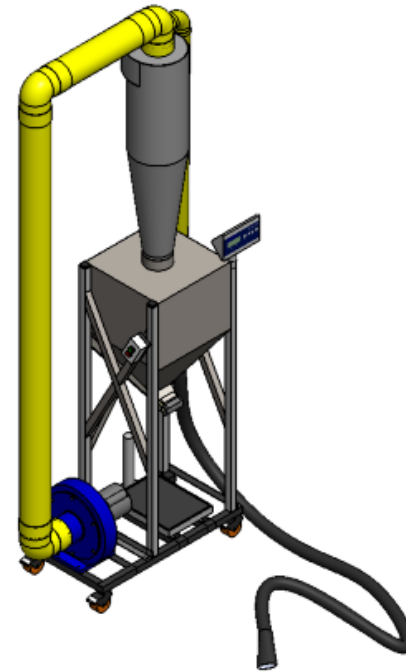
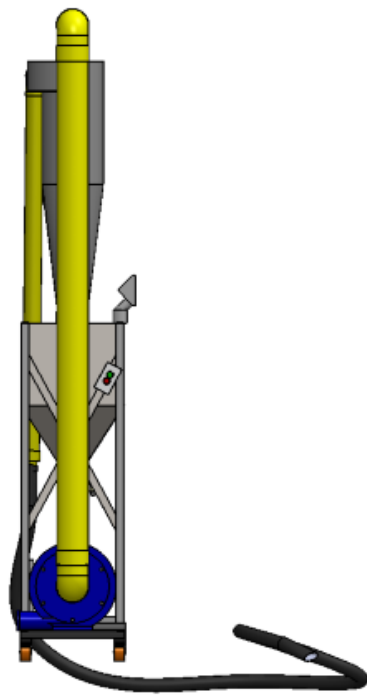
7.3. TOLVA DE ALMACENAMIENTO

Mantenga limpio el interior de la tolva de almacenamiento y descarga de café, cualquier componente ajeno a este puede generar anomalías en el funcionamiento de la tolva, antes y después de encender el equipo, verifique que se encuentra cerrada la compuerta de llenado ubicada en la parte inferior de la tolva, esto permitirá mantener el vacío generado por la turbina de aspiración dirigido solo a la tubería de aspiración.

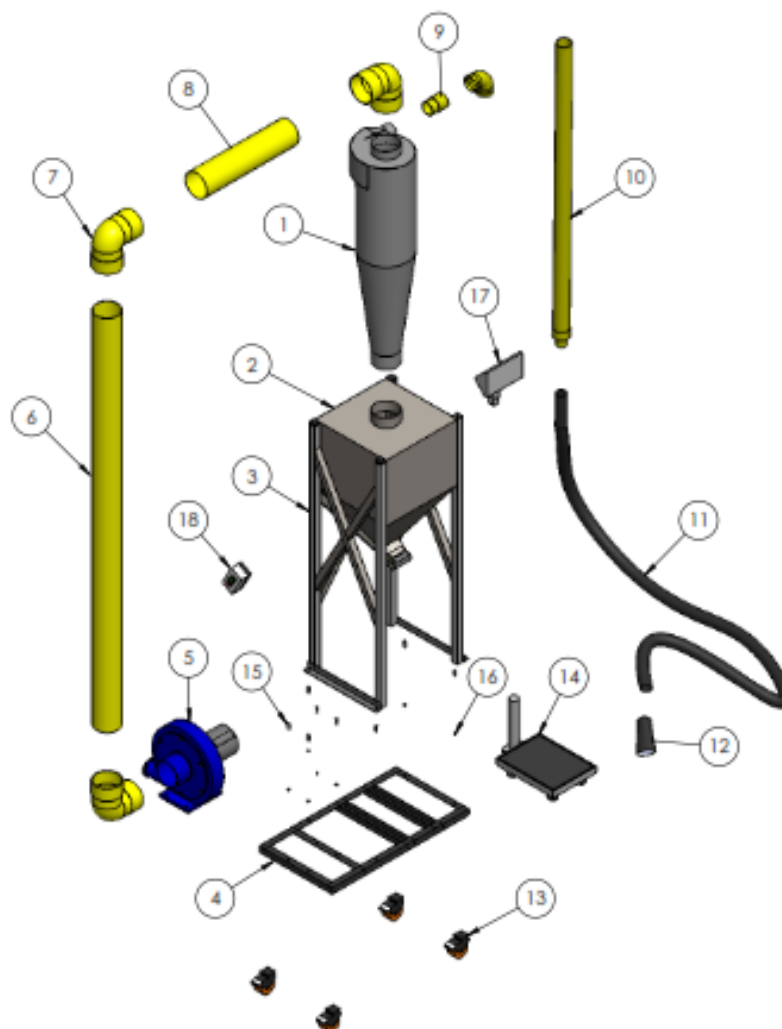
7.4. BÁSCULA

Una vez finalizado el proceso de ensacado de sacos y apagado el equipo evite dejar cargas sobre la báscula. Nunca sobre pasar la capacidad para la cual fue diseñada la báscula (150 kg).



ANEXO F PLANOS DE CONSTRUCCION

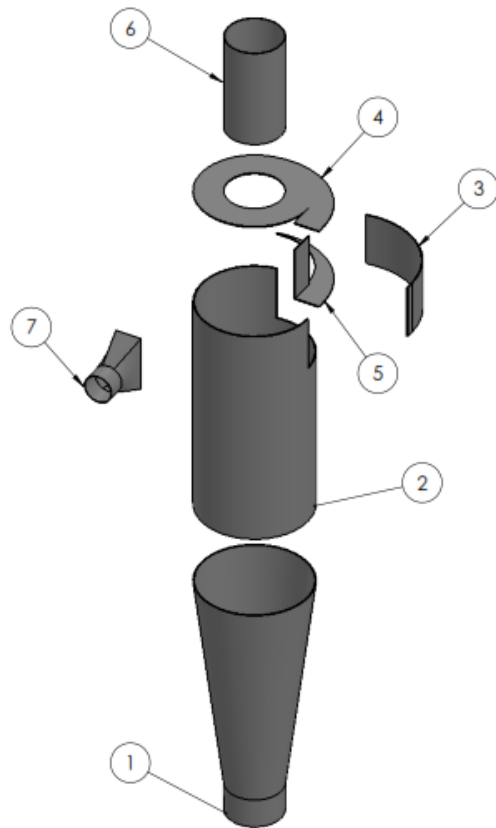


 	ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA	
ESCALA: 1:20	SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO	
	DIBUJADO POR: ARLEY COY G CARLOS EDUARDO ACOSTA	FECHA XX/10/2014
FORMATO A3	REVISADO POR: JULIAN ERNESTO JARAMILLO	PIEZA #
MEDIDAS EN: mm	ACERO	PLANO # 01-00-00



