

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

" Diseño de un Sistema de Transporte Neumático de Maíz en Grano en  
Fase Diluida"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Ricardo Antonio Ramírez Zapata

Jorge Andrés Soria Castro

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por dejarme estar en este lugar, a mi hijo Elías el motivo para seguir progresando día a día, a mi madre, pilar fundamental en mi vida, a mi padre y hermanos que han estado pendiente en todo momento durante mi carrera. A mi novia la Srta. Nicole Paredes por su ayuda invaluable, y a todos mis amigos que de una u otra manera me apoyaron a lo largo de toda la carrera universitaria.

**Ricardo Antonio Ramírez Zapata**

Agradezco principalmente a Dios por permitirme todos los logros a lo largo de mi vida, a mis padres Freddy y Yadira que han sido pilares fundamentales a lo largo de mi vida, a mis hermanos y familia por darme el apoyo necesario para lograr mis metas, a mis amigos por su compañerismo y solidaridad a lo largo de mi carrera.

**Jorge Andrés Soria Castro**

Al Ing. Federico Camacho, tutor de este proyecto, gracias por su tiempo y colaboración para la culminación de este trabajo.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Ricardo Antonio Ramírez Zapata

Jorge Andrés Soria Castro

Ing. Federico Camacho Brausendorff.

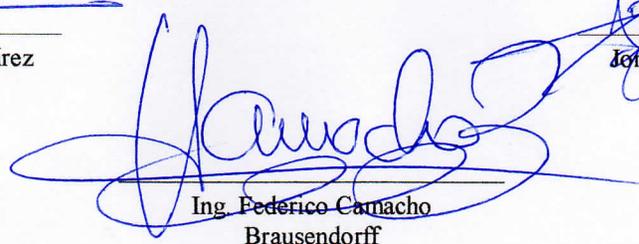
y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Ricardo Antonio Ramírez  
Zapata



Jorge Andrés Soria Castro



Ing. Federico Camacho  
Brausendorff

## RESUMEN

La producción del maíz en el país ha incrementado en los últimos años haciendo que se incrementen las exportaciones, esto debido a que localmente no cuentan con la tecnología y la idea de elaborar productos ecuatorianos. La problemática ocurre cuando el país tiene producciones elevadas y no existen diversos silajes eficaces dentro del país, generando altos costos en el transporte del maíz y daños al productor por no conservarlo rápidamente en las condiciones a las que debería estar.

La propuesta es diseñar un proceso completo desde que llega el maíz en un camión hasta que llega a su punto de almacenamiento, con diferentes sistemas como lo es el de Alimentación con una capacidad de 20 t/h que sea capaz de dosificar el maíz pasando por diferentes equipos como lo es un transportador Tornillo Sin Fin y una Válvula Rotatoria hacia el Sistema de Transporte que cuenta con un blower y tuberías que forman el trayecto por el que debe pasar el material para finalmente llegar al Sistema de Almacenamiento que está compuesto por un Silo que sea capaz de almacenar 100 toneladas de maíz.

Mediante el uso de un Software de elementos finitos se diseñó y analizó los elementos estructurales asegurando que sean capaces de resistir los esfuerzos a los que son sometidos y no presenten fallas a lo largo de su estructura.

Los diferentes sistemas se lo realizaron en base a diferentes normas entre europeas, americanas. Asegurándose de que no van a existir fallas en los componentes que forman los Sistemas de Alimentación, Transporte y Almacenamiento.

El costo del proyecto está avaluado en USD 183.130,00 lo cual se respalda en los materiales que se van a utilizar y en la versatilidad de los diferentes sistemas.

**Palabras Clave:** Maíz, Alimentación, Transporte, Almacenamiento, Tolva, Silo.

## **ABSTRACT**

*The production of corn in the country has increased in recent years making it that they increase exports, this because locally do not have the technology and the idea of developing Ecuadorian products. The problem occurs when the country has high production and there are no effective silages within the country, generating high costs in the transport of corn and damage to the producer for not keeping it quickly in the conditions it should be.*

*The proposal is to design a complete process from the arrival of corn in a truck until it reaches its point of storage, with different systems such as the Alimentation with a capacity of 35 t / h that is capable of dosing the corn through different equipment such as an endless screw conveyor and a rotary valve to the transport system that has a blower and pipes that form the path through which the material must pass to finally reach the storage system that is composed of a silo that is capable of storing 1000 tons of corn.*

*Using a finite element software, the structural elements were designed and analyzed, ensuring that they can withstand the stresses to which they are subjected and do not present failures along their structure.*

*The different systems were carried out based on different norm between European, American. Ensuring that there will be no faults in the components that make up the Food, Transportation and Storage Systems.*

*The cost of the project is evaluated at USD 183.130,00 which is supported by the materials that will be used and the versatility of the different systems.*

**Keywords:** *Corn, Alimentation, Transport, Storage, Hopper, Silo.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Descripción del problema .....	2
1.2 Objetivos .....	3
1.2.1 Objetivo General .....	3
1.2.2 Objetivos Específicos .....	3
1.3 Marco Teórico .....	3
1.3.1 Maíz .....	3
1.3.2 Proceso Productivo del Maíz.....	4
1.3.3 Generalidades del Maíz .....	6
1.3.4 Sistema Neumático .....	7
CAPÍTULO 2.....	9
2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO.....	9
2.1 Factores de Influencia .....	10
2.2 Alternativas Propuestas.....	10
2.2.1 Propuesta para el Sistema de Alimentación.....	11
2.2.1.1 Tolva con Dosificador de Tornillo Sin Fin .....	11
2.2.1.2 Tolva con Dosificador de Banda Transportadora .....	11
2.2.1.3 Tolva con Dosificador de Compuerta Rotativa .....	12

2.2.2	Propuesta para Sistema de Transporte.....	13
2.2.2.1	Transportador de Banda.....	13
2.2.2.2	Transportador Tipo Tornillo Sin fin .....	13
2.2.2.3	Sistema de Transporte Neumático .....	14
2.2.2.3.1	Sistema de Ventilación del Sistema Neumático .....	14
2.2.3	Propuesta para Sistema de Almacenamiento .....	16
2.2.3.1	Silos de Almacenamiento .....	16
2.3	Selección de la Mejor Alternativa .....	17
2.4	Diagrama de Flujo del Proceso .....	19
2.5	Dimensionamiento del Sistema de Recepción .....	19
2.6	Diseño de Forma.....	22
2.6.1	Descripción del Sistema de Alimentación .....	24
2.6.2	Descripción del Sistema de Transporte.....	25
2.6.3	Descripción de Sistema de Almacenamiento .....	26
2.7	Diseño Detallado .....	27
2.7.1	Sistema de Alimentación.....	27
2.7.1.1	Dimensionamiento de Tolva de Alimentación.....	27
2.7.1.2	Dimensionamiento de Dosificadora Rotatoria.....	41
2.7.1.3	Dimensionamiento de Dosificador Tornillo Sin fin .....	42
2.7.1.4	Selección de Elementos Estándares .....	44
2.7.1.5	Selección de Accionamiento Motriz.....	50
2.7.2	Sistema de Transporte Neumático.....	50
2.7.2.1	Selección de Tubería en la Línea de Transporte .....	50
2.7.2.1.1	Cálculo de Diámetro de Tubería.....	51
2.7.2.1.2	Selección del Material de Tubería .....	51
2.7.2.2	Velocidades de Transporte para Maíz .....	52
2.7.2.3	Caída de Presión en Tubería.....	52
2.7.2.3.1	Factor de Fricción del Fluido .....	54
2.7.2.4	Metodología de Cálculo de Caída de Presión .....	54
2.7.2.5	Selección de Blower .....	55
2.7.2.6	Selección de Junta para Tubería.....	55
2.7.2.7	Dimensionamiento del Venturi.....	56

2.7.3 Sistema de Almacenamiento.....	57
2.7.3.1 Dimensionamiento de Válvula de Desvío .....	57
2.7.3.2 Dimensionamiento de Filtro de Desempolvado .....	58
2.7.3.3 Dimensionamiento de Silo .....	59
CAPÍTULO 3.....	62
3. RESULTADOS.....	62
3.1 Análisis de Resultados .....	62
3.1.1 Sistema de Alimentación.....	62
3.1.1.1 Tolva de Alimentación .....	62
3.1.1.2 Transportador Tornillo Sin Fin .....	66
3.1.1.3 Válvula Rotatoria .....	66
3.1.2 Sistema de Transporte .....	66
3.1.3 Sistema de Almacenamiento.....	66
3.2 Análisis de Factibilidad.....	70
CAPÍTULO 4.....	71
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	71
4.1 Conclusiones.....	71
4.2 Recomendaciones.....	72
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	
PLANOS	

## ABREVIATURAS

CEMA	Asociación de Fabricantes de Equipos para Transporte al Granel ( <i>Conveyor Equipment Manufacturers Association</i> )
IEC	Delegación Internacional de Electrotécnicos ( <i>International Electrotechnical Commision</i> )
ASTM	Estándares Americanos para Ensayo de Materiales ( <i>American Standards for Testing Materials</i> )
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
DIN	Instituto Alemán para Estandarización ( <i>Deutsches Institut für Normung</i> )
AISC	Instituto Americano de Construcciones en Acero ( <i>American Institute of Steel Construction</i> )
AASHTO	Sociedad Americana de Autopistas Estatales y Oficiales de Transporte ( <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> )
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices ( <i>Society of Automotive Engineers</i> )
PIB	Producto Interno Bruto
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
MAGAP	Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos ( <i>American Society of Mechanical Engineers</i> )

## SIMBOLOGÍA

$b_s$	Ancho del anillo rigidizador
$\phi_w$	Ángulo de fricción contra la pared del silo/tolva
$\beta$	Ángulo de la tolva respecto a la vertical
$\theta_{rep}$	Angulo de reposo del material
$\delta$	Ángulo efectivo de fricción interna
$\varphi$	Angulo fricción interna
$\mu$	Angulo fricción material contra acero
A	Área de salida de tolva en ft <sup>2</sup>
$C_r$	Capacidad básica de carga dinámica
C	Capacidad del Transportador en ft <sup>3</sup> /h
$P_r$	Carga radial dinámica equivalente.
$\rho$	Densidad del material
B	Diámetro circular de salida o ancho
e	Eficiencia de Transmisión
$\eta_{motor}$	Eficiencia del motor eléctrico
$\eta_{reductor}$	Eficiencia del reductor mecánico
$S_y$	Esfuerzo de fluencia
$S_f$	Esfuerzo máximo permisible de fatiga
e	Espesor de pared del silo y tolva
$t_{RS}$	Espesor del anillo rigidizador
Y	Factor de carga axial
X	Factor de carga radial
$k_e$	Factor de ciclo de servicio
$k_f$	Factor de concentración de esfuerzo de fatiga
$k_c$	Factor de confiabilidad
$C_w$	Factor de descarga en la pared
$C_h$	Factor de descarga horizontal
$F_p$	Factor de las paletas
FS	Factor de seguridad de fatiga
$F_o$	Factor de sobrecarga
$k_b$	Factor de tamaño
$k_d$	Factor de temperatura
$F_b$	Factor del buje para colgante

$F_d$	Factor del diámetro del transportador
$F_f$	Factor Helicoidal
$k_g$	Factor mixto
Q	Flujo volumétrico
$F_a$	Fuerza axial aplicada
$F_r$	Fuerza radial aplicada
$\eta_{ySK}$	Fuerza resultante vertical en la pared por unidad de longitud de perímetro
$f_c$	Función de flujo de materiales cohesivos
$S_e$	Límite de resistencia a la fatiga en un punto crítico de operación
$S_e'$	Límite de resistencia a la fatiga en una viga rotatoria
$L_m$	Longitud del mezclador en ft
n	Número de revoluciones en un minuto
U	Perímetro interno de la sección paredes verticales
$\gamma$	Peso específico del material almacenado
$P_{eff}$	Potencia efectiva
$P_{net}$	Potencia neta
$HP_m$	Potencia para mover el material
$HP_f$	Potencia para mover el transportador
$P_{wf}$	Presión de rozamiento tras el llenado
$P_{we}$	Presión de rozamiento tras el vaciado
$P_{hf}$	Presión horizontal tras el llenado
$P_{he}$	Presión horizontal tras el vaciado
$P_n$	Presión normal a la pared del silo/tolva
$P_v$	Presión vertical debido al material almacenado
z	Profundidad bajo la superficie equivalente con llenado máximo
K	Relación de presión lateral
$P_n$	Resistencia a la compresión nominal
A	Superficie de la sección transversal
N	Velocidad angular de Operación en rpm
$V_b$	Velocidad de la banda transportadora
$L_{10h}$	Vida nominal del rodamiento en horas
$\forall$	Volumen

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Producción y Rendimiento del maíz en el Ecuador .....	1
Figura 1.2 Importaciones del maíz en el Ecuador en los últimos años .....	2
Figura 1.3 Siembra de Maíz .....	4
Figura 1.4 Esquema del Proceso de los Cereales.....	5
Figura 1.5 Sistema de Transporte Neumático mediante Aspiración.....	8
Figura 1.6 Sistema de Transporte Neumático mediante Impulsión .....	8
Figura 2.1 Metodología empleada para el Diseño .....	9
Figura 2.2 Dosificador de Tornillo Sin Fin.....	11
Figura 2.3 Dosificador de Banda Transportadora.....	12
Figura 2.4 Sistema de Dosificación por Paletas Rotatorias .....	12
Figura 2.5 Transportador de Banda.....	13
Figura 2.6 Transporte de Materia a través de un Tornillo Sin fin .....	14
Figura 2.7 Ventilador Centrifugo.....	15
Figura 2.8 Soplador roots de doble lóbulo.....	16
Figura 2.9 Diagrama del Proceso .....	20
Figura 2.10 Diseño de Forma del Sistema .....	23
Figura 2.11 Tolva de Alimentación .....	24
Figura 2.12 Sistema de Transporte Neumático .....	25
Figura 2.13 Silo de Almacenamiento.....	27
Figura 2.14 Tipos de Descarga en Tolvas.....	28
Figura 2.15 Selección Tipo de Flujo Tolva Cónica .....	29
Figura 2.16 Selección Tipo de Flujo Tolva Rectangular .....	30
Figura 2.17 Forma de Silos, Dimensiones y Presiones .....	32
Figura 2.18 Presiones de Llenado en Segmento de Paredes Verticales.....	35
Figura 2.19 Limite entre Tolva Empinadas y Tolvas Profundas.....	37
Figura 2.20 Distribución de Presiones de Llenada en la Tolva.....	38
Figura 2.21 Distribución de Esfuerzos en Tolvas .....	39
Figura 2.22 Tolva de Alimentación de Maíz.....	41
Figura 2.23 Dosificador Tipo 1.....	44
Figura 2.24 Componentes de Mezclador Helicoidal .....	45
Figura 2.25 Tubo de 3.5 pulgadas cédula 40 .....	46
Figura 2.26 Conjunto Tubo y Helicoide .....	46

Figura 2.27 Artesa Tipo U con Ceja de Ángulo .....	47
Figura 2.28 Bridas de Artesa Tipo U .....	47
Figura 2.29 Descarga de Salida de la Mezcla .....	48
Figura 2.30 Tapa de Artesa Exterior Sin Pie .....	49
Figura 2.31 Tapa de Artesa con Rodamiento Exterior.....	49
Figura 2.32 Cubierta de Artesa.....	49
Figura 2.33 Junta Tipo Acople Rígido .....	56
Figura 2.34 Venturi .....	57
Figura 2.35 Válvula de Desvío.....	58
Figura 2.36 Espesores de Anillos y Platinas del Cilindro.....	59
Figura 2.37 Silo Almacenamiento de Maíz .....	60
Figura 3.1 Presiones Llenado Tolva de Maíz .....	63
Figura 3.2 Presiones Vaciado Tolva de Maíz .....	63
Figura 3.3 Esfuerzo Equivalente de Von-Mises de la Tolva .....	64
Figura 3.4 Deformación Total de la Tolva.....	65
Figura 3.5 Factor de Seguridad Estático de la Tolva.....	65
Figura 3.6 Presiones de Llenado Silo de Maíz .....	67
Figura 3.7 Esfuerzo Equivalente de Von-Mises del Silo .....	68
Figura 3.8 Deformación Total del Silo .....	69
Figura 3.9 Factor de Seguridad Estático del Silo.....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Taxonomía del Maíz .....	6
Tabla 1.2 Características del material y peso por pie cubico.....	6
Tabla 2.1 Matriz de Selección del Sistema de Alimentación .....	18
Tabla 2.2 Matriz de Selección del Sistema de Transporte .....	18
Tabla 2.3 Características del Material y Densidad.....	19
Tabla 2.4 Características del Material .....	29
Tabla 2.5 Tipo de Flujo de cada Elemento .....	30
Tabla 2.6 Clasificación Recomendada de Silos por Evaluación de Cargas .....	32
Tabla 2.7 Propiedades por Diferentes Cálculos de Esfuerzos.....	34
Tabla 2.8 Capacidad a Transportar del Tornillo Sin Fin .....	42
Tabla 2.9 Características de los Materiales.....	42
Tabla 2.10 Capacidad para Transportadores Helicoidales .....	43
Tabla 2.11 Especificaciones para Transportadores Helicoidales .....	45
Tabla 2.12 Especificaciones de Diferentes Tuberías.....	51
Tabla 2.13 Especificaciones de Tuberías de Acero Inoxidable .....	51
Tabla 2.14 Velocidades de Diferentes Materiales en Tubería .....	52
Tabla 2.15 Velocidades de Filtración.....	59
Tabla 3.1. Estimación de Costos para los Sistemas.....	70

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA
PLANO 2	DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA
PLANO 3	REPRESENTACION GENERAL DEL SISTEMA
PLANO 4	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN
PLANO 5	SISTEMA DE TRANSPORTE
PLANO 6	TOLVA DE ALIMENTACIÓN
PLANO 7	ESTRUCTURA DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN
PLANO 8	DOSIFICADOR HELICOIDAL
PLANO 9	SILO DE ALMACENAMIENTO
PLANO 10	VÁLVULA DE DESVÍO
PLANO 11	VENTURI

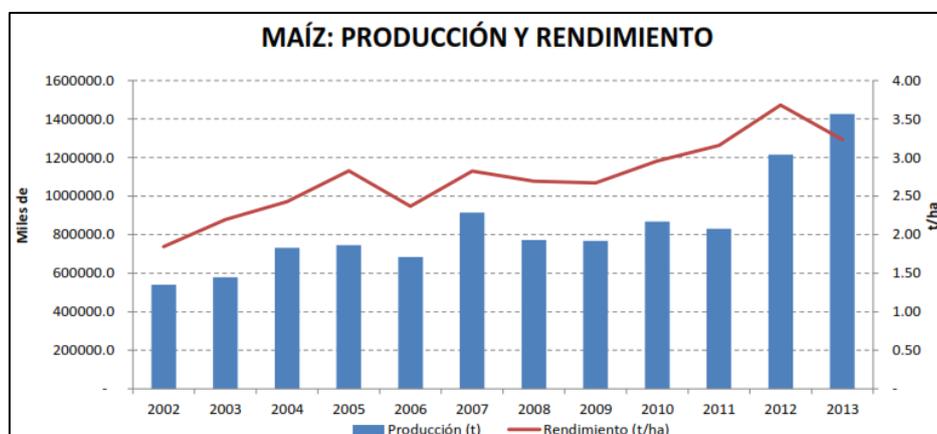
# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Ecuador el Maíz Duro es una de las pocas especies que se cultivan a nivel nacional en Costa, Sierra, Oriente y Galápagos; por lo que es considerado uno de los productos agrícolas más importantes, tanto para consumo humano como por su uso agroindustrial.

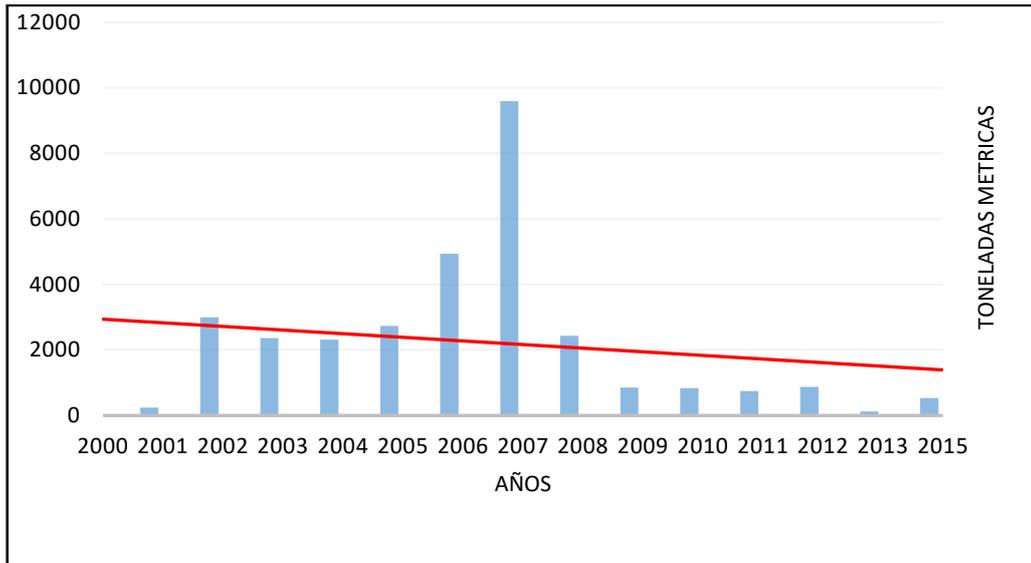
Siendo la agricultura uno de los mayores componentes del PIB en el país con el 17.5%; este producto representa el 3% en el PIB agrícola, es el único cultivo con cobertura nacional que cubre una superficie de siembra aproximada de 500 mil hectáreas, de las cuales, la mitad es maíz amarillo duro cristalino, base de la Cadena del Maíz, que en su gran mayoría se siembra en el litoral ecuatoriano. Mientras que el otro 50% es maíz de altura, de subsistencia para un alto número de pequeños agricultores, caracterizados por un bajo ingreso económico y que constituye además la base de la dieta de la población rural andina. (INIAP, 2016).

Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (MAGAP) que se puede apreciar en la *Figura 1.1*, se observa un considerable incremento en la producción y el rendimiento del Maíz en los últimos años. Como consecuencia se tiene una variación en las importaciones del producto que se puede visualizar en la *Figura 1.2*.



**Figura 1.1 Producción y Rendimiento del maíz en el Ecuador**

Fuente: MAGAP, 2016.



**Figura 1.2 Importaciones del maíz en el Ecuador en los últimos años**

Fuente: MAGAP, 2016.

Como consecuencia se tiene un incremento de plantas de procesamiento de maíz en el Ecuador, las cuales necesitan darle buen tratamiento al producto, desde su recolección hasta el proceso de ensacado. Así mismo, las compañías que compran el maíz deben de almacenarlo hasta que lo pasen por los diferentes procesos.

