 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Propuesta de mejora en la línea de vegetales para la empresa PANAMERICANA DE ALIMENTOS S.A.S, mediante un sistema automático de transporte dosificación y mezcla de granos.

Javier Londoño Márquez

Ingeniería Mecatrónica

Norma Patricia Guarnizo

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2019

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

La empresa PANAMERICANA DE ALIMENTOS SAS se dedica a elaborar y desarrollar alimentos de conserva, dentro de sus líneas de producción se encuentra la línea de vegetales enlatados; cuyo proceso de mezcla, transporte y dosificación se desarrolla de forma artesanal. El propósito de este proyecto es presentar una propuesta de mejora, mediante un sistema automático de transporte, dosificación y mezcla de granos.

Palabras clave: transporte, mezcla, dosificación, neumática, granos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Fueron muchas las personas que me apoyaron durante este proceso, para todas ellas no me queda más que dar infinitas gracias por su apoyo incondicional. A mis padres los cuales siempre me apoyaron con su motivación y positivismo, compañeros de la universidad con los cuales formamos un lazo de hermandad, docentes y asesora Norma Patricia Guarnizo del ITM que siempre estuvieron dispuestos a aclarar dudas y dificultades, a todo el personal de PANAMERICANA DE ALIMENTOS en especial a mi jefe de área María Carolina Sáenz que apoyaron mi labor en la empresa ayudando a afianzar todo el conocimiento adquirido.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

ASME: American Society of Mechanical Engineers

BPM (Buenas prácticas de manufactura): Rigen los procedimientos en plantas de alimentos con el fin de realizar productos higiénicos y seguros a los consumidores.

U_{pu} (Velocidad de desprendimiento): Velocidad del gas que logra que las partículas comiencen a desprenderse, separándose de esta superficie.

U_s (Velocidad de deposición): Corresponde a la velocidad mínima de transporte para prevenir que las partículas se depositen en un sistema de transporte neumático.

U_{ch} (Velocidad de atascamiento): Es la velocidad mínima requerida para que no haya atascamiento de material en tuberías verticales.

$U_{g Min}$ (Velocidad mínima de transporte): Límite de velocidad que asegura un flujo adecuado en el que no se bloquee la tubería.

U_{purga} (Velocidad de purga): Corresponde a aquella velocidad necesaria para desatascar una tubería tapada con material.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	7
2	OBJETIVOS	9
2.1	GENERAL	9
2.2	ESPECÍFICOS	9
3	MARCO TEÓRICO	10
3.1	FLUJO Y MANEJO DE MATERIALES EN LINEAS DE MANUFACTURA	10
3.1.1	Diagrama de flujo	11
3.2	TRANSPORTE NEUMÁTICO DE MATERIAS PRIMAS	12
3.2.1	Aspectos generales	12
3.2.2	Parámetros de diseño para sistemas de transporte neumático	18
3.3	TIPOS DE DOSIFICADORES INDUSTRIALES	21
3.3.1	Dosificador por vibración	22
3.3.2	Dosificador por tornillo	22
3.3.3	Dosificación volumétrica	22
3.3.4	Dosificación gravimétrica	23
3.4	TIPOS DE MEZCLADORES	23
3.4.1	Mezcladores de cintas o de hélices	23
3.4.2	Mezcladores verticales de tornillo	24
3.4.3	Mezcladores de volteo	24
4	METODOLOGÍA	25
4.1	FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA LINEA	25
4.1.1	Preparación previa del producto	26
4.1.2	Proceso productivo de cada materia prima	28
4.1.3	Distribución actual de la línea de vegetales	30
4.2	ANÁLISIS DE EQUIPOS PARA POSIBLE IMPLEMENTACIÓN	31
4.3	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS A MANEJAR	33
4.3.1	Densidad aparente	33
4.3.2	Flujo másico a mover	35
4.3.3	Porcentajes de producción	36
4.3.4	Capacidad de tolva de bombeo	36

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.4	DIMENSIONES Y VOLÚMENES DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS.....	37
4.4.1	Mezclador seleccionado	38
4.4.2	Tolvas gravimétricas	39
4.4.3	Tolvas de recepción	41
4.5	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO	42
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
6	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	57
6.1	CONCLUSIONES.....	57
6.2	RECOMENDACIONES.....	58
6.3	TRABAJO A FUTURO.....	58
7	REFERENCIAS	60
	APÉNDICE.....	62

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1 INTRODUCCIÓN

La empresa PANAMERICANA DE ALIMENTOS SAS elabora y desarrolla alimentos de conserva, entre ellos se encuentra la línea de vegetales enlatados, misma que ha tenido un incremento significativo en la demanda durante los últimos años, sin embargo, parte del proceso se desarrolla aun artesanalmente, lo cual hace necesario diseñar e implementar un sistema automático para el transporte, dosificación y mezcla de la materia prima.

La línea de enlatados maneja distintos tipos de vegetales, pero los de mayor demanda son arveja, frijol, maíz y zanahoria. Este proceso es totalmente manual, inicialmente los operarios deben hidratar la materia prima durante cierto tiempo, especialmente la arveja y el frijol, posteriormente, la llevan a la tolva de inicio, donde algunos granos como la arveja y la zanahoria son pesados y mezclados con pala. Este proceso artesanal ha generado algunas problemáticas como son: desperdicio de la materia prima, bajos tiempos de producción, problemas de higiene por contaminación y baja calidad en el producto. Lo que busca la presente práctica en la empresa, es proponer un sistema que mejore significativamente el proceso, contribuyendo así con una producción de mayor calidad que satisfaga la demanda actual del producto.

El sistema automático que se está proponiendo para el transporte, dosificación y mezcla de grano, cuenta con una característica que lo hace un poco diferente a los existentes en Colombia, y es el alto porcentaje de humedad en la materia prima, para lo cual se han estudiado varias alternativas de transporte neumático. En (Giraldo, 2017) , compañeros del ITM, desarrollaron un sistema para la dosificación y mezcla en COLCAFE, en el cual por medio de un transportador neumático y dos tolvas, lograron mejorar el proceso de mezclado en un 50%. Por otro lado, en (Rojas, 2015) diseñaron un sistema de transporte neumático para la preparación de sal mineral para bovinos, el cual toma la sal desde una

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

su llegada en bultos donde después de ser vaciada a una tolva esta es transportada por tuberías hasta el sitio donde se realiza su preparación.

En la universidad de Valparaíso se encontró tres trabajos muy completos, entre ellos el de (Coqui, 2017), esta persona se centra en los cálculos necesarios para hallar las velocidades mínimas de transporte en tuberías verticales para sistemas de transporte neumático. El segundo trabajo de esta universidad es el de (Guzmán A. F., 2018), el cual realizó el cálculo y montaje de un prototipo para sistema de transporte de arena para el frenado de trenes, básicamente su funcionamiento consta de un ventilador que empuja por una red de tuberías la arena desde un punto a otro, simulando así el sistema de estudio. Mientras que el trabajo de (Martínez, 2016) se centró en un desarrollo computacional para diseñar sistemas de transporte neumático en fase diluida, basado en Excel y aplicando funcionalidades de Visual Basic.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2 OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Proponer una mejora en la línea de vegetales para la empresa PANAMERICANA DE ALIMENTOS S.A.S, mediante un sistema automático de transporte, dosificación y mezcla de granos.

2.2 ESPECÍFICOS

- Establecer las características del proceso asociado a la línea de vegetales.
- Evaluar diferentes alternativas técnicas para el proceso de transporte, dosificación y mezcla de granos.
- Proponer el diseño del sistema automático para la línea de vegetales.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3 MARCO TEÓRICO

Para entender toda la problemática y el funcionamiento de la línea en la cual se propone el sistema de mejora, es necesario conocer ciertos conceptos, partiendo de su base productiva. Por ello se da una introducción en el manejo de materias primas en líneas de manufactura, explicando con diagramas cuales son los recorridos y como se mueven estos materiales durante todas las fases de la línea de producción.

Teniendo el concepto claro de cómo funciona una línea de manufactura, se pasa a explicar lo equipos que conformaran el sistema de transporte, dosificación y mezcla. Iniciando con el transporte neumático de sólidos y con algunos dosificadores y mezcladores industriales que se analizaron para su posible implementación.

3.1 FLUJO Y MANEJO DE MATERIALES EN LINEAS DE MANUFACTURA

Para saber la distribución de los equipos que conformaran un sistema y su distribución en una planta de producción, se debe conocer muy bien sobre el manejo de materiales. Por ellos se debe saber cuál es el flujo de la materia prima a través de toda la línea, estos análisis no solo consideran su trayectoria, sino que tratan de minimizar distancias de recorridos evitando retrocesos y tráficos cruzados, con un conocimiento básico de estos datos se puede evitar de manera directa costos elevados de fabricación. (Stephens, 2006)

El tema de manejo de materiales es muy importante para cualquier proceso en líneas de manufactura, ya que se debe hacer un análisis de todo el ciclo de la materia prima desde su llegada a la empresa, su preparación, proceso de fabricación, empaque hasta su disposición final. A la hora de hacer dicho análisis nos debemos hacer algunos interrogantes planteados en la “Ecuación de manejo de materiales” (*ver Ilustración 1*) los cuales nos ayudan realizar correcciones y mejoras con base a unos factores como cantidad, forma volumen, tiempos, velocidades entre otro. Si se realiza un estudio a detalle de este proceso, se puede evidenciar problemas que no fueron tenidos en cuenta y que pueden afectar de manera directa el proceso en la línea.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

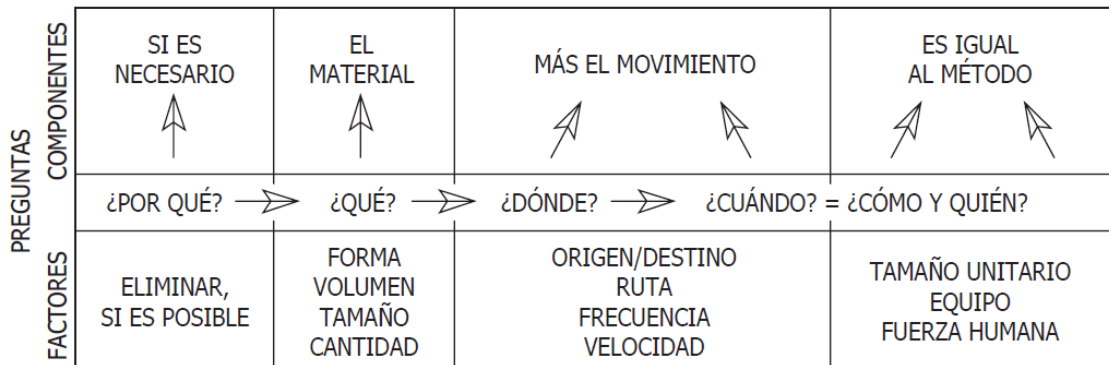


Ilustración 1 Ecuación manejo de materiales

Fuente: (Stephens, 2006)

El manejo de materias primas se define como el movimiento de éstos por toda la línea de producción. La American Society of Mechanical Engineers (ASME), define el “manejo de materiales”, como el arte y las ciencias que involucran el movimiento, empaque y el almacenamiento de sustancias en cualquier forma. También afirman que este manejo de materiales puede ser dividido en cinco dimensiones: movimiento, cantidad, tiempo, espacio y control. (Stephens, 2006, pág. 287)

3.1.1 Diagrama de flujo

Los diagramas de flujo son una herramienta bastante práctica para analizar todo el recorrido que hace un material desde su llegada hasta su salida final como producto, incluyendo todas las variables que rodean su proceso. Estas trayectorias al ser plasmadas sobre un plano de la planta, su elaboración es bastante sencilla como se puede ver en la *Ilustración 2*. Con ellos se pueden poner en evidencia factores que afectan la productividad de la línea como lo es el tráfico cruzado, retrocesos y distancias recorridas. Para elaborar este tipo de diagramas se debe agrupar por labores o zonas de trabajo e ir mostrando el orden en que se realizan tales operaciones, así es fácil de entender un proceso para cualquier tipo de persona así esta no tenga un gran conocimiento sobre el tema tratado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

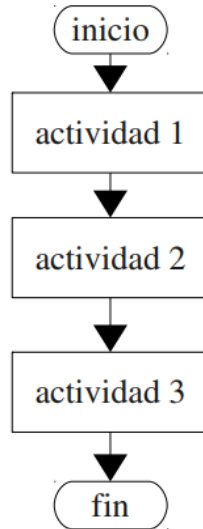


Ilustración 2 Esquema básico de un diagrama de flujo

Fuente: (Stephens, 2006)

3.2 TRANSPORTE NEUMÁTICO DE MATERIAS PRIMAS

El transporte neumático consiste básicamente en transportar desde un punto a otro, mediante un gas, un material sólido particulado en un sistema de tubería. Este método ha sido practicado por más de un siglo, y hoy en día es utilizado en un sinnúmero de aplicaciones, como lo es la industria química, alimenticia, minería, de energía, entre otras. (Guzmán A. F., 2018)

3.2.1 Aspectos generales

Para el diseño de un sistema neumático de este tipo, es necesario conocer múltiples variables que influyen en este sistema, para poder clasificarlo, se puede iniciar por el tipo de presión que va a manejar, donde dicha presión de aire puede ser positiva, negativa o combinar ambas. La cual va a depender del sentido es que se va a mover el sólido y de cómo sea la distribución de los equipos en la zona de instalación.

También se puede clasificar por la concentración de sólido a mover, donde se puede dividir en fase diluida o fase densa. Esta clasificación depende directamente de la relación de carga μ , definido por la *Ecuación 1*.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\mu = W_s/W_g \quad (1)$$

Donde:

μ = Relación de carga

W_s = Flujo másico del sólido $\left(\frac{Kg}{s}\right)$

W_g = Flujo másico del gas $\left(\frac{Kg}{s}\right)$

Si $\mu < 10$ el sistema se denomina de fase diluida

Si $\mu > 50$ se denominan de fase densa

Si $10 < \mu < 50$, el comportamiento puede variar y no es claro

Todos los sistemas están conformados por una serie de componentes o equipos los cuales cumplen una función particular, para un transportador neumático básicamente se necesita de: Un equipo motriz el cual es el que suministra el gas para transporte (ventilador, soplador, compresor o bomba de vacío), alimentador que es la tolva o caneca donde se encuentra el sólido que se va a transportar, tubería de transporte que es el medio por donde se transportara la mezcla del gas con el sólido a mover y finalmente el separador que es el componente que desacelera y separa el gas del sólido.

La posición de cada uno de los equipos mencionados anterior mente varía según el sistema que se vaya a implementar ya sea por presión positiva o negativa, como se muestra en las *Ilustraciones 3 y 4*.

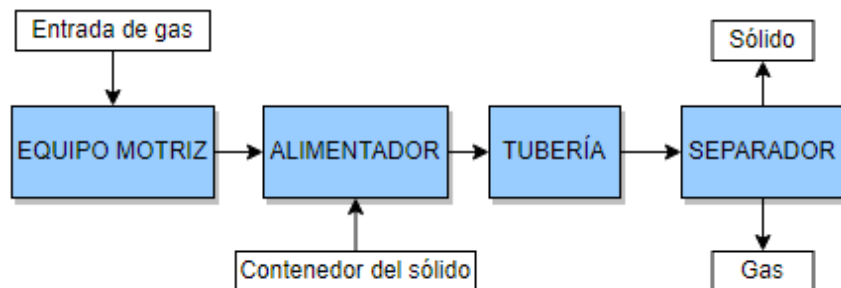


Ilustración 3 Distribución equipos SISTEMA DE PRESIÓN POSITIVA

Fuente: Propia

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

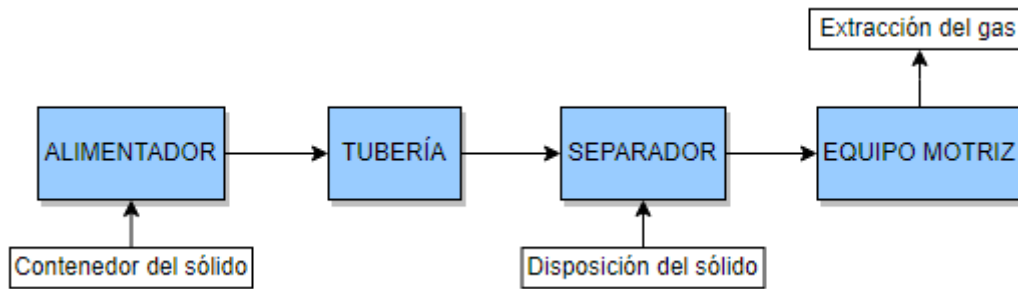


Ilustración 4 Distribución equipos SISTEMA PRESIÓN NEGATIVA

Fuente: Propia

Una de las formas para describir el funcionamiento de los sistemas de transporte neumático, es mediante el diagrama de estado, que corresponde a un gráfico de la caída de presión por unidad de largo de tubería, en función de la velocidad del gas de transporte para curvas con flujo de sólidos constante, como la mostrada en la *Ilustración 5*. Además, el funcionamiento de un sistema puede ser descrito mediante otra herramienta, llamada diagrama de estado “modificado” donde se grafica para un sistema en particular, la caída de presión total en función de la velocidad del gas de transporte para curvas de flujo de sólidos constantes. (Guzmán A. F., 2018, pág. 27).