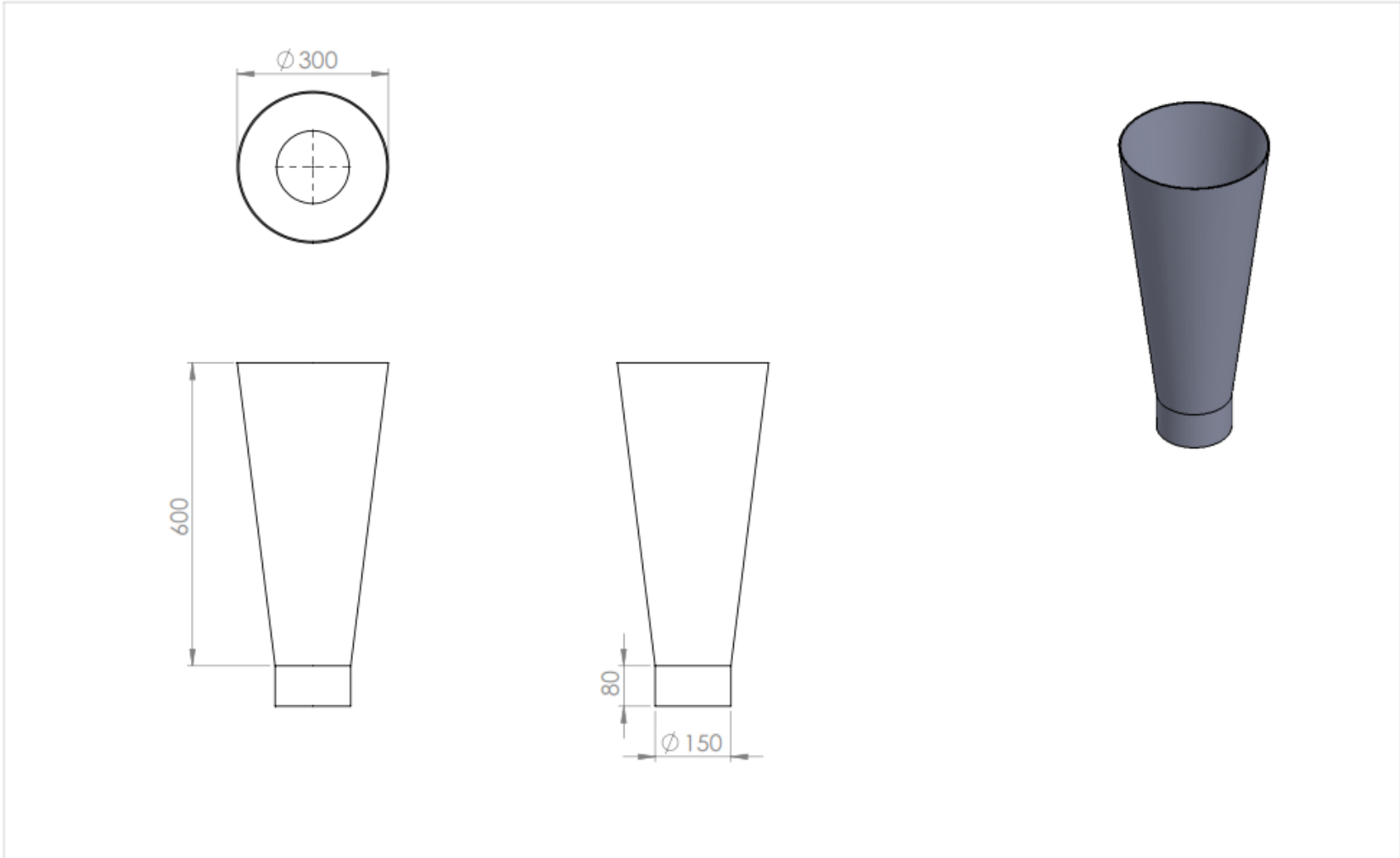
N°	NOMBRE	CANT	MATERIAL
1	CICLON	1	ACERO
2	TOLVA	1	ACERO
3	SOPORTE LATERAL	2	ACERO
4	SOPORTE BASE	1	ACERO
5	VENTILADOR CENTRIFUGO	1	MATERIAL
6	TUBO VERCAL	1	PVC
7	CODOS 90°	4	PVC
8	TUBO HORIZONTAL	1	PVC
9	UNIONES	2	PVC
10	TUBO VERTICAL SUCCION	1	PVC
11	MANGUERA SUCCION	1	PLASTICO
12	BOQUILLA DE SUCCION	1	PVC
13	RODACHINES	4	NAILON
14	BASCULA	1	MATERIAL
15	PERNOS	8	ACERO
16	TUERCAS	8	ACERO
17	PANTALLA BASCULA	1	MATERIAL
18	INTERRUPTOR ON-OFF	1	MATERIAL


 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ESCALA 1:20		
EXPLOSION GENERAL		
	DIBUJADO POR: ARLEY COY G CARLOS EDUARDO ACOSTA	FECHA XX/10/2014
FORMATO A3	REVISADO POR: JULIAN ERNESTO JARAMILLO	PIEZA # EXPLOSION
MEDIDAS EN mm	MATERIAL: ACERO	PLANO # 01-00-00