La problemática surge cuando se necesita transportar grandes cantidades de producto desde los camiones hasta el lugar de almacenamiento de la manera más óptima sin que se afecte la producción.

### 1.1 Descripción del problema

En industrias que se dedican al procesamiento del maíz, la primera parte del proceso es transportarlo hacia los diferentes silos que se posee, para los diferentes tipos de productos terminado que se posea.

Se propone diseñar un Sistema de Transporte Neumático de maíz en grano que reciba una cantidad de producto en una tolva, dosificarlo de manera óptima y precisa para a través de una tubería transportarlo hasta los silos de almacenamiento.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Estudiar, analizar y diseñar un Sistema de Transporte Neumático para Maíz en grano.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Definir las características y capacidades del sistema a diseñar.
- Desarrollar un diseño de forma del Sistema de Transporte Neumático.
- Elaborar un diseño detallado de diferentes componentes del Sistema.
- Diseñar la tolva almacenadora, válvulas de desvío neumáticas, líneas tubulares para transporte y silo de almacenamiento.
- Selección del sistema de alimentación y filtro de desempolvado.
- Seleccionar los componentes estándares como: Blower para transporte neumático, tuberías para transporte, reductores de velocidad, motores eléctricos, chumaceras con sus rodamientos.
- Seleccionar materiales utilizando los factores de seguridad que la norma indique, o de acuerdo a las recomendaciones prácticas que estén vigentes.
- Desarrollar el diseño en 3D con algún programa CAD.
- Realizar planos de detalle e instalación.
- Simular y analizar los diferentes componentes estructurales con la ayuda del software de elementos finitos ANSYS®.

## **1.3 Marco Teórico**

### **1.3.1 Maíz**

El maíz es una planta de la familia “Gramíneas”. Es una planta que fue domesticada por los pueblos indígenas hace varios años inicialmente en México. Dentro de esta familia se encuentra el trigo, el arroz, el maíz, la cebada, la avena, el centeno, entre otros cereales mucho más pequeños, pero siendo el maíz el cereal con el mayor volumen de producción a nivel mundial.

Este cereal está entre los alimentos básicos más importantes para el ser humano ya que los nutrientes proporcionados por el consumo de pan en

países industriales son capaces de abarcar cerca del 50% de la necesidad diaria de hidratos de carbono, un tercio de las proteínas y cerca del 50-60% de vitamina B.

Por otra parte, los productos de cereales son también una fuente de minerales y oligoelementos.

El tamaño del grano de algunos cereales es mayor que el de los demás pastos ya que fue producto de la domesticación que lleva miles de años. Los cereales almacenan energía en forma de almidón. El germen de la semilla contiene lípidos en proporción variable que permite la extracción de aceite vegetal en algunos cereales.

Actualmente existen los cereales modernos los cuales son el resultado de la selección elaborada durante la “Revolución verde” con la finalidad de obtener variedades de alto rendimiento y que son sembrados en diferentes partes del mundo como se puede observar en la *Figura 1.3*.



**Figura 1.3 Siembra de Maíz**

Fuente: Concepto Definición, Venemedia, 2004.

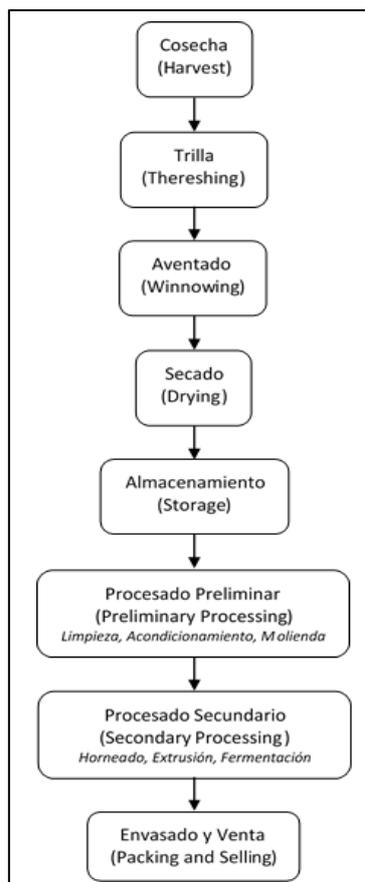
### **1.3.2 Proceso Productivo del Maíz**

La planta de cereal se recolecta de manera completa, por lo que es necesario separar todas sus partes. La trilla y el aventado son las primeras operaciones sucesivas que se llevan a cabo para la separación.

Una vez separados los granos de cereal de la planta y debido a que estos no pueden ser consumidos o procesados de manera inmediata, se hace necesario almacenarlos antes de proceder a su tratamiento preliminar o a su consumo directo.

El almacenamiento se lo debe dar en las condiciones adecuadas y debe evitarse las pérdidas que pueden ser por otros seres vivos como los roedores, insectos, entre otros; ya que compiten con el hombre.

El secado de los granos es elaborado con la finalidad de reducir el nivel de humedad de los mismos con lo cual podemos garantizar su conservación al impedir tanto su germinación como el crecimiento de microorganismos. Todos estos diferentes procesos se los detalla en el esquema de la *Figura 1.4*.



**Figura 1.4 Esquema del Proceso de los Cereales**

Fuente: Tecnología de los cereales. Universidad de Granada.

### 1.3.3 Generalidades del Maíz

El maíz es una planta anual, originaria al sur de América donde se cultivaba para aprovechar el valor alimenticio de sus granos (FUSTER, 1974). Siendo esta una planta de tallo erguido, macizo y hueco. La altura es muy variable desde 60 cm hasta 2.4 m (Pardave, 2004). La mazorca o fruto, está formado por una parte central llamado zuro, donde se adhieren granos de maíz. En la *Tabla 1.1* se puede observar la taxonomía del maíz:

**Tabla 1.1 Taxonomía del Maíz**

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Cyperales
Familia	Poaceae
Genero	Zea
Especie	Mays
Nombres Comunes	Maíz, morochillo, maíz duro amarillo
Nombre científico	Zea Mayz L.

Fuente: *Terán, 2008.*

Existen diversas clasificaciones del maíz ya que este a lo largo de los años ha sufrido varios cambios en sus propiedades que han sido realizados por el hombre. En la *Tabla 1.2* se observa la característica de los diferentes tipos de maíz:

**Tabla 1.2 Características del material y peso por pie cubico**

Material	Densidad Promedio (lb por pie <sup>2</sup> )	Angulo de reposo (Grados)	Inclinación máxima recomendada	Código
Maíz molido	37-50	30-44		C35
Maíz Azúcar de	31	30-44		B35
Maíz, Desgranado	45	21	10	C25NW
Maíz deshecho de	40-45	30-44		B35W
Maíz, germen de	21			B35W
Maíz, harina de	32-40	35	22	B35W
Maíz, mazorcas	56			
Maíz, partido	45-50			C35W

Fuente: CEMA Belt Conveyors for Bulk Materials.

Cada material contiene un código, su significado se encuentra detallado en el APÉNDICE A *Tabla A-1*.

#### **1.3.4 Sistema Neumático**

Uno de los sistemas más sencillos y comunes para transportar materiales de no muy alta granulometría en la industria, es el movimiento del material suspendido en flujo de aire que puede ser tanto horizontal como vertical a diferentes distancias. El sistema de Transporte Neumático es usado en la industria cuando se pretende mantener limpio el material a transportar.

Usualmente este sistema es utilizado cuando los sistemas convencionales son de alto costo de implementación y mayormente cuando se trata de materiales al granel de tamaños pequeños. La utilización de este sistema es muy diversificada, puede ser usado en procesos que involucran alimentos, productos farmacéuticos, metales pulverizados, etc.

La instalación de un Sistema Neumático no requiere de mucho espacio y las tuberías son capaces de cruzar por diferentes espacios como el techo o bajo suelo para que no cruce con estructuras o maquinarias ya existentes.

Para que el Sistema Neumático pueda operar es necesario que cuente con una fuente de gas a presión, comúnmente aire; un sistema de alimentación, una tubería de conducción, un recipiente donde se pueda depositar el material transportado y una salida para el gas. Es sistema es cerrado y para transportar materiales puede utilizar presiones altas, presiones bajas e incluso presión negativa.

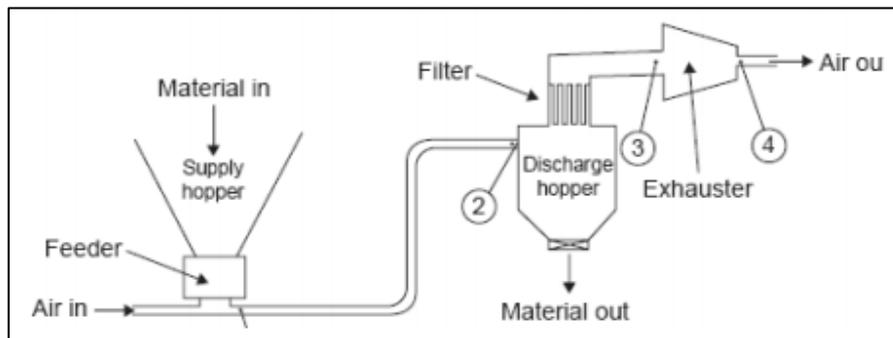
Los materiales pueden ser transportados a grandes distancias con una adecuada elección de los equipos dentro del sistema neumático, además este sistema puede ser flexible ya que puede ser alimentado y descargado de diversos puntos.

Se debe conocer que los materiales transportados en una tubería pueden ser por lotes o de forma continua, de esta manera ya se conoce que existen dos modos de transporte.

Entre los dos modos de transporte de material tenemos la fase diluida en la cual la concentración del material es baja y fluye a lo largo de la tubería suspendido en el flujo de aire a alta velocidad; y, en caso de que la concentración de material sea alta y no fluye suspendido en un bajo flujo de aire se habla de un transporte en fase densa.

Existe en general dos maneras de trabajo en el Transporte Neumático:

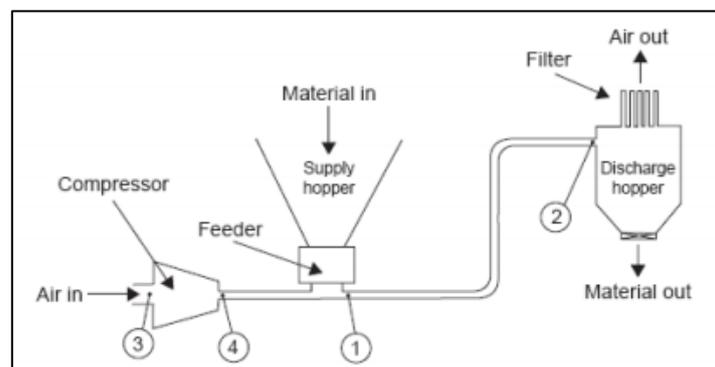
1. En aspiración (vacío) – En el cual se utiliza un dispositivo que es capaz de succionar el aire a través de la tubería, lo que hace que el sólido sea arrastrado a lo largo de la tubería como se muestra en la *Figura 1.5*.



**Figura 1.5 Sistema de Transporte Neumático mediante Aspiración**

Fuente: Mills, 2004.

2. En impulsión – En el cual se utiliza un dispositivo que es capaz de empujar el aire a través de una tubería, lo que hace que el sólido sea empujado a lo largo de la tubería como se muestra en la *Figura 1.6*.



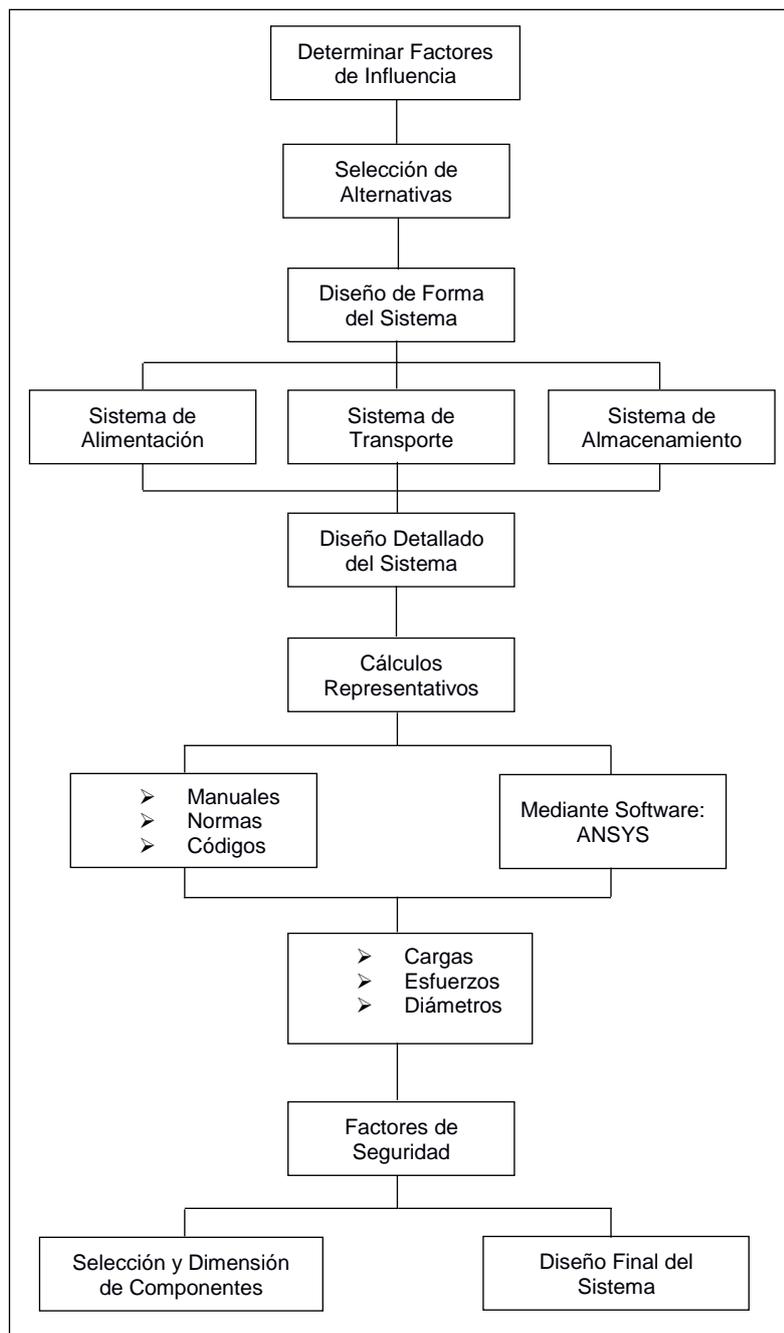
**Figura 1.6 Sistema de Transporte Neumático mediante Impulsión**

Fuente: Mills, 2004.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

En el desarrollo del diseño del Sistema de Transporte Neumático, se elaboró un diagrama que indica la manera que se va a desarrollar la metodología para poder validar el diseño, a continuación, se muestra el diagrama en la *Figura 2.1*.



**Figura 2.1 Metodología empleada para el Diseño**

Fuente: Elaboración Propia.

## 2.1 Factores de Influencia

En un sistema para transporte existen factores que influyen directamente tanto al diseño de forma como a la eficiencia del sistema. Estos factores son los siguientes:

- Capacidad del Sistema: Este factor nos indica cuán rápido queremos almacenar cierta cantidad de volumen de producto, esto afecta directamente a las dimensiones de los respectivos elementos.
- Mantenimiento: El sistema debe ser de fácil mantenimiento, para que los costos de producción sean minimizados.
- Forma: Es importante saber cómo será la forma de cada sistema que se va a utilizar para poder determinar el espacio y cómo será la instalación de la maquinaria correspondiente.
- Versatilidad: Nos indica como es el sistema y como es la trayectoria del mismo para poder verificar si el sistema a instalarse no va a interferir con algún otro proceso.
- Costo: Este factor es de gran importancia ya que nos va indicar que tan factible va a ser el proyecto y los costos de instalación y de producción para poder comparar entre diferentes alternativas y poder elegir la más económica.

## 2.2 Alternativas Propuestas

El diseño del sistema previo al procesamiento del maíz consta de diferentes etapas como lo son: Sistema de Alimentación, Sistema de Transporte y el Sistema de Almacenamiento. Existen diferentes alternativas que son capaces de lograr el objetivo del sistema.

Es debido a las diferentes alternativas propuestas que se realiza un análisis de sus ventajas y desventajas para contrastarlas en una matriz de decisión y así poder hacer una buena elección del mejor diseño para realizar el sistema.

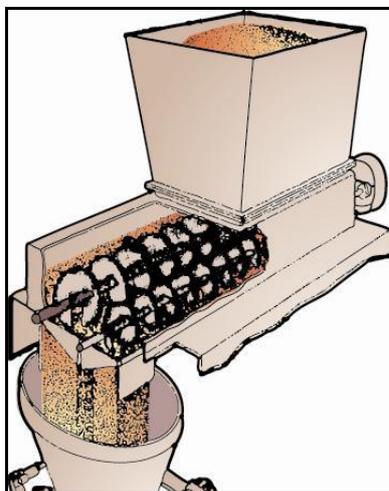
## 2.2.1 Propuesta para el Sistema de Alimentación

A continuación, se muestran las distintas alternativas del Sistema de Alimentación con sus debidas características.

### 2.2.1.1 Tolva con Dosificador de Tornillo Sin Fin

Consiste en una tolva que en su sección de descarga es atravesada por uno o varios tornillos sin fin los cuales se entran acoplados a un motor eléctrico para poderle dar la transmisión como se muestra en la *Figura 2.2*. El paso del tornillo sin fin va depender del volumen de dosificación requerido, la cual va a tener una relación directa con la velocidad de giro del motor o se la puede reducir mediante un reductor del cual va depender la relación de reducción.

Generalmente dosifican materiales semi-secos y secos de manera continua (Universidad Nacional de San Agustín, 2015).



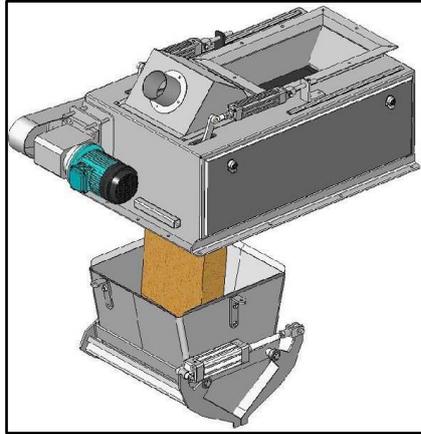
**Figura 2.2 Dosificador de Tornillo Sin Fin**

Fuente: Sitio Web de PAYPER. Sistema de Dosificación y Pesaje.

### 2.2.1.2 Tolva con Dosificador de Banda Transportadora

Está compuesto por una tolva que realiza la dosificación por medio de una banda transportadora la cual no tiene una longitud grande. Su funcionamiento se basa en la velocidad de la banda transportadora para

alimentar el material y en la apertura de una compuerta que es capaz de regular el paso del material (Torres, 2012) como se puede visualizar en la *Figura 2.3*.



**Figura 2.3 Dosificador de Banda Transportadora**

Fuente: Sitio Web de PAYPER. Sistema de Dosificación y Pesaje.

### 2.2.1.3 Tolva con Dosificador de Compuerta Rotativa

Este sistema permite el ingreso del material de una manera dosificada el cual está compuesto por paletas rotatorias dentro de su cuerpo que se visualiza en la *Figura 2.4*. Este mecanismo es menos preciso que un sistema de dosificación de tornillo sin fin (Torres, 2012).

Este sistema es aplicado para materiales secos, polvos y en general de forma de partícula.



**Figura 2.4 Sistema de Dosificación por Paletas Rotatorias**

Fuente: Sitio Web de VMS. Compuertas y Válvulas.

## 2.2.2 Propuesta para Sistema de Transporte

Existen diversos sistemas de transporte para materiales, en esta sección se va a presentar diversas propuestas en las cuales se va a analizar los beneficios y contras de cada una de las opciones para una posterior selección de la mejor propuesta.

### 2.2.2.1 Transportador de Banda

El Sistema de Transporte de banda es el más común y muy aplicado para materiales al granel ya que ofrece una gran versatilidad para diversos campos de aplicación. Este sistema es muy fácil de comprenderlo ya que está compuesto por una estructura la cual le da la forma, rodillos y un motor con su caja reductora que es la que le envía la transmisión deseada al sistema transportador, tal como se muestra un ejemplo en la *Figura 2.5*.



**Figura 2.5 Transportador de Banda**

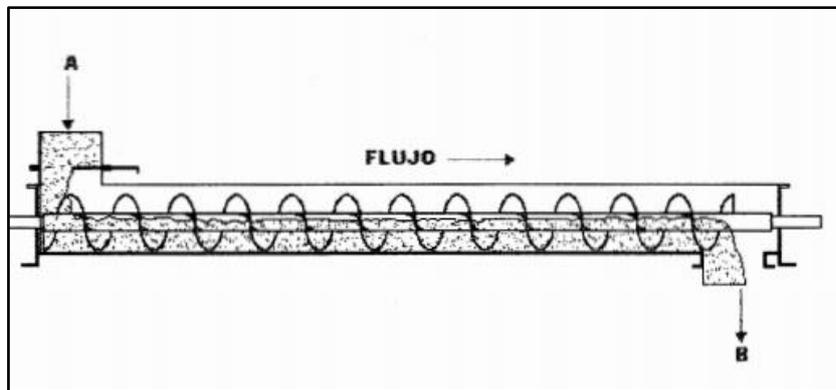
Fuente: Sitio Web de LS Electromecánica. Banda transportadora.

### 2.2.2.2 Transportador Tipo Tornillo Sin fin

El tornillo sin fin tiene diversas aplicaciones en el campo mecánico, puede funcionar como un sistema de dosificación o como un sistema de transporte de materiales.

Éste es uno de los métodos más eficientes y económicos para el movimiento continuo de materiales para cortas distancias y sus aplicaciones son para materiales granulados o polvos finos.

Una ventaja de este tipo de transportadores es que puede ser alimentado y descargado en diversos puntos a lo largo de su recorrido que se puede ver en la *Figura 2.6*, lo cual permite que pueda receptor y despachar el material que se está transportando en diversos puntos donde se requeriría. (Salazar, 2005).



**Figura 2.6 Transporte de Materia a través de un Tornillo Sin fin**

Fuente: Martin Sprocket.

### **2.2.2.3 Sistema de Transporte Neumático**

El sistema de transporte neumático es uno de los más comunes para el transporte de sólidos al granel y su función es muy sencilla ya que consta de un sistema de ventilación el cual tiene la capacidad de darle movimiento al material que está siendo transportado, tiene un sistema de válvulas las cuales son capaces de poder guiar el material a diferentes destinos y es compuesto por un conjunto de tuberías las cuales son las que le dan la trayectoria al material que se transporta.