En los diagramas de estado es posible diferenciar cuatro zonas. La primera, para flujo diluido, a mayor velocidad del gas, aumenta la caída de presión. En segundo lugar, a menores velocidades, se tiene una zona de flujo inestable en la cual no es recomendable transportar el material ya que el comportamiento de la mezcla de gas y sólidos se vuelve errático, con pulsaciones, vibraciones y partículas que se depositan en la parte inferior de la cañería, pudiendo llegar a obstruirla. En tercer lugar, en la zona de flujo denso estable, la presión aumenta al disminuir la velocidad del gas debido a una mayor interacción entre las partículas y con la pared, y una menor área efectiva de la tubería. En cuarto lugar, se tiene una zona límite en la que el flujo no es posible, estas zonas se puede observar de manera evidente en la *Ilustración 5*. (Guzmán A. F., 2018, pág. 27).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

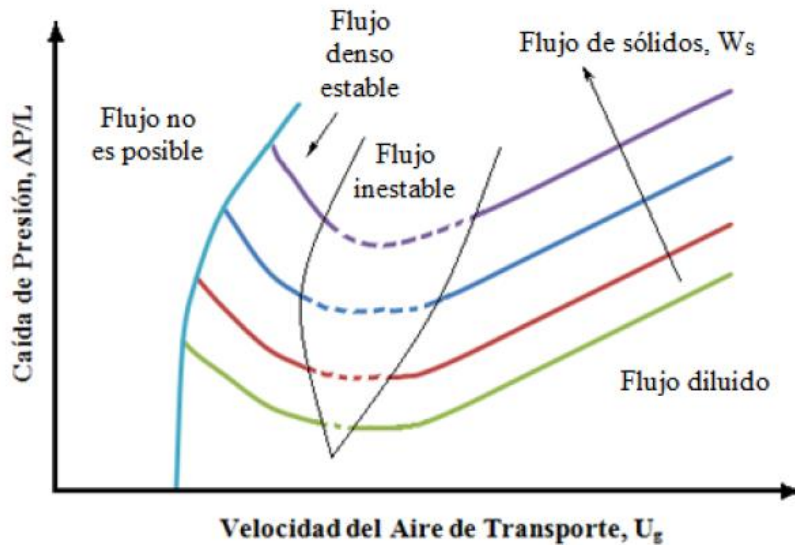


Ilustración 5 Diagrama de estado de un sistema de transporte neumático

Fuente: (Guzmán A. F., 2018)

El punto de operación de un sistema neumático se encuentra en la intersección de la curva característica del soplador con la curva para un flujo de sólidos determinado, como se muestra en la *Ilustración 6*, donde se opera a un flujo de sólidos WS_1 . Este punto de operación debe ser hallado cuidadosamente para lograr un buen transporte y a su vez un flujo estable. A muy altas velocidades las partículas pueden romperse debido a los choques, se genera desgaste en las tuberías de transporte y el consumo energético es mayor, por lo que los costos de operación son mayores. Por otra parte, si la velocidad es muy baja se puede estar operando en la zona de flujo inestable, lo cual no es deseado.

Para lograr el transporte de manera eficiente, se debe buscar el punto óptimo con el menor consumo energético, que es donde la presión es más baja pero se encuentra en la zona de flujo inestable, donde la velocidad puede no ser suficiente para transportar el material. De esta forma, se debe trabajar en un punto que permita un flujo adecuado con el menor consumo de energía. A este límite de velocidad se le llama velocidad mínima de transporte, marcado con una línea punteada en la *Ilustración 6*. Si se desea un flujo más diluido se debe operar a mayor velocidad. (Guzmán A. F., 2018)

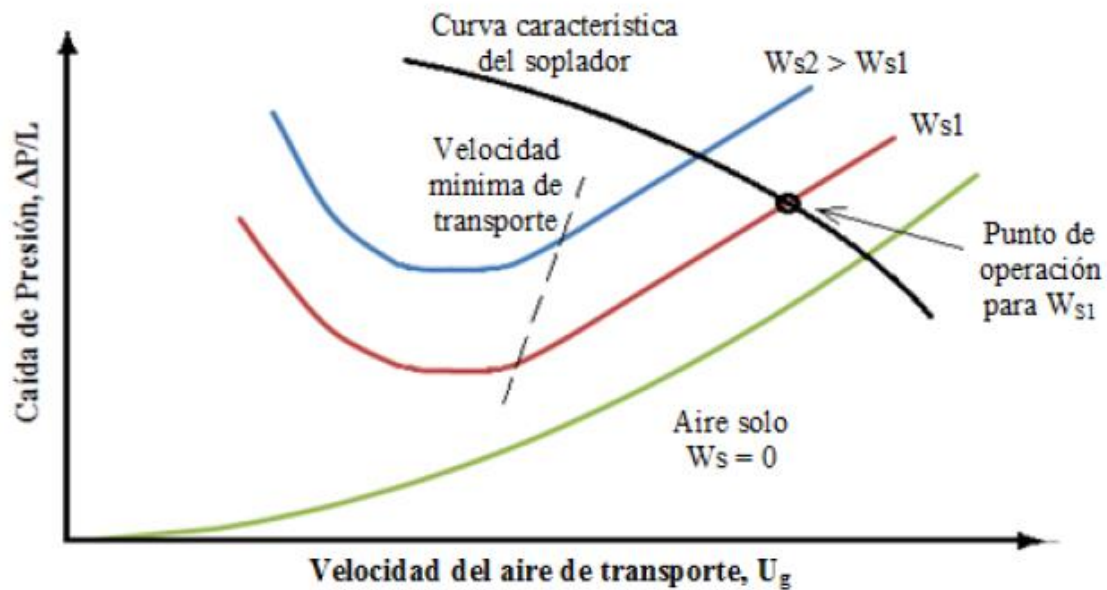


Ilustración 6 Punto de operación de un sistema en Fase diluida

Fuente: (Guzmán A. F., 2018)

La forma y comportamiento que se forma en la mezcla de gas y partículas depende principalmente del tipo de sistema, dimensiones y orientación de la tubería, características del sólido transportado, concentración en la mezcla y de la velocidad de transporte. Visualmente se definen una serie de tipos de flujo que van desde el homogéneo y completamente desarrollado, cuando existen altas velocidades y baja concentración de sólidos, hasta atascamientos y deposición de partículas en el fondo del ducto, cuando hay baja velocidad y alta concentración de sólidos. Predecir qué flujo se puede generar en un sistema es importante para su correcto diseño y operación. En las *Ilustraciones 7 y 8*, se muestran los flujos formados en la tubería horizontal y vertical.

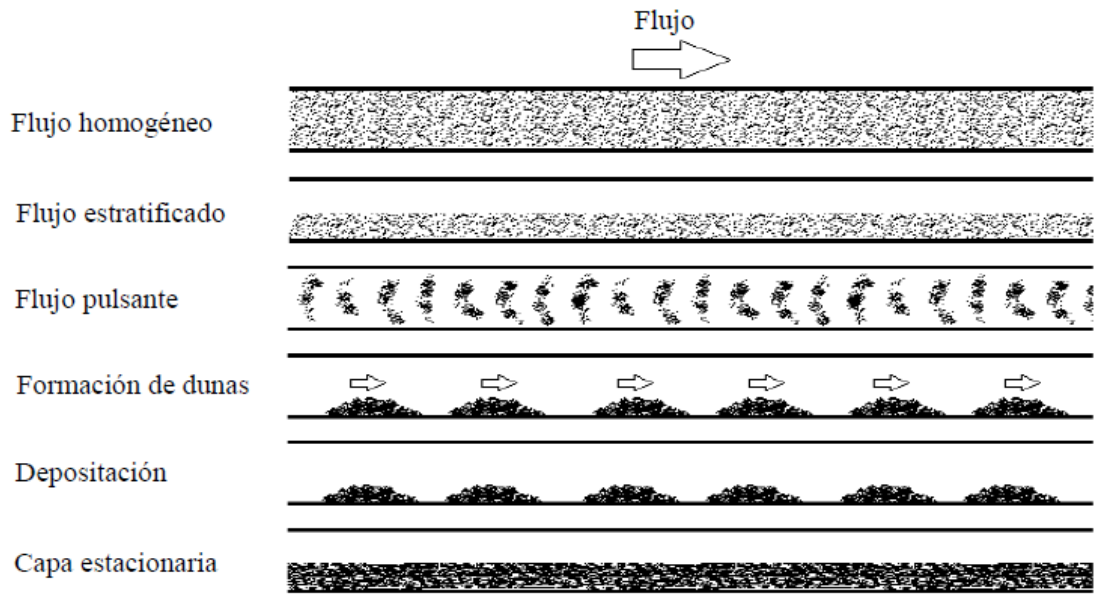


Ilustración 7 Tipos de flujo en tuberías horizontales

Fuente: (Guzmán A. F., 2018, pág. 29)

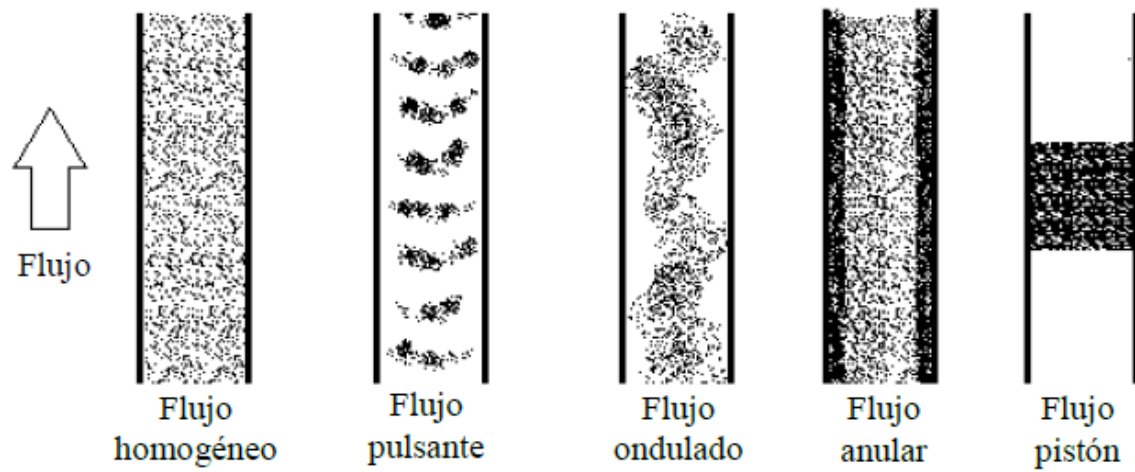


Ilustración 8 Tipos de flujos en tuberías verticales

Fuente: (Guzmán A. F., 2018, pág. 29)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.2.2 Parámetros de diseño para sistemas de transporte neumático

Los parámetros más relevantes para el diseño de un sistema de transporte neumático son nombrados a continuación:

- **Velocidad de deposición.**

Si en un flujo de gas con partículas fluyendo en suspensión en un ducto horizontal se disminuye gradualmente la velocidad del aire, manteniendo el flujo de sólidos constante, se tiene un punto en el que las partículas caen, depositándose en el fondo de la tubería. La velocidad del aire en este punto se define como la velocidad de deposición U_s y corresponde a la velocidad mínima de transporte para prevenir que las partículas se depositen en un sistema de transporte neumático que contenga una cañería horizontal.

Una de las relaciones obtenidas para calcular la velocidad de deposición U_s ha sido propuesta por Schade ver *Ecuación 2*.

$$\frac{U_s}{\sqrt{gD}} = \mu^{0.11} \left(\frac{D}{d_p}\right)^{0.025} \left(\frac{\rho_p}{\rho_g}\right)^{0.34} \quad (2)$$

- **Velocidad de caída de partículas.**

La velocidad terminal de caída de una partícula individual en tramos de tubería vertical, se haya de la siguiente manera.

$$U_t = \sqrt{\frac{4 dp g (\rho_p - \rho_g)}{3 C_d \rho_g}} \quad (3)$$

Donde:

C_d = Coeficiente de arrastre y depende del Número de Reynolds hayado

Según el número de Reynolds se debe aplicar un formula diferente para hallar el valor del coeficiente de arrastre Ver *Tabla 1*.

Condición de flujo	Número de Reynolds	Coefficiente de arrastre (C_d)
Stokes	$Re_p < 1$	$C_d = \frac{24}{Re_p}$
Intermedio	$1 < Re_p < 10^3$	$C_d = \frac{18,5}{Re_p^{0,6}}$
Newton	$10^3 < Re_p < 10^5$	$C_d = 0,44$
Kaskas	$Re_p < 10^5$	$C_d = \frac{24}{Re_p} + \frac{4}{Re_p^{0,5}} + 0,4$

Tabla 1 Coeficiente de fricción según Re

Fuente: (Coqui, 2017, pág. 35)

- **Velocidad de atascamiento.**

Cuando la velocidad del aire no es suficiente para transportar las partículas en una tubería vertical, el material caerá obstruyendo el ducto. La velocidad mínima requerida para que esto no ocurra se denomina velocidad de atascamiento U_{ch} , Ver Ecuación 4, una de las relaciones obtenidas para determinarla fue propuesta por Yousfi y Gau:

$$\frac{U_{ch}}{U_t} = 0.102\mu + 1.313 \quad (4)$$

- **Velocidad mínima de transporte.**

En el diseño de sistemas de transporte neumático es importante poder estimar un límite de velocidad que asegure un flujo adecuado en el que no se bloquee la tubería. Como se define en la Sección anterior, a este límite se le llama velocidad mínima de transporte $U_{g Min}$ indicado con una línea punteada en la Ilustración 5.

Para el caso horizontal se recomienda diseñar el sistema para que opere entre un 15% a 20% por sobre la velocidad de deposición para prevenir problemas de flujo y asegurar una operación estable. (Coqui, 2017)

$$U_{g Min} = ((0.2)U_s) + U_s \quad (5)$$

Para el caso vertical se recomienda diseñar el sistema para que opere entre un 15% a 20% por sobre la velocidad de atascamiento. (Coqui, 2017)

$$U_{g Min} = ((0.2)U_{ch}) + U_{ch} \quad (6)$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Velocidad de purga.**

Para los sistemas de transporte neumático vertical, la velocidad de purga corresponde a aquella necesaria para desatascar una tubería tapada con material. (Coqui, 2017) Realizo estudios sobre la relación entre la velocidad terminal de caída de una partícula individual U_t y la velocidad de purga U_{purga} para varios materiales, en tuberías de 45mm, propuso la siguiente correlación:

$$U_{purga} = 1.181 U_t \quad (7)$$

- **Caída de presión.**

La caída de presión total de un sistema de transporte neumático ΔP_{Total} se estima sumando la contribución individual de cada uno de todos los componentes y partes del sistema.

$$\Delta P_{Total} = \Delta P_{gas} + \Delta P_{acel} + \Delta P_{Fricción} + \Delta P_{Otros} \quad (8)$$

Donde:

ΔP_{gas} = Consumo de energía del gas dentro de la tubería.