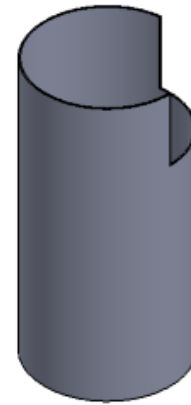
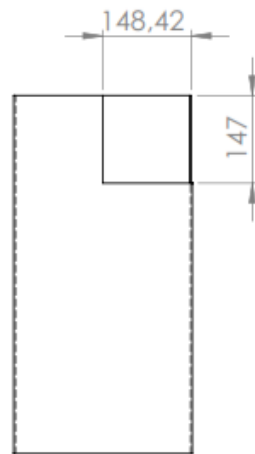
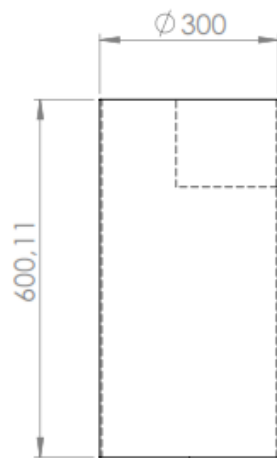
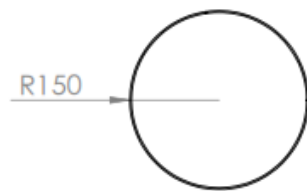


N°	NOMBRE	CANT	MATERIAL
1	CONO CICLON	1	ACERO
2	CILINDRO CICLON	1	ACERO
3	TAPA LATERAL CICLON	1	ACERO
4	TAPA SUPERIOR CICLON	1	ACERO
5	TAPA INFERIOR CICLON	1	ACERO
6	SALIDA DE AIRE DEL CICLON	1	ACERO
7	ENTRADA DE GRANO DEL CICLON	1	ACERO

  ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ESCALA 1:10	EXPLOSION CICLON	
	DIBUJADO POR: ARLEY COY G CARLOS EDUARDO ACOSTA	FECHA XX/10/2014
FORMATO A3	REVISADO POR: JULIAN ERNESTO JARAMILLO	PIEZA # EXPLOSION 2
MEDIDAS EN mm	ACERO COLDROLLED	PLANO # 01-02-00



		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		CONO CICLON	PIEZA # 2	MATERIAL ACERO COLDROLLED
		ESCALA 1:10	MEDIDAS EN mm	FECHA XX/10/2014	DIBUJADO POR: ARLEY COY GRANADOS CARLOS EDUARDO ACOSTA	PLANO # 01-02-02



ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ESCALA
1:10**

**MEDIDAS EN
mm**

**FECHA
XX/10/2014**

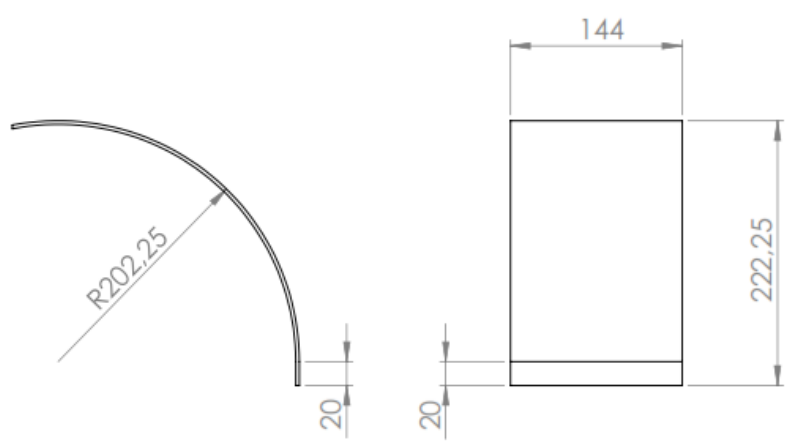
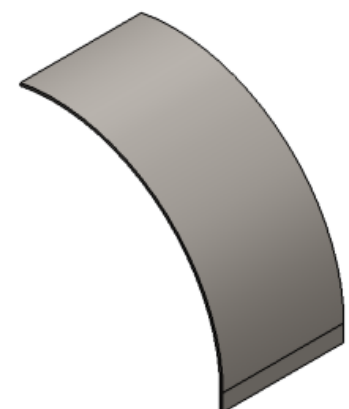
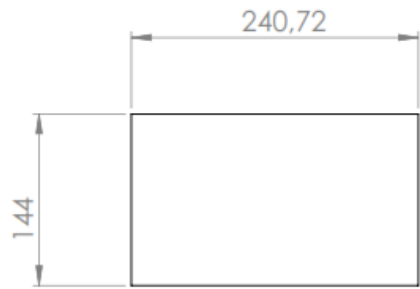
CILINDRO CICLON