#### **2.2.2.3.1 Sistema de Ventilación del Sistema Neumático**

Existen diferentes equipos mecánicos que son capaces de dar ventilación a un sistema neumático.

En esta sección se describe los diferentes tipos de ventiladores y qué alternativa es la más adecuada para nuestra selección.

Ventilador Centrífugo – Este tipo de ventilador es capaz de conseguir altas velocidades en el flujo de aire para suspender y transportar partículas para sistemas pequeños, un ejemplo de un ventilador centrífugo se lo puede observar en la *Figura 2.7*.

Estos equipos pueden ser instalados al inicio o al final de un Sistema de Transporte Neumático, tomando en cuenta que tipo de sistema de presión se requiera, si es negativo o si es positivo. Este tipo de ventiladores también son útiles para Sistemas de Transporte con bajas caídas de presión.



**Figura 2.7 Ventilador Centrífugo**

Fuente: Direct Industry. Blower Ventilador Centrífugo.

Sopladores roots de doble lóbulo – Este tipo de ventilador prevalece en las plantas industriales mucho más que el ventilador centrífugo en lo que es transferencia de material. La potencia que brindan estos sopladores para fase diluida puede ser de presión positiva o negativa.

Una característica de este tipo de equipos es que, en velocidades y capacidades elevadas, generan elevados sonidos por lo que se requiere de campanas acústicas para no excederse de la contaminación acústica.

La capacidad de este equipo no puede ser controlada por válvulas ya que son equipos de desplazamiento positivo, un ejemplo de este tipo de equipo puede ser observado en la *Figura 2.8*.



**Figura 2.8 Soplador roots de doble lóbulo**

Fuente: Direct Industry. Roots de doble lóbulo.

### **2.2.3 Propuesta para Sistema de Almacenamiento**

Para el Sistema de Almacenamiento del Maíz son muy pocas las alternativas que existen ya que es un sistema muy estandarizado.

#### **2.2.3.1 Silos de Almacenamiento**

Los silos son la solución más común y eficaz para el almacenamiento de materiales al granel. Existen diversos tipos de silos, se pueden diferenciar en cuanto a su forma y en el material que lo conforma. La capacidad del Silo se la determina dependiendo del requerimiento del cliente.

Su función es muy sencilla de comprender, entra material por la parte superior y en la parte inferior sirve para dosificar y entregar el material que está siendo almacenado, ejemplos de estos tipos de silos se encuentran en la *Figura 2.9*.



**Figura 2.9 Silos de Almacenamiento**

Fuente: Siltec S.R.L. Silos Conos.

### **2.3 Selección de la Mejor Alternativa**

Para la selección de la mejor alternativa para el Sistema de Alimentación y Transporte, se toma en cuenta todas las propuestas.

Se realiza una matriz de decisión para poder seleccionar los factores que se deben tener en consideración al momento de seleccionar la mejor propuesta en cada sistema. Los factores de influencia son calificados entre 1 a 10, lo cual indica 1 como más bajo y 10 como más alto, posteriormente ponderados a un valor de acuerdo con el criterio del diseñador para así poder determinar la mejor alternativa.

En la *Tabla 2.1*, se compara las alternativas y se selecciona la mejor para la elaboración del sistema.

**Tabla 2.1 Matriz de Selección del Sistema de Alimentación**

<b>Sistema de Alimentación</b>	<b>Mantenimiento (30%)</b>	<b>Costo (30%)</b>	<b>Versatilidad (10%)</b>	<b>Capacidad (20%)</b>	<b>Forma (10%)</b>	<b>Total (100%)</b>
Tolva con Dosificador de Tornillo Sin Fin	8	9	9	7	7	8,1
Tolva con Dosificador de Bandas Transportadoras	8	9	8	7	7	8
Tolva con Dosificadora de Compuerta Rotativa	10	10	10	6	9	9,1
Tolva con Dosificador Tornillo Sin Fin y Compuerta Rotativa	9	9	9	10	10	9,3

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez analizada la *Tabla 2.1* se determina como mejor opción la que está conformada por un tornillo sin fin y una rotatoria, las cuales van a estar encargadas de dosificar el maíz para obtener un flujo considerable para el sistema de transporte y ser depositado en el silo de almacenamiento.

Para el sistema de transporte se toma en cuenta menos factores ya que es más puntual para su aplicación. El Sistema de transporte neumático es el más factible tomando en cuenta los criterios de la *Tabla 2.2* y se lo va a seleccionar para la elaboración del sistema.

**Tabla 2.2 Matriz de Selección del Sistema de Transporte**

<b>Sistema de Transporte</b>	<b>Mantenimiento (35%)</b>	<b>Costo (35%)</b>	<b>Versatilidad (30%)</b>	<b>Total (100%)</b>
Transportadores de Banda	7	10	5	7,45
Transportadores Tipo Tornillo Sin Fin	7	9	5	7,1
Sistema de Transporte Neumático	10	6	10	8,6

Fuente: Elaboración Propia

Para la selección del Sistema de Almacenamiento debido a que no hay diversas opciones, por lo que se selecciona al silo de almacenamiento ya que también es muy común y es el más adecuado para el proyecto que se está elaborando.

La ponderación en cada una de las tablas de las matrices de selección para cada sistema se las realizo basándose en costos y también teniendo la perspectiva de una persona de mantenimiento para poder analizar si es sencillo o complicado.

## 2.4 Diagrama de Flujo del Proceso

Ya definido la mejor opción para cada uno de los diferentes sistemas se procede a elaborar un diagrama con el flujo del proceso, mismo que se encuentra detallado en la *Figura 2.9*.

## 2.5 Dimensionamiento del Sistema de Recepción

Para el dimensionamiento del Sistema de Recepción donde van a trabajar los diferentes sistemas se deben tomar en cuenta varios puntos:

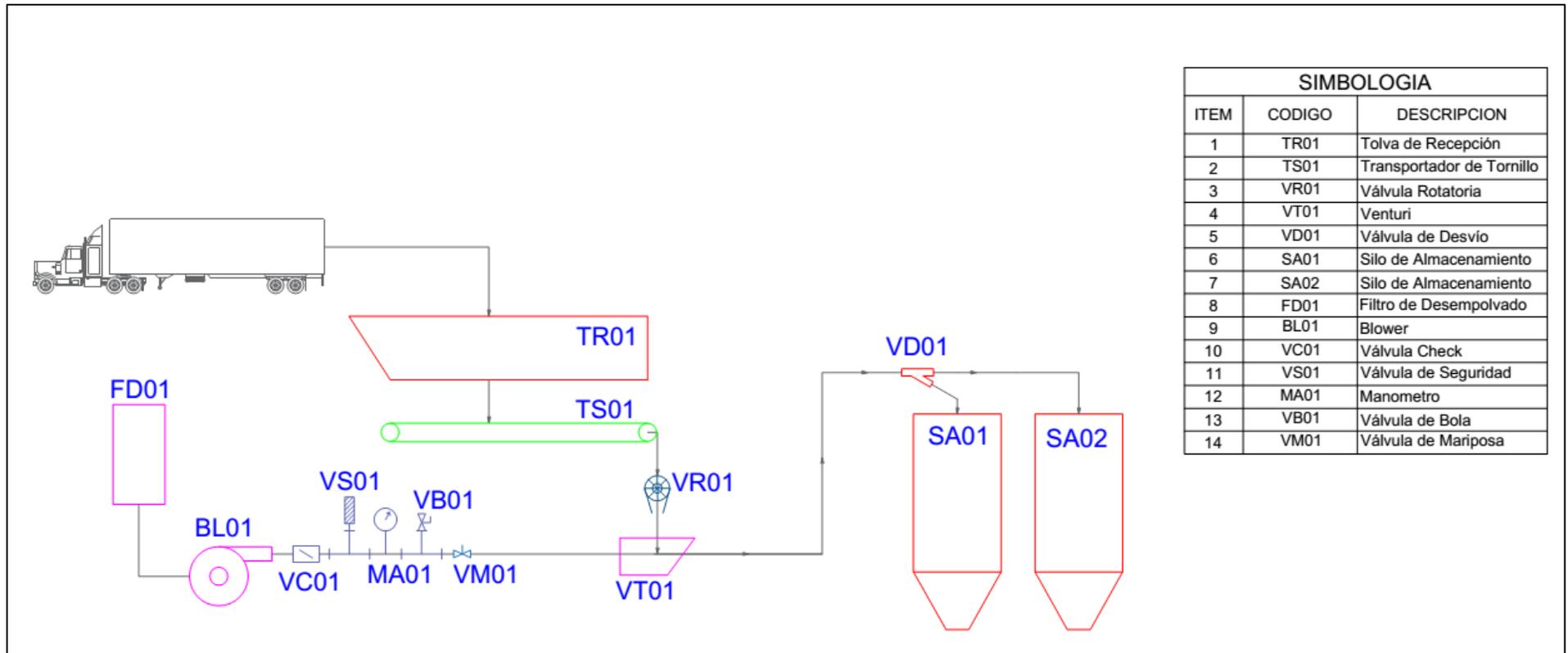
### a) Capacidad Requerida

Para poder determinar la capacidad de la planta se debe tomar en cuenta qué tipo de maíz va a ser ingresado a cada proceso ya que éste tiene propiedades específicas, en la *Tabla 2.3*, se detallan características de diferentes tipos de Maíz.

**Tabla 2.3 Características del Material y Densidad**

Material	Densidad Promedio (lb por pie <sup>3</sup> )	Angulo de reposo (Grados)	Inclinación máxima recomendada	Código
Maíz molido	37-50	30-44		C35
Maíz Azúcar de	31	30-44		B35
Maíz, Desgranado	45	21	10	C25NW
Maíz deshecho de	40-45	30-44		B35W
Maíz, germen de	21			B35W
Maíz, harina de	32-40	35	22	B35W
Maíz, mazorcas de	56			
Maíz, partido	45-50			C35W

Fuente: CEMA Belt Conveyors for Bulk Materials.



SIMBOLOGIA		
ITEM	CODIGO	DESCRIPCION
1	TR01	Tolva de Recepción
2	TS01	Transportador de Tornillo
3	VR01	Válvula Rotatoria
4	VT01	Venturi
5	VD01	Válvula de Desvío
6	SA01	Silo de Almacenamiento
7	SA02	Silo de Almacenamiento
8	FD01	Filtro de Desempolvado
9	BL01	Blower
10	VC01	Válvula Check
11	VS01	Válvula de Seguridad
12	MA01	Manometro
13	VB01	Válvula de Bola
14	VM01	Válvula de Mariposa

**Figura 2.9 Diagrama del Proceso**

Fuente: Elaboración Propia.

La densidad del Maíz con la que se va trabajar durante todos los Sistemas de Alimentación, Transporte y Almacenamiento es la siguiente:

$$\rho = 45 \frac{lb}{ft^3} \times \frac{1 kg}{2,2 lb} \times \left( \frac{3,287 ft}{1 m} \right)^3 = 722 \frac{kg}{m^3}$$

Considerado que se está transportado el material con una volqueta de un volumen de 14 m<sup>3</sup> y tiene una capacidad de carga de 15,8 Toneladas, el volumen de despacho por cada volqueta sería:

$$V_{despacho} = \frac{15,8^t / volqueta}{0,722 ton / m^3} = 21,88 m^3$$

Por lo que se excede dicho volumen, se procede a trabajar con el volumen de la volqueta para los cálculos mediante la siguiente ecuación de densidad:

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{1}$$

Por lo que despejando la masa obtenemos:

$$m = (0,722 t/m^3) (14 m^3 / volqueta) = 10,1 t / volqueta$$

Ahora vamos a realizar la capacidad del sistema como si fuera 2 volquetas por hora mediante la ecuación:

$$Capacidad_{sistema} = \left( \# Volquetas / h \right) (V_{despacho}) (\rho) \tag{2}$$

$$Capacidad_{sistema} = (2)(14)(0,722)$$

$$Capacidad_{sistema} = 20,216 t/h$$

Ya determinada la capacidad de la planta se procede a calcular la capacidad de diseño que se lo multiplica por un factor de seguridad en base a criterios.

$$Capacidad_{Diseño} = (20,216)(1,15) = 23,2484 \approx 23,3 \text{ t/h}$$

## b) Área de la Instalación

Para poder calcular el área donde van a ser instalados cada uno de los sistemas se requiere obtener las dimensiones exactas de cada componente que forman los diferentes sistemas para que con esa información poder calcular el área o espacio que se requiere.

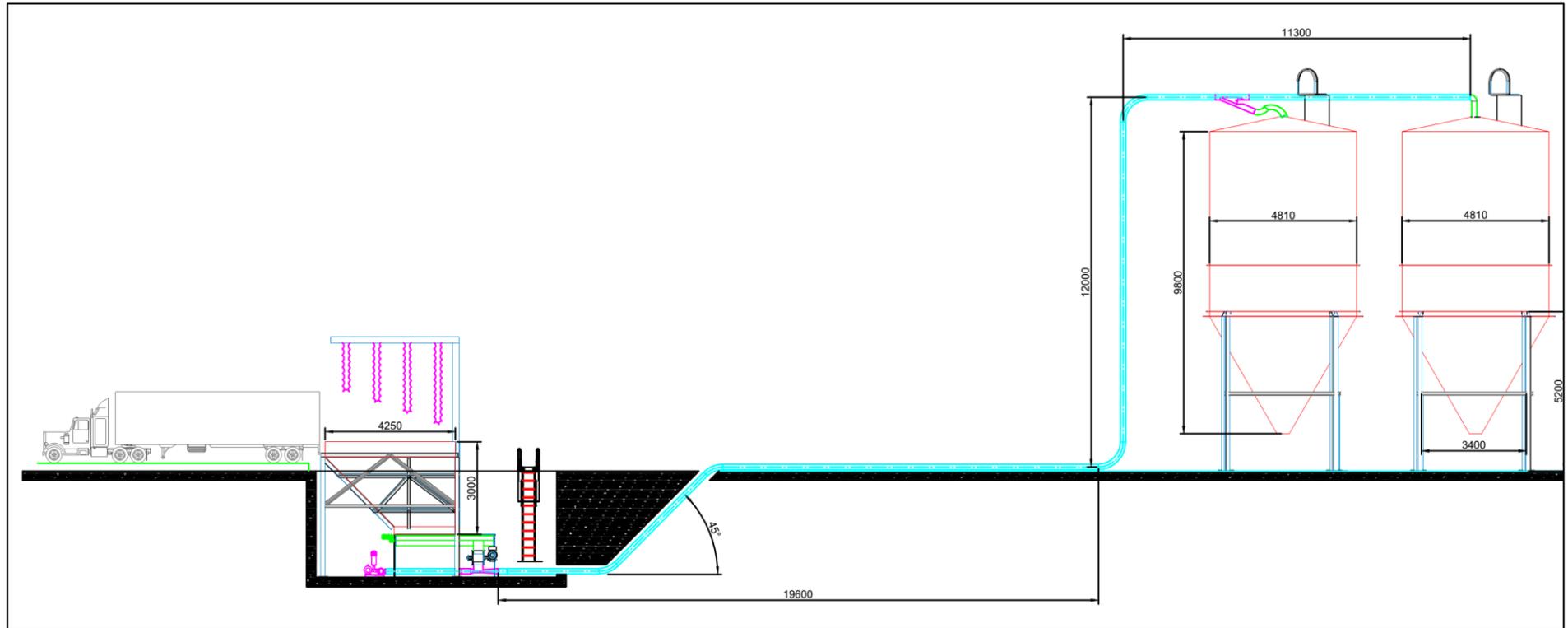
El Sistema de Alimentación es un sistema que prácticamente es bajo el suelo por lo que no ocupa realmente mucho espacio en la planta, pero se debe considerar espacio para un mantenimiento o el montaje del sistema.

Para el Sistema de Transporte que comienza bajo el suelo, pero acaba en la parte superior de los silos, tiende a ser un sistema muy versátil ya que puede acoplarse a espacios muy reducidos durante su trayectoria.

El Sistema de Almacenamiento es el que ocupa mayor área entre los 3 sistemas por lo que va estar en la superficie y debido a que va a ser de una gran capacidad debe ser de un gran tamaño, tomando en cuenta que se lo puede reducir en área haciéndolo más alto, pero a la vez sería menos estable.

## 2.6 Diseño de Forma

Para el diseño de forma se deben considerar ya datos del sistema como son las dimensiones, los cuales se esquematizan en la *Figura 2.10*. Se puede observar ya el orden el en que ocurre el proceso para el almacenamiento del maíz.



**Figura 2.10 Diseño de Forma del Sistema**

Fuente Elaboración Propia.

### 2.6.1 Descripción del Sistema de Alimentación

El Sistema de Alimentación va estar conformado por una tolva con una capacidad aproximada de 18 m<sup>3</sup>, similar a la que se muestra a la *Figura 2.11*, la cual va a alimentar un Tornillo Sin Fin de longitud aproximada de 11 pies de longitud, que posteriormente deposita el material en una rotatoria que se encargará de dosificar el maíz a la tubería para el Sistema de Transporte.

Este sistema en su mayoría estará constituido por acero galvanizado e inoxidable debido a la abrasión y ya que se está tratando de un producto de grado alimenticio.

Las condiciones generales para el diseño de las tolvas son las siguientes, (Coello, 2013):

- Propiedades de Resistencia y Fluidéz de Material.
- Geometría de la Tolva para definir capacidad deseada, el patrón de flujo permita características que aseguren la descarga siendo confiable y predecible.
- Determinar las cargas que actúan debido al material almacenado.
- Diseño y detalle de la estructura de la Tolva.



**Figura 2.11 Tolva de Alimentación**

Fuente: Budde Fördertechnik. Silos/Tolvas.

## 2.6.2 Descripción del Sistema de Transporte

El transporte será por un Sistema Neumático, el cual consta de un blower que funciona como soplador para que pueda dar movilidad al maíz, filtros para reducir el nivel de polvo, tubería que es el medio de transporte del maíz, válvulas para poder controlar el flujo del material que será transportado similar al sistema mostrado en la *Figura 2.12*.

El Sistema de Transporte es alimentado por medio de la rotatoria del Sistema de Alimentación, siendo así depositada a la tubería para el traslado hacia los Silos de Almacenamiento.



**Figura 2.12 Sistema de Transporte Neumático**

Fuente: Kongskilde TRL, Sistema de Transporte Neumático.

Las condiciones para aplicar este Sistema de Transporte dependen del material a transportar, la ubicación y la velocidad con la que se va a realizar la operación.

En lo que respecta al material se debe conocer las propiedades y su comportamiento entre partículas cuando se encuentre en movimiento. La ubicación es indispensable para poder determinar el recorrido del material y el montaje del sistema neumático. La velocidad se debe determinar de tal manera que no afecte al material ni sus propiedades.

El sistema de transporte estaría ubicado a 3 m bajo el nivel del suelo, dentro de una fosa. Se lo hace de esta manera para que no afecte en el diseño y se pueda ahorrar espacio.

El sistema es alimentado por una rotatoria dosificadora la cual deposita material en la tubería y esta es rápidamente empujada por el blower hacia su destino final que sería el silo de almacenamiento.

Todo el trayecto de la tubería esta seccionado, existe la tubería que se encuentra debajo del nivel del suelo que es de aproximadamente 7 m de recorrido horizontal con una inclinación posterior hacia la superficie del suelo seguida de una trayectoria recta y finalmente una trayectoria vertical hacia los silos de almacenamiento de aproximadamente 11 m de altura.

Los cambios de dirección de la tubería se los realizaran mediante una tubería que es similar a la función que ejerce un codo, con la diferencia de que el radio de dicho codo debería ser lo suficientemente grande para no afectar el sistema de transporte ni el material que está siendo transportado.

### **2.6.3 Descripción de Sistema de Almacenamiento**

El sistema de almacenamiento está basado en la capacidad de todos los sistemas y en cuál es la capacidad aproximada de toda la planta. Existen diferentes tipos de silo, el que se va a seleccionar es llamado silo de torre debido a la forma que tiene su estructura y es de manera cilíndrica.

Su ubicación esta aproximadamente a 20 m del sistema de alimentación donde los camiones y contenedores depositan el maíz.

Los silos tienen aproximadamente 11 m de altura y está compuesto por una estructura que soporta al silo y la parte inferior va a ser diseñada como una tolva para que pueda servir como despacho para un posterior proceso, como se muestra en la *Figura 2.13*.

Los materiales que se utilizarán para la elaboración deben ser de grado alimenticio y de un espesor que sea capaz de soportar la presión que va existir en el interior del silo.



**Figura 2.13 Silo de Almacenamiento**

Fuente: Sodimate Ibérica. Silo de almacenamiento.

Para la elaboración del silo se deben establecer ciertas condiciones generales para cumplir con un buen diseño:

- Determinar la capacidad del silo para así poder determinar la velocidad de llenado.
- Determinar las cargas a las que va a estar sometido el soporte.
- Determinar la presión en el interior del silo.

## **2.7 Diseño Detallado**

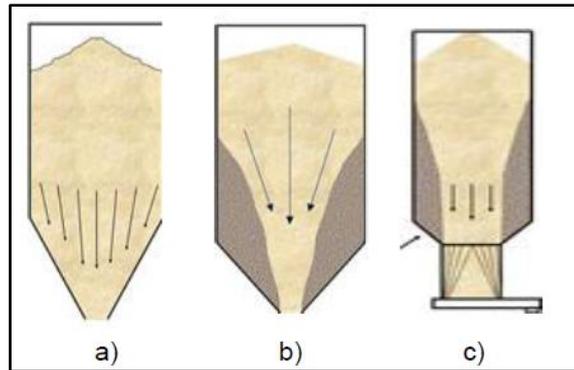
En esta sección se procede a realizar los cálculos con las respectivas fórmulas para poder obtener el dimensionamiento real de lo que es cada componente mecánico y cada accesorio que lo acompaña en los diferentes sistemas.

### **2.7.1 Sistema de Alimentación**

#### **2.7.1.1 Dimensionamiento de Tolva de Alimentación**

El dimensionamiento de la Tolva de Alimentación y el dimensionamiento del Silo de Almacenamiento consisten en el mismo proceso.

Para obtener el diseño ideal del Sistema de Alimentación y Almacenamiento se debe de analizar los diferentes tipos de flujos que se pueden presentar en el instante del vaciado. En la *Figura 2.14* se muestran los diferentes tipos de flujos que se podrían presentar.



**Figura 2.14 Tipos de Descarga en Tolvas**

**a) Flujo másico    b) Flujo embudo    c) Flujo expandido**

Fuente: Eurocódigo 1 parte 4.