ΔP_{acel} = Energía para acelerar partículas a velocidad de transporte

$\Delta P_{Fricción}$ = Pérdida de carga en tubería por fricción

ΔP_{Otros} = Perdidas por accesorios

- **Caída de presión del gas en el punto de ingreso.**

Corresponde a la energía requerida para mover el aire desde que este entra a la tubería hasta que sale de vuelta al ambiente en el separador. Esta puede estimarse mediante la fórmula de Darcy, para un flujo estable y completamente desarrollado dentro de una tubería recta de sección circular, de la siguiente forma:

$$\Delta P_{Gas} = K U_g^2 \frac{\rho_g}{2} \quad (9)$$

Donde:

K = Constante de tee recta

U_g = Velocidad media del gas $\left[\frac{m}{s}\right]$

$$U_g = \frac{W_g}{\pi \frac{D^2}{4} \rho_g} \quad (10)$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$W_g = \text{Flujo del gas} \left(\frac{Kg}{s} \right)$$

- **Caída de presión por aceleración de partículas.**

La energía necesaria para acelerar las partículas desde su velocidad inicial (aproximadamente nula en el punto de alimentación) hasta su velocidad de transporte U_p puede ser calculada mediante la siguiente ecuación, propuesta por (G. E. Klinzing, 2010, pág. 106).

$$\Delta P_{acel} = \mu \rho_g U_g U_p \quad (11)$$

Para el cálculo de la velocidad de partícula U_p en la sección horizontal puede ser usada la correlación propuesta por (Hinkle, 1953).

$$U_p = U_g (1 - 0.0637 d_p^{0.3} \rho_p^{0.5}) \quad (12)$$

Para el caso de tramos verticales:

$$U_p = U_g - U_t \quad (13)$$

- **Caída de presión del sólido.**

La caída de presión debido a la fricción de los sólidos se calcula mediante la relación:

$$\Delta P_{Fricción\ Sólidos} = \lambda_s \mu \frac{L \rho_g U_g^2}{D} \quad (14)$$

Donde:

$\lambda_s =$ Coeficiente de fricción del sólido

3.3 TIPOS DE DOSIFICADORES INDUSTRIALES

En la mayoría de procesos industriales está la necesidad latente de pesaje o dosificación de componentes para realizar recetas, para esta labor se dedican tiempos valiosos los cuales podrían ser empleados de una mejor manera; por ello las empresas buscan equipos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

encargados exclusivamente de entregar en las proporciones correctas cada uno de los materiales necesarios y así tener reducciones de tiempos en sus procesos.

3.3.1 Dosificador por vibración

Estos equipos son usados en la dosificación de sólidos con una precisión no muy alta, la cual va a depender de la buena calibración del mecanismo vibrador. En este tipo de dosificadores el elemento a dosificar cae por gravedad y allí el vibrador va entregando producto continuamente según la velocidad a la cual este programado.

3.3.2 Dosificador por tornillo

El elemento dosificador en este caso es una rosca, que al girar desenroscando traslada el material desde la tolva a la salida el cual puede ser utilizada en el empaclado o a su vez en mezcla de productos con cantidades que se necesita según recetas que se del al dosificador. Son utilizados para dosificar componentes pequeños como pastillas y polvos.

3.3.3 Dosificación volumétrica

Son el tipo de dosificador más básico, pues en este el producto a proporcionar es retenido en una tolva la cual es alimentada a volumen constante. Dicho nivel de tolva es regulado por el dosificador, estos equipos son de los más utilizados por su simplicidad a la hora del manejo y su bajo costo en comparación con los otros equipos.

Otro tipo de equipo volumétrico son los que poseen un pistón dosificador el cual al ser accionado permite el paso del producto, en este caso líquido. Este tipo de dosificadores son utilizados en productos alimenticios como mermeladas, leches y diferentes tipos de líquidos. (Morales, 2010)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3.4 Dosificación gravimétrica

Integra además un sistema de pesaje y regulación de la velocidad. Este sistema ya debe llevar algún tipo de control para corregir el flujo de los materiales no uniformes y variaciones de densidad, consiguiendo una dosificación muy precisa. En este proceso, la tolva y el dosificador se depositan en un sistema de pesaje.

Con este pesaje de tolva y producto es que se genera el control de este proceso, se compara la diferencia de pesos con y sin producto teniendo allí el set point de apertura o cierre de válvula de descarga de producto. (Giraldo, 2017)

3.4 TIPOS DE MEZCLADORES

Para evitar desgaste de operarios en la labores de mezclado existen diversos equipos los cuales realizan esta labor de una manera más rápida y segura, brindando así mayor agilidad en los procesos y logrando tener mezclas más homogéneas. El equipo para esta labor dependerá y variará según el producto a trabajar por ello se comenta algunos mezcladores que se analizaron para el caso de la línea de vegetales.

3.4.1 Mezcladores de cintas o de hélices

Un mezclador de cintas está constituido por una tolva horizontal semicilíndrica, posee en el interior dos cintas helicoidales inversas montadas sobre un eje. Una cinta desplaza el material lentamente hacia una dirección mientras que el otro rápidamente en dirección contraria, las velocidades de movimiento varían según el elemento a mezclar y se pueden modificar con el variador de motor que hace girar el eje central, algunos ejemplos de mezcladores de cintas se pueden observar en la *Ilustración 9*.

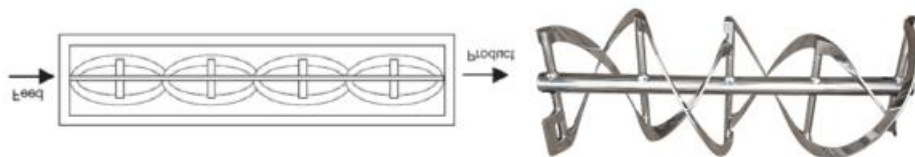


Ilustración 9 Diseño básico de mezclador de cintas

Fuente: (Marisa Castelló, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.4.2 Mezcladores verticales de tornillo

Este tipo de mezclador tiene gran longitud y generalmente su tolva es cónica, dentro de ella se encuentra un tornillo el cual gracias a la espiral que posee hace levantamiento del producto desde la parte inferior hasta la parte más alta de la tolva, Ver *Ilustración 10*; el producto después de llegar a la parte superior vuelve a caer logrando así una mezcla de gran calidad.

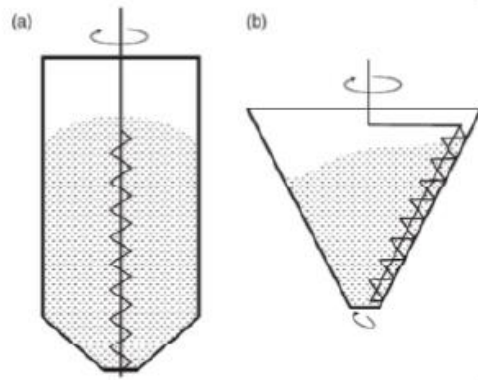


Ilustración 10 Mezcladores de tornillo

Fuente: (Marisa Castelló, 2017).

3.4.3 Mezcladores de volteo

Funcionan moviendo la masa de sólidos en un tambor giratorio, estos mezcladores se llenan sólo hasta la mitad de su capacidad y giran a velocidades entre 20 y 100 rpm. El tambor rotatorio puede ser liso por dentro, o contener elementos u obstáculos internos para facilitar la mezcla Ver *Ilustración 11*. (Marisa Castelló, 2017).

La velocidad máxima de giro expresada en RPM, para estos mezcladores está dada por:

$$42.3D^{-0.5}$$

Para los tiempos de mezcla no existe una fórmula que asegure una mezcla homogénea, para encontrar estos valores es necesario realizar algunos experimentos y ensayos con el mezclador instalado para encontrar el punto de operación de estos equipos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

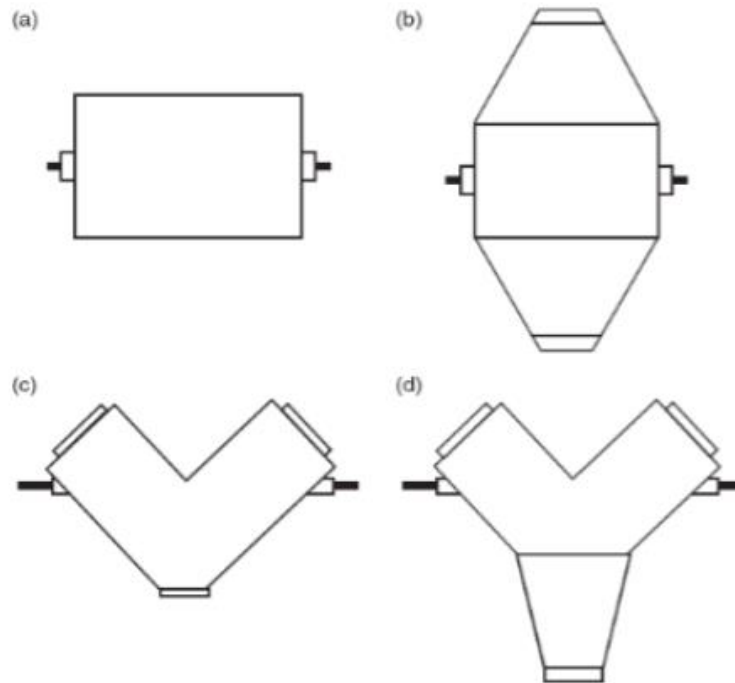


Ilustración 11 Tipos de mezcladores de volteo

Fuente: (Marisa Castelló, 2017, pág. 4).

4 METODOLOGÍA

4.1 FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA LINEA

La línea de vegetales maneja varios productos, pero los de mayor demanda actualmente son frijol, arveja, maíz tierno y arveja–zanahoria. El proceso de preparación de ingredientes varía según el producto a elaborar, pero su manejo inicia desde su llegada a la empresa. Los granos son recibidos en la bodega de materias primas y son ubicados en las estanterías, en la cava o se llevan al área de despulpe, según sea el producto, para luego ser llevadas para su ingreso a la línea de producción.

4.1.1 Preparación previa del producto

Las materias primas utilizadas en la línea de vegetales como se mencionó anteriormente, desde su llegada a la empresa inician su proceso de almacenamiento, el cual es diferente para cada uno de los materiales, como se puede evidenciar en la *Ilustración 12*.

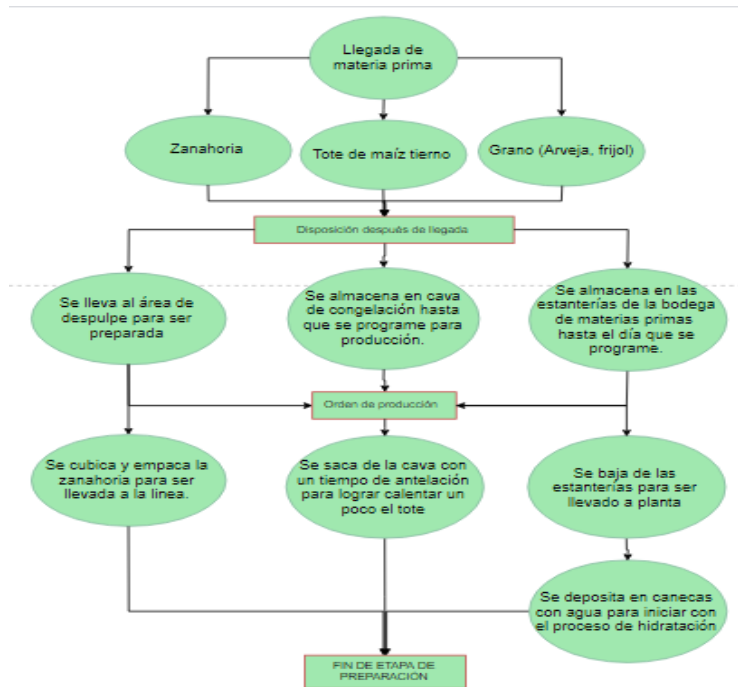


Ilustración 12 Flujo de Llegada de materia prima

Fuente: Propia

- **PREPARACIÓN FRIJOL:** El frijol viene en sacos de 50kg los cuales son almacenados en bodega y posteriormente llevados a la línea. Para su preparación se vacía manualmente bulto y medio (75kg) en una caneca y se adiciona agua hasta llenarla por completo, este proceso de hidratación debe durar alrededor de 14 horas, tiempo en el cual el producto está en condiciones de pasar empezar a ser procesado, ver *Ilustración 13*.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 13 Proceso de hidratación de frijol

Fuente: Propia

- **PREPARACIÓN ZANAHORIA:** La zanahoria es procesada directamente por la empresa, dicho producto llega a las instalaciones en bultos y en el área de despulpe se procede a su lavado, revisión y posterior proceso de corte en cubos de 1x1cm. Después de estar cubicada se deposita en canecas las cuales tienen en su interior bolsas plásticas para mantener aislada de contaminantes, de allí son llevadas a la línea para iniciar con su elaboración.
- **MAÍZ TIERNO:** El maíz manejado en este proceso es un maíz importado, el cual viene en un tote de cartón con bolsa plástica interna donde su contenido varía entre 600 y 800kg. Este producto después de llegar a la planta, es depositado en una cava de congelación a -20°C para preservar sus características. Este tote es llevado a la línea con antelación para lograr des compactación de este, ya que por las condiciones de temperatura el producto llega congelado grano a grano.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **PREPARACIÓN ARVEJA:** El producto seco viene en sacos de 50kg, la arveja lleva el mismo proceso de hidratación que el frijol. El cual consta del vaciado a caneca con agua durante 12 horas.

x



Ilustración 14 Materias primas de la línea

Fuente: Propia

4.1.2 Proceso productivo de cada materia prima

- **Frijol:** Primero se debe hacer drenaje del agua que queda después de realizada la hidratación, posterior al drenaje se lleva el grano de manera manual mediante un balde con perforaciones a la tolva de inicio. Ya con el producto depositado en esta tolva, se procede con la dosificación de el a la tolva de bombeo por medio de un vibrador eléctrico que esta posee. La tolva de bombeo tiene una bomba de rodete helicoidal, que se encarga de llevar el frijol hasta el tambor del inicio de la banda de inspección visual, este tambor tiene un retorno por gravedad del líquido permitiendo solo el paso del grano. En esta banda de inspección visual se extrae cualquier elemento externo o algún grano que no cumpla con las condiciones para su consumo, al finalizar la banda los granos caen a unas marmitas en las cuales son pre cocidos a una temperatura de 90°C.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Por medio de tubería se va dosificando en las latas según el gramaje que se esté manejando, pues se trabaja productos de 190, 300 y 600g. Después la lata se desplaza por la banda y más adelante se le ingresa la salmuera, antes de llegar a la cerradora se compensa el líquido pues por la vibración de la banda transportadora algunas latas derraman un poco.

Ya en este punto las latas pasan a la cerradora y son ubicadas en canastillas para ser ingresadas a los autoclaves, después del proceso de desinfección pasan a la zona de empaque donde se les coloca las cintas con la información nutricional y la marca del producto para poder ser empacadas en cajas de cartón e iniciar su proceso de distribución.

- **Arveja:** La arveja lleva el mismo proceso que el frijol.
- **Maíz tierno:** El tote de maíz es ubicado cerca a la tolva de inicio, ya en esa posición el operario por medio de una pala de acero inoxidable lo golpea un poco pues dicho producto al venir de la cava en ocasiones está muy compacto y no permite el ingreso de manera directa. Después de este desgrane por medio de balde el maíz es llevado a la zona de inicio para arrancar con todo el recorrido mencionado anteriormente, cabe mencionar que durante el proceso el grano va retomando condiciones de temperatura más estables antes de ser depositado en las latas.
- **Arveja / Zanahoria:** Este es sin duda el proceso más complejo de la línea, pues previo a su ingreso en la línea lleva una mezcla de productos lo que requiere un manejo diferente para poder ser realizado de la mejor manera. La arveja debe ser sacada de las canecas de hidratación sin agua, para poder realizar el pesaje en báscula. La zanahoria también debe ser pesada para cumplir con el porcentaje estipulado, después de tener ambos productos pesados son vaciados a una tolva previa a la tolva de inicio, en la cual deben ser mezclados con pala hasta lograr la mezcla.