**DIBUJADO POR: ARLEY COY GRANADO
CARLOS EDUARDO ACOSTA**

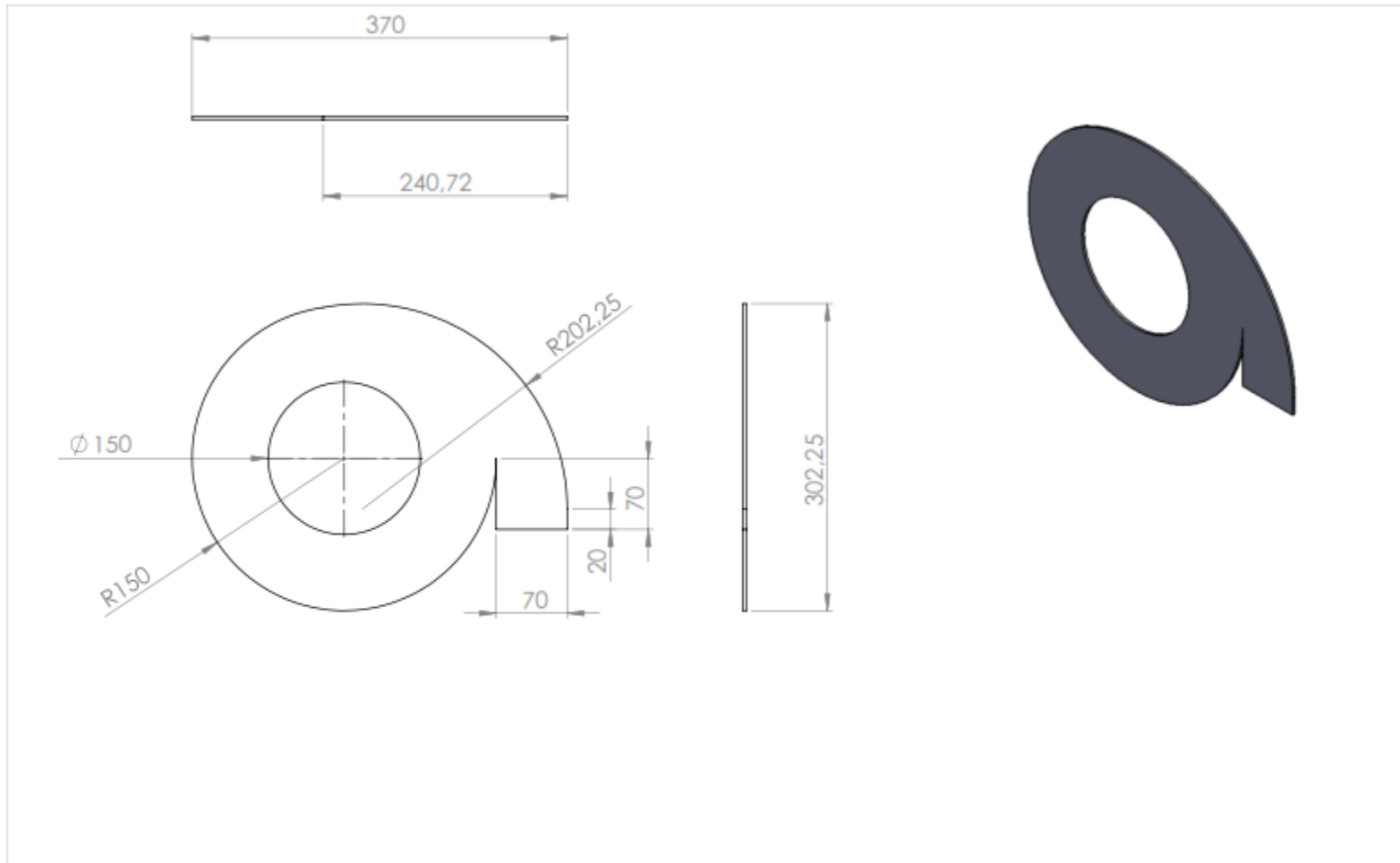
**PIEZA #
1**

**MATERIAL
ACERO COLDROLLED**

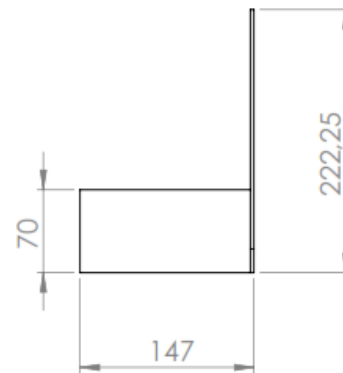
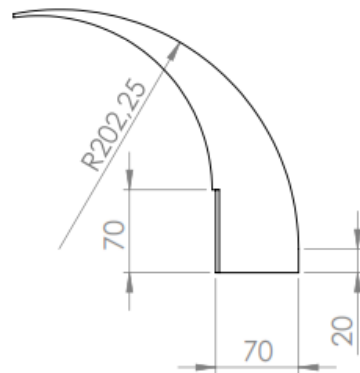
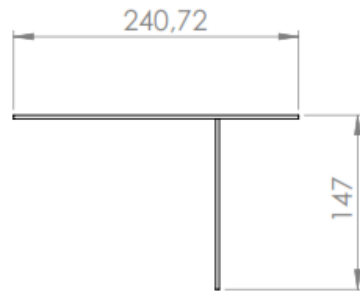
**PLANO #
01-02-01**





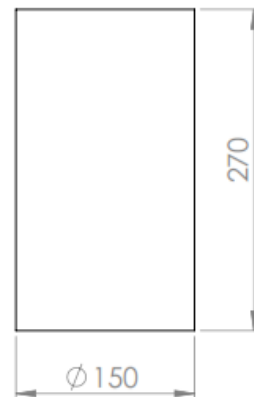
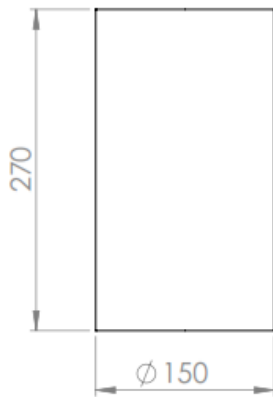
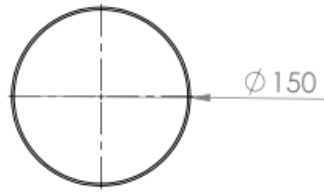
		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TAPA TANGENCIAL		PIEZA # 4	MATERIAL ACEROCOLDROLLED
		ESCALA 1:5	MEDIDAS EN mm	FECHA XX/10/2014	DIBUJADO POR: ARLEY COY GRANADOS CARLOS ACOSTA MATEUS		PLANO # 01-02-04