Para el proceso de identificación del flujo que se va a desarrollar al momento del vaciado del material se debe considerar diferentes variables (Centre for Industrial Bulk Solids Handling Glasgow Caledonian University , 2008):

- Ángulo de fricción contra la pared  $\phi_w$ .
- Ángulo efectivo de fricción interna  $\delta$ .
- Geometría de la tolva.
- Ángulo de la tolva respecto a la vertical.

En la *Tabla 2.4* se observan los distintos parámetros que se va a considerar durante las diferentes fases del proceso de diseño.

**Tabla 2.4 Características del Material**

Material	Geometría de la Tolva y Silo	Angulo de reposo ( $\alpha$ )	Angulo efectivo de fricción interna ( $\delta$ )	Angulo de la tolva respecto a la vertical ( $\beta$ )	Coefficiente de fricción ( $\mu$ ) contra el acero	Angulo de fricción contra la pared $\phi_w$
Maíz, granulado	Piramidal Cónica	20 - 37	28 - 35	30	0,26 – 0,42	17

Fuente: Standard Practice for Design and Construction Concrete Silos and Stacking Tube for String Granular (ACI 313R-97)

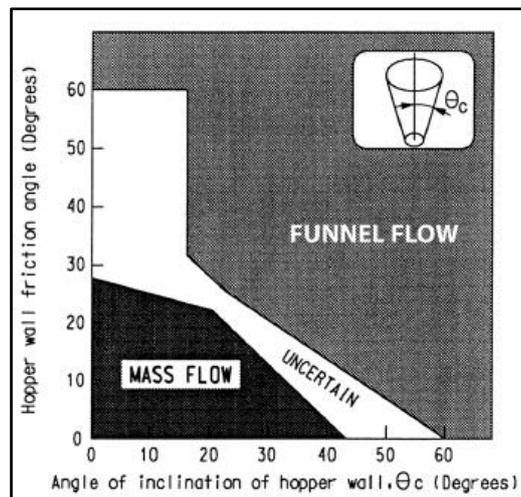
El ángulo de la tolva con respecto a la vertical se lo determina mediante la siguiente ecuación:

$$\beta = \alpha + (15 \text{ o } 30^\circ) \quad (3)$$

El ángulo de fricción se lo calcula mediante la siguiente ecuación:

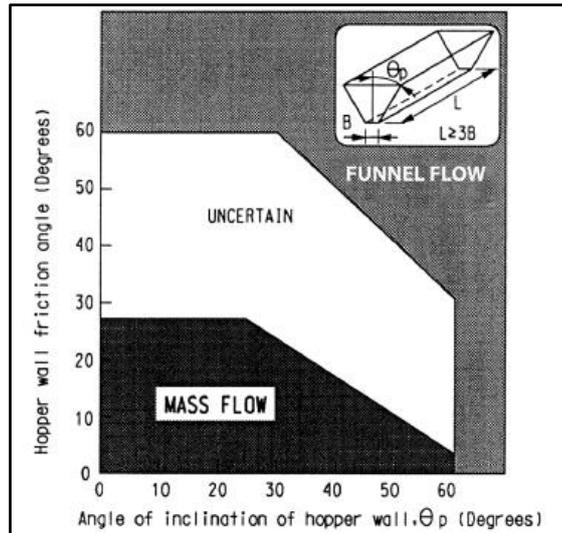
$$\phi_w = \tan \mu \quad (4)$$

Una vez ya determinadas las variables mencionadas, se procederá a determinar el tipo de flujo de acuerdo con la *Figura 2.15* y *Figura 2.16*, que va a ser utilizado en el Sistema de Alimentación y en el Sistema de Almacenamiento.



**Figura 2.15 Selección Tipo de Flujo Tolva Cónica**

Fuente: Standard Practice for Design and Construction Concrete Silos and Stacking Tube for String Granular.



**Figura 2.16 Selección Tipo de Flujo Tolva Rectangular**

Fuente: Standard Practice for Design and Construction Concrete Silos and Stacking Tube for String Granular (ACI 313R-97).

En la *Tabla 2.5* se detallan los diferentes tipos de flujo que se van emplear para el Sistema de Alimentación y de Almacenamiento.

**Tabla 2.5 Tipo de Flujo de cada Elemento**

ELEMENTO	TIPO DE FLUJO
Tolva de Maíz	Másico
Silo de Maíz	Másico

Fuente: Elaboración Propia

El diseño de Tolva y Silo se lo realiza mediante una Normativa Europea para silos y tanques (European Comitee for Standarization, 2005). En esta normativa se detalla el proceso de diseño estructural de contenedores de partículas sólidas y tanques para el almacenamiento de líquidos (tolvas y silos).

El Euro Código tiene ciertas limitaciones que deben ser consideradas para el diseño de las tolvas y silos (European Comitee for Standarization, 2005).

Limitaciones geométricas:

- Los límites de la forma transversal de los silos se detallan en *Figura 2.18*.
- Se deben aplicar las siguientes limitaciones dimensionales:

$$h_b/d_c < 10$$

$$h_b < 100 \text{ m}$$

$$d_c < 60 \text{ m}$$

- La transición se encuentra en un solo plano horizontal, tal como se detalla en la *Figura 2.17*.

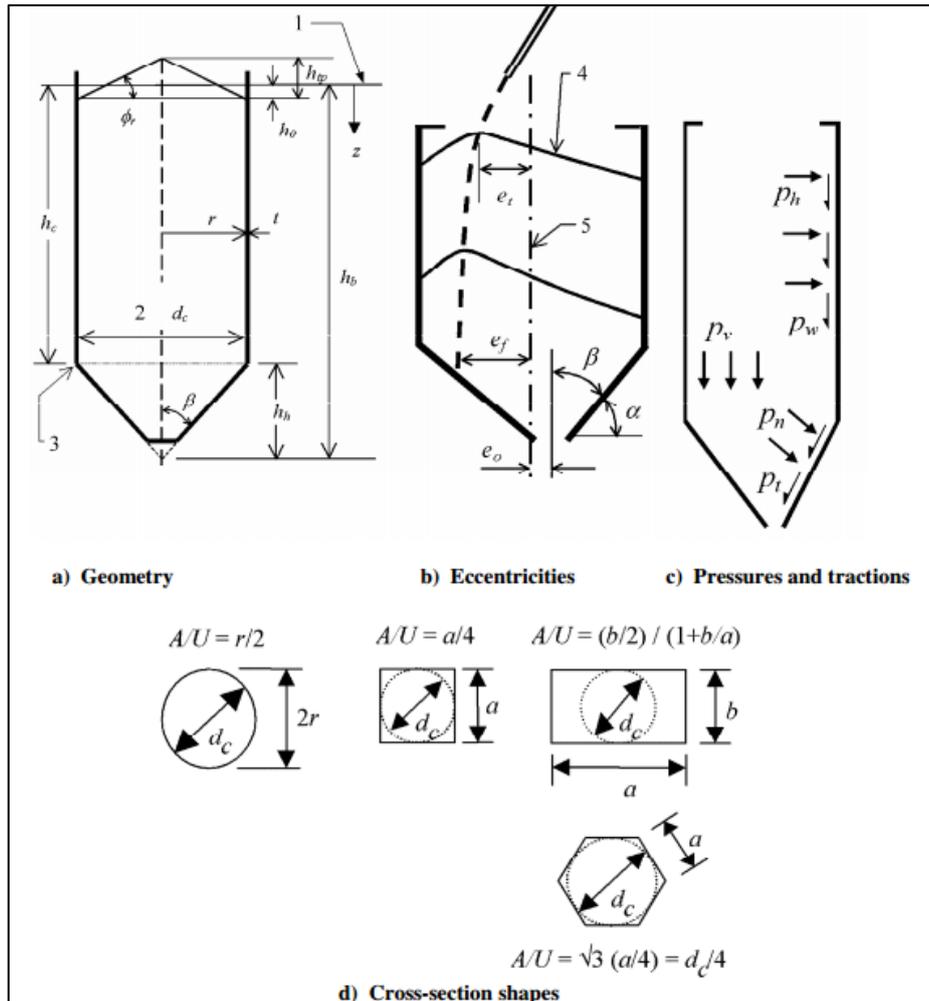
Limitaciones en sólido almacenado:

- Los Silos son diseñados para un rango de propiedades definidas de partículas sólidas.
- El sólido almacenado debe ser de flujo libre.
- El diámetro máximo que puede tener la partícula del sólido almacenado no debe ser mayor  $0.3d_c$ .

Limitaciones en el llenado y vaciado:

- El llenado envuelve efectos de inercia y cargas de impacto despreciables.
- Cuando se utilizan dispositivos de descarga (alimentadoras o tubo de flujo interno) el flujo de los sólidos es liso y central.

Solo las Tolvas que son cónicas, piramidal-cuadradas o en forma de cuña están cubiertas por esta norma. Las Tolvas con formas y con requerimientos internos tienen otras consideraciones especiales (European Comitee for Standarization, 2005).



**Figura 2.17 Forma de Silos, Dimensiones y Presiones**

Fuente: Euro código 1- Acciones en Estructuras- Parte 4: Silos y Tanques.

Para mejorar el diseño de la tolva y el silo se debe seguir las descripciones mostradas en la *Tabla 2.6*, así mismo se reducirá la probabilidad de fallos en las estructuras.

**Tabla 2.6 Clasificación Recomendada de Silos por Evaluación de Cargas**

Action Assessment Class	Description
<b>Action Assessment Class 3</b>	Silos with capacity in excess of 10 000 tonnes. Silos with capacity of 1000 tonnes in witch any of the following design situation occur: a) eccentric discharge with $e_o/d_c > 0,25$ b) squat silos with top surface eccentricity with $e_t/d_c > 0,25$
<b>Action Assessment Class 2</b>	All silos covered by this standard and not placed in another class
<b>Action Assessment Class 1</b>	Silos with capacity below 100 tonnes.

Fuente: Euro código 1- Acciones en Estructuras- Parte 4: Silos y Tanques.

El llenado y descarga del sólido debe abordar los casos de cargas principales que conducen a diferentes estados límite de las estructuras (European Comitee for Standarization, 2005):

- Máxima presión Normal en la pared vertical del silo.
- Máxima resistencia por fricción vertical en la pared vertical del silo.
- Máxima presión Vertical en el fondo del silo.
- Carga máxima en la tolva.

Los diferentes valores de las propiedades de los sólidos deben considerarse de la *Tabla A-2* (APÉNDICE A). Para obtener los valores característicos mostrados en la *Tabla 2.7* se deben utilizar las siguientes ecuaciones basadas en el EuroCodigo:

Valor Superior Característico:

$$K = a_K K_m \quad (5)$$

Valor Inferior Característico:

$$K = K_m / a_K \quad (6)$$

Valor Superior Característico:

$$\mu = a_\mu \mu_m \quad (7)$$

Valor Inferior Característico:

$$\mu = \mu_m / a_\mu \quad (8)$$

Valor Superior Característico:

$$\phi_1 = a_\phi \phi_{1m} \quad (9)$$

Valor Inferior Característico:

$$\phi_1 = \phi_{1m} / a_\phi \quad (10)$$

**Tabla 2.7 Propiedades por Diferentes Cálculos de Esfuerzos**

	Characteristic value to be adopted		
<b>Purpose:</b>	Wall friction coefficient $\mu$	Lateral pressure ratio $K$	Angle of internal friction $\phi_1$
<b>For the vertical wall or barrel</b>			
Maximum normal pressure on vertical wall	Lower	Upper	Lower
Maximum frictional traction on vertical wall	Upper	Upper	Lower
Maximum vertical load on hopper or silo bottom	Lower	Lower	Upper
<b>Purpose:</b>	Wall friction coefficient $\mu$	Hopper pressure ratio $F$	Angle of internal friction $\phi_1$
<b>For the hopper wall</b>			
Maximum hopper pressures on filling	Lower value for hopper	Lower	Lower
Maximum hopper pressures on discharge	Lower value for hopper	Upper	Upper
<p>NOTE 1: It should be noted that <math>\phi_{wh} \leq \phi_i</math> always, since the material will rupture internally if slip at the wall contact demands a greater shear stress than the internal friction can sustain. This means that, in all evaluations, the wall friction coefficient should not be taken as greater than <math>\tan\phi_i</math> (i.e. <math>\mu = \tan\phi_w \leq \tan\phi_i</math> always).</p> <p>NOTE 2: Hopper normal pressure <math>p_n</math> is usually maximized if the hopper wall friction is low because less of the total hopper load is then carried by wall friction. Care should be taken when choosing which property extreme to use for the hopper wall friction to ensure that the structural consequences are fully explored (i.e. whether friction or normal pressures should be maximized depends on the kind of structural failure mode that is being considered).</p>			

Fuente: Euro código 1- Acciones en Estructuras- Parte 4: Silos y Tanques

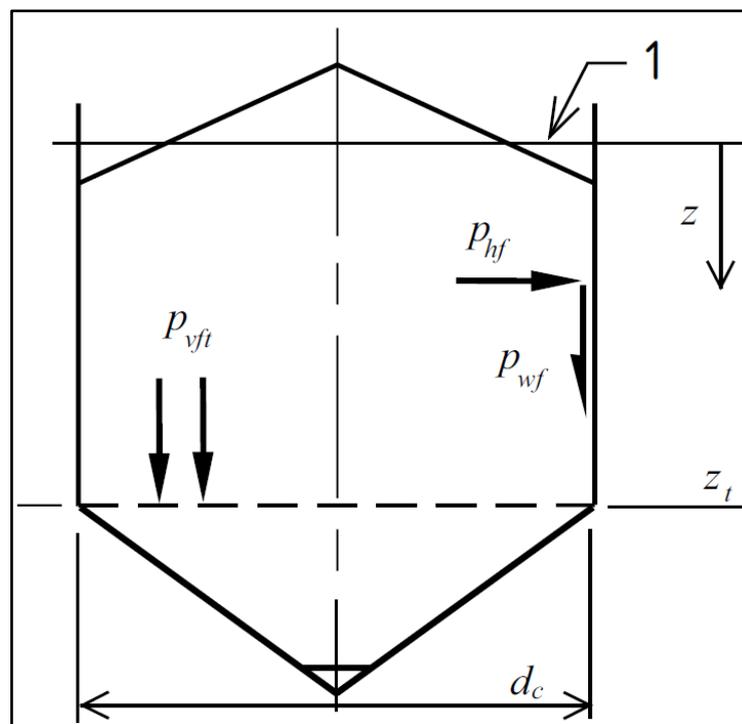
La Tolva y Silo para el sistema pertenecen a la Clase 1, los valores de las propiedades de los sólidos podrían designarse mediante un solo valor. Estos valores se encuentran en la *Tabla A-2* (APENDICE A).

### Cargas en las Paredes Verticales

Las cargas en las paredes verticales se las determina como presiones, tomando en cuenta la estructura, las propiedades del producto almacenado y la geometría de salida que se presenta en el proceso de vaciado (European Comitee for Standarization, 2005).

Los esfuerzos en las paredes verticales del Silo se los evalúan de acuerdo con la esbeltez del Silo (*Figura 2.18*) y se determinan de acuerdo con las siguientes clases (European Comitee for Standarization, 2005):

- Silos Esbeltos, donde  $2 \leq h_c/d_c$
- Silos de Esbeltez Intermedia, donde  $1 < h_c/d_c < 2$
- Silos Rectangulares, donde  $0.4 < h_c/d_c$
- Silos de Homogenización, donde  $h_c/d_c \leq 0.4$



**Figura 2.18 Presiones de Llenado en Segmento de Paredes Verticales**

Fuente: Euro código 1- Acciones en Estructuras- Parte 4: Silos y Tanques.

### Presiones de llenado

Para el análisis de los valores de las presiones de llenado (Horizontal o normal, fricción por parte del material y vertical en el silo) se las puede determinar mediante las ecuaciones presentadas a continuación (European Comitee for Standarization, 2005):

$$P_{hf} = P_{ho} * Y_j(z) \quad (11)$$

$$P_{wf} = \mu * P_{ho} * Y_j(z) \quad (12)$$

$$P_{vf} = \frac{P_{ho}}{K} * Y_j(z) \quad (13)$$

Donde:

$$P_{ho} = \gamma * K * z_o \quad (14)$$

$$z_o = \frac{1}{K * \mu} * \frac{A}{U} \quad (15)$$

$$Y_j(z) = 1 - e^{\frac{-z}{z_o}} \quad (16)$$

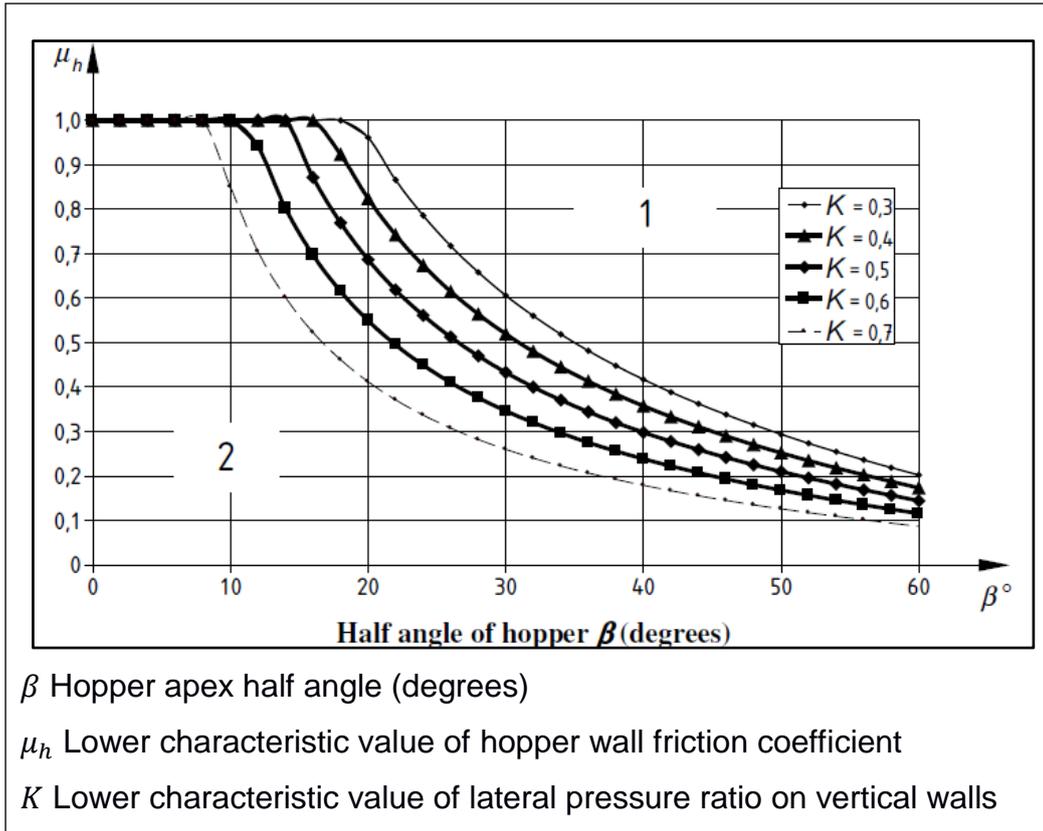
El valor de la fuerza vertical resultante por comprensión en la pared  $n_{ySK}$  por unidad de longitud de perímetro, después de empezar el llenado a diferente valor de profundidad, está dada mediante la ecuación (European Comitee for Standarization, 2005):

$$n_{ySK} = \int_0^z P_{wf}(z) d_z = \mu * P_{ho} [z - z_o * Y_j(z)] \quad (17)$$

### Cargas en Tolvas

Los valores característicos de las cargas en el llenado y descarga son prescritos siguiendo los tipos de tolvas que suelen ser usados, como se indica a continuación (European Comitee for Standarization, 2005):

- Fondos Planos, debe tener una inclinación con la horizontal menor a 5°
- Tolvas Empinadas (2), satisface el criterio que se muestra en la *Figura 2.19*.
- Tolvas Profundas (1).



**Figura 2.19 Limite entre Tolva Empinadas y Tolvas Profundas**

Fuente: Euro código 1- Acciones en Estructuras- Parte 4: Silos y Tanques

Los valores de las presiones de llenado para la presión horizontal, presión por fricción en la pared y presión vertical de las tolvas como se muestran en la *Figura 2.20*, se pueden determinar como (European Comitee for Standarization, 2005):

$$P_v = \left( \frac{\gamma * h_h}{n - 1} \right) * \left[ \frac{x}{h_h} - \left( \frac{x}{h_h} \right)^n \right] + P_{vft} * \left( \frac{x}{h_h} \right)^n \quad (18)$$

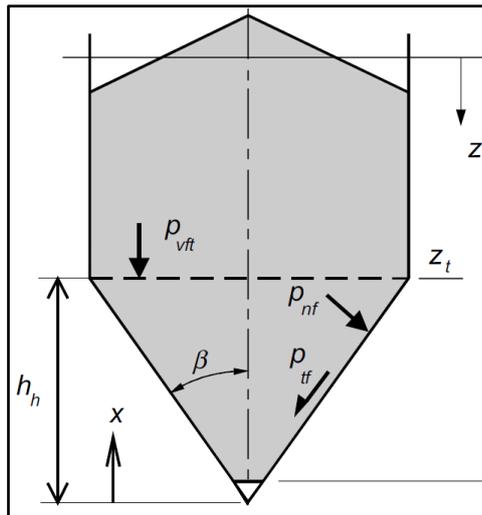
Donde:

$$P_{vft} = C_b * P_{vf} \quad (19)$$

$$n = S * (F * \mu_{heff} * \cot \beta * + F) - 2 \quad (20)$$

$$F = 1 - \frac{b}{\left( 1 + \frac{\tan \beta}{\mu} \right)} \quad (21)$$

- $C_b=1.6$
- $b=0.2$
- $S=2$  Para tolva cónica y piramidal cuadrada
- $S=1$  Para tolva en forma de cuña
- $S=(1+b/a)$  para tolvas rectangulares



**Figura 2.20 Distribución de Presiones de Llenado en la Tolva**

Fuente: Euro código 1- Acciones en Estructuras- Parte 4: Silos y Tanques.

El coeficiente de fricción en la pared para la condición de llenado se lo puede calcular de la siguiente manera:

- Tolvas empinadas

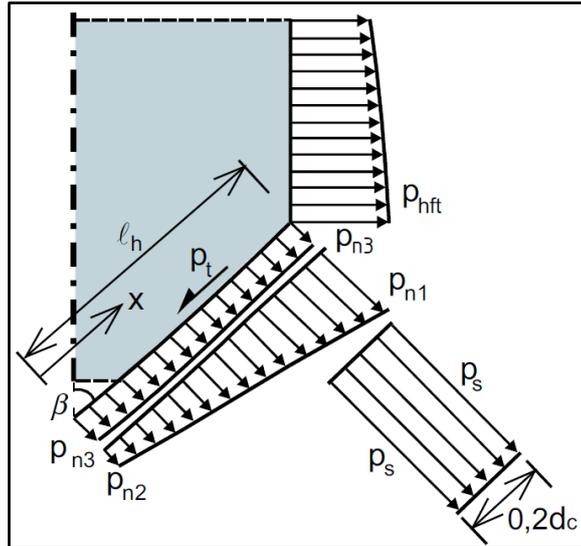
$$\mu_{heff} = \mu_m \quad (22)$$

- Tolvas profundas

$$\sigma_{crit.} = \frac{\sigma_1}{ff} = K_{FF}\sigma_1 + L_{FF} \quad (23)$$

El valor de la presión de fricción que es mostrado en la *Figura 2.21* se lo determina mediante la siguiente ecuación:

$$P_t = \mu_h P_n \quad (24)$$



**Figura 2.21 Distribución de Esfuerzos en Tolvas**

Fuente: Euro código 1- Acciones en Estructuras- Parte 4: Silos y Tanques.