Cuando se termina el proceso de mezclado por medio de balde se lleva el producto a la tolva de inicio para comenzar con su proceso, en la *Ilustración 15* se puede observar de manera detallada como se realiza el proceso actualmente, además en la *Ilustración 16* se detalla la ubicación de los equipos.



Ilustración 15 Proceso de preparación Arveja / Zanahoria

Fuente: Propia

4.1.3 Distribución actual de la línea de vegetales

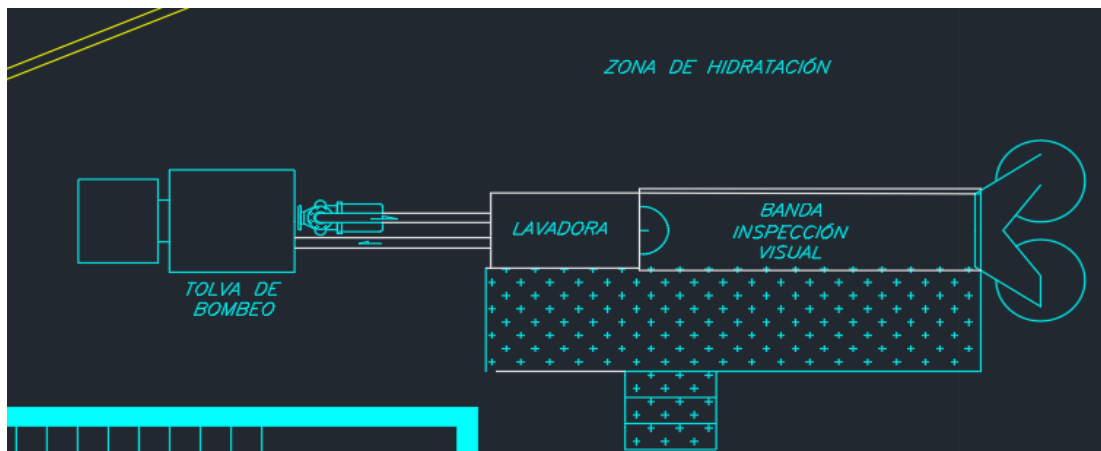


Ilustración 16 Plano actual inicio de línea vegetales

Fuente: Panamericana de alimentos S.A.S

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2 ANÁLISIS DE EQUIPOS PARA POSIBLE IMPLEMENTACIÓN

En esta etapa se realiza un estudio de aplicabilidad de los diferentes equipos que existentes comercialmente hablando, ya fuese para su montaje directo o la modificación de estos. Puesto que años anteriores se trabajó en la implementación de un sistema para esta línea sin tener un buen resultado. Algunos de los que se estudió son los siguientes:

Elevador de totes: El cual tiene la capacidad de tomar canecas o contenedores mediante un griper, elevarlas hasta una altura determinada y allí mediante rotación realizar procesos de mezcla. Este equipo es muy versátil y gracias a la variación del elemento de sujeción se puede implementar en diferentes áreas, pero la dificultad se notó a la hora del trabajo con el tote de maíz por dos razones. Primero, el maíz al venir de cava es bastante probable que llegue compacto, por este motivo a la hora de realizar el vaciado en tolva caería de manera abrupta todo el bloque. La otra razón fue que como el tote es de cartón a la hora de hacer la descarga del producto este se deformaría generando posibles accidentes. Los equipos mostrados en la *Ilustración 17*, fueron cotizados anteriormente para buscar solucionar la problemática, sin tener un resultado positivo.



Ilustración 17 Equipos cotizados anteriormente para el proyecto

Fuente: Panamericana de alimentos S.A.S

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Mezclador de cintas: Para la parte de mezcla arveja / Zanahoria es necesario un equipo que realice le mezcla de estos materiales, por ello se pensó en este tipo de equipos, pues ellos realizan una mezcla homogénea y en poco tiempo de múltiples partículas sólidas, el equipo de la *Ilustración 18* había sido presupuestado anteriormente y fue analizado nuevamente.



Ilustración 18 Propuesta de mezclador Imago3d

Fuente: Panamericana de alimentos S.A.S

Un proveedor realiza prueba con un mezclador de cintas de laboratorio, evidenciando allí que la arveja sufre desprendimiento de la cascara externa por el rozamiento y contacto, gracias a este experimento se pudo comprobar el funcionamiento de este.

Mezclador de volteo: Con la falencia vista en el mezclador de cintas, se cambió de perspectiva, por un equipo de movimiento cíclico, como el que se observa en la *Ilustración 19*. Este mezclador gracias a sus divisiones y suave rotación genera una mezcla que no afecta las condiciones de los materiales depositados.

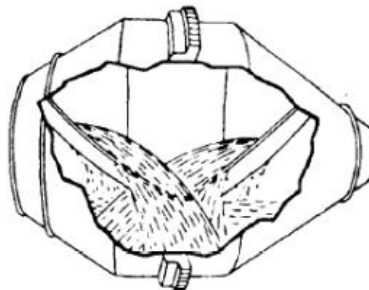


Ilustración 19 Funcionamiento interno de mezclador de volteo

Fuente: (Marisa Castelló, 2017)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Sistema de transporte neumático: El transporte neumático es uno de los que mayor impulso ha tomado a nivel industrial, pues estos equipos son capaces de realizar transporte en grandes longitudes y lapsos muy cortos de tiempo comparados con otros tipos de transportes, al ser sistemas cerrados evitan contacto de partículas externas, poco mantenimiento y son sistemas bastantes compactos.

Estos sistemas se han implementado solo para partículas sólidas secas, pero dadas las condiciones y ventajas de estos equipos se buscó apoyo con proveedores para revisar su aplicabilidad. De allí se tuvo contacto con 3 empresas dedicadas a este tipo de transporte SHU, OGA y TOT estas empresas realizaron visitas comerciales para observar el proceso y poder generar un propuesta. Después de recibidas las visitas fueron aclarados varios puntos y se vio como una gran oportunidad para proponer un sistema de estas para resolver la problemática planteada.

4.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS A MANEJAR.

Todos los productos manejados en la línea poseen ficha técnica, pero esta información solo funciona para el grano seco tal y como llega a las instalaciones de la empresa. Por esta razón los productos después de su hidratación o proceso previo no contaban con la información solicitada por los proveedores para hacer su análisis de implementación, por ello se hace un estudio de las condiciones de los productos antes de iniciar su proceso.

4.3.1 Densidad aparente.

Para encontrar este valor se utilizó el laboratorio de I+D, de allí varios recursos como una báscula, probeta y agua. Este proceso es relativamente sencillo de realizar primero se pesa la probeta sin ningún material para tener su peso neto 204.92g en este caso, conociendo la densidad del agua realizamos su conversión para poder realizar los cálculos.

$$\left(\frac{997Kg}{m^3}\right) * \left(\frac{1000g}{Kg}\right) * \left(\frac{1m^3}{1000000cm^3}\right) = 0.997g/cm^3$$

Formulas a aplicar: $\rho = m/v$ $\rho_{Aparente} = \frac{M_{Solido}}{(V_{total}-V_{agua})}$ $1ml = 1 cm^3$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Densidad aparente para el frijol:

Para tener un mejor resultado se realiza la prueba con 3 volúmenes diferentes (400,500 y 600ml) realizando un promedio entre ellas para corroborar que el proceso se realiza de buena manera.

1. Se llena la probeta con 400 ml de frijol y se procede con su pesaje, 473.85 g pesó la probeta con el frijol.

$$M_{frijol} = 473.85g - 204.92g \rightarrow M_{Frijol} = 268.93g$$

2. Se adiciona agua para llenar los espacios dejados por los granos y así tener ocupada la totalidad de los 400 ml, después de que el agua llega al volumen usado se procede con el pesaje; 616.08g fue el peso de la probeta con frijol y agua.

$$M_{agua} = 616.08g - 473.85g \rightarrow M_{agua} = 142.23g$$

$$V_{agua} = \frac{m}{\rho} \rightarrow \frac{142.23g}{0.997g/cm^3} \rightarrow V_{agua} = 142.658 cm^3$$

3. Con todas las variables encontradas ya se puede calcular la densidad aparente del grano.

$$\rho_{Ap(400ml)} = \frac{268.93g}{(400ml - 142.658ml)} \quad \rho_{Ap(400ml)} = 1.045g/ml$$

4. Se realiza el proceso anterior 2 veces más, esta vez con 500 y 600ml obteniendo los siguientes valores de densidad:

$$\rho_{Ap(500ml)} = 1.089g/ml \quad \rho_{Ap(600ml)} = 1.018g/ml$$

Haciendo un promedio de los tres valores obtenidos se toma como densidad aparente del frijol el valor de:

$$\rho_{Ap(Frijol)} = 1.050g/ml$$

Se sigue el anterior proceso para cada uno de los vegetales que se manejan en la línea encontrando los siguientes valores:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Densidad aparente del Maíz tierno:

$$\rho_{Ap(Maiz)} = 1.084g/ml$$

Densidad aparente Arveja/zanahoria:

$$\rho_{Ap(Arveja/Zanahoria)} = 1.077g/ml$$

Densidad aparente Arveja:

$$\rho_{Ap(Arveja)} = 1.067g/ml$$

Densidad aparente Zanahoria:

$$\rho_{Ap(Zanahoria)} = 1.072g/ml$$

4.3.2 Flujo másico a mover

Para encontrar el flujo que debe manejar el sistema, se debe asumir que dicho equipo debe estar en la capacidad de suplir la demanda de la línea, la cual está dada por la velocidad de la cerradora de latas. La cerradora para 190 y 300g funciona a 100 Latas X Minuto, pero para nuestro caso debemos trabajar con el producto de mayor gramaje que es el de 600g.

Para calcular este valor procedemos de la siguiente manera:

Tenemos que la cerradora funciona a 60 Latas X Minuto para productos de 600g, pero como vamos a manejar altos porcentajes de producción convertimos 600 g a Kg.

$$(600g) * \left(\frac{1kg}{1000g}\right) * \left(60 \frac{Latas}{Min}\right) * (60min/1Hora)$$

$$Flujo Másico = 2160 Kg/Hora$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Pero el contenido de grano en la lata es alrededor del 60% por ende el valor anterior está sobredimensionado, al realizar la operación obtenemos que el valor real a transportar es de:

$$\text{Flujo Másico Real} = 1296 \text{ Kg/Hora}$$

4.3.3 Porcentajes de producción

Con ayuda del departamento de planeación se pudo conseguir los porcentajes de producción para cada uno de los productos manejados en la línea ver *Tabla 2*, para con ello evidenciar y centrar las características del equipo. El estudio se realizó para el mes de febrero que ha sido de los de mayor demanda del presente año:

Grupo	% De producción
Arveja	22%
Arveja/Zanahoria	41%
Frijol	6%
Maíz tierno	31%
Total	100%

Tabla 2 Porcentajes de producción de cada producto

Fuente: Oficina de planeación PANAL S.A.S

Con estos valores vemos que la mezcla de arveja zanahoria fue el producto de mayor demanda en el mes de febrero, de allí la importancia que el sistema también tenga un mezclador pues su amplia demanda lo amerita.

4.3.4 Capacidad de tolva de bombeo

Se piensa omitir la actual tolva de descarga ya que implicaría una mayor altura del sistema, dejando la tolva de bombeo Ver *Ilustración 20*, como la tolva de descarga, esta tolva tiene una capacidad de 0.2981m^3 .

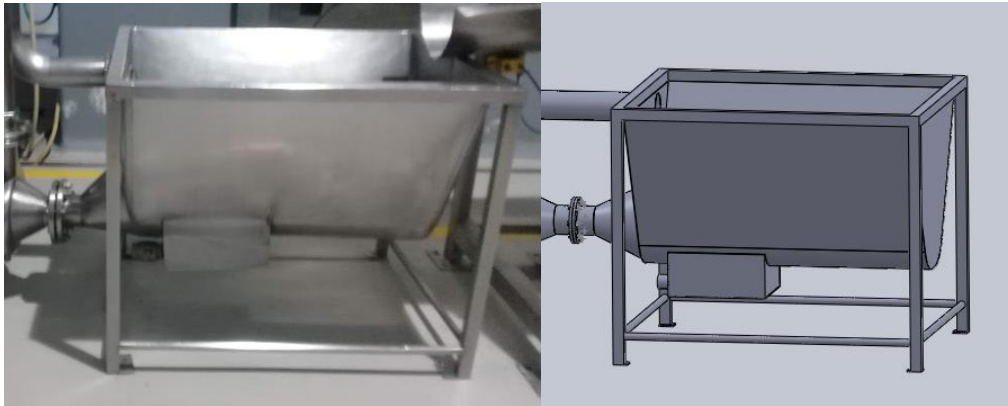


Ilustración 20 Tolva de bombeo

Fuente: Propia

Teniendo presente el flujo másico que debe mover la línea (1500Kg/H) se puede hacer una análisis de los tiempos de descarga que se deben manejar, para esto se debe tener presente el volumen que ocupa cada uno de los diferentes materiales que se usan en esta línea, con las pruebas realizadas en el laboratorio se puede hacer una aproximado de la cantidad de materia prima que puede albergar esta tolva, a continuación se muestra en la *Tabla 3* los pesos que podría almacenar según el tipo de materia prima en uso:

ANÁLISIS POR MINUTO						
	Peso (g)	Volumen (m ³)	Volumen Tolva (m ³)	Volumen ocupado x 25Kg	Factor multiplicativo	Kg que puede almacenar tolva
Frijol	268,96	0,0004	0,2981	0,0377	7,907	197,679
Maíz	261,03	0,0004	0,2981	0,0381	7,824	195,603
Zanahoria	256,81	0,0004	0,2981	0,0387	7,703	192,571
Arveja	249,04	0,0004	0,2981	0,0392	7,604	185,597

Tabla 3 Capacidad de almacenamiento de tolva

Fuente: Propia

4.4 DIMENSIONES Y VOLÚMENES DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS

Los volúmenes de diseño son importantes porque con ellos se controla las cantidades de materia prima que se puede almacenar en cada fase del sistema de transporte, dosificación y mezcla. Además se debe conocer las dimensiones exactas de cada componente para simular su ubicación en planta, ya que la zona disponible para el sistema es bastante reducida.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.4.1 Mezclador seleccionado

Después de analizar los diferentes tipos de mezcladores que hay actualmente en el mercado, se selecciona un mezclador de tambor horizontal, ya que la mezcla no es demasiado compleja y con los tiempos de descarga que maneja la tolva de bombeo se puede suministrar materia prima mezclada sin ningún inconveniente. Para calcular ellas dimensiones del mezclador se debe tener presente que solo se debe llenar hasta un 80% de su capacidad, para poder lograr una mezcla homogénea. *Ver Ilustración 21*