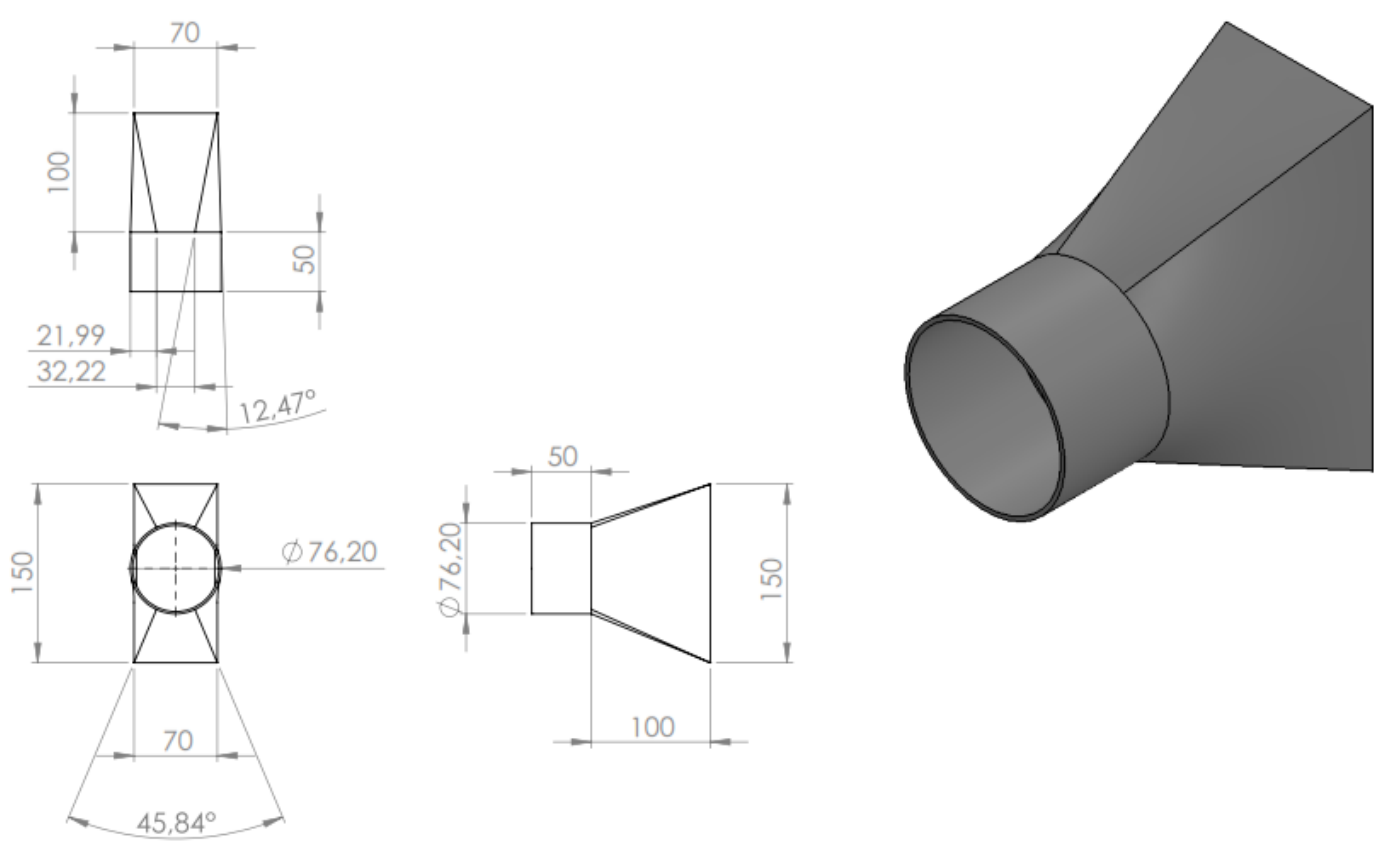
		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TAPA SUPERIOR DEL CICLON	PIEZA # 3	MATERIAL ACERO COLDROLLED
		ESCALA 1:10	MEDIDAS EN mm	FECHA XX/10/2014	DIBUJADO POR: ARLEY COY GRANADOS CARLOS ACOSTA MATEUS	



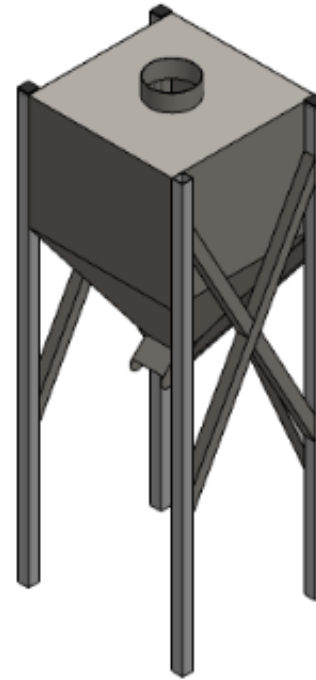
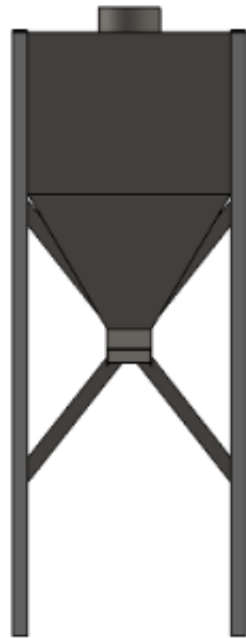
		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TAPA TANGENCIAL INFERIOR	PIEZA # 5	MATERIAL ACERO COLDROLLED
		ESCALA 1:5	MEDIDAS EN mm	FECHA XX/10/2014	DIBUJADO POR: ARLEY COY GRANADOS CARLOS ACOSTA MATEUS	






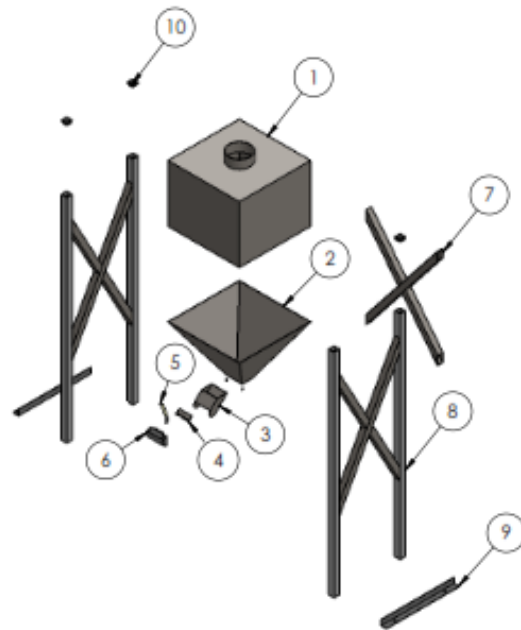
		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		NOMBRE SALIDA DEL CICLON	PIEZA # 6	MATERIAL ACERO COLDROLLED
		ESCALA 1:5	MEDIDAS EN mm	FECHA XX/10/2014	DIBUJADO POR: ARLEY COY GRANADOS CARLOS EDUARDO ACOSTA	



		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			NOMBRE ENTRADA AL CICLON	PIEZA # 7	MATERIAL ACERO COLDROLLED
		ESCALA 1:2	MEDIDAS EN mm	FECHA XX/10/2014	DIBUJADO POR: ARLEY COY GRANADOS CARLOS EDUARDO ACOSTA		PLANO # 01-02-07