### Presiones de Vaciado

Al momento del vaciado ocurren cambios transitorios las cargas que actúan en las paredes de la tolva. Estos cambios de presiones en diferentes direcciones se los pueden calcular mediante las siguientes ecuaciones:

$$P_{he} = C_h P_{hf} \quad (25)$$

$$P_{we} = C_w P_{wf} \quad (26)$$

El valor de la resultante de la fuerza vertical en la pared  $\pi_{zSK}$  por unidad de longitud de perímetro durante la descarga a cualquier profundidad  $z$  debe ser determinada a la ecuación 27 (European Comitee for Standarization, 2005):

$$\pi_{zSK} = \int_0^z P_{we}(z) dz = C_w * \mu * P_{ho} [z - z_o * Y_j(z)] \quad (27)$$

### Descarga de la Tolva

La presión vertical media a cualquier altura de la tolva bajo condiciones de descarga está dada mediante la ecuación:

$$P_v = \left(\frac{\gamma * h_h}{n - 1}\right) * \left[\frac{x}{h_h} - \left(\frac{x}{h_h}\right)^n\right] + P_{vft} * \left(\frac{x}{h_h}\right)^n \quad (28)$$

Donde:

$$F = F_E = \frac{1 + \sin \phi_m \cos \varepsilon}{1 - \sin \phi_m \cos(2\beta + \varepsilon)} \quad (29)$$

$$\varepsilon = \phi_{wh} + \sin^{-1} \left( \frac{\sin \phi_{wh}}{\sin \phi_m} \right) \quad (30)$$

La presión normal y de fricción a cualquier altura de la tolva bajo condiciones de descarga está dada por las siguientes ecuaciones:

$$P_{ne} = F_e P_v \quad (31)$$

$$P_{te} = \mu_h F_e P_v \quad (32)$$

### Espesor de Pared en el Silo

El espesor de pared del Silo se lo determina mediante la ecuación (Ravenet, 1977):

$$e = \frac{P_{hf} * D}{2 * \sigma_{adm.}} \quad (33)$$

### Espesores en la Tolva

El espesor de pared de la Tolva se lo determina mediante la ecuación (Ravenet, 1977):

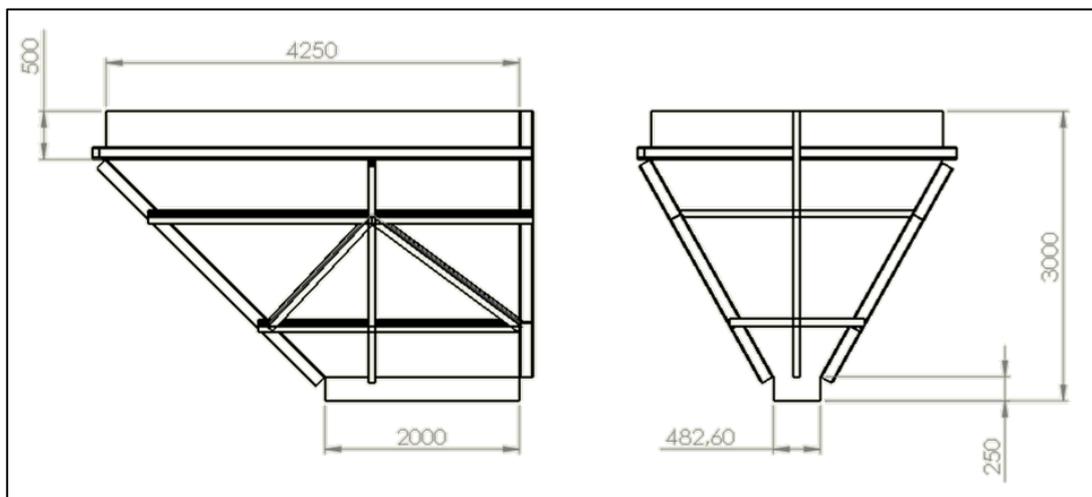
$$e = \frac{P_n * D}{2 * \sin(90 - \beta) \sigma_{adm.}} \quad (34)$$

Las dimensiones de la Tolva de Maíz se detallan en la *Figura 2.22*, con sus respectivas acotaciones y para su posterior análisis estructural.

#### Dimensionamiento de tolva

Este cálculo se basa en la capacidad en volumen de la volqueta que se encuentra en el apéndice K, que es de 14 m<sup>3</sup>.

Para considerar el ángulo de reposo del material y el porcentaje de material que este no ocupará, agregamos un 40% más a la tolva con lo que tenemos una tolva de 20 m<sup>3</sup>.



**Figura 2.22 Tolva de Alimentación de Maíz**

Fuente: Elaboración Propia

#### **2.7.1.2 Dimensionamiento de Dosificadora Rotatoria**

La selección del dosificador de Válvula Rotatoria se la realiza bajo el procedimiento de la guía del fabricante (WAM, 1995). Para obtener la capacidad máxima a la que debe dosificarse el maíz, se procede según la siguiente ecuación:

$$Capacidad_{Maíz} = Q * \% Maíz \quad (35)$$

La capacidad determinada para suministrar maíz es de 25 t/h, la Válvula Rotatoria que se procede a seleccionar corresponde al modelo RV 12".

El procedimiento de la selección y detalles de la Válvula Rotatoria se encuentran en el APÉNDICE C.

### 2.7.1.3 Dimensionamiento de Dosificador Tornillo Sin fin

Se dimensiona el Tornillo sin fin de acuerdo con parámetros descrito en el manual de Martin (Martin, 2013). La función principal de este equipo va a ser de ingresar la cantidad necesaria de maíz desgranado a la dosificadora rotatoria.

Para óptimo diseño del transportador se debe establecer los parámetros conocidos, tal como se indica a continuación (Martin, 2013):

- El material para transportar por el tornillo. En la *Tabla 2.4* se indican el material que va a ser utilizado.
- La capacidad del transportador. El Tornillo debe tener la capacidad de transportar como se indica en la *Tabla 2.8*.

**Tabla 2.8 Capacidad a Transportar del Tornillo Sin Fin**

Capacidad Requerida	
Flujo Másico [t/h]	23
Flujo Másico [lb/h]	50706
Flujo Volumétrico [ft <sup>3</sup> /h]	1125

Fuente: Elaboración Propia.

Ya identificado el material que se va a transportar, se lo debe clasificar, tal como se lo detalla en la *Tabla 2.9*.

**Tabla 2.9 Características de los Materiales**

Material	Código del Material	Selección de Rodamiento Intermedio	Serie de Componentes	Factor de Material $F_m$	Carga Artesa
Maíz, grano	E-35	L-S	2	-	30A

Fuente: Manejo de Materiales, Alimentadores Helicoidales.

Se debe determinar el tamaño del tornillo helicoidal y su velocidad de giro, para lo cual se debe conocer su capacidad equivalente que está dada por la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 & (\text{Capacidad equivalente}) \\
 & = (\text{Capacidad Requerida}) (CF_1)(CF_2)(CF_3) \quad \mathbf{(36)}
 \end{aligned}$$

Los factores  $CF_1$ ,  $CF_2$  y  $CF_3$  están definidos en el APÉNDICE E.

$$(\text{Capacidad equivalente}) = 1124.98 \text{ ft}^3/\text{h} (1)(1)(1)$$

$$(\text{Capacidad equivalente}) = 1124.98 \text{ ft}^3/\text{h}$$

Una vez definida la capacidad equivalente se procede a definir la carga de la artesa y se compara con las capacidades, se toma la más cercana y mayor a la capacidad equivalente. Lo que nos determinará el tamaño y las revoluciones del tornillo helicoidal, para los valores determinados en el APÉNDICE F indica que, para los parámetros requeridos se debe seleccionar un helicoidal de diámetro de 12 pulgadas, tal como se detalla en la *Tabla 2.10*.

**Tabla 2.10 Capacidad para Transportadores Helicoidales**

Carga Artesa	Diámetro de Helicoidal (in)	Capacidad pies cúbicos por hora		Max. rpm
		A 1 rpm	A máx. rpm	
30A	12	12.90	1160	90

Fuente: Manejo de Materiales, Alimentador Helicoidal.

La velocidad del transportador se lo determina mediante la ecuación:

$$N = \frac{\text{Capacidad Equivalente}}{\text{Capacidad pies cúbico por hora @ 1 rpm}} \quad \mathbf{(37)}$$

$$N = \frac{1124.98 \text{ ft}^3/\text{h}}{12.90 \text{ ft}^3/\text{h} * \text{rpm}}$$

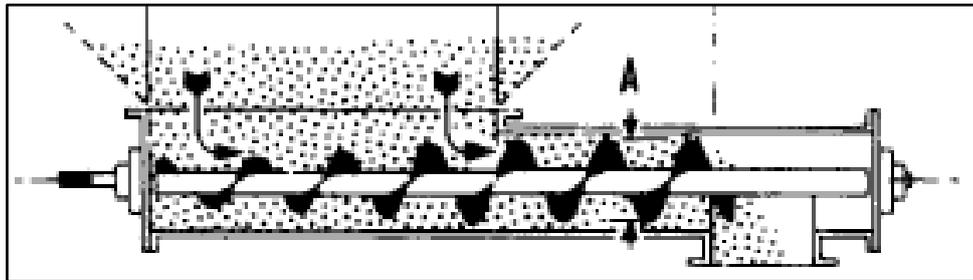
$$N = 87.20 \text{ rpm} = 87 \text{ rpm}$$

Para la selección de la longitud que debe tener tornillo sin fin se debe conocer el diámetro del helicoidal, el cual está detallado en la *Tabla G-1* (APÉNDICE G). Toda la selección se la realiza en la sección del APÉNDICE G.

$$L_{Mezclador} = 11 \text{ pies} - 9 \text{ pulgadas} = 132 \text{ pulgadas} - 9 \text{ pulgadas}$$

$$L_{Mezclador} = 123 \text{ pulgadas} = 10.25 \text{ ft} = 3124.2 \text{ mm}$$

El dosificador helicoidal que se selecciona es de Tipo 1 y como característica tiene un paso regular como se muestra en la *Figura 2.24*.



**Figura 2.23 Dosificador Tipo 1**

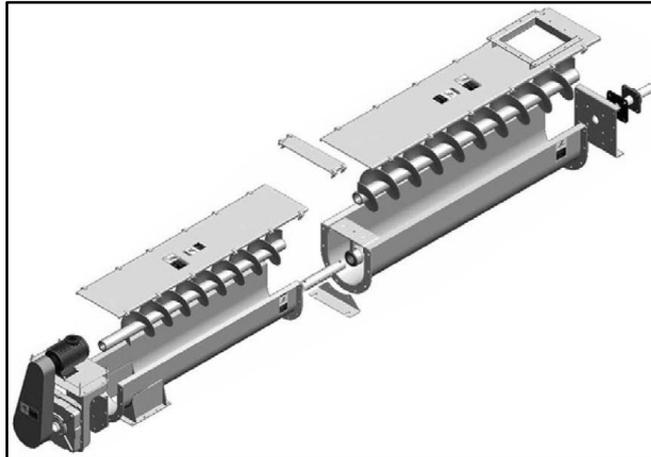
Fuente: Manual de Selección de Martin.

#### **2.7.1.4 Selección de Elementos Estándares**

El transportador de tornillo sin fin como se muestra en la *Figura 2.25*, contiene diferentes componentes que se encuentran divididos en tres grupos de componentes.

Cada grupo se relaciona mediante un código de clasificación del material con el tamaño del eje, el tipo de rodamientos y el espesor de la artesa (Martin, 2013).

Los diferentes componentes del transportador deben ser seleccionados de acuerdo con el grupo de componentes 2, como se detalla en la *Tabla 2.11*.



**Figura 2.24 Componentes de Mezclador Helicoidal**

Fuente: Manejo de Materiales, Alimentador Helicoidal.

Esta tabla detalla características del grupo de componentes del diámetro del helicoidal seleccionado, las que corresponden a especificaciones estándares que permitirán seleccionar los componentes adecuados para el trasportador (Martin, 2013).

**Tabla 2.11 Especificaciones para Transportadores Helicoidales**

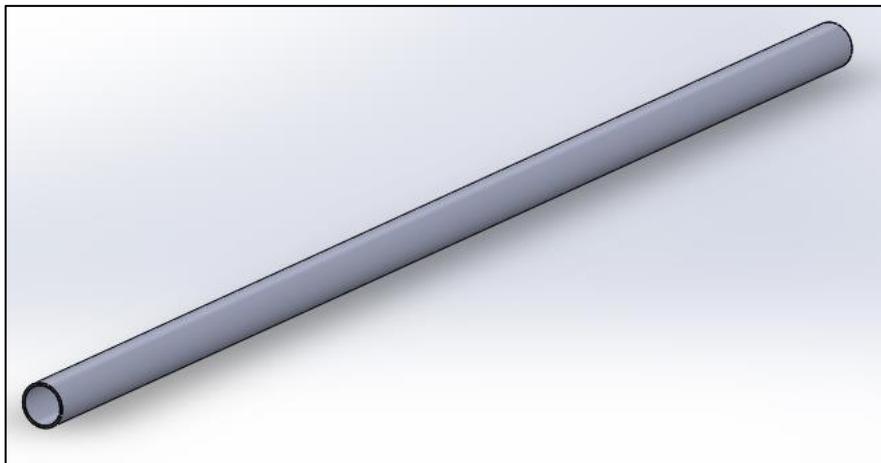
Grupos de Componentes 2					
Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Diámetro del Eje (Pulgadas)	Numero de Helicoidal		Espesor, Calibre Americano Estándar (Pulgadas)	
		Helicoidales Continuos	Helicoidales Seccionales	Artesa	Cubierta
6	1 1/2	6H308	6S309	Calibre 14	Calibre 16
9	1 1/2	9H312	9S309	Calibre 10	Calibre 14
9	2	9H412	9S412	Calibre 10	Calibre 14
12	2	12H412	12S412	3/16 "	Calibre 14
12	2 7/16	12H512	12S512	3/16 "	Calibre 14
12	3	12H614	12S616	3/16 "	Calibre 14
14	2 7/16	-	14S512	3/16 "	Calibre 14
14	3	14H614	14S616	3/16 "	Calibre 14
16	3	16H614	16S616	3/16 "	Calibre 14
18	3	-	18S616	3/16 "	Calibre 12
20	3	-	20S616	3/16 "	Calibre 12
24	3 7/16	-	24S716	3/16 "	Calibre 12
30	3 7/16	-	30S716	3/16 "	Calibre 12

Fuente: Manejo de Materiales, Alimentador Helicoidal. (Martin, 2013).

### Tubo de Tornillo Helicoidal

Este elemento es sobre el que se va a colocar el helicoides por lo que debe ser lo suficientemente rígido para evitar un fallo del sistema por una deflexión tal como se detalla en la *Figura 2.25*.

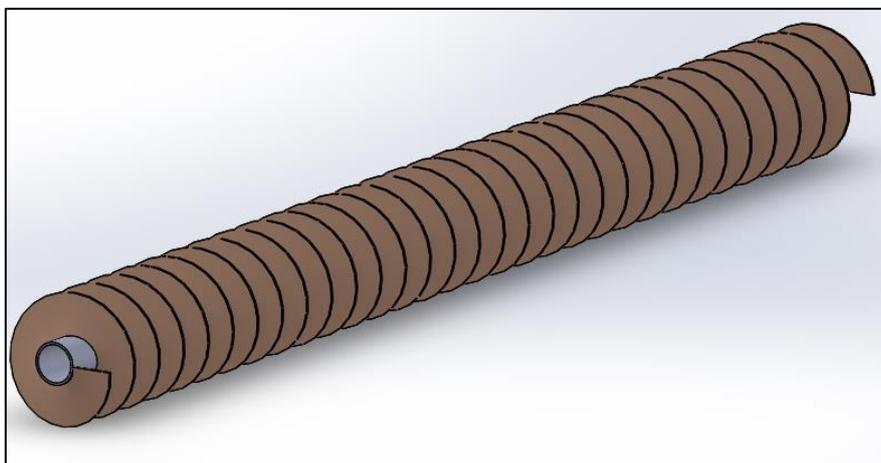
La *Tabla G-1* (APÉNDICE G) muestra que el tubo necesario para que sea capaz de soportar el helicoidal es de cédula 40 y de diámetro nominal de 3.5 pulgadas.



**Figura 2.25 Tubo de 3.5 pulgadas cédula 40**

Fuente: Elaboración Propia.

El uso del tubo se lo hace para formar el conjunto con la Helicoide tal como se muestra en la *Figura 2.26*.



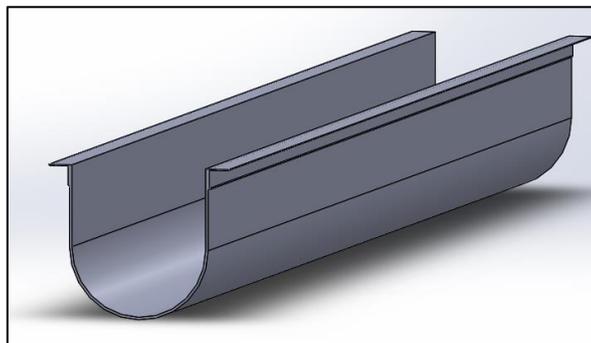
**Figura 2.26 Conjunto Tubo y Helicoide**

Fuente: Elaboración Propia.

### Artesa

Este elemento es considerado el cuerpo del transportador, debido a que en el interior del mismo se va a encontrar el Tornillo Helicoidal realizando la función de transportar el material hasta el siguiente punto.

El material que se debe transportar no es de carácter abrasivo, sin embargo, por motivos de diseño, se procede a seleccionar el diseño de artesa *Tipo U* con ceja de ángulo tal como se muestra en la *Figura 2.27*. Las características de la artesa seleccionada se encuentran en el APÉNDICE G.

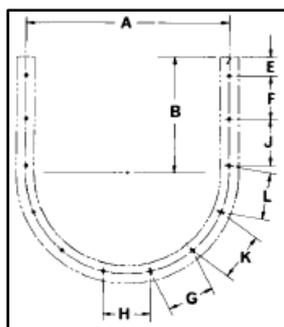


**Figura 2.27 Artesa Tipo U con Ceja de Ángulo**

Fuente: Elaboración Propia.

### Bridas de Artesa

Este elemento hace la conexión entre la artesa y la tapa de la artesa. Las características de esta brida de Artesa tipo U, se encuentran detalladas en el APÉNDICE G. La *Figura 2.28* detalla el tipo de brida que debe ser utilizada para el Transportador.



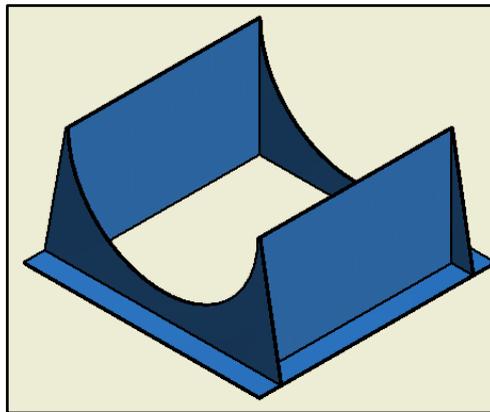
**Figura 2.28 Bridas de Artesa Tipo U**

Fuente: Manejo de Materiales, Alimentador Helicoidal.

### Boca de Salida

Este elemento permite que el material pueda ser entregado al Dosificador de la Rotatoria y posteriormente al sistema de Transporte Neumático.

Se selecciona un elemento de descarga estándar tal como se indica en la *Figura 2.29* la cual es de las dimensiones para la artesa ya seleccionada y que se acople con la rotatoria.



**Figura 2.29 Descarga de Salida de la Mezcla**

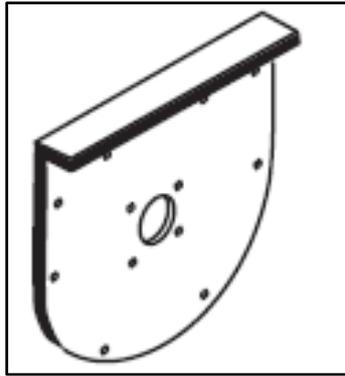
Fuente: Elaboración Propia.

### Tapas de Artesas

Estos componentes cumplen la función de evitar que el material se derrame a los laterales de la artesa y ser el componente donde se van a fijar los rodamientos de apoyo para el helicoidal.

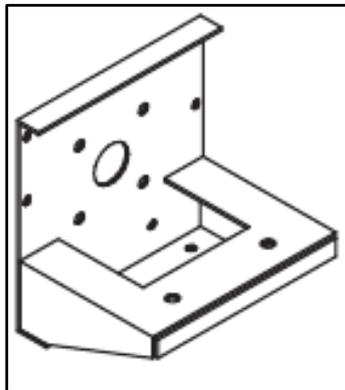
Se utilizan dos tipos de tapas de artesa (Martín, 2013):

- Exterior Sin Pie, tal como se muestra en la *Figura 2.30*, se la coloca en la cola del transportador.
- Con Rodamiento Exterior Sencillo, tal como se muestra en la *Figura 2.31*, se la coloca en la cabeza del transportador.



**Figura 2.30 Tapa de Artesa Exterior Sin Pie**

Fuente: Manejo de Materiales, Alimentador Helicoidal.

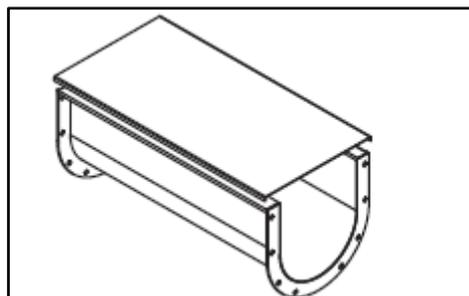


**Figura 2.31 Tapa de Artesa con Rodamiento Exterior**

Fuente: Manejo de Materiales, Alimentador Helicoidal.

### Cubierta de Artesa

La cubierta mantiene el material dentro de la artesa y a la vez lo protege de cualquier tipo de contaminación del material, protegiendo también la integridad de los operadores, un ejemplo de dicha cubierta se lo muestra en la *Figura 2.32*.