Se desea que el mezclador tenga la capacidad de llenar la tolva en una sola descarga, para ello se realiza una regla de tres, para conocer el volumen que debe tener dicho tambor:

$$0.2981 = 80\%$$

$$x = 100\%$$

$$\text{Volumen} = 0.37262\text{m}^3$$

El tambor tendrá forma cilíndrica por ello, conociendo el volumen necesario y asumiendo un radio de 0.3m, se puede hallar su dimensión:

$$V = \pi R^2 h$$

$$0.37262\text{m}^3 = \pi 0.3\text{m}^2 h$$

$$h = \frac{0.37262\text{m}^3}{0.2827\text{m}^2}$$

$$h = 1.318\text{m}$$

La velocidad máxima de giro para este tipo de mezcladores está dada por:

$$42.3D^{-0.5}$$

$$42.3 * 0.6^{-0.5}$$

$$54.609 \text{ RPM}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

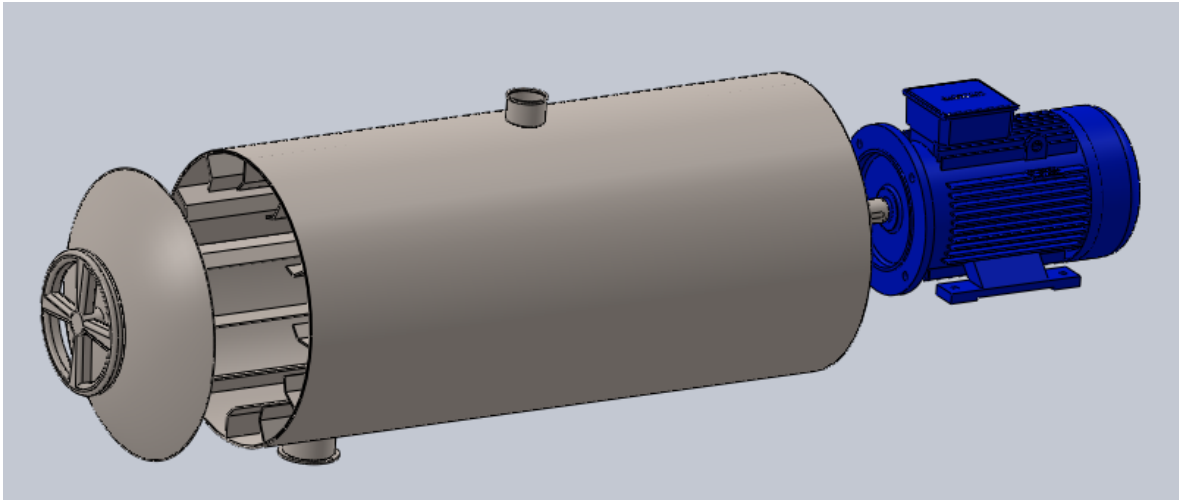


Ilustración 21 Diseño del mezclador horizontal de tambor

Fuente: Propia

4.4.2 Tolvas gravimétricas

Para el correcto funcionamiento del mezclador, se plantea la instalación de dos tolvas dosificadoras, las cuales se encargaran de entregar los porcentajes correctos para la mezcla arveja y zanahoria. Las tolvas cuentan con básculas que dosificarán en el mezclador los porcentajes correctos de cada materia prima, la mezcla se prepara con 55Kg de arveja y 42kg de zanahoria, teniendo siempre presente que en la tolva solo se puede dosificar 185Kg por lo que los pesajes se realizan de la siguiente manera:

Se divide por un factor de 1.15 ambos pesos se tiene

47.826 Kg de arveja y 36.522 Kg de zanahoria

$$55kg + 47.826kg = \text{Arveja}$$

$$42kg + 36.522kg = \text{Zanahoria}$$

La mezcla será de 102.826Kg de arveja y 78.522 Kg de zanahoria

Total: 181.348Kg

Las tolvas tendrán una capacidad de 110Kg cada una, pensando en mejoras futuras de la línea, a continuación se muestra los cálculos para su diseño:

$$0,0392 = 25kg$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$X = 110kg$$

$$Volumen = 0,1725m^3$$

Teniendo el volumen de cada tolva, se procede a calcular sus dimensiones, iniciando con el cono inferior de dicha tolva:

$$V = \frac{1}{3}\pi h(R^2 + r^2 + Rr)$$

Se asume el radio mayor de 0,25m, el radio menor de 0,1m y una altura de 0,3m. Con estos valores se puede conocer el volumen de almacenamiento del cono.

$$V = \frac{1}{3}\pi * 0,3m(0,25m^2 + 0,1m^2 + (0,25m * 0,1m))$$

$$V = 0,0306m^3$$

Teniendo el valor del volumen que almacenará el cono podemos calcular las dimensiones del área cilíndrica.

$$Volumen Total - Volumen cono = Volumen cilindro$$

$$0,1725m^3 - 0,0306m^3 = Volumen cilindro$$

$$Volumen Cilindro = 0,1419m^3$$

$$V = \pi R^2 h$$

$$0,1419m = \pi 0,25^2 h$$

$$h = 0,7227m$$

Las básculas para la dosificación volumétrica se encuentran de manera comercial, estas irán ubicadas justo en la parte inferior de las tolvas para realizar el pesaje y generar la activación o desactivación de las electroválvulas según sea el caso. El diseño propuesto se puede observar en la *Ilustración 22*.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

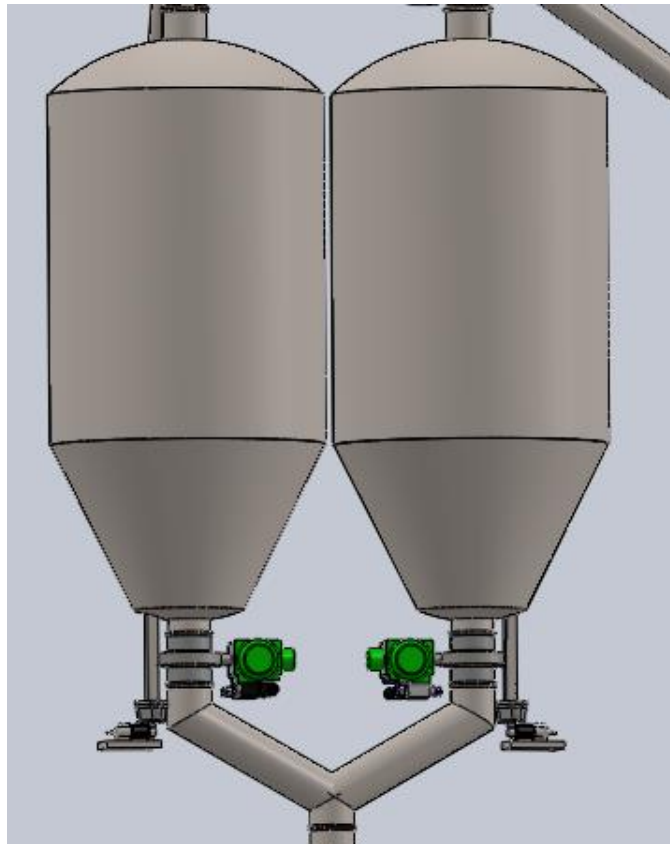


Ilustración 22 Tolvas gravimétricas

Fuente: Propia

4.4.3 Tolvas de recepción

Estas tolvas están conectadas a las bombas de vacío y son las encargadas de recibir el grano después de realizada su succión, para posteriormente llevarlo a las tolvas gravimétricas. Las tolvas de recepción cumplen un papel fundamental, pues en ellas se genera la etapa estacionaria del grano o elemento en transporte a la vez que se filtra de algunas impurezas como cascaras o partes pequeñas. *Ver Ilustración 23*

Conociendo la capacidad de las tolvas gravimétricas, también se puede asumir que las tolvas receptoras tengan la misma dimensión.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

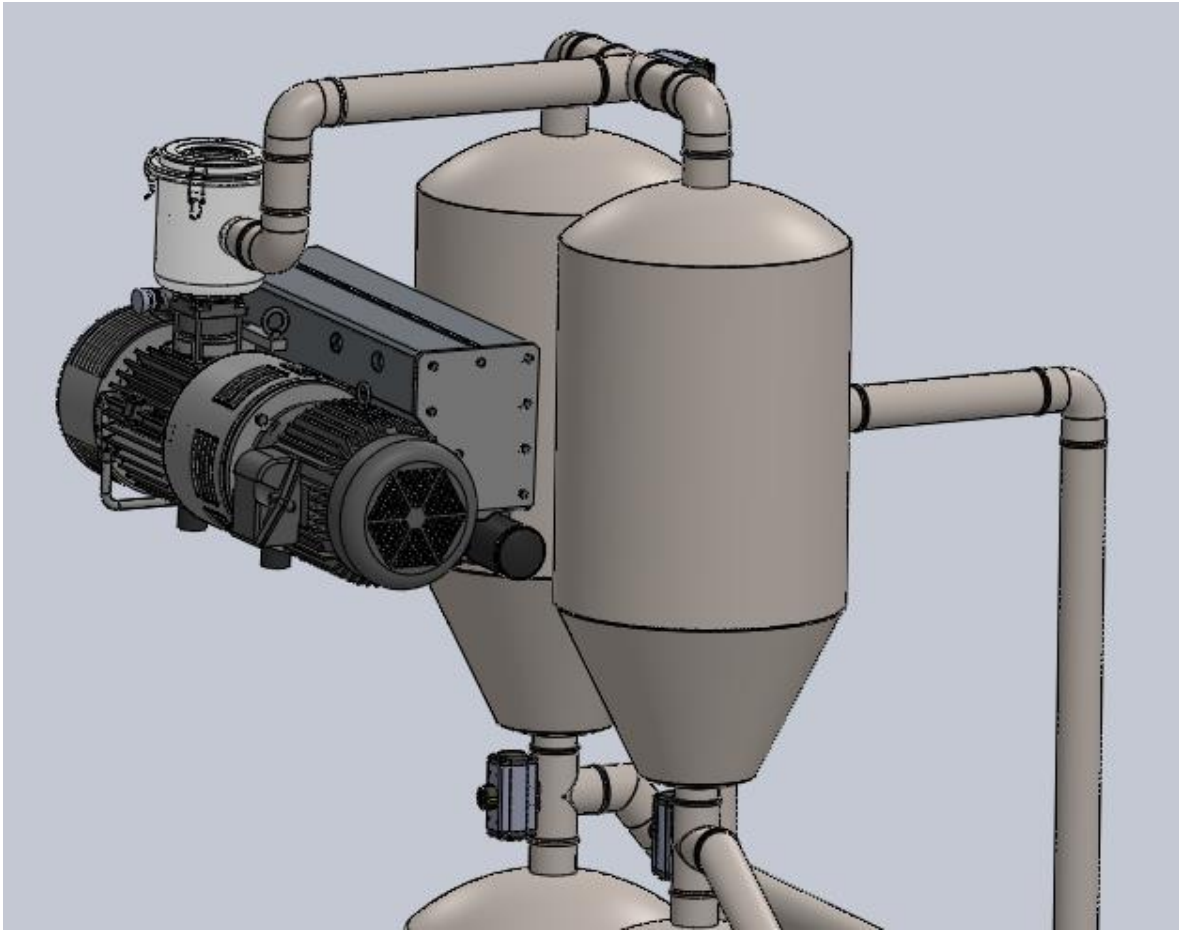


Ilustración 23 Tolvas de vacío o receptoras

Fuente: Propia

$$Volumen = 0,1725m^3$$

4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO

A continuación se muestran los cálculos realizados para el diseño del sistema de transporte neumático, cabe aclarar que muchos de los valores fueron obtenidos de manera experimental *Ver Ilustración 24* y para el caso se mostrará los valores obtenidos para el transporte de frijol y para una sola tolva de recepción pues es un sistema que funciona en serie. Los demás valores se encontraran en las tablas de Excel anexas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 24 Pruebas de laboratorio

Fuete: Propia

Conociendo el flujo másico del sólido que es de 1500Kg/h y al tener una succión constante la relación de carga va a ser igual a uno, el siguiente paso es hallar la velocidad y el número de Reynolds de la partícula a mover, en este caso el frijol:

$$\text{Flujo másico} = \left(750 \frac{\text{kg}}{\text{h}}\right) * \left(\frac{1\text{h}}{60\text{min}}\right) * \left(\frac{1\text{min}}{60\text{s}}\right)$$

$$\text{Flujo másico} = 0,20833\text{kg/s}$$

$$V^{\circ} = \frac{Q}{\rho}$$

$$V^{\circ} = \frac{0,20833\text{kg/s}}{1050 \text{ kg/m}^3}$$

$$V^{\circ} = 1,9838 \times 10^{-4}\text{m}^3/\text{s}$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$V = \frac{1,9838 \times 10^{-4} m^3/s}{0,0042 m^2}$$

$$V = 0,0472 m/s$$

La tubería seleccionada para el diseño será tubería en acero inoxidable de 3", con ello se procede a calcular el número de Reynolds.

$$R_e = \frac{\rho V R}{n}$$

Donde:

$$\rho = \text{Densidad del sólido} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$V = \text{Velocidad del sólido} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$R = \text{Radio de la tubería} (m)$$

$$n = \text{Viscosidad dinámica del aire a } 30^\circ c \left(\frac{kg}{ms} \right)$$

$$R_e = \frac{(1050 \frac{kg}{m^3})(0,0472 m/s)(0,0366m)}{(1,86 \frac{kg}{ms})}$$

$$R_e = 0,976$$

Con los valores hallados se inicia los cálculos de velocidades:

- **Velocidad de deposición U_s**

$$\frac{U_s}{\sqrt{gD}} = \mu^{0.11} \left(\frac{D}{d_p} \right)^{0.025} \left(\frac{\rho_p}{\rho_g} \right)^{0.34}$$

Donde:

$$D = \text{Diámetro de tubería}$$

$$d_p = \text{Diámetro del sólido (Para el caso diámetro promedio aproximado)}$$

$$\rho_p = \text{Densidad del sólido (Densidad aparente)}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$\rho_g =$ Densidad del aire (A una temperatura de 30°C)

$\mu =$ Relación de carga

$$\frac{U_s}{\sqrt{\left(9,78 \frac{m}{s}\right) (0,0762m)}} = 1^{0.11} \left(\frac{0,0762m}{0,0117m}\right)^{0.025} \left(\frac{1050 \frac{kg}{m^3}}{2,3627 \frac{kg}{m^3}}\right)^{0.34}$$

$$U_s = 7,1890 \text{ m/s}$$

- **Velocidad de caída de partículas U_t**

$$U_t = \sqrt{\frac{4 dp g (\rho_p - \rho_g)}{3 C_d \rho_g}}$$

Donde:

$g =$ Valor de la gravedad (Valor experimental para Rionegro de 9.78m/s)

Se haya primero el coeficiente de arrastre (C_d).

$$C_d = \frac{24}{Re}$$

$$C_d = \frac{24}{0,976}$$

$$C_d = 24,590$$

$$U_t = \sqrt{\frac{4 (0,01177m) (9,78 \frac{m}{s}) (1050 \frac{kg}{m^3} - 2,3627 \frac{kg}{m^3})}{3 (24,590) \rho_g}}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$U_t = 1,664m/s$$

- **Velocidad de atascamiento U_{ch}**

$$\frac{U_{ch}}{U_t} = 0.102\mu + 1.313$$

$$U_{ch} = (0.102(1) + 1.313)(1,664m/s)$$

$$U_{ch} = 2,354m/s$$

- **Velocidades mínimas de transporte en tramos verticales y horizontales $U_{g Min}$**

Las velocidades mínimas de transporte se pueden asumir entre 15 y 20% por encima de las velocidades que influyen según tipo de tubería, velocidad de deposición para el caso de tubería horizontal y velocidad de atascamiento para tubería vertical.

Por ello se toma un 20% para ambos casos, ya que muchos de los valores utilizados para los cálculos se realizaron de manera experimental y es mejor trabajar con los valores más altos, y así evitar caídas de velocidad.