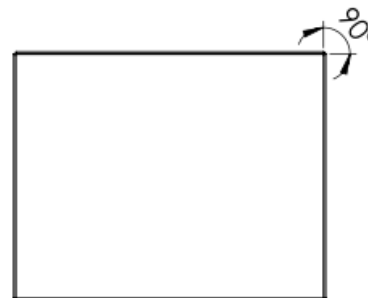
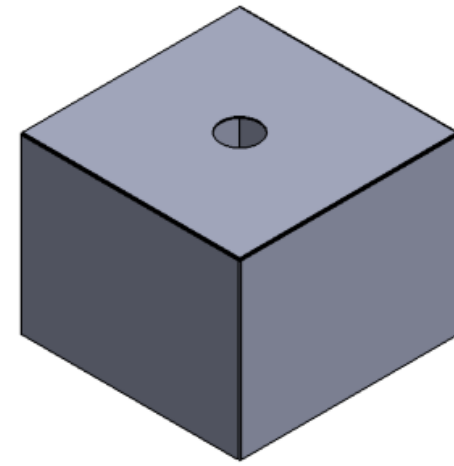
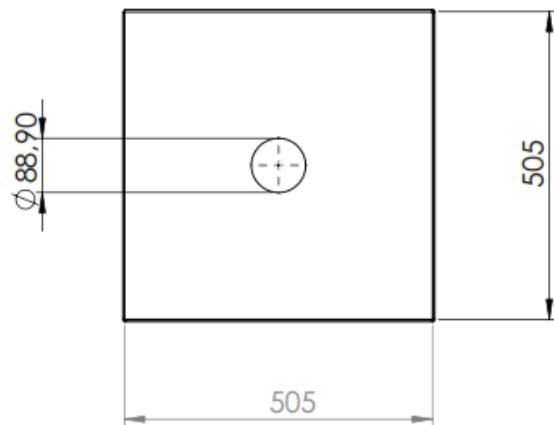




  ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA			
ESCALA: 1:10		SUBENSAMBLE TOLVA	
	DIBUJADO POR: ARLEY COY G	FECHA	
	CARLOS EDUARDO ACOSTA	XX/10/2014	
FORMATO	REVISADO POR:	PIEZA #	
A3	JULIAN ERNESTO JARAMILLO	SUBENSAMBLE 1	
MEDIDAS EN:	ACERO	PLANO #	
mm		01-01-00	

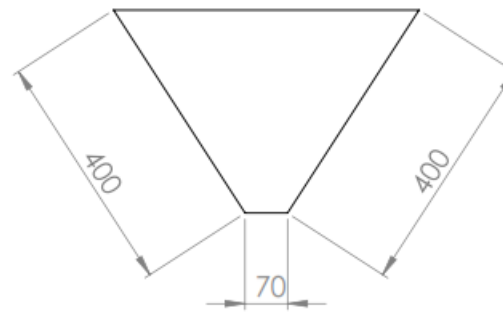
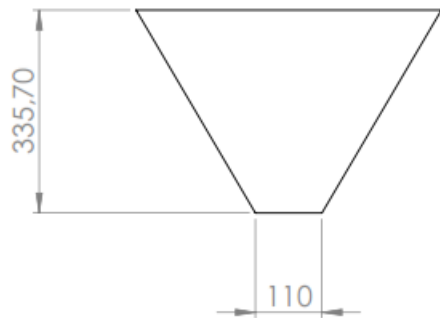
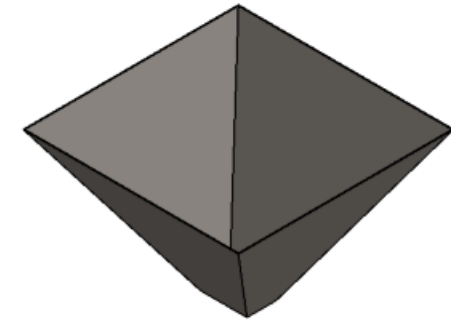
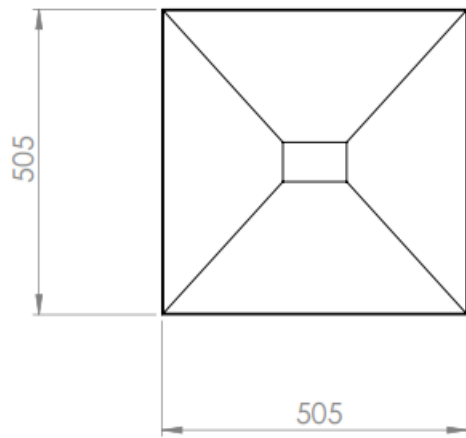




N°	NOMBRE	CANT	MATERIAL
1	CUADRADO TOLVA	1	ACERO
2	PIRAMIDE TOLVA	1	ACERO
3	SALIDA DE DESCARGA TOLVA	1	ACERO
4	BISAGRA	1	ACERO
5	PALANCA DE CIERRE	1	ACERO
6	TAPA DE SALIDA	1	ACERO
7	SOPORTE POSTERIOR	1	ACERO
8	SOPORTE LATERAL	2	ACERO
9	SOPORTE BASE LATERAL	2	ACERO
10	TAPON	3	PLASTICO