**Figura 2.32 Cubierta de Artesa**

Fuente: Manejo de Materiales, Alimentador Helicoidal.

### 2.7.1.5 Selección de Accionamiento Motriz

La determinación de la potencia necesaria para que el transportador helicoidal pueda operar está dada por la siguiente ecuación:

$$HP_{Total} = \frac{(HP_f + HP_m)F_o}{e} \quad (38)$$

Donde:

$$HP_f = \frac{L N F_d f_b}{1,000,000} \quad (39)$$

$$HP_m = \frac{C L W F_f F_m F_P}{1,000,000} \quad (40)$$

El desarrollo de las ecuaciones e información de los valores de las variables se encuentran en el APENDICE F.

La potencia ideal para este Transportador es de 2 HP la cual debe ser transmitida mediante un sistema de transmisión hacia el eje del helicoides, para que este sea capaz de obtener una velocidad de giro de 87 rpm, con estos datos se determinan los valores de entrada para la selección del motorreductor. Los detalles de la selección se encuentran al final del APÉNDICE I.

## 2.7.2 Sistema de Transporte Neumático

Se detalla todos los parámetros que deben ser calculados o determinados para que el Sistema de Transporte Neumático pueda funcionar sin ningún inconveniente.

### 2.7.2.1 Selección de Tubería en la Línea de Transporte

En esta sección se procede a realizar todo el procedimiento para determinar qué tipo y diámetros de tubería se van a requerir para el Sistema de Transporte Neumático.

### 2.7.2.1.1 Cálculo de Diámetro de Tubería

En la *Tabla 2.12*, se tiene valores que recogen experiencias propias ya probado para diferentes tipos de materiales. Según esta tabla para nuestra capacidad de 20.1 t/h en presión se recomienda un diámetro de tubería de D=6"

**Tabla 2.12 Especificaciones de Diferentes Tuberías**

Diámetro de tubería	Capacidad usual (t/h) Succión	Capacidad usual (t/h) Presión
4"	1-3	6-20
5"	1.5-5	7.5-30
6"	2-7.5	10-40
7"	7.5-15	15-80

Fuente: Fischer, 1958.

### 2.7.2.1.2 Selección del Material de Tubería

Debido a que el producto a transportar es alimento no se puede usar el convencional hierro negro, por lo que se utilizará tubería de acero inoxidable regido por la norma ASME B36.19M-2004, que para nuestra tubería de 6" y SCH10 posee las siguientes dimensiones según la *Tabla 2.13*.

**Tabla 2.13 Especificaciones de Tuberías de Acero Inoxidable**

U.S. Customary Units				Schedule No.	SI Units			
NPS	OD, in.	Wall, in.	$W_{pe}$ , lb/ft		DN	OD, mm	Wall, mm	$W_{pe}$ , kg/m
3½	4.000	0.083 (1)	3.48	5S	90	101.6	2.11 (1)	5.18
3½	4.000	0.120 (1)	4.98	10S	90	101.6	3.05 (1)	7.41
3½	4.000	0.226	9.12	40S	90	101.6	5.74	13.57
3½	4.000	0.318	12.52	80S	90	101.6	8.08	18.64
4	4.500	0.083 (1)	3.92	5S	100	114.3	2.11 (1)	5.84
4	4.500	0.120 (1)	5.62	10S	100	114.3	3.05 (1)	8.37
4	4.500	0.237	10.80	40S	100	114.3	6.02	16.08
4	4.500	0.337	15.00	80S	100	114.3	8.56	22.32
5	5.563	0.109 (1)	6.36	5S	125	141.3	2.77 (1)	9.46
5	5.563	0.134 (1)	7.78	10S	125	141.3	3.40 (1)	11.56
5	5.563	0.258	14.63	40S	125	141.3	6.55	21.77
5	5.563	0.375	20.80	80S	125	141.3	9.53	30.97
6	6.625	0.109 (1)	7.59	5S	150	168.3	2.77 (1)	11.31
6	6.625	0.134 (1)	9.30	10S	150	168.3	3.40 (1)	13.83
6	6.625	0.280	18.99	40S	150	168.3	7.11	28.26
6	6.625	0.432	28.60	80S	150	168.3	10.97	42.56

Fuente: Aceros Inoxidable, JN Aceros.

### 2.7.2.2 Velocidades de Transporte para Maíz

La velocidad de transporte es la velocidad que se debe proporcionar al aire para transportar el producto sin mayor dificultad y con rapidez por la tubería. Esta velocidad muchas veces suele ser seleccionada mediante datos empíricos y se respalda en literatura bibliográfica, al igual que la selección del diámetro de la tubería esta velocidad se la toma según la *Tabla 2.14*, para el maíz esta puede estar entre 25 – 35m/s.

**Tabla 2.14 Velocidades de Diferentes Materiales en Tubería**

MATERIAL	VELOCIDAD DEL AIRE (Va)
Algodón	20 - 25 m/s
Arena	30 - 46
Aserrín	20 - 30
Avena	22 - 30
Azúcar	25 - 30
Café entero	17 - 20
Cal	25 - 35
Carbón en polvo	22 - 30
Cemento Pórtland	30 - 46
Centeno	25 - 35
Hilachas	20 - 25
Lana	22 - 28
Maíz	25 - 35
Partículas de esmeril	18 - 20
Polvo ligero, virutas ligeras	12 - 17
Semillas de algodón	20 - 30
Sal	28 - 30
Trigo	25 - 35
Virutas de metal	25 - 36

Fuente: (Coz Pancorbo, 2001)

### 2.7.2.3 Caída de Presión en Tubería

Para poder transportar el producto de una distancia establecida a otra es necesario determinar la caída de presión de la línea para posteriormente calcular la potencia del sistema.

Para el diseño del sistema se sabe con anterioridad que la capacidad es de 20.2 t/h, y las características del material ya mencionadas en la *Sección 2.5*, se procede a realizar el cálculo.

Para efectuar el cálculo de la caída de presión total en el sistema debemos tomar en cuenta los siguientes tipos de pérdida:

- $\Delta P_{acc}$  = Caída de presión por la aceleración del sólido.

$$\Delta P_{acc} = \frac{W * V_p}{144 * g} \quad (41)$$

- $\Delta P_g$  = Caída de presión por la fricción del gas.

$$\Delta P_g = \frac{4f * L * \rho_g * V_g^2}{2g * D * 144} \quad (42)$$

Donde, la longitud L hace referencia a la longitud equivalente del sistema.

- $\Delta P_s$  = Caída de presión por la fricción del sólido.

$$\Delta P_s = \Delta P_g * K * R \quad (43)$$

- $\Delta H_g$  = Caída de presión por la elevación del gas en la tubería.

$$\Delta H_g = \frac{\Delta Z * \rho_g * g}{144 * g_c} \quad (44)$$

- $\Delta H_s$  = Caída de presión por la elevación del sólido en la tubería.

$$\Delta H_s = \frac{\Delta Z * W * g}{144 * g_c * V_p} \quad (45)$$

- $\Delta P_{misc}$  = Caída de presión por diferentes equipos en el sistema.

Este término no se calcula, está dado por fabricantes de accesorios o experiencias con sistemas similares.

Estas seis caídas de presión se pueden dividir en dos grandes grupos, como son: las que efectúa el aire y las que efectúa el maíz.

#### 2.7.2.3.1 Factor de Fricción del Fluido

Para el cálculo de este factor primero se procede a calcular el número de Reynolds con la siguiente formula:

$$NRe = \frac{(D)(V_g)(\rho_g)}{\mu_g} \quad (46)$$

Posteriormente, el factor de fricción es calculado usando la ecuación de flujo de las cartas del libro "Crane's Technical Paper No 410 (pages A-23, A24):

$$f = \frac{0.331}{\ln \left[ \frac{\varepsilon}{(3.7)(D)} + \frac{7}{Re} \right]^2} \quad (47)$$

Donde el valor de  $\varepsilon$  es el factor de rugosidad de la tubería que depende del material que se esté empleando, para nuestro caso de estudio se usará tubería de acero inoxidable cedula con factor de rugosidad de 0.00015.

#### 2.7.2.4 Metodología de Cálculo de Caída de Presión

Debido a que el gas de transporte es aire, un fluido compresible, se debe tener en cuenta que cuando sufre una caída de presión este tiende a cambiar sus propiedades como es la densidad y como consecuencia de esto el caudal y la velocidad, por ende, el cálculo se lo realizará cada 10 ft de tubería.

Con estos datos que se obtendrán en cada intervalo de espacio, con ayuda de la herramienta EXCEL, se calcula las diferentes caídas de presiones ya mencionadas en la *Sección 2.7.2.3* (Amrit, 2005)

En el APÉNDICE B podemos apreciar las hojas de cálculo con los diferentes datos iniciales, recorrido de la tubería y caídas de presiones totales.

#### **2.7.2.5 Selección de Blower**

Una vez realizados los cálculos de la caída de presión en el recorrido de la tubería y calcular el caudal necesario para mover el material en la entrada del sistema, es posible seleccionar un Blower apropiado que cumpla con el requerimiento.

La selección de esta máquina rotativa se la realiza mediante la curva característica de éste, está la da el fabricante y puede venir tabulada o en forma de curva.

Por lo general cuando se trata con un Blower regenerativo esta curva viene como tal, cuando se refiere a un Blower de dos Lóbulos, estas suelen entregarla tabulada.

A partir de los cálculos realizados en la tabla del Excel del APÉNDICE B, los parámetros de selección de Blower son los siguientes:

1. Caída de presión total del sistema: 6 Psi.
2. Caudal requerido para mover el producto a la entrada: 1100 Cfm

Con el catálogo de la marca americana Dresser, se selecciona el modelo URAI Rotary Positive Blowers, se selecciona el modelo Frame 711, en la *Tabla K-1* (APÉNDICE K), se puede encontrar las dimensiones del Blower seleccionado.

#### **2.7.2.6 Selección de Junta para Tubería**

En la *Figura 2.33*, se puede observar el tipo de junta que se utilizará, el tipo de acople rígido brida Victaulic, se selecciona este debido a que es de fácil montaje y proporciona una unión de tubería rígida diseñada para restringir el movimiento axial o angular. En el APÉNDICE D se encuentra las especificaciones técnicas de este tipo de acople.



**Figura 2.33 Junta Tipo Acople Rígido**

Fuente: Junta Acople Rígido, Victaulic

### 2.7.2.7 Dimensionamiento del Venturi

Para lograr un correcto transporte de material, es necesario diseñar que en el Sistema de Alimentación exista un ingreso de flujo de aire para que el material no se atasque en la tubería

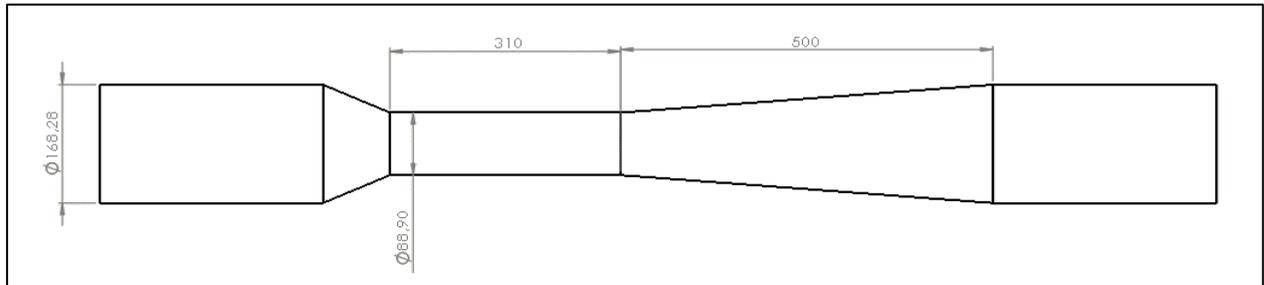
Las particulares ventajas de la utilización de Alimentadores Tipo Venturi son que no requiere elementos mecánicos ni partes móviles, y si este está correctamente diseñado, no habrá fugas de aire por la rotatoria al exterior debido al vacío que se crea por el aumento de velocidad en la tubería. (Mills, 2004, pág. 225)

Las ecuaciones termodinámicas para este tipo de alimentadores tienen como los parámetros más importantes la velocidad y el diámetro de la garganta que nos da como resultado las siguientes ecuaciones (Mills, 2004):

$$C_t = \left\{ 2C_p T_i \left[ 1 - \left( \frac{P_t}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] + C_i^2 \right\}^{0.5} \quad (48)$$

$$d_t = \left[ \frac{C_i}{C_t} * \left( \frac{P_t}{P_i} \right)^{-\frac{1}{\gamma}} \right]^{0.5} * d_i \quad (49)$$

En el APÉNDICE L tenemos los cálculos respectivos para la velocidad de la garganta y el diámetro de la misma, en la *Figura 2.34* se puede apreciar las dimensiones del Venturi.



**Figura 2.34 Venturi**

Fuente: Elaboración Propia

### 2.7.3 Sistema de Almacenamiento

Dentro de esta sección se encuentran detallado cada uno de los diferentes componentes que son necesarios para un buen diseño de dicho Sistema.

#### 2.7.3.1 Dimensionamiento de Válvula de Desvío

La válvula de desvío cumple la función de abrir o cerrar el paso del material dentro de la tubería. Esta válvula es de mucha ayuda cuando tenemos diferentes silos de almacenamiento ya que es capaz de poder distribuir al material sin que sea necesario realizar toda una trayectoria desde el comienzo del Sistema de Transporte.

La válvula debe ser elaborada de un material que no afecte al producto que lleva internamente ya que se trata de un alimento, debe ser del diámetro de la tubería que se está utilizando para el Sistema de Transporte.

Este tipo de válvula debe ser accionada mediante un switch o botón y por medio de un actuador sea capaz de poder desviar el flujo como se muestra en la *Figura 2.35*.



**Figura 2.35 Válvula de Desvío**

Fuente: Válvula de Desvío, Berga S.A.

### **2.7.3.2 Dimensionamiento de Filtro de Desempolvado**

El Sistema de Filtrado en el Sistema de Alimentación es importante ya que me asegura que el producto que cae sobre mi silo está libre de impurezas y residuos que hayan ingresado en el proceso de llegada, así mismo eliminaría la cierta cantidad de finos que genera el sistema neumático debido a los componentes que este posee, como la válvula rotatoria y la válvula de desvío.

El parámetro de selección a utilizar será el área de filtrado del sistema el cual se calcula con la siguiente formula:

$$A_{fil} = \frac{Q_{sis}}{V_{fil}} \quad (50)$$

Donde la Velocidad de filtrado se la obtendrá por la *Tabla 2.15* y el Caudal del sistema que obtuvimos según el Excel en el APÉNDICE B, así teniendo un área de filtrado de 7.27m<sup>2</sup> colocando un factor de seguridad de 1.6, se obtiene 11.6 m<sup>2</sup> por lo que selecciona el Filtro SILOTOP ZERO14, las características y el catalogo se encuentra en el APÉNDICE J.

**Tabla 2.15 Velocidades de Filtración**

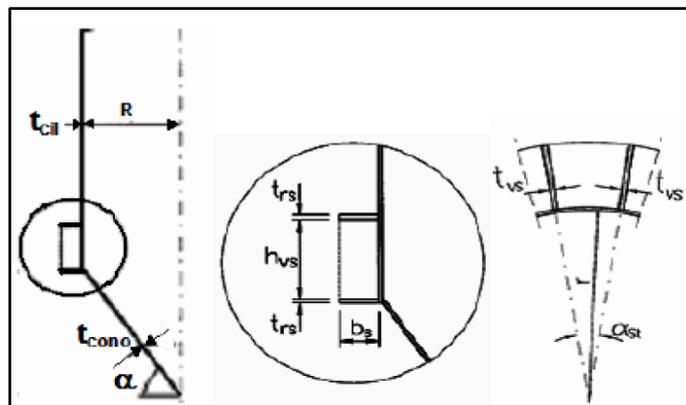
PARTICULAS	VELOCIDAD DE FILTRACIÓN (m/s)	
	Agitación/A contracorriente (tela tejida)	Aire a presión (filtro)
Alimento de ganado (granos)	0.018	0.071
Pigmentos de pintura	0.013	0.036
Plásticos	0.013	0.036
Polietileno		0.051
Polvo de cuero	0.018	0.061
Polvo de piedra	0.015	0.046
Polvo metálico	0.010	0.048
PVC		0.036
Resina	0.010	0.046
Sílice	0.013	0.036
Sulfato férrico	0.010	0.030
Tabaco	0.018	0.066
Talco	0.013	0.025
Yeso	0.010	0.051

Fuente: Benítez, J., Corbitt R., 1990; Cooper, D. and Alley, F., 2002.

### 2.7.3.3 Dimensionamiento de Silo

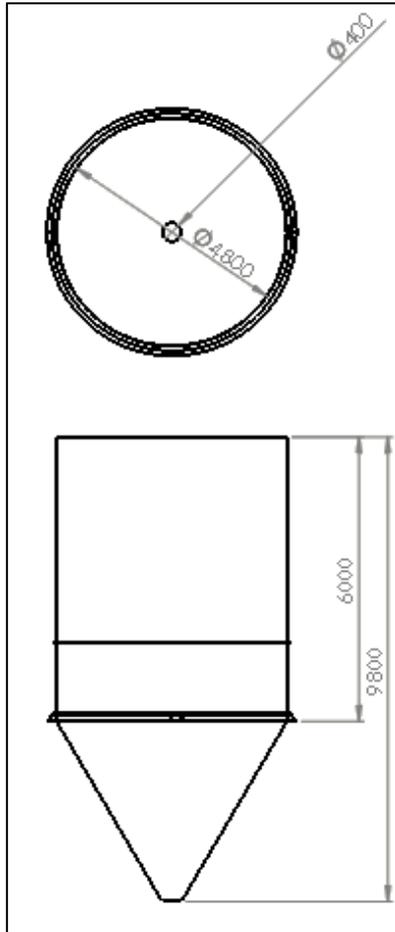
En el área de almacenamiento tenemos como recepción dos silos de 100 toneladas, que cuentan con las siguientes dimensiones como se detalla en la *Figura 2.36*.

Para una mejor estabilización del Silo, se decide poner rigidizadores en forma de anillo alrededor de la parte cilíndrica de Silo tal como se lo muestra la *Figura 2.37*.



**Figura 2.36 Espesores de Anillos y Platinas del Cilindro**

Fuente: Diseño y Selección de Equipos de un Sistema de Pre-Molienda de Clinker y Aditivos para la Industria Cementera.



**Figura 2.37 Silo Almacenamiento de Maíz**

Fuente: Elaboración Propia.

El anillo correspondiente al cambio de sección entre pared y tolva se lo determina mediante la siguiente ecuación:

$$2t_{cilindro} \leq t_{RS} \leq 8t_{cilindro} \quad (51)$$

$$2(5) \leq t_{RS} \leq 8(5)$$

$$t_{RS} = 25 \text{ mm}$$

El ancho del anillo que corresponde a la parte cilíndrica  $b_s$ , está dado por la siguiente ecuación:

$$15t_{cilindro} \leq b_s \leq 50t_{cilindro} \quad (52)$$

$$15(5) \leq b_s \leq 50(5)$$

$$b_s = 180 \text{ [mm]}$$

La separación entre elementos en el cilindro  $h_{vs}$ , viene dada por la siguiente ecuación:

$$h_{vs} = 0.11 \sqrt{\frac{r_{cilindro} b_s * t_{RS}}{t_{cilindro} t_{cilindro}}} \quad (53)$$

$$h_{vs} = 0.11 \sqrt{\frac{2400}{5} \frac{180 * 25}{5}}$$

$$h_{vs} = 2150 \text{ mm}$$

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Análisis de Resultados

En esta sección se muestran los valores calculados en la capítulo anterior y se analiza sobre los sistemas que componen el proceso en general.

Dentro de esta sección se detallan Presiones usadas en la tolva y en el silo, modeladas con el software de elementos finitos ANSYS® el cual entrega resultados de deformaciones totales, esfuerzos equivalentes (Von Mises) y factores de seguridad.

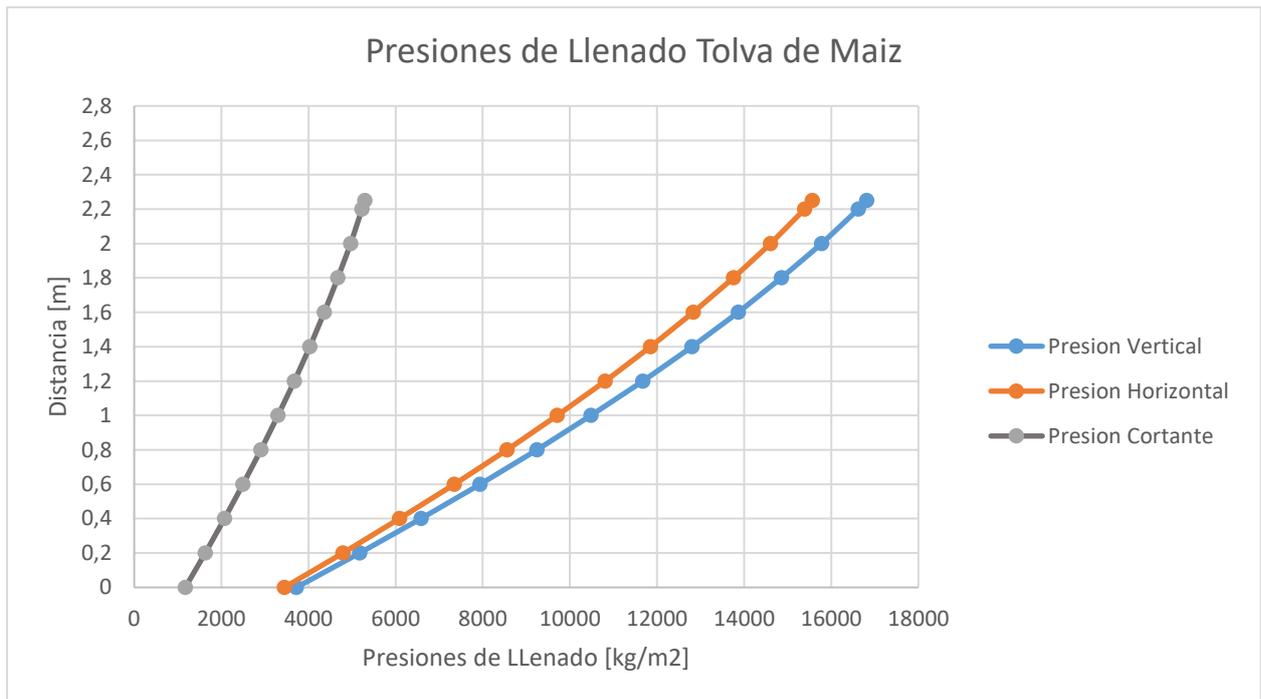
#### 3.1.1 Sistema de Alimentación

##### 3.1.1.1 Tolva de Alimentación

En el Sistema de Alimentación se realizaron cálculos de las ecuaciones mencionadas en las secciones anteriores, para facilidad de cálculos se elaboró un Excel, con el cual nuestra variable de entrada son las diferentes alturas en las que se calcula la presión.