Para tubería horizontal:

$$U_{g Min} = ((0.2)U_s) + U_s$$

$$U_{g Min} = ((0.2)(7,1890 m/s)) + 7,1890 m/s$$

$$U_{g Min} = 8,6268m/s$$

Para tubería vertical:

$$U_{g Min} = ((0.2)U_{ch}) + U_{ch}$$

$$U_{g Min} = ((0.2)(2,354m/s)) + 2,354m/s$$

$$U_{g Min} = 2,825m/s$$

- **Velocidad de purga U_{purga}**

$$U_{purga} = 1.181 U_t$$

$$U_{purga} = 1.181 \left(1,664 \frac{m}{s}\right)$$

$$U_{purga} = 1,965m/s$$

- **Caída de presión del gas en el punto de alimentación ΔP_{Gas}**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\Delta P_{Gas} = K U_g^2 \frac{\rho_g}{2}$$

Donde:

$K = \text{Constante Tee Recta (0,4)}$

$$U_g = \frac{W_g}{\pi \frac{D^2}{4} \rho_g}$$

$$W_g = \text{Flujo del gas } \left(\frac{Kg}{s}\right)$$

$$W_g = 1500 \frac{Kg}{h} \text{ (Caudal total)}$$

Nota: Se toma $750 \frac{Kg}{h}$ ya que el cálculo que se está realizando es solo para una tolva.

$$W_g = 750 \frac{Kg}{h} \left(\frac{1h}{60min}\right) \left(\frac{1min}{60s}\right)$$

$$W_g = 0,2083kg/s$$

Conociendo W_g se puede despejar U_g

$$U_g = \frac{0,2083kg/s}{\pi \frac{0,0762m^2}{4} \left(2,3627 \frac{kg}{m^3}\right)}$$

$$U_g = 19,3349 \frac{m}{s}$$

$$\Delta P_{Gas} = 0,4 (19,335m/s)^2 \frac{2,365Kg/m^3}{2}$$

$$\Delta P_{Gas} = 176,659 PA$$

- **Caída de presión por aceleración de partículas.**

$$\Delta P_{acel} = \mu \rho_g U_g U_p$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Donde:

Velocidad partícula (Tramo Horizontal)

$$U_p = U_g(1 - 0.0637d_p^{0.3} \rho_p^{0.5})$$

$$U_p = 19,335 \frac{m}{s} \left(1 - 0.0637(0,0117m)^{0.3} (1050 \frac{kg}{m^3})^{0.5}\right)$$

$$U_p = 8,8079 \frac{m}{s}$$

Velocidad partícula (Tramo Vertical)

$$U_p = U_g - U_t$$

$$U_p = 19,335 \frac{m}{s} - 1,664 \frac{m}{s}$$

$$U_p = 17,671 \frac{m}{s}$$

Caída de presión (Tramo Horizontal)

$$\Delta P_{acel} = \mu \rho_g U_g U_p$$

$$\Delta P_{acel} = 1(2,3627 \frac{kg}{m^3})(19,335 \frac{m}{s})(8,8079 \frac{m}{s})$$

$$\Delta P_{acel} = 8,8079 \text{ PA}$$

Caída de presión (Tramo Vertical)

$$\Delta P_{acel} = \mu \rho_g U_g U_p$$

$$\Delta P_{acel} = 1(2,3627 \frac{kg}{m^3})(19,335 \frac{m}{s})(17,671 \frac{m}{s})$$

$$\Delta P_{acel} = 807,393 \text{ PA}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Caída de presión del sólido por fricción**

$$\Delta P_{\text{Fricción Sólidos}} = \lambda_s \mu \frac{L \rho_g U_g^2}{D} \frac{1}{2}$$

Donde:

$\lambda_s =$ Coeficiente de fricción del sólido (Hallado experimentalmente)

$$\lambda_s = \mu N$$

$$N = mg$$

$$N = 0,0000905 \text{ Kg} * 9,78 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$N = 0,00088509 \text{ N}$$

$$\mu = \text{Tan } \theta - \frac{a}{g \text{Cos } \theta}$$

$a =$ Aceleración experimental ($0,23044 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

$$\mu = \text{Tan } 8^\circ - \frac{0,23044 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{(9,787 \frac{\text{m}}{\text{s}}) \text{Cos } 8^\circ}$$

$$\mu = 0,11676$$

$$\Delta P_{\text{Fricción Sólidos}} = \lambda_s \mu \frac{L \rho_g U_g^2}{D} \frac{1}{2}$$

$$\Delta P_{\text{Fricción Sólidos}} = (0,11676) 1 \left(\frac{0,6 \text{ m}}{0,0762 \text{ m}} \right) \left(\frac{2,3627 \text{ kg/m}^3 (19,335 \text{ m/s})^2}{2} \right)$$

$$\Delta P_{\text{Fricción Sólidos}} = 3,593 \text{ PA}$$

- **Caída de presión ΔP_{Total} .**

$$\Delta P_{\text{Total}} = \Delta P_{\text{gas}} + \Delta P_{\text{acel}} + \Delta P_{\text{Fricción}} + \Delta P_{\text{Otros}}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En otras pérdidas (ΔP_{Otro} s) se consideran accesorios como codos y elementos que se encuentran conectados en los tramos estudiados, como el tramo analizado es relativamente corto se asumirá un 5% de las pérdidas totales y para el filtro 1500PA, valor asumido para diseños que son analizados desde cero.

$$\Delta P_{Total} = 176,659PA + (807,393PA + 8,808PA) + 3,593PA + \Delta P_{Otro}$$

$$\Delta P_{Total} = 996.453PA + \Delta P_{Otro}$$

$$\Delta P_{Otro} = (996.453PA * 5\%) + 1500PA$$

$$\Delta P_{Otro} = 1549,823PA$$

$$\Delta P_{Total} = 996.453PA + 1549,823PA$$

$$\Delta P_{Total} = 2546,276PA$$

- **Análisis estático** Para obtener los datos necesarios para los cálculos neumáticos en arveja y frijol, se realizó pruebas de laboratorio de manera cinética mientras que con zanahoria y maíz tierno fue necesario un análisis estático. Ver *Ilustración 25*



Ilustración 25 Análisis Estático para maíz y zanahoria

Fuente: Propia

Para el plano inclinado analizado, se tiene el siguiente diagrama de cuerpo libre
Ilustración 26.

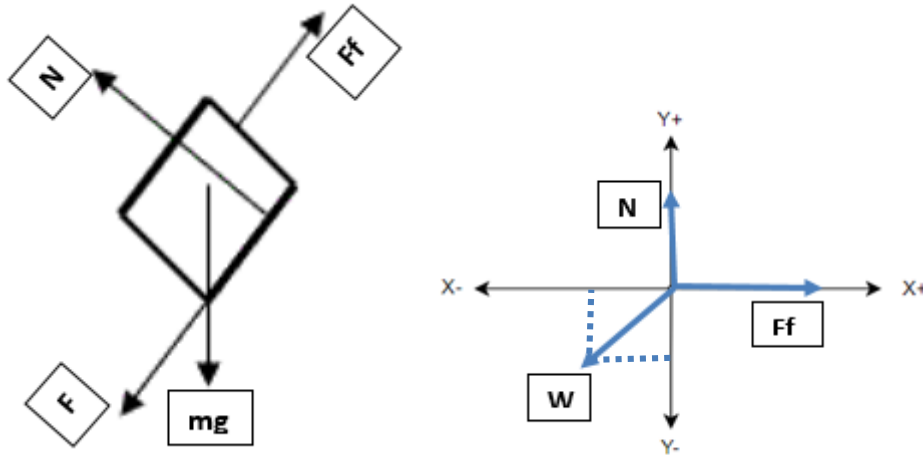


Ilustración 26 Diagrama de cuerpo libre

Fuente: Propia

Para la zanahoria se encontró que el punto de equilibrio donde se rompe el estado estático, es a 40° de inclinación, Ver *Ilustración 27*. De allí se despeja el valor de la inclinación y los componentes tanto en el eje “x” como en el eje “y”.

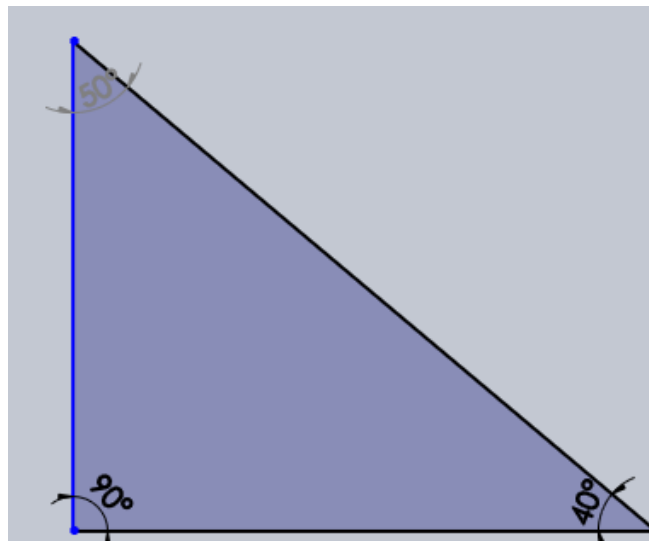


Ilustración 27 Ángulo de inclinación

Fuente: Propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$\sum F_x = 0$ $Ff - W\text{Sen}50 = 0$ $Ff = W\text{Sen}50$	$\sum F_y = 0$ $N - W\text{Cos}50 = 0$ $N = W\text{Cos}50$
--	--

$$Ff = \mu N \longrightarrow \mu = \frac{Ff}{N}$$

$$\mu = \frac{W\text{Sen}50}{W\text{Cos}50}$$

$$\mu = \text{Tan}50$$

$$\mu = 1,1917$$

Para este experimento se tomó un cubo de zanahoria el cual tenía un peso de 0.0005Kg, con ello se puede hallar la fuerza normal.

$$W = mg$$

$$W = 0,0005Kg(9.87m/s^2)$$

$$W = 4,89x10^{-3}N$$

Como el cuerpo en ese punto se encuentra estático la fuerza normal "N" va a ser igual al peso "W".

$$Ff = \mu N$$

$$Ff = 1,1917 (4,89x10^{-3}N)$$

$$Ff = 5,8274x10^{-3}N$$

Para el maíz tierno se sigue el procedimiento anterior, pero teniendo en cuenta que el maíz tuvo su punto de ruptura a 33°.

$\sum F_x = 0$ $Ff - W\text{Sen}47 = 0$ $Ff = W\text{Sen}47$	$\sum F_y = 0$ $N - W\text{Cos}47 = 0$ $N = W\text{Cos}47$
--	--

$$Ff = \mu N$$

$$\mu = \frac{Ff}{N}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\mu = \frac{W \text{Sen}47}{W \text{Cos}47}$$

$$\mu = \text{Tan}47$$

$$\mu = 1,0724$$

Para este experimento se tomó un grano d maíz el cual tenía un peso de 0.0008Kg, con ello se puede hallar la fuerza normal.

$$W = mg$$

$$W = 0,0008Kg(9.87m/s^2)$$

$$W = 7,896x10^{-3}N$$

Como el cuerpo en ese punto se encuentra estático la fuerza normal “N” va a ser igual al peso “W”.

$$Ff = \mu N$$

$$Ff = 1,0724 (7,896x10^{-3}N)$$

$$Ff = 8,4677x10^{-3}N$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO			Código	FDE 089
				Versión	03
				Fecha	2015-01-22

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Se realiza todo el levantamiento de información de la línea de vegetales, iniciando con su funcionamiento actual y las problemáticas presentadas, posteriormente mediante pruebas experimentales *Ver Ilustración 28* se obtuvo las diferentes características y variables de cada materia prima manejada *Ver Tabla 4*.

Para el estudio de funcionamiento y problemáticas, hubo algunos inconvenientes ya que esta línea no siempre está en funcionamiento, lo que atrasó un poco la toma de información. Por otra parte, los valores al ser experimentales no dan un confiabilidad del 100% que es lo que se desea a la hora de realizar un diseño.

			Frijol	Frijol Grande	Arveja	Zanahoria	Maiz
Relación de carga	μ		1	1	1	1	1
Flujo másico del sólido	W_s	Kg/h	1500	1500	1500	1500	1500
Flujo másico del gas	W_g	Kg/h	1500	1500	1500	1500	1500
Velocidad de desprendimiento	U_{pu}	m/s	30,050	32,654	28,324	29,40502703	29,32410059
Diámetro de la partícula	d_p	m	0,0118	0,0164	0,00885	0,01	0,0097
Gravedad	g	m/s ²	9,78	9,78	9,78	9,78	9,78
# de Reynolds	Re_p		0,976	0,976	0,976	0,976	0,976
Densidad material	ρ_p	Kg/m ³	1050	1050	1067	1077	1084
Densidad aire	ρ_g	Kg/m ³	2,363	2,363	2,363	2,363	2,363
Diámetro de tubería	D	m	0,0762	0,0762	0,0762	0,0762	0,0762
Velocidad de deposición	U_s	m/s	7,189	7,130	7,280	7,281	7,303
Velocidad de atascamiento	U_{ch}	m/s	2,354	2,780	2,058	2,198	2,171
Velocidad mínima de transporte	$U_{g Min Ver}$	m/s	2,825	3,336	2,470	2,637	2,606
	$U_{g Min Hor}$	m/s	8,627	8,555	8,736	8,737	8,763
Velocidad de purga	U_{purga}	m/s	1,965	2,320	1,718	1,834	1,812
Vel. de caída de la partícula	U_t	m/s	1,664	1,964	1,454	1,553	1,535
Caída de presión de gas	ΔP_{Gas}	PA	176,659	176,659	176,659	176,659	176,659
Coef. De fricción gas turbulento	f_g		0,3230	0,3230	0,3230	0,3230	0,3230
Longitud de tubería	L	m	6	6	6	6	6
Vel. Media del gas	U_g	m/s	19,335	19,335	19,335	19,335	19,335
Viscosidad cinemática aire	ν	m ² /s	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Número de Reynolds	Re		0,921	0,921	0,9208	0,9208	0,9208
Constante K	k		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Caída de presión x HOR	ΔP_{acei}	PA	402,374	351,950	438,200	419,470	422,198
Velocidad de transporte HOR	U_p	m/s	8,808	7,704	9,592	9,182	9,242
Velocidad de transporte VERT	U_p	m/s	17,671	17,371	17,881	17,782	17,800
Caída de presión x VERT	ΔP_{acei}	PA	807,293	793,553	816,848	812,343	813,188
Caída de presión X fricción	$\Delta P_{Fricción Sólidos}$	PA	3,593	101,623	779,124	202,650	294,466
Coeficiente de fricción sólido	λ_g		0,000103	0,0029223	0,0224045	0,005827413	0,00846767
Presión de elevación	ΔP_{EP}	PA	151,697	154,324	149,922	150,754	150,597
Caída de presión total	$\Delta P_{Tubería}$	PA	2111,7578	2161,743	2963,682	2338,718	2437,989

Tabla 4 Resumen de valores obtenidos para cada material

Fuente: Propia

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 28 Pruebas experimentales

Fuente: Propia

- En años anteriores se había analizado diferentes propuestas de mejora para esta línea, la cuales se volvieron a tener en cuenta, pues se debía saber del porque no habían sido aplicables o cuales fueron las razones de su descarte.

Se analizó un elevador de totes, el cual solo era aplicable para las canecas y no cumplía su función para el tote de maíz. Los sistemas de tornillo sin fin realizan un buen desplazamiento de los sólidos, pero siguen siendo sistemas manuales, lo que los hace muy rudimentarios para la aplicación que se busca. Los elevadores de cangilones también fueron tenidos en cuenta, pero el vaciado del maíz sigue siendo uno de los mayores inconvenientes. Por lo cual se optó por un sistema de transporte neumático, el cual realiza la succión de cualquiera de los materiales manejados asegurado sus características al ser un sistema cerrado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En cuanto al tema del mezclador después de investigar varios equipos, he inclusive de realizar pruebas con algunos, se centró el proyecto en un mezclador de tambor horizontal, el cual para una mezcla no tan compleja como la de arveja y zanahoria, trabaja de muy buena manera además de no afectar el producto.

- Después de estudiar las diferentes posibilidades y equipos que se podrían implementar, se toma la decisión de realizar la propuesta enfocándola en el transporte neumático, por ello después de consultar con 3 proveedores, se obtuvo un diseño base de uno de ellos. Con este diseño se realiza los cálculos de cada uno de los elementos como tolvas de succión, tolvas de descarga y el mezclador Ver *Ilustración 29*.

Estos cálculos se realizan para los componentes más relevantes del sistema, dejando de un lado algunos menos importantes como los accesorios del sistema.