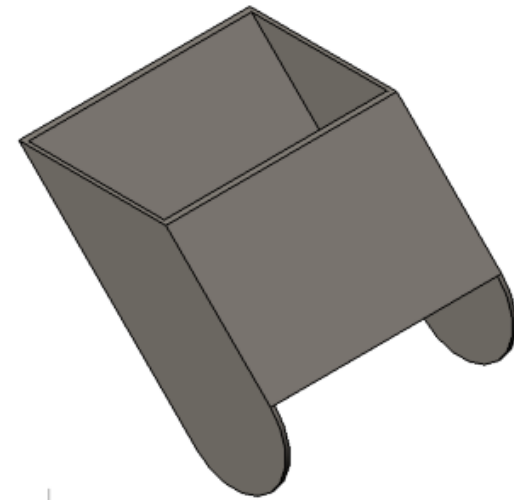
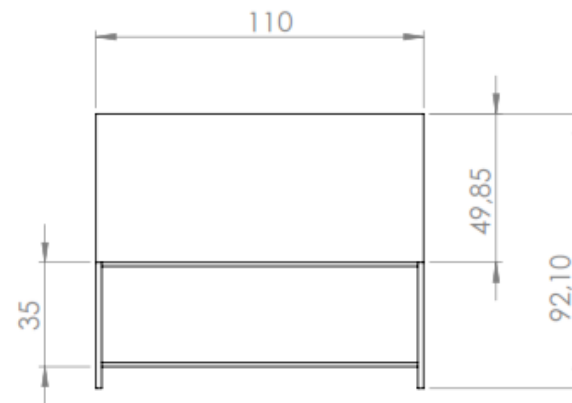
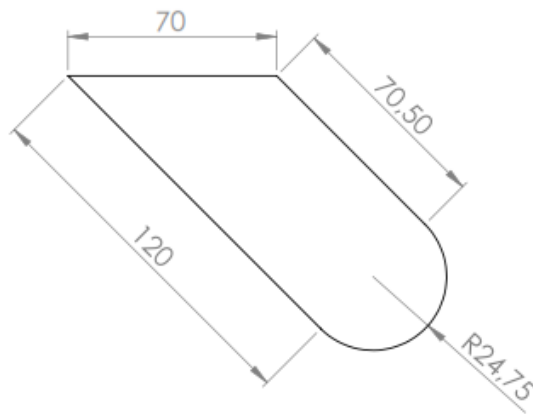
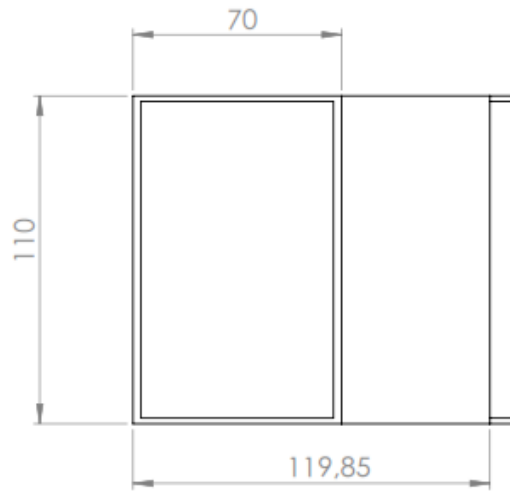
		
EXPLOSION TOLVA		
ESCALA 1:20 	DIBUJADO POR: ARLEY COY G CARLOS EDUARDO ACOSTA	FECHA XX/10/2014
FORMATO A3	REVISADO POR: JULIAN ERNESTO JARAMILLO	PIEZA # EXPLOSION 2
MEDIDAS EN mm	ACERO COLDROLLED	PLANO # 01-01-00





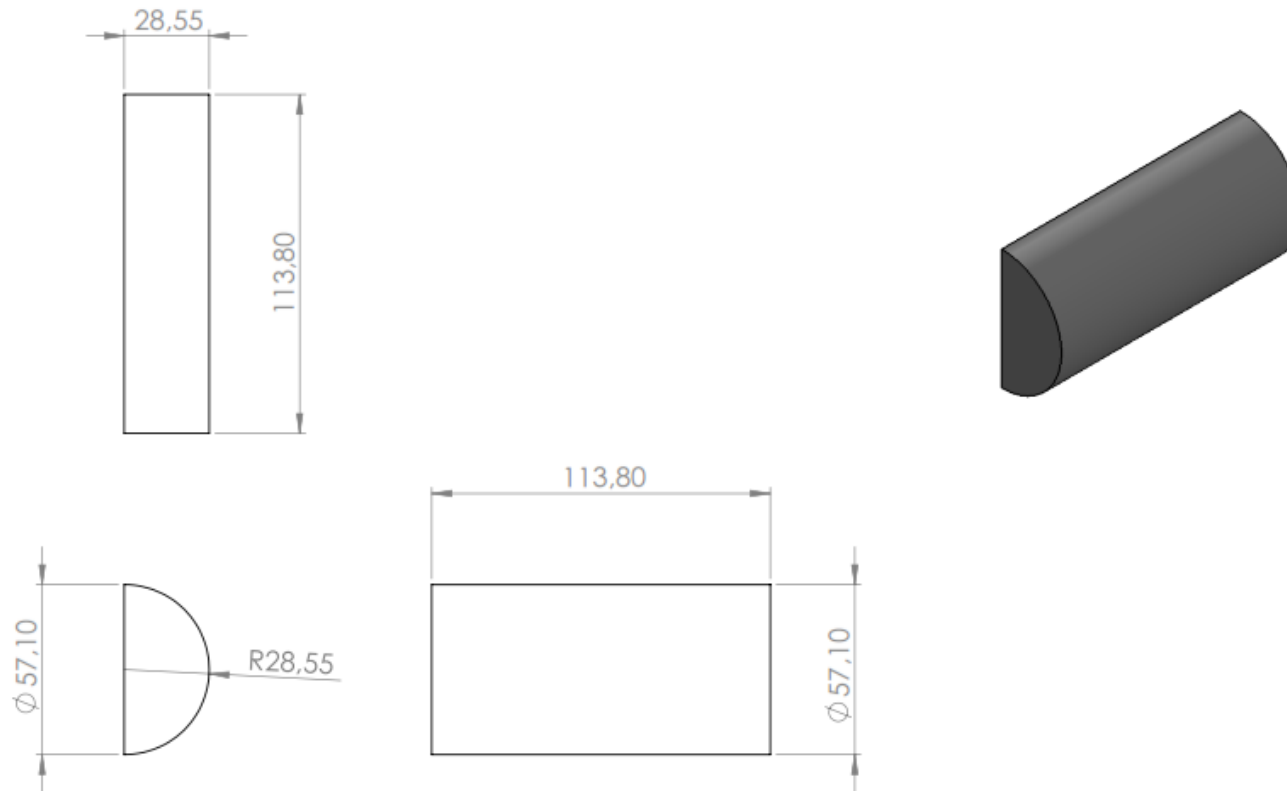
		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		CUADRADO TOLVA	PIEZA # 2	MATERIAL ACERO COLDROLLED
		ESCALA 1:10	MEDIDAS EN mm	FECHA XX/10/2014	DIBUJADO POR: ARLEY COY GRANADOS CARLOS EDUARDO ACOSTA MATEUS	