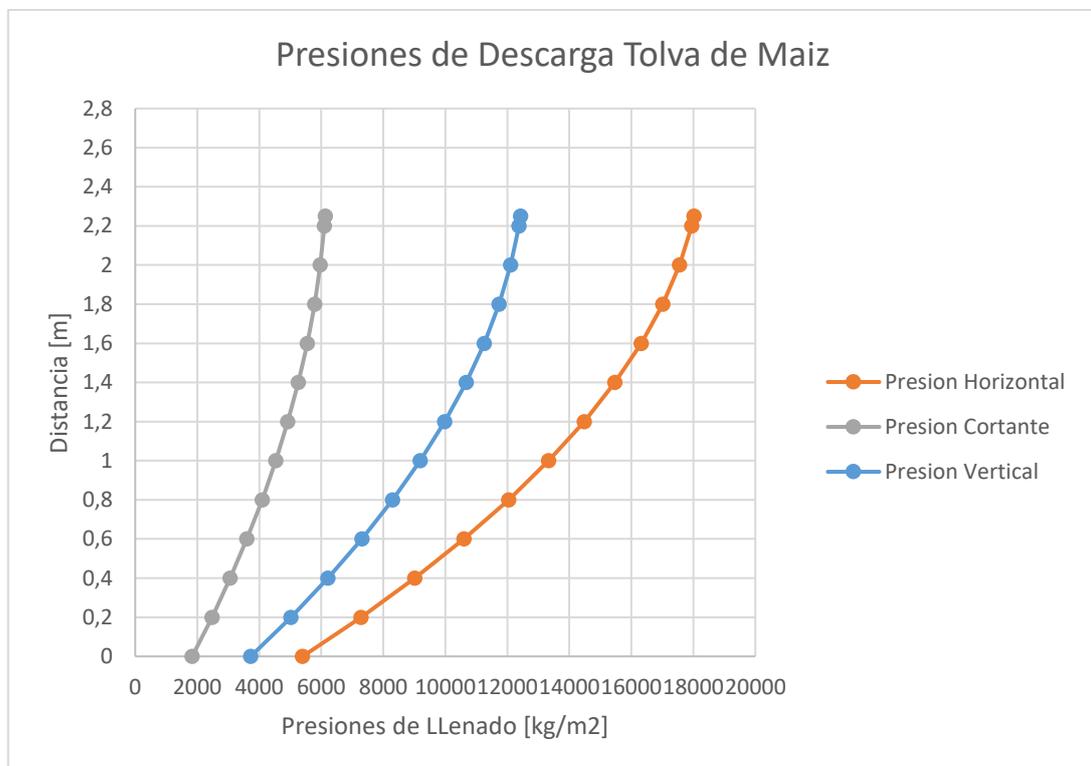
Con los cálculos de las diferentes presiones a las diferentes alturas se procedió a realizar una gráfica para poder analizar el comportamiento de las presiones. En la *Figura 3.1* y *Figura 3.2* se muestran las presiones de llenado y descarga la Tolva de Maíz.

Ya definidas las presiones a las que se somete a las paredes de la tolva, se procedió a realizar el análisis de elementos finitos con la ayuda del software, tomando en cuenta la mayor presión, siendo esta aplicada en las cuatro caras de la tolva, también se modeló el peso del material en la tolva por acción de la gravedad, se fijaron las 4 esquinas del cinturón de la tolva ya que ahí es donde ésta lleva la estructura de soporte.



**Figura 3.1 Presiones Llenado Tolva de Maíz**

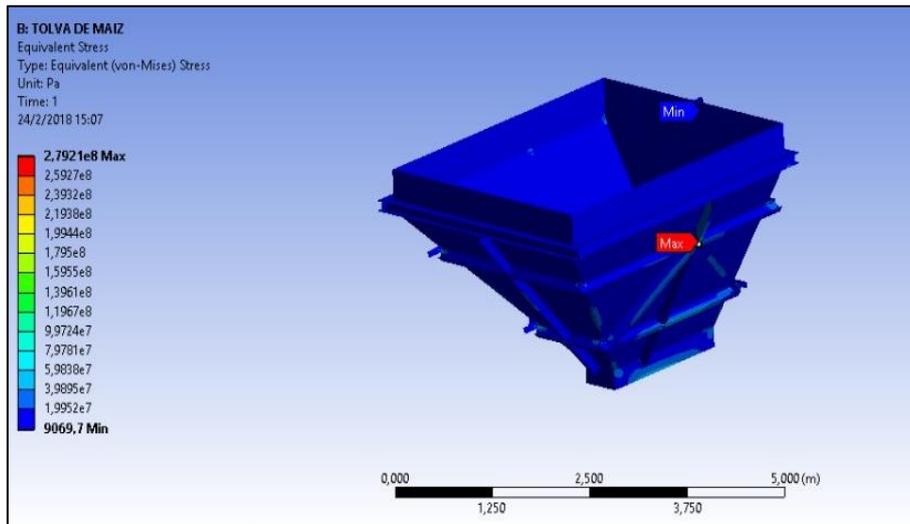
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 3.2 Presiones Vaciado Tolva de Maíz**

Fuente: Elaboración Propia.

En la *Figura 3.3* se observan los esfuerzos en la tolva, donde se puede apreciar que, en la mayor parte de la estructura de la tolva posee valores cercanos a 9069,7 Pa, lo cual es un valor menor al límite de la fluencia del acero Inoxidable. Se puede apreciar que los máximos esfuerzos se encontraran en el tejido de la tolva, en las caras laterales debido a la geometría y los apoyos en el modelado.

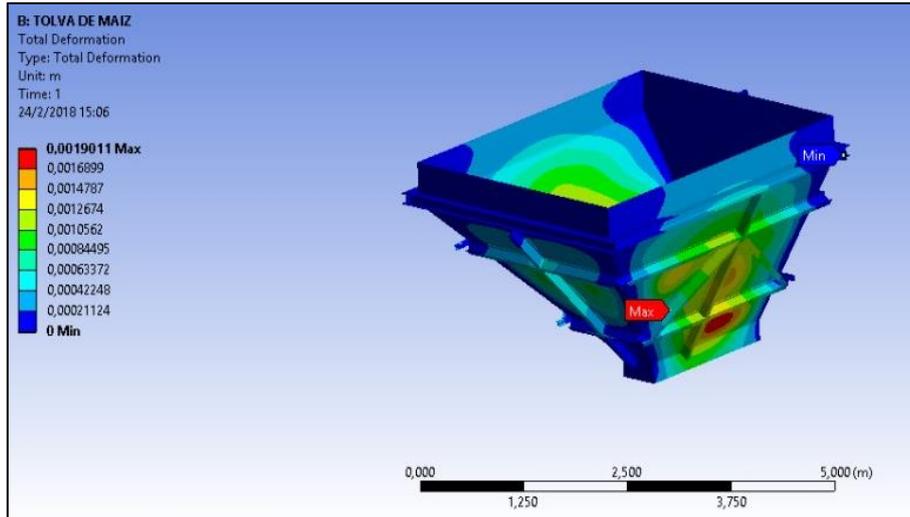


**Figura 3.3 Esfuerzo Equivalente de Von-Mises de la Tolva**

Fuente: Elaboración Propia.

En la *Figura 3.4* se analizaron las deformaciones totales, y se pudo observar que la deformación máxima fue así misma en las caras laterales del cuerpo, donde esta fue de 1.9 mm, siendo este un valor aceptable tomando en cuenta las dimensiones de la tolva.

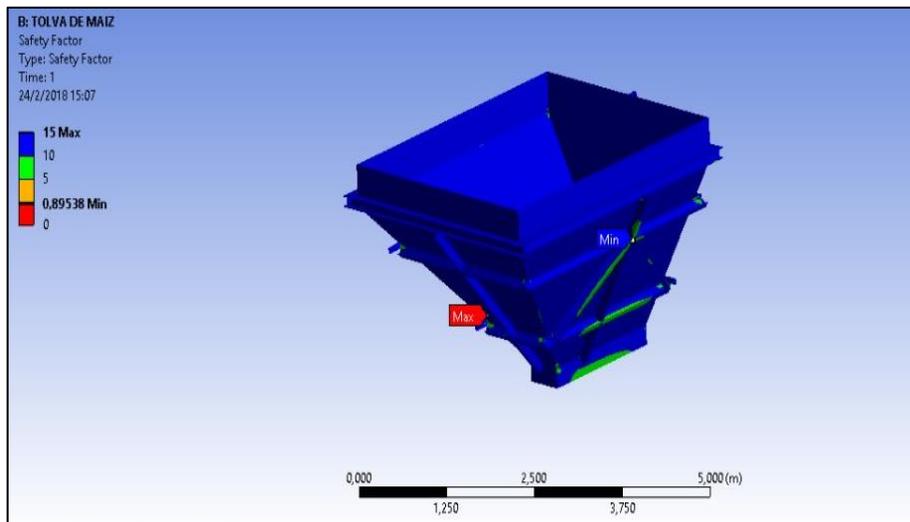
Se observa claramente que la cara trasera de la tolva no se encuentra muy afectada, esto es debido a que al momento de insertar los parámetros y restricciones en la simulación no se tomó mucho en cuenta dicha cara ya que el material no tiende a tocar esa superficie debido al ángulo de reposo del material.



**Figura 3.4 Deformación Total de la Tolva**

Fuente: Elaboración Propia.

La *Figura 3.5* se muestra cómo se comporta el factor de seguridad el cual en su mayoría oscila en diferentes puntos entre 0.89 a 15, siendo en su mayoría valores entre 10 y 15 por lo son valores aceptables y en ciertas partes de la tolva existen valores por debajo de 1 esto a causa de los picos que se tiene en el tejido de la tolva.



**Figura 3.5 Factor de Seguridad Estático de la Tolva**

Fuente: Elaboración Propia.

### **3.1.1.2 Transportador Tornillo Sin Fin**

El Transportador Tornillo Sin Fin tiene cálculos como lo son de potencia necesaria para que el material sea desplazado a lo largo de la artesa y dichos cálculos se encuentran detallados en el APÉNDICE F.

Se sabe que la potencia requerida es de 1.37 hp, pero por seguridad se busca un motorreductor de 2 hp para que sea capaz de abastecer el requerimiento.

La mayoría de los componentes de este equipo son seleccionados de acuerdo con el Catálogo de Martin y por ecuaciones que dicho catalogo detalla.

### **3.1.1.3 Válvula Rotatoria**

De igual manera que el Tornillo Sin Fin, para la selección de este equipo se realizan los respectivos cálculos y se hace la selección. No existe un diseño elaborado como es el caso de la Tolva o Silo.

## **3.1.2 Sistema de Transporte**

El Sistema de Transporte Neumático se lo selecciona por criterios del diseñador y en referencia de proyectos ya elaborados. Este sistema se lo realizó con tubería de acero inoxidable ya que se trata de un alimento y no puede ser cualquier tipo de tubería. Además, igual que los equipos anteriores, este sistema tiene componentes que fueron seleccionados como lo es el Blower y se realizó el cálculo de la tubería para hallar el diámetro correcto y su caída de presión a lo largo del trayecto hasta el punto final.

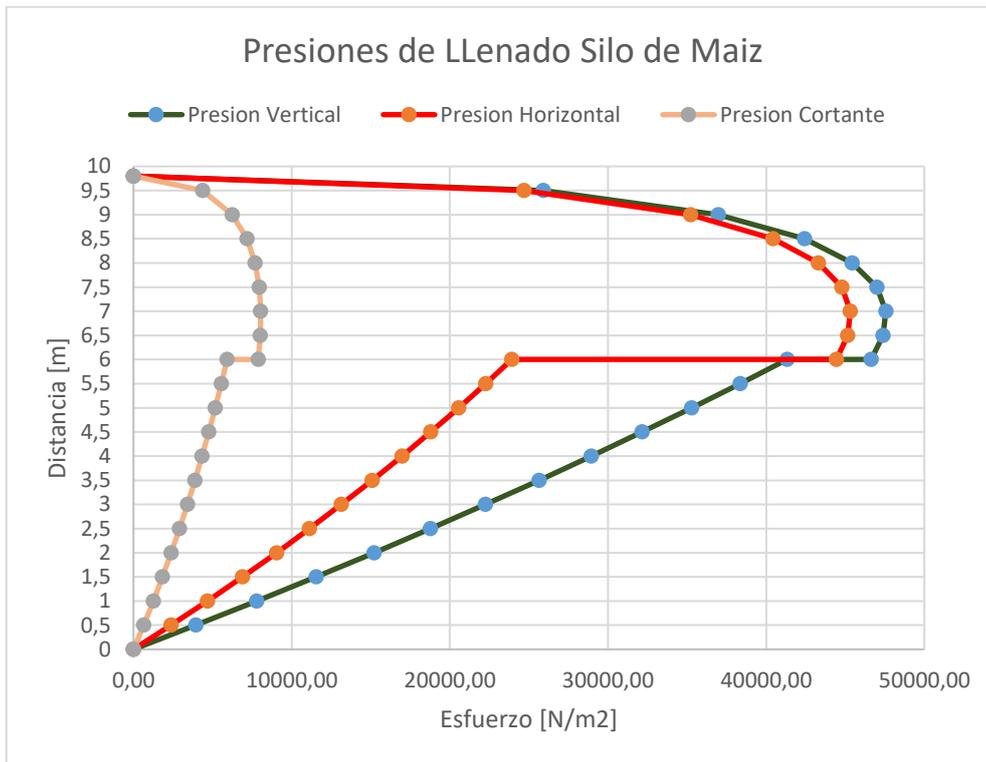
## **3.1.3 Sistema de Almacenamiento**

En el Sistema de Almacenamiento se realizó el mismo procedimiento de cálculos que para la Tolva de Alimentación, mediante una hoja de cálculo en Excel.

Con los cálculos de las diferentes presiones a las diferentes alturas se realizó de igual manera una gráfica para poder analizar el comportamiento de las

presiones. En la *Figura 3.6* se muestra la curva de presión de llenado. Debido a que no se realiza el proceso de vaciado en este proyecto solo se elabora hasta este punto.

Observamos que las presiones de llenado en el silo a comparación de las presiones de llenado de la tolva tienen un comportamiento muy particular, esto se debe a la geometría del silo y al cambio de sección de cilíndrica a cónica.



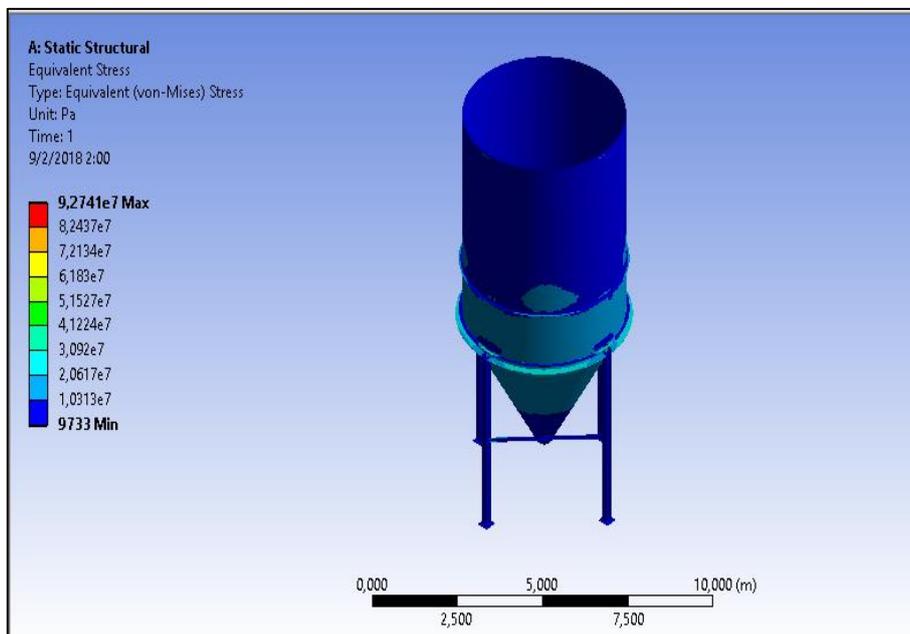
**Figura 3.6 Presiones de Llenado Silo de Maíz**

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo con la *Figura 3.7* se observa que el sistema cuenta con dos partes, una es el Silo y la otra es la estructura metálica de soporte. Al momento de realizar la simulación se consideró el peso total del silo para que esta estructura sea capaz de soportar las presiones a las que está sometida y también el peso. En el modelado se tomó sus cuatro bases como fijas en el eje Y.

Se observa claramente que la estructura de soporte tiene en su mayoría un esfuerzo de 9733 Pa, que es inferior al límite del acero inoxidable por lo que esta estructura va ser capaz de soportar el silo

Podemos darnos cuenta de que los esfuerzos en el silo están entre dos valores 9733 Pa y 309200 Pa, los cuales son valores inferiores al límite del acero inoxidable y el segundo valor que se produce en el silo se localiza en la transición de cilíndrico a cónico.

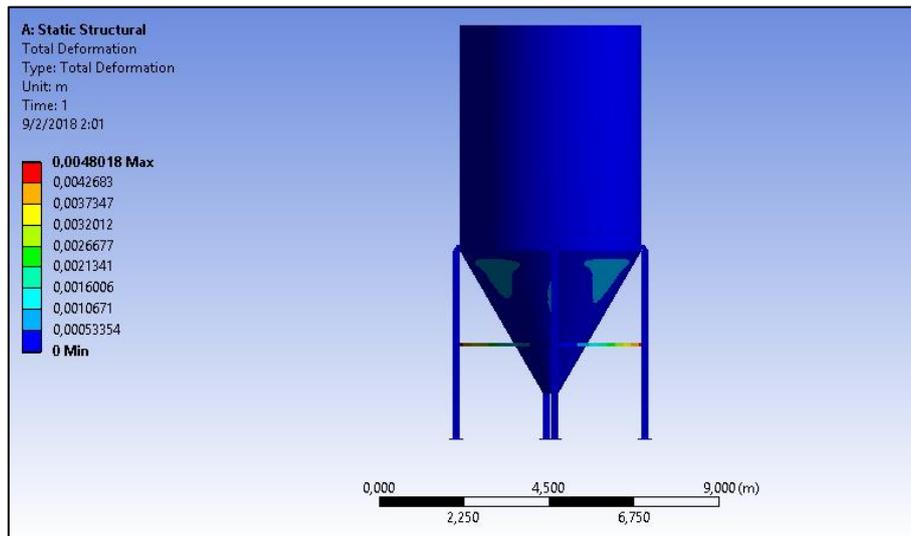


**Figura 3.7 Esfuerzo Equivalente de Von-Mises del Silo**

Fuente: Elaboración Propia.

La *Figura 3.8* muestra que la deformación total en silo va ser mínima que es cercana a 0 mm, esto puede ser causado por los esfuerzos a los que están sometidos que son realmente bajos y hacen que el material no sufra deformaciones severas, sin embargo se observa que las deformaciones que llega a sufrir la estructura se encuentra en el cinturón del soporte que pueden llegar a 4,7806 mm en el caso más crítico los cual debido a que son en pocas las zonas, es considerado un valor aceptable.

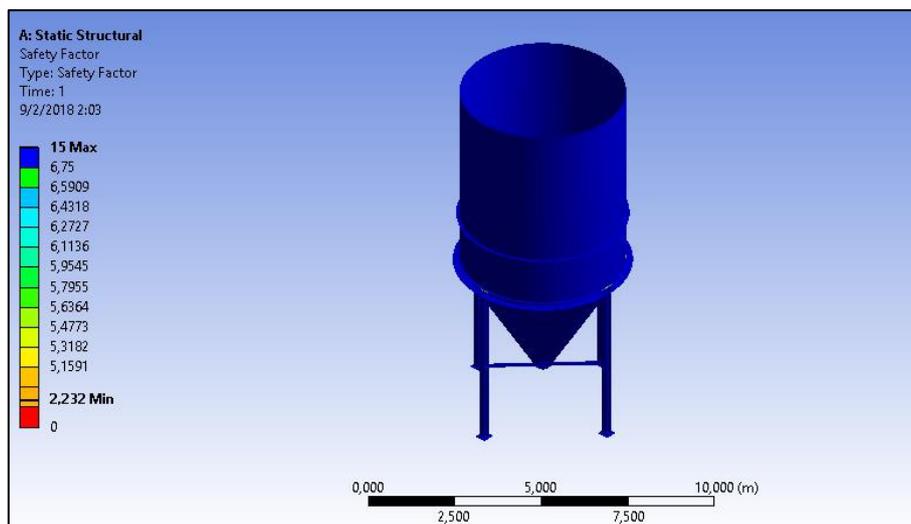
Anteriormente el silo estaba compuesto de varios anillos, pero debido a que, en diferentes simulaciones realizadas, se pudo notar que los anillos no estaban sometidos a esfuerzos altos y no tenían deformaciones, por lo que se optó por solo ingresar un anillo el cual está ubicado en la parte inferior y por la mitad del Silo para que sean capaces de soportar todos los esfuerzos y deformaciones.



**Figura 3.8 Deformación Total del Silo**

Fuente: Elaboración Propia.

En la *Figura 3.9* se muestra el comportamiento del factor de seguridad estático, que en su mayoría es de un valor de 15, lo cual representa que la resistencia del material es muy superior al esfuerzo al que están sometidos los cuerpos.



**Figura 3.9 Factor de Seguridad Estático del Silo**

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2 Análisis de Factibilidad

Dentro de esta sección se detallan los valores cercanos a los costos reales dentro del País. En la *Tabla 3.1* se detallan dichos valores de cada uno de los componentes de los diferentes Sistemas que se han mencionado anteriormente. La mayoría de los Sistemas y componentes pueden ser fabricados localmente, sin embargo, existen equipos que deben ser importados de acuerdo con las especificaciones deseadas.

La confiabilidad y rentabilidad de todos los sistemas se respaldan a la versatilidad de todos los procesos, ya que todos los sistemas pueden ser usados para diferentes materiales que cumplan los parámetros de los equipos. El Sistema Neumático por medio de la válvula de desvío es capaz de distribuir el material a más Silos, por lo que lo hace muy versátil.

Los valores que se detallan ya contienen el valor de mano de obra de parte de los trabajadores.