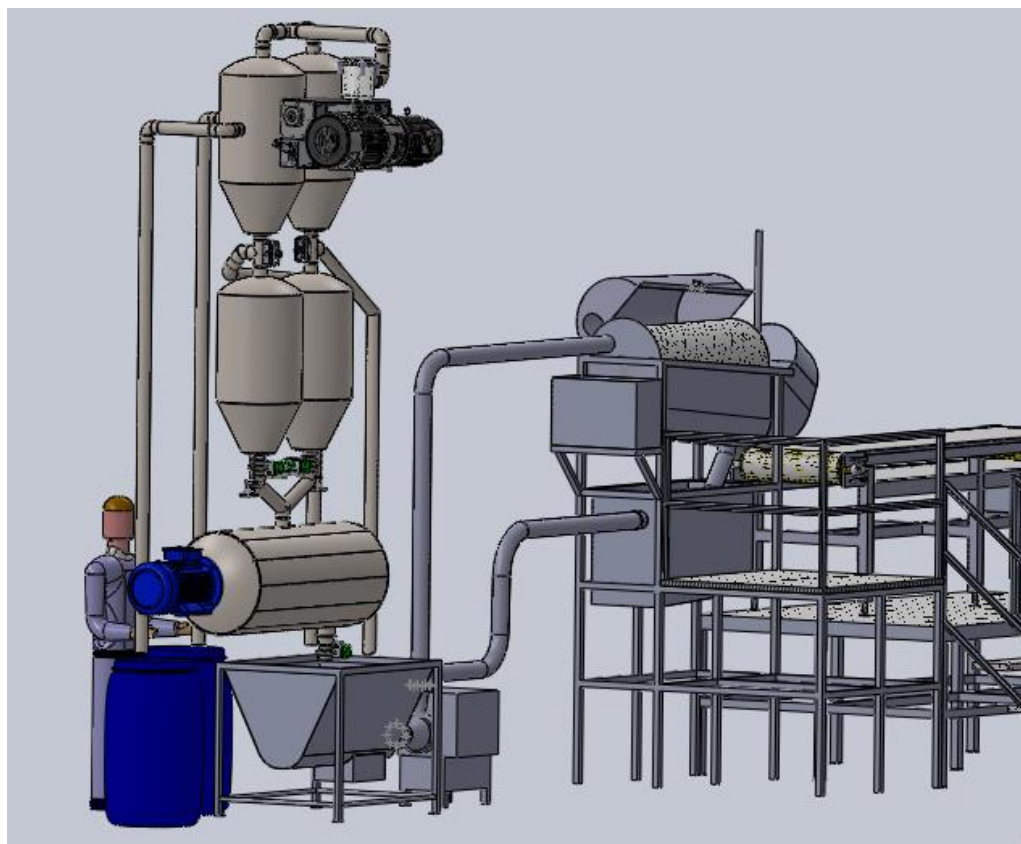


Ilustración 29 Diseño de la propuesta presentada.

Fuente: Propia

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

6 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

6.1 CONCLUSIONES

- Se logra realizar una propuesta de un sistema automático de transporte, dosificación y mezcla de granos.

Este sistema consta de 2 tolvas receptoras, las cuales por medio de una bomba de vacío realizan la succión del grano, para esta propuesta se diseña con una sola bomba de diafragma de gran capacidad, se elige este tipo de bomba ya que no necesitan aceite y por el tema de humedad en el material es la más apta.

Se utiliza un filtro para la protección de la bomba ya que los materiales transportados pueden desprender partículas que afecten su buen funcionamiento, este filtro es de fácil desmontaje y limpieza.

Las tolvas gravimétricas son las encargadas de realizar la descarga del producto en las proporciones necesarias para la preparación, dicha descarga se realiza al mezclador de tambor horizontal el cual por rotación realiza la mezcla de arveja y zanahoria.

- Se estudia las condiciones actuales de la línea y todas las características de cada uno de los productos manejados, con esta información se logra reconocer cuales son las principales problemáticas y dividir cada una de ellas en subsistemas que pueden ser atacados de manera individual.
- Se evalúa las diferentes opciones de equipos que pueden ayudar a resolver las diferentes problemáticas, con cada uno de los equipos estudiados se busca ver su aplicabilidad bajo las condiciones de la planta, de allí se descartan algunos por diferentes razones como su gran tamaño, no cumplimiento para todos los materiales, costo elevado entre otros.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Al evaluar todos estos equipos, se opta finalmente por un sistema de transporte neumático, el cual cumple los requerimientos establecidos además de ser un sistema cerrado, lo cual ayuda a mantener los materiales libres de contaminante al disminuir el contacto con el hombre.

6.2 RECOMENDACIONES

- Los sistemas de transporte neumático, por más precisión que se tenga en los cálculos, requieren de una calibración a la hora de realizar el montaje de todos sus componentes, ya que todos los sistemas funcionan de diferente manera, sobre todo el diseño propuesto que maneja algún porcentaje de humedad.
- Evaluar la bomba utilizada, pues se recomendó una bomba de diafragma, pero actualmente en el mercado hay gran variedad de ellas, al igual que los filtros.
- La estructura de acceso para mantenimiento y aseo debe ser diseñada según requerimientos de las diferentes áreas, por lo cual no fue tomada en cuenta en esta propuesta.
- La longitud de la manguera final, la cual es la que maneja el operario para la succión, no puede exceder los 1.5m pues los cálculos realizados tienen un límite longitudinal.
- Con el producto de maíz tierno, se debe realizar un proceso de des compactación del grano como el manejado actualmente, el cual no requiere mucho tiempo, pero es necesario para poder realizar la succión.

6.3 TRABAJO A FUTURO

- Realizar consulta con fabricantes de bombas de vacío para evaluar de una manera óptima el tipo que mejor funcione bajo las condiciones de este sistema, con ellos se puede analizar también el filtro de protección para la misma.
- Se puede realizar algunos cambios al diseño propuesto, como por ejemplo instalar una bomba para cada tolva de recepción con filtro individual. Lo que puede

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

disminuir costo energético a la hora de trabajar un producto que no necesita mezclarse.

- Los cálculos realizados demostraron que el sistema sigue teniendo capacidad para mejoras de productividad en la línea, es decir, puede manejar un mayor caudal de material.
- Si se llegasen a manejar nuevos productos, se debe validar si están en los márgenes de densidades actuales.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

7 REFERENCIAS

- Coqui, D. A. (2017). *Determinación de la velocidad mínima de un transporte en cañerías verticales para un sistema de transporte neumático*. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Escamilla, M. R. (2015). *Revista de prototipos tecnológicos Vol 1*. Madrid: Ecorfan.
- Esteban, V. D. (2009). *Proyecto de instalación de una planta de molienda de cemento*. Madrid: Bachelor's thesis.
- G. E. Klinzing, F. R. (2010). *Pneumatic conveying of solids*. Londres : Springer Dordrecht Heidelberg.
- Giraldo, E. F. (2017). *Implementación de un sistema de dosificación paralelo y transporte neumático para el aumento de la capacidad de mezclado en un 50%*. Medellín: ITM.
- Guzmán, A. F. (2018). *Parametros de diseño para un sistema de transporte neumático de arena para frenado de trenes*. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Guzmán, G. R. (2010). *Construcción de un transportador de tornillo sin para alimentación del enfriador de mineral a escala*. Cuba: Doctoral dissertation.
- Hinkle, B. L. (1953). *ACCELERATION OF PARTICLES AND PRESSURE DROPS ENCOUNTERED*. Georgia: Georgia Institute of Technology .
- ITŌ, H. (1959). *Friction factors for turbulent flow in curved pipes*. Sendai, Japon: Journal of Basic Engineering.
- KQNNO, H., & SAITO, S. (1969). *Pneumatic conveying of solids through straight pipes*. Sendai, Japon: Journal of chemical engineering of Japan.
- Marisa Castelló, C. B. (2017). *Mezcla de sólidos*. València: Universidad Politécnica de València .
- Martínez, V. S. (2016). *Desarrollo de programa computacional para el diseño y diagnóstico de sistemas de transporte neumático en fase diluida*. Valparaíso: Universidad Federico Santa María.
- Mecalux. (10 de Junio de 2019). *Mecalux S.A*. Obtenido de <https://www.mecalux.es/blog/transportadores-industriales-tipos>
- Morales, E. E. (2010). *Diseño y construcción de un dosificador y empacador de producto alimenticio molido y seco de 50g*. Latacunga: Escuela politécnica del ejército.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

QuimiNet. (11 de Junio de 2019). *Los tipos de mezcladores*. Obtenido de QuimiNet.com:

<https://www.quiminet.com/articulos/los-tipos-de-mezcladores-16423.htm>

Rojas, P. J. (2015). *Diseño de un sistema de transporte para la elaboración de sal mineralizada para bobinos*. Bogotá DC: Universidad de la salle.

SCHUCHART, P. (1968). *Widerstandsgesetze beim pneumatischen Transport in Rohrkrümmern*. Brighton/England: Chemie Ingenieur Technik.

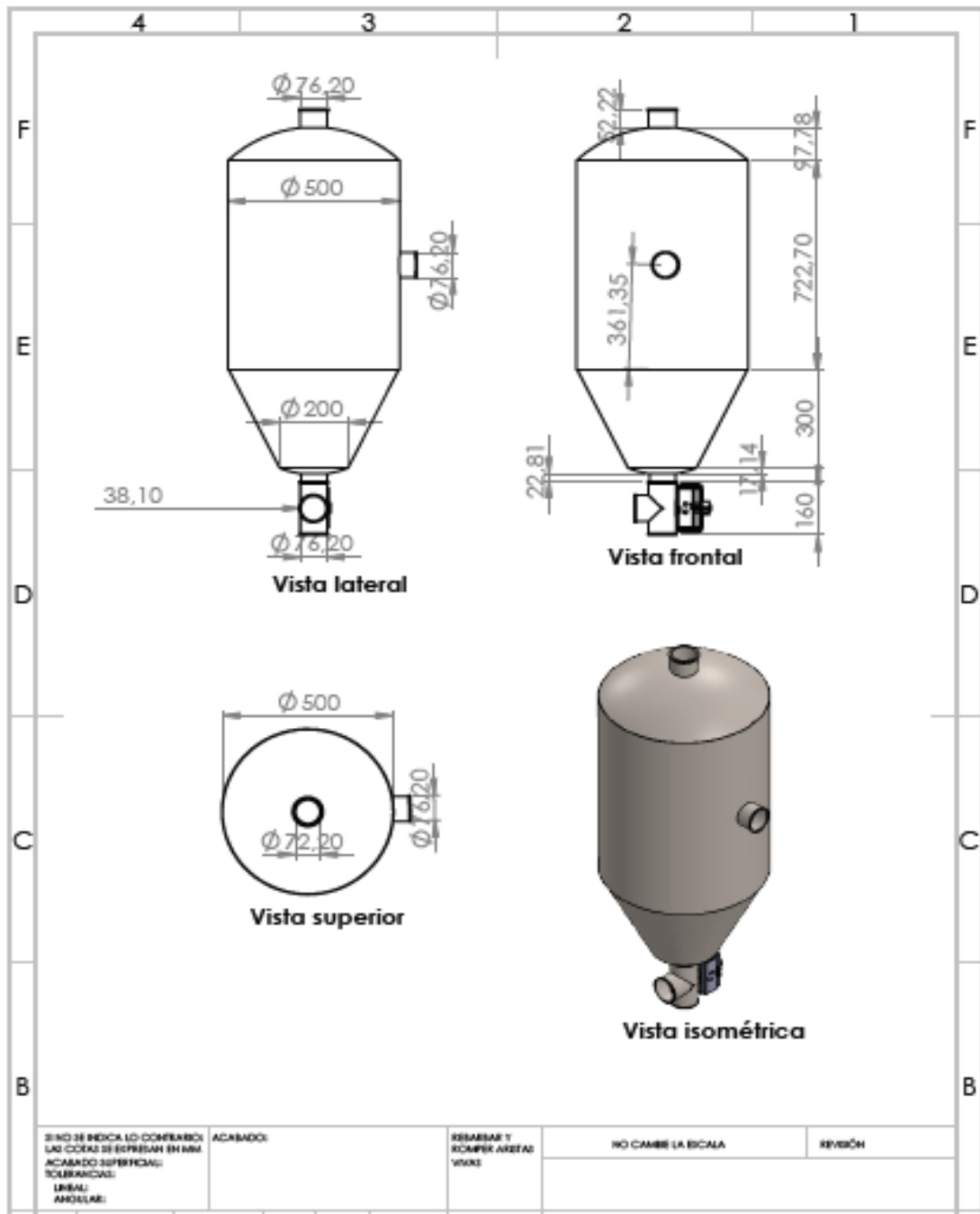
Shames, I. H. (1995). *Mecánica de fluidos*. Bogotá: McGRAW-HILL TINTERAMERICA, SA.

Stephens, F. E. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. Juárez: PEARSON EDUCACIÓN.

Yang, W. C. (1978). *A correlation for solid friction factor in vertical pneumatic conveying lines*. Pittsburgh, Pennsylvania: AIChE Journal.

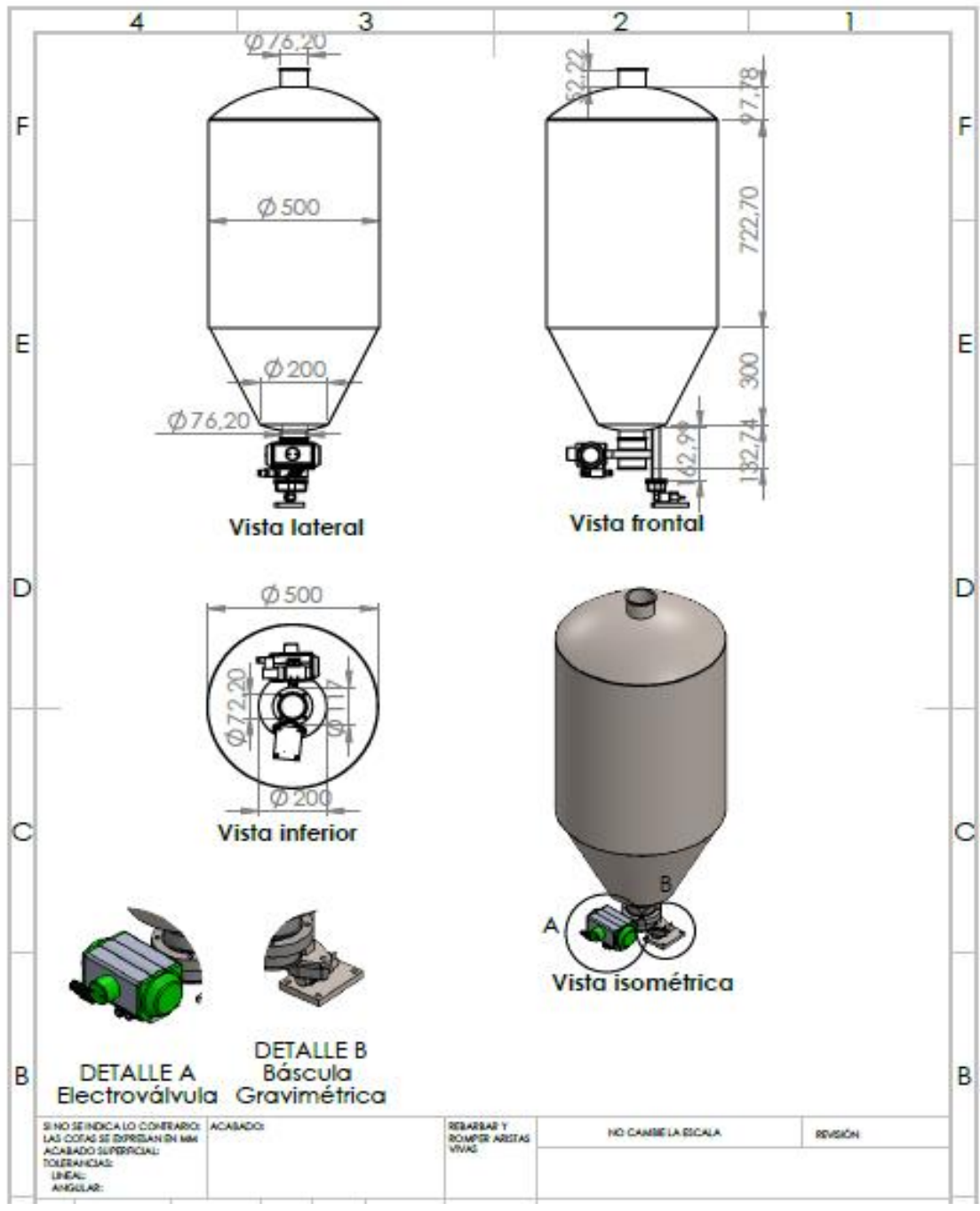
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE