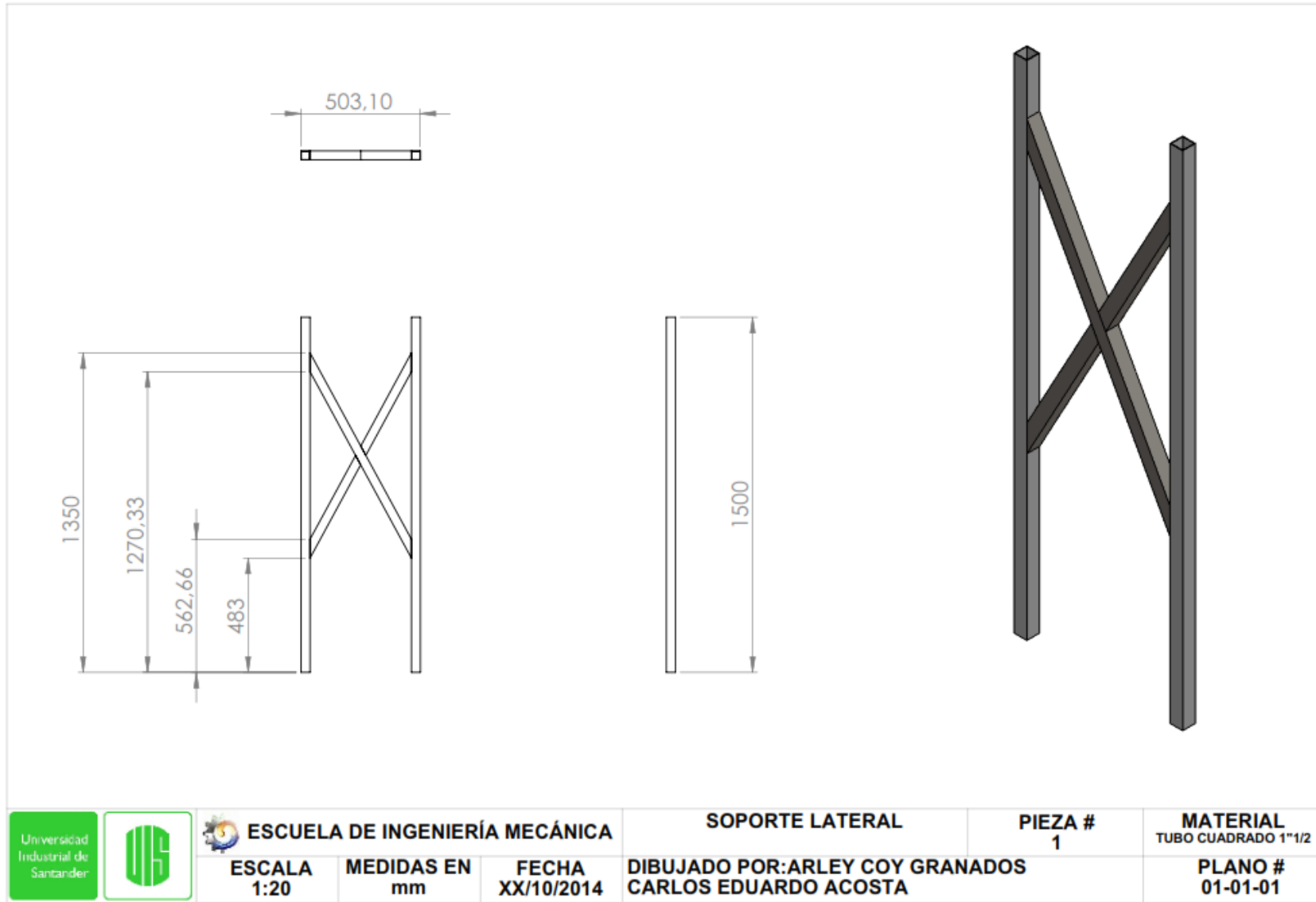
		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			PIRAMIDE TOLVA	PIEZA # 3	MATERIAL ACERO COLDROLLED
		ESCALA 1:10	MEDIDAS EN mm	FECHA XX/10/2014	DIBUJADO POR: ARLEY COY GRANADOS CARLOS EDUARDO ACOSTA MATEUS		PLANO # 01-01-03

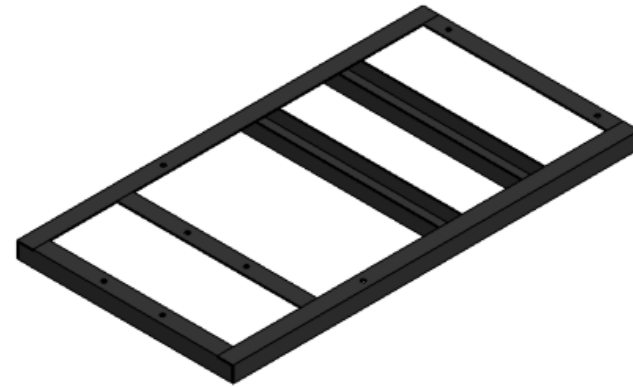
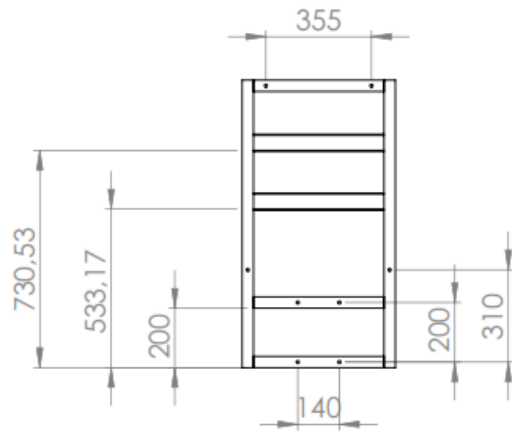


		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		NOMBRE SALIDA DE DESCARGA TOLVA	PIEZA # 3	MATERIAL ACERO COLDROLLED
		ESCALA 1:2	MEDIDAS EN mm	FECHA XX/10/2014	DIBUJADO POR: ARLEY COY GRANADOS CARLOS EDUARDO ACOSTA	



		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		NOMBRE TAPA DE SALIDA	PIEZA # 6	MATERIAL ACERO COLDROLLER
		ESCALA 1:2	MEDIDAS EN mm	FECHA XX/10/2014	DIBUJADO POR: ARLEY COY GRANADOS CARLOS EDUARDO ACOSTA	





		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		BASE DE LA ESTRUCTURA	PIEZA # 4	MATERIAL PERFIL EN L 1"1/2X3/16
		ESCALA 1:20	MEDIDAS EN mm	FECHA XX/10/2014	DIBUJADO POR: ARLEY COY GRANADOS CARLOS EDUARDO ACOSTA	PLANO # 01-01-04