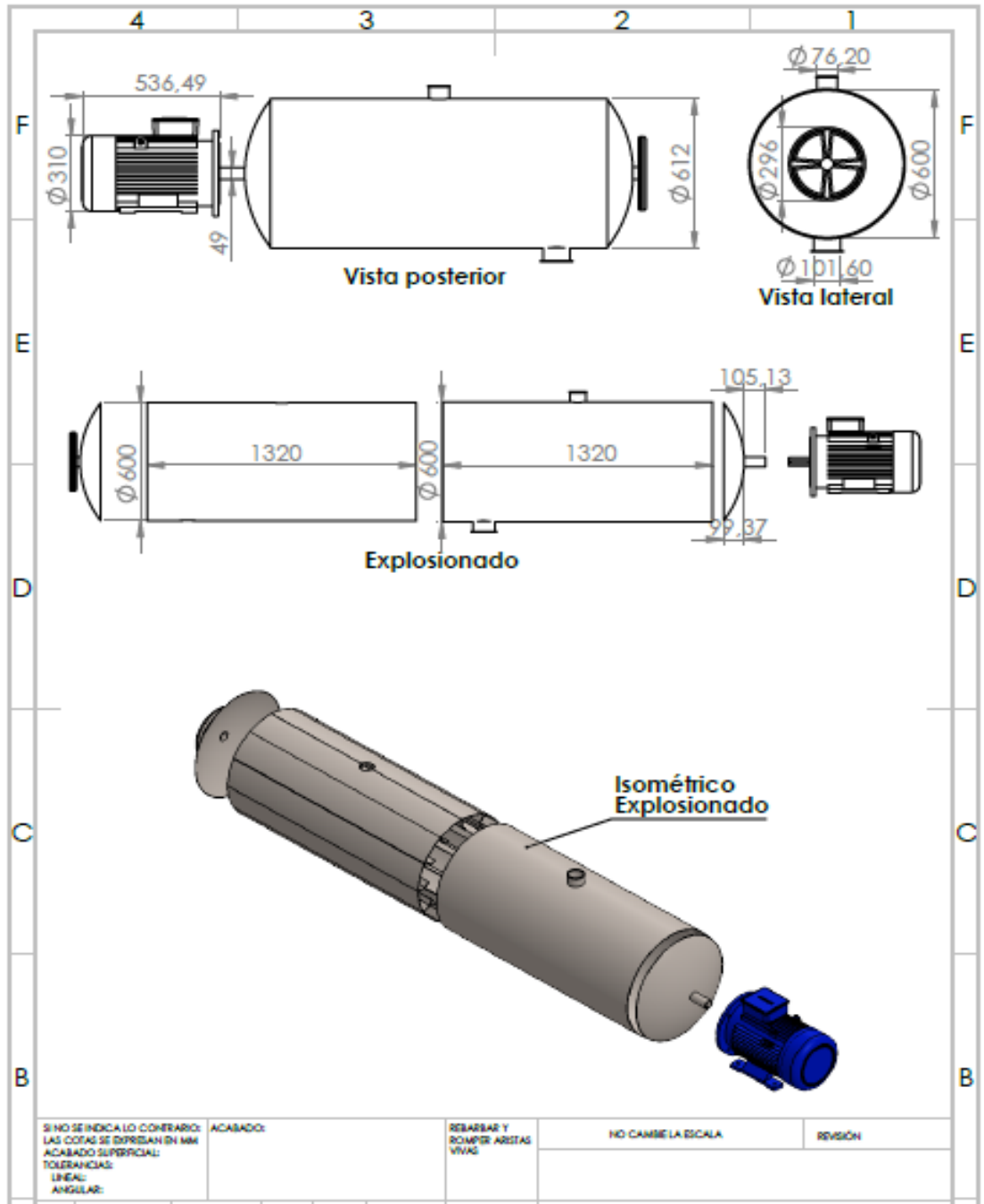
Apéndice 1 Plano tova receptora

Fuente: Propia



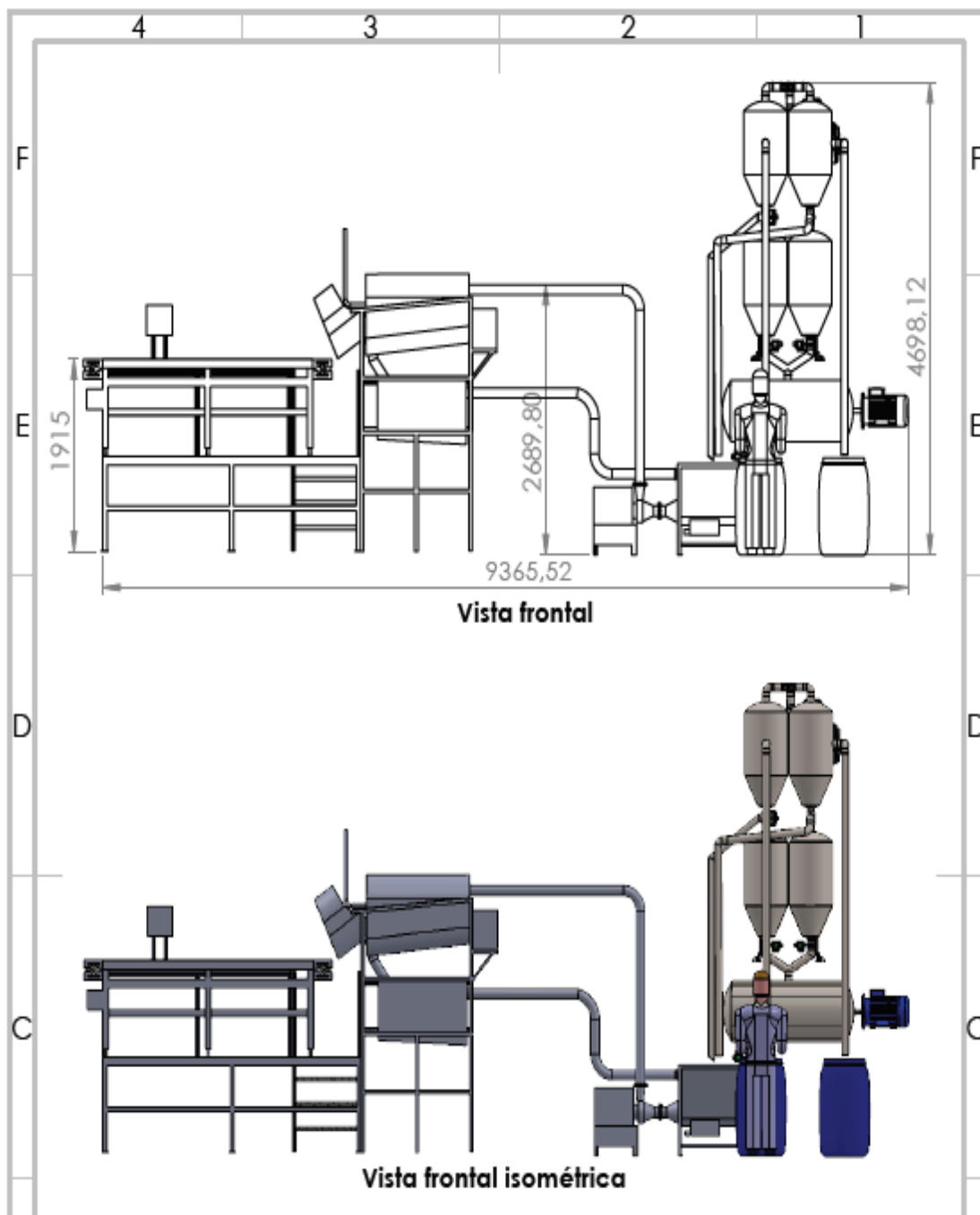
Apéndice 2 Plano tolva gravimétrica
 Fuente: Propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



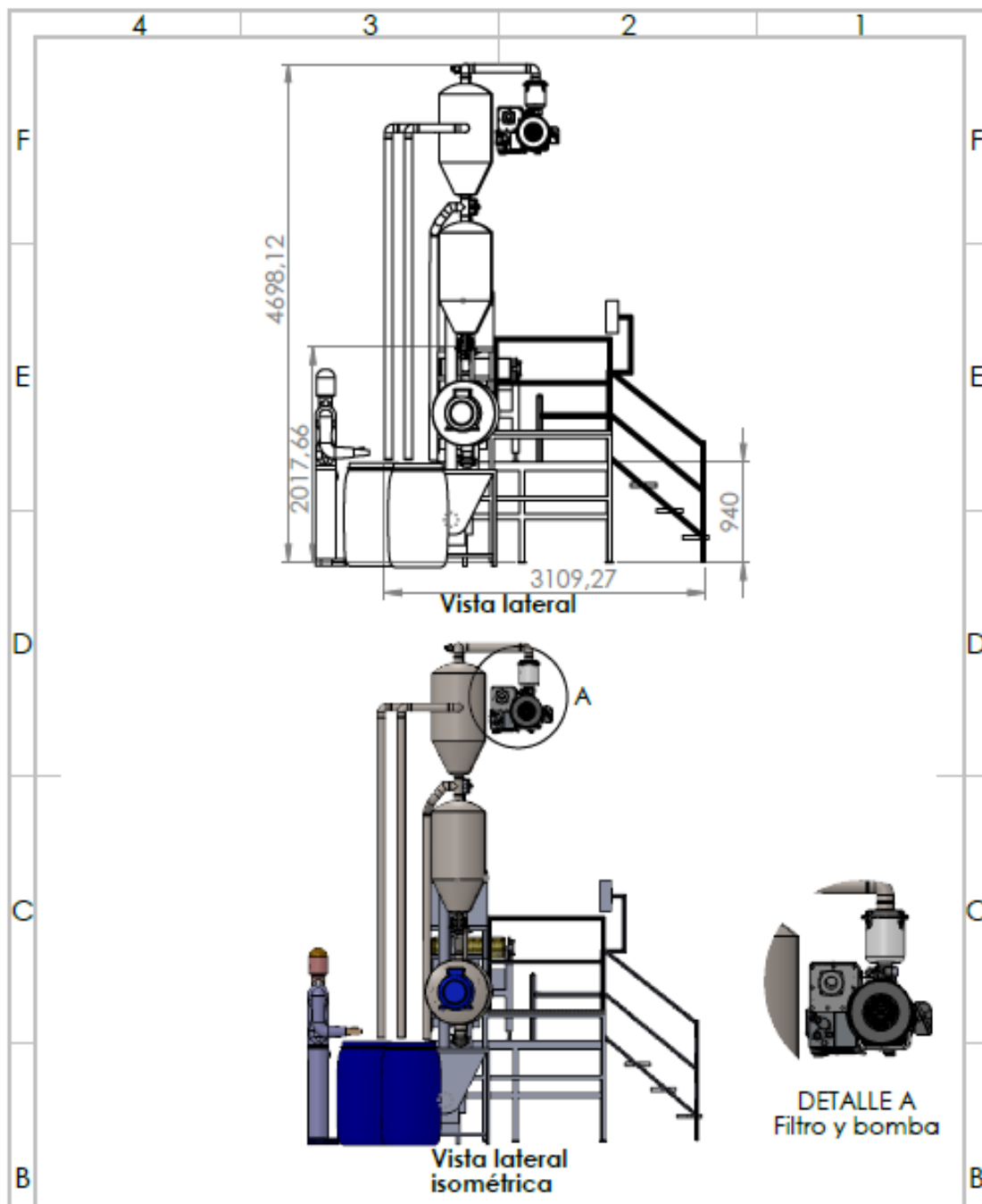
Apéndice 3 Plano mezclador

Fuente: Propia



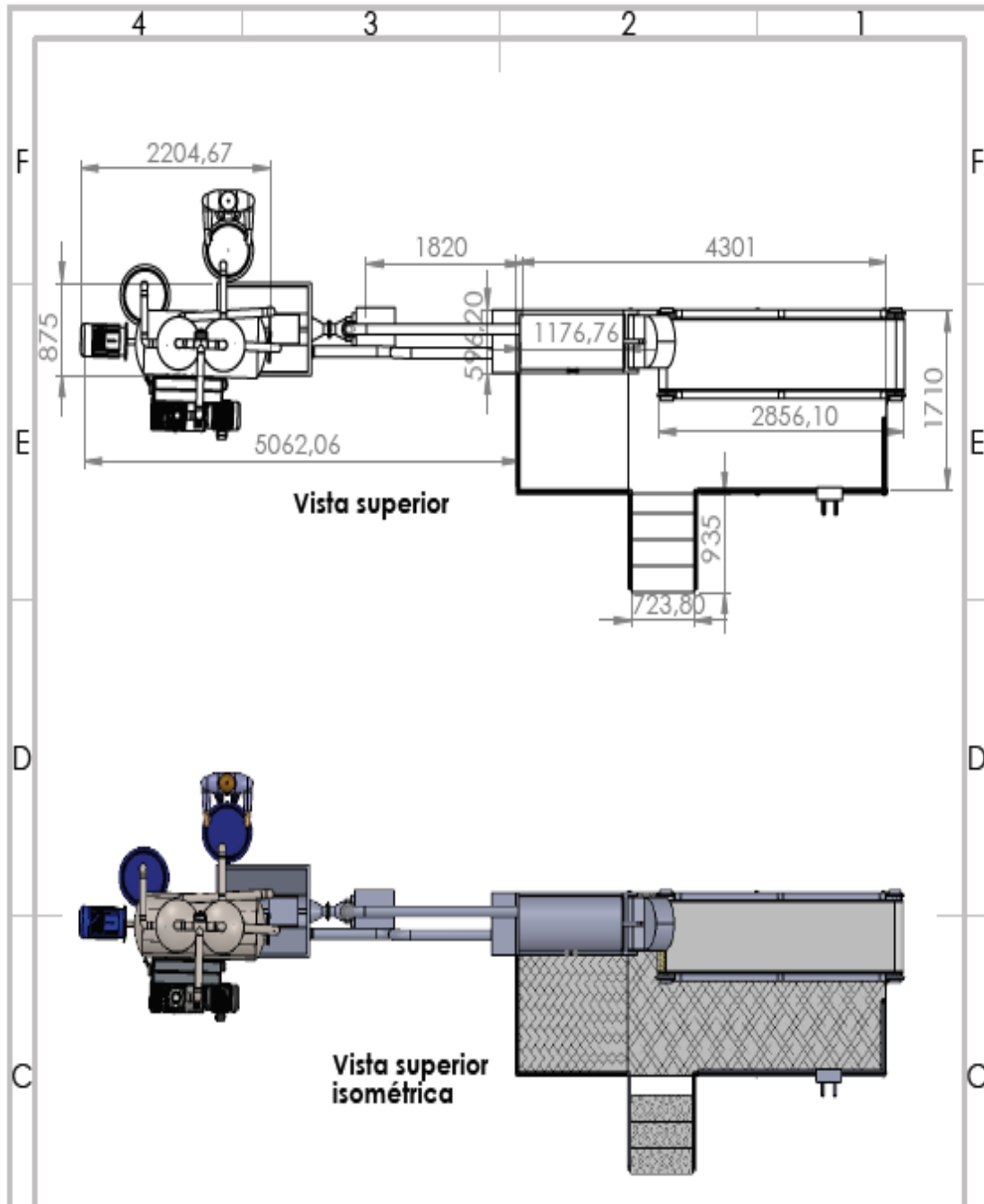
Apéndice 4 Ensamble vista frontal

Fuente: Propia



Apéndice 5 Ensamble vista lateral

Fuente: Propia



Apéndice 6 Ensamble vista superior

Fuente: Propia

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES JAVIER L.

FIRMA ASESOR Patricia Quamizo C.

FECHA ENTREGA: Agosto 28 de 2019. Cumplió con el logro de los objetivos

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES ___

ACTA NO. _____
 FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____
 FECHA ENTREGA: _____