**Tabla 3.1. Estimación de Costos para los Sistemas**

Sistema	Ítem	Descripción	Cantidad	Precio	
				Unitario	Total
Sistema de Alimentación	1	Tolva de Alimentación	1	30.000,00	30.000,00
	2	Dosificador Helicoidal	1	2.000,00	2.000,00
	3	Válvula Rotatoria	1	600,00	600,00
Sistema de Transporte	4	Blower	1	20.000,00	20.000,00
	5	Válvula de Desvío	1	600,00	600,00
	6	Tubería (5.8m)	9	770,00	6.930,00
Sistema de Almacenamiento	7	Silo de Almacenamiento	2	60.000,00	120.000,00
	8	Filtro de Desempolvado	2	1.500,00	3.000,00
Presupuesto					183.130,00

Fuente: Elaboración Propia.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- La Tolva de Alimentación y el Silo de Almacenamiento se diseñaron basados en el Eurocódigo 1, complementándose con el Análisis de Elementos Finitos, con lo que se obtuvo resultados aceptables en esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad.
- El Catálogo de Martin resume el procedimiento del diseño del Dosificador Helicoidal, cumpliendo la normativa CEMA (Belt Conveyors for Bulk Materials).
- La dosificación del producto con Tornillo Sin Fin y una Válvula rotatoria fue la mejor solución para el problema de atascamiento antes de que el material ingrese a la tubería del Sistema de Transporte Neumático.
- Equipos que son normalmente de importación, como válvula rotatoria y válvula de desvío, pueden ser diseñadas y fabricadas localmente; lo cual es un aporte al desarrollo técnico y sustitución de importaciones.
- Existen equipos los cuales fueron seleccionados con su filtro adecuado, esto colabora a reducir el impacto ambiental disminuyendo la polución en el aire y a la vez cuidar la salud de los diferentes colaboradores de la planta.
- Debido a la capacidad del sistema, fue necesario incluir un Dosificador Helicoidal para evitar atascamientos en la válvula rotatoria.
- Se analizó las principales variables de las cuales depende nuestro sistema de transporte neumático como son: velocidad de entrada y salida del sistema, velocidad terminal de la partícula, diferentes caídas de presión del sistema y la relación de mezcla o concentración de la mezcla, ésta nos indica si la selección de un sistema de transporte neumático en fase diluida es la solución a nuestro producto.
- Se logró determinar los parámetros de caída de presión y caudal inicial del sistema. Valores que fueron influyentes al momento de selección de Blower que debe ser utilizado en el sistema, con esto se decidió que la maquina correcta era un Blower de Lóbulo, debido a su alto caudal y alta caída de presión.

## 4.2 Recomendaciones

- Antes de la instalación de cada uno de los Sistemas se debe analizarlo con la ayuda de la parte de Ingeniería Civil para que realice los respectivos cálculos de las cimentaciones y estudio del terreno para la elaboración del proyecto.
- Se debe estudiar los requisitos legales y ambientales antes de la construcción de los diferentes Sistemas.
- Se debe tomar en cuenta los cambios climáticos de la zona para poder analizar que otros factores se deben considerar en el proyecto.
- Comprobar que al momento de la instalación de la tubería no exista fugas, ya que esto causaría una caída de presión considerable en el Sistema Neumático.
- La constructora que va realizar el proyecto debe saber todos los parámetros y detalles que se requieren para la elaboración del proyecto.
- Se debe tener siempre un equipo de respaldo por si existe una falla, en esto se refiere a los motorreductores y/o componentes que se sabe que pueden desgastarse con el tiempo.
- Se debe seguir un protocolo de manipulación al momento de usar cada uno de los sistemas para que no existan parámetros de mal uso de los equipos y cree alguna falla o atascamiento en cualquiera de los 3 Sistemas.
- Se debe tener en cuenta de cómo es el ingreso del material ya que este no debe ser ingresado mojado ya que esto lo hará más pesado y hará que los equipos y los sistemas no puedan funcionar de manera correcta.
- Para garantizar una alimentación continua, primero se debe encender el blower para evitar que el producto se atasque en la válvula rotatoria.
- Para poder reducir la contaminación de polvo por parte del maíz en la recepción, se puede construir una cabina retenedora de polvos.
- Se recomienda construir un volteador de camiones para el caso de los vehículos que no tengan un elevador hidráulico incorporado.
- Para disminuir los accidentes y errores humanos en los sistemas, una buena mejora sería automatizar las válvulas.

# BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute. (1997). *Standard Practice for Design and Construction Concrete Silos and Stacking Tube for String Granular (ACI 313R-97)*.
- Amrit, T. (2005). Theory and Design of Dilute Phase Pneumatic Conveying Systems. *powder handling & processing*, 18-23..
- CEMA. (2005). *Belt Conveyor for Bulk Materials* (6ta ed.).
- Centre for Industrial Bulk Solids Handling Glasgow Caledonian University . (2008). *Bulk Solids Handling Equipment Selection and Operation* . Singapore : Blackwell Publishing.
- Coello, J. (2013). *Diseno y Seleccion de Equipos de un Sistema de Pre-Molienda de Clinker y Aditivos para la Industria Cementera*. Guayaquil.
- Coz Pancorbo, F. (2001). Manual de Curso PUCP. En *VENTILACION INDUSTRIAL*. LIMA.
- Crowe, C. T. (2006). *Multiphase Flow Handbook* . Taylor & Francis Group.
- DIN 22101. (2002). *Belt Conveyors for Loose Bulk Materials*.
- DONGFENG. (s.f.). *CATALOGO DFL3251A1*.
- Dresser. (2014). *Catálogo URAI Blowers*.
- *Especificacion ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero* . (2010).
- European Comitee for Standarization. (2005). *EN 1991-4: 2006 Eurocode 1: Actions on structures - Part 4:*
- Fischer, J. (1958). Practical Pneumatic Conveyor Design. En *CHEMICAL ENGINEERING* (pág. 116).
- FUSTER. (1974). *BOTANICA. BOTANICA* (págs. 1-7). Buenos Aires: KAPELUSZ.
- INIAP, I. N. (2016). *Oferta Tecnológica del Programa Nacional del Maíz*.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2016). *Oferta Tecnológica del Programa Nacional del Maiz*.
- Jenike, A. W. (1970). *Storage and Flow of Solids Bulletin No. 123*. Utah.

- Kulinowski, & Kasza. (2010). Belt Conveyor for Bulk Material Calculations.
- MAGAP. (2016). *Ministerio de Agricultura y ganadería del Ecuador*.
- Martin. (2013). *El Gran Catálogo 4000*.
- Mills. (2004). *Pneumatic Conveying Design Guide*.
- Ravenet, D. J. (1977). *Silos Teoría, Investigación, Construcción* . Barcelona : Editores Tecnico Asociados .
- Salazar, E. P. (2005). *Software para Diseño de Tornillo Sinfin*.
- SIEMENES AG. (2015). *SITRANS WT-10*.
- SIEMENS. (s.f.). Obtenido de Catálogo Motorreductores D87.1.
- SITI. (s.f.). *Catálogo de Reductor de Gusano*.
- Standartization, E. C. (2006). *Eurocode 1 - Action on Structures - Part 4: Silos and Silos* .
- Universidad Nacional de San Agustin. (17 de Mayo de 2015). Los Chutes o Tolvas., (pág. 35). Guayaquil.
- Victaulic. (2015). Obtenido de Catálogo brida Victaulic estilo 107N.
- WAM. (1995). *Rotatory Valves*.
- WAMGROUP. (s.f.). Obtenido de CATALOGO SILOTOP.

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## Descripción de los Materiales según CEMA

**Tabla A-1 Descripción de la Clasificación de los Materiales**

	Características del Material	Código
Tamaño	Muy fino: hasta la malla 100	A
	Fino: hasta 1/8"	B
	Granular: hasta 1/2"	C
	En trozos: de más de 1/2"	D
	Irregular: fibrosos, que se pueden atorar, enredado	E
Fluidez, Angulo de Reposo	Fluidez muy buena - Angulo de reposo menos a 19°	1
	Fluidez buena - Angulo de reposo entre 20° a 29°	2
	Fluidez promedio - Angulo de reposo entre 30° a 39°	3
	- Angulo de reposo entre 40° a más.	4
Agresividad	No abrasivo	5
	Abrasivo	6
	Muy abrasivo	7
	Muy afilado: corta o deshace la cubierta de la faja	8
Características Variadas (a veces más de una propiedad puede aplicarse)	Muy polvoriento	L
	Aireado o que desarrolla propiedades de fluido	M
	Contiene polvo explosivo	N
	Contaminable, afecta su uso o venta	P
	Degradable, afecta su uso o venta	Q
		R
	Altamente Corrosivo	S
	Medio Corrosivo	T
	Higroscópico	U
	Que se atora	V
	Presenta Aceites o químicos que pueden afectar productos de caucho	W
	Empacado bajo presión	X
	Muy liviano y puede dispersarse con el viento	Y
Temperatura elevada	Z	
<p>Por ejemplo: Un material muy fino, de buena fluidez, abrasivo, y que contiene polvo explosivo; tendrá una designación: Clase A26N</p>		

Fuente: CEMA Belt Conveyors for Bulk Materials.

# Propiedades de los Materiales para Dimensionamiento de Tolvas y Silo

**Tabla A-2 Propiedades de los Materiales**

Type of particulate solid <sup>d, e</sup>	Unit weight <sup>b</sup>		Angle of repose $\phi_r$	Angle of internal friction $\phi_i$		Lateral pressure ratio $K$		Wall friction coefficient <sup>c</sup> $\mu$ ( $\mu = \tan \phi_w$ )				Patch load solid reference factor $C_{op}$
	$\gamma_L$	$\gamma_u$		Mean $\phi_{im}$	Factor $a_\phi$	Mean $K_m$	Factor $a_K$	Wall type D1	Wall type D2	Wall type D3	$a_\mu$	
	Lower kN/m <sup>3</sup>	Upper kN/m <sup>3</sup>	degrees					degrees	Mean	Factor		
Default material <sup>a</sup>	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0
Aggregate	17,0	18,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,39	0,49	0,59	1,12	0,4
Alumina	10,0	12,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Animal feed mix	5,0	6,0	39	36	1,08	0,45	1,10	0,22	0,30	0,43	1,28	1,0
Animal feed pellets	6,5	8,0	37	35	1,06	0,47	1,07	0,23	0,28	0,37	1,20	0,7
Barley ☼	7,0	8,0	31	28	1,14	0,59	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,5
Cement	13,0	16,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Cement clinker ‡	15,0	18,0	47	40	1,20	0,38	1,31	0,46	0,56	0,62	1,07	0,7
Coal ☼	7,0	10,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,44	0,49	0,59	1,12	0,6
Coal, powdered ☼	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5
Coke	6,5	8,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,6
Flyash	8,0	15,0	41	35	1,16	0,46	1,20	0,51	0,62	0,72	1,07	0,5
Flour ☼	6,5	7,0	45	42	1,06	0,36	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,6
Iron ore pellets	19,0	22,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,5
Lime, hydrated	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,36	0,41	0,51	1,07	0,6
Limestone powder	11,0	13,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5
Maize ☼	7,0	8,0	35	31	1,14	0,53	1,14	0,22	0,36	0,53	1,24	0,9
Phosphate	16,0	22,0	34	29	1,18	0,56	1,15	0,39	0,49	0,54	1,12	0,5
Potatoes	6,0	8,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,33	0,38	0,48	1,16	0,5
Sand	14,0	16,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,38	0,48	0,57	1,16	0,4
Slag clinkers	10,5	12,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,48	0,57	0,67	1,16	0,6
Soya beans	7,0	8,0	29	25	1,16	0,63	1,11	0,24	0,38	0,48	1,16	0,5
Sugar ☼	8,0	9,5	38	32	1,19	0,50	1,20	0,46	0,51	0,56	1,07	0,4
Sugarbeet pellets	6,5	7,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,35	0,44	0,54	1,12	0,5
Wheat ☼	7,5	9,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,24	0,38	0,57	1,16	0,5

NOTE Where this table does not contain the material to be stored, testing should be undertaken.

<sup>a</sup> For situations where it is difficult to justify the cost of testing, because the cost implications of using a wide property range for the design are minor, the properties of the “default material” may be used. For small installations, these properties may be adequate. However, they will lead to very uneconomic designs for large silos, and testing should always be preferred.

<sup>b</sup> The unit weight of the solid  $\gamma_u$  is the upper characteristic value, to be used for all calculations of actions. The lower characteristic value  $\gamma_L$  is provided in Table E.1 to assist in estimating the required volume of a silo that will have a defined capacity.

<sup>c</sup> Effective wall friction for wall Type D4 (corrugated wall) may be found using the method defined in Annex D, D.2.

<sup>d</sup> Solids in this table that are known to be susceptible to dust explosion are identified by the symbol ☼

<sup>e</sup> Solids that are susceptible to mechanical interlocking are identified by the symbol ‡

Fuente: Eurocode 1- Actions on Structures – Part 4: Silos and Tanks.

## APÉNDICE B

### Calculo de la Caída de Presión en la Tubería de Transporte

Tabla B-1 Datos Iniciales del Sistema Neumático

SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO - DATOS INICIALES		
Ítem		
1	Tipo de sistema de transporte	Presión positiva
2	Material que transportar	Maíz Desgranado
3	Capacidad de transporte (lb/h)	55200
4	Tipo de tubería	Acero inoxidable, Sanitario
5	Longitud equivalente	Ver tabla 2
6	Diámetro interior de tubería (m)	0,1615
7	Gas utilizado en el transporte	Aire a 25°C y 14,7psia
8	Densidad a la salida del Gas	0,0715 lbs/cu ft
9	Caudal del Gas (CFM)	1516
10	Relación kg solido/kg gas	8,49
11	Factor de fricción del solido	0,3838
12	Numero de Reynolds del Gas	362339,7436
13	Factor de fricción del gas	0,004903731
14	W (Lb/sq ft S)	69,5
15	Velocidad del Gas Inicial (ft/s, FPM)	82,80
16	Velocidad del Gas Final (ft/s, FPM)	114,828
17	Velocidad del Gas Media (ft/s, FPM)	98,81
18	Velocidad del solido	0,8*Vg

Fuente: Elaboración Propia.

## Calculo de la Caída de Presión en la Tubería de Transporte

**Tabla B-2 Longitudes de Tuberías del Sistema Neumático**

<b>SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO - LONGITUD EQUIVALENTE</b>						
Número de sección	Componente en la tubería	Orientación	Longitud en ft	Diámetro interior	Longitud equivalente	Longitud equivalente acumulada
1	Tubería	Horizontal	5	0,53	5	5
2	Codo 45°	Horizontal - Inclinado		0,53	15	20
3	Tubería	Horizontal	10	0,53	10	30
4	Tubería	Vertical	10	0,53	10	40
5	Codo 90°	Horizontal - Inclineda		0,53	15	55
6	Tubería	Horizontal	10	0,53	10	65
7	Tubería	Horizontal	10	0,53	10	75
8	Tubería	Horizontal	10	0,53	10	85
9	Tubería	Horizontal	10	0,53	10	95
10	Tubería	Horizontal	3	0,53	3	98
11	Codo 90°	Horizontal - Vertical		0,53	30	128
12	Tubería	Vertical	10	0,53	10	138
13	Tubería	Vertical	10	0,53	10	148
14	Tubería	Vertical	10	0,53	10	158
15	Codo 90°	Vertical - Horizontal		0,53	30	188
16	Tubería	Horizontal	10	0,53	10	198
17	Tubería	Horizontal	10	0,53	10	208
18	Válvula desvío	22,5°		0,53	10	218
19	Manguera		3	0,53	49	267

Fuente: Elaboración Propia.

**SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO - CAIDA DE PRESIÓN**

Sección	Caída de presión en PSI							T del gas	Densidad de entrada del gas	Densidad de salida del gas	Presión de entrada	Presión de salida	Velocidad de entrada	Velocidad de salida
	Flujo del Gas	Aceleración del solido	Flujo del Solido	Elevación del Gas	Elevación del solido	Extra	Caída de presión total por sección	C°	Lb/cu ft	Lb/cu ft	PSIa	PSIa	ft/s	ft/s
1	0,014571 021	0	0,047473 91	0	0	0	0,062044 932	25	0,092687 74	0,092386	19,05845 36	18,99640 87	88,57915 61	88,86846 802
	0,014571 021	1,331111 75	0,047473 91	0	0	0	1,393156 683	25	0,099161 39	0,092386	20,38956 53	18,99640 87	82,79635 72	88,86846 802
2	0,044181 624	0	0,143948 35	0	0	0	0,188129 976	25	0,092321 15	0,091406 21	18,98307 54	18,79494 54	88,93088 71	89,82105 016
	0,044181 624	0,013333 26	0,143948 35	0	0	0	0,201463 237	25	0,092386 21	0,091406	18,99640 87	18,79494 54	88,86846 8	89,82105 016
3	0,029668 216	0	0,096662 15	0	0	0	0,126330 368	25	0,091361 89	0,090747 51	18,78583 24	18,65950 2	89,86462 25	90,47303 268
	0,029668 216	0,009113 04	0,096662 15	0	0	0	0,135443 408	25	0,091406 21	0,090747 51	18,79494 54	18,65950 2	89,82105 02	90,47303 268
4	0,029990 434	0	0,097711 97	0,006239 24	0,052815 65	0	0,186757 299	25	0,090680 78	0,089772 51	18,64578 14	18,45902 41	90,53960 79	91,45563 321
	0,029990 434	0,013720 64	0,097711 97	0,006239 24	0,052815 65	0	0,200477 936	25	0,090747 51	0,089772 51	18,65950 2	18,45902 41	90,47303 27	91,45563 321
5	0,045499 065	0	0,148240 71	0	0	0	0,193739 78	25	0,089701 74	0,088759 51	18,44447 09	18,25073 11	91,52779 42	92,49940 323
	0,045499 065	0,014553 2	0,148240 71	0	0	0	0,208292 975	25	0,089772 51	0,088759 51	18,45902 41	18,25073 11	91,45563 32	92,49940 323
6	0,030567 395	0	0,099591 77	0	0	0	0,130159 165	25	0,088711 06	0,088078 05	18,24076 82	18,11060 91	92,54992 52	93,21507 242

	0,030567 395	0,009962 87	0,099591 77	0	0	0	0,140122 038	25	0,088759 51	0,088078 05	18,25073 11	18,11060 91	92,49940 32	93,21507 242
7	0,030807 899	0	0,100375 36	0	0	0	0,131183 258	25	0,088028 45	0,087390 46	18,10041 03	17,96922 71	93,26759 48	93,94848 924
	0,030807 899	0,010198 74	0,100375 36	0	0	0	0,141382 001	25	0,088078 05	0,087390 46	18,11060 91	17,96922 71	93,21507 24	93,94848 924
8	0,031054 475	0	0,101178 73	0	0	0	0,132233 204	25	0,087339 67	0,086696 57	17,95878 27	17,82654 95	94,00312 73	94,70042 067
	0,031054 475	0,010444 37	0,101178 73	0	0	0	0,142677 577	25	0,087390 46	0,086696 57	17,96922 71	17,82654 95	93,94848 92	94,70042 067
9	0,031307 39	0	0,102002 75	0	0	0	0,133310 14	25	0,086644 53	0,085996 2	17,81584 91	17,68253 9	94,75729 86	95,47168 175
	0,031307 39	0,010700 35	0,102002 75	0	0	0	0,144010 492	25	0,086696 57	0,085996 2	17,82654 95	17,68253 9	94,70042 07	95,47168 175
10	0,009415 295	0	0,030676 02	0	0	0	0,040091 311	25	0,085980 39	0,085785 41	17,67928 82	17,63919 69	95,48923 68	95,70626 987
	0,009415 295	0,003250 82	0,030676 02	0	0	0	0,043342 129	25	0,085996 2	0,085785 41	17,68253 9	17,63919 69	95,47168 18	95,70626 987
11	0,096593 441	0	0,314711 54	0	0	0	0,411304 978	25	0,085618 31	0,083617 99	17,60483 69	17,19353 19	95,89306 32	98,18702 431
	0,096593 441	0,034359 98	0,314711 54	0	0	0	0,445664 956	25	0,085785 41	0,083617 99	17,63919 69	17,19353 19	95,70626 99	98,18702 431
12	0,032595 69	0	0,106200 17	0,005740 56	0,048594 29	0	0,193130 706	25	0,083536 58	0,082597 32	17,17679 16	16,98366 09	98,28271 64	99,40034 413
	0,032595 69	0,016740 33	0,106200 17	0,005740 56	0,048594 29	0	0,209871 035	25	0,083617 99	0,082597 32	17,19353 19	16,98366 09	98,18702 43	99,40034 413
13	0,033006 651	0	0,107539 12	0,005669 09	0,047989 25	0	0,194204 106	25	0,082513 39	0,081568 91	16,96640 39	16,77219 98	99,50144 68	100,6535 67
	0,033006 651	0,017256 97	0,107539 12	0,005669 09	0,047989 25	0	0,211461 078	25	0,082597 32	0,081568 91	16,98366 09	16,77219 98	99,40034 41	100,6535 67
14	0,033431 484	0	0,108923 27	0,005597 04	0,047379 42	0	0,195331 223	25	0,081482 33	0,080532 37	16,75439 68	16,55906 56	100,7605 2	101,9490 941
	0,033431 484	0,017802 99	0,108923 27	0,005597 04	0,047379 42	0	0,213134 218	25	0,081568 91	0,080532 37	16,77219 98	16,55906 56	100,6535 67	101,9490 941

15	0,103299 703	0	0,336561 24	0	0	0	0,439860 943	25	0,080328 67	0,078189 48	16,51718 12	16,07732 03	102,2076 17	105,0039 252
	0,103299 703	0,041884 35	0,336561 24	0	0	0	0,481745 298	25	0,080532 37	0,078189 48	16,55906 56	16,07732 03	101,9490 94	105,0039 252
16	0,034785 412	0	0,113334 51	0	0	0	0,148119 925	25	0,078118 22	0,077397 86	16,06266 86	15,91454 87	105,0997 05	106,0778 895
	0,034785 412	0,014651 68	0,113334 51	0	0	0	0,162771 607	25	0,078189 48	0,077397 86	16,07732 03	15,91454 87	105,0039 25	106,0778 895
17	0,035149 357	0	0,114520 28	0	0	0	0,149669 641	25	0,077324 36	0,076596 47	15,89943 52	15,74976 56	106,1787 24	107,1877 374
	0,035149 357	0,015113 46	0,114520 28	0	0	0	0,164783 102	25	0,077397 86	0,076596 47	15,91454 87	15,74976 56	106,0778 89	107,1877 374
18	0,035525 763	0	0,115746 65	0	0	0	0,151272 417	25	0,076520 59	0,075784 9	15,73416 45	15,58289 21	107,2940 18	108,3355 853
	0,035525 763	0,015601 06	0,115746 65	0	0	0	0,166873 474	25	0,076596 47	0,075784 9	15,74976 56	15,58289 21	107,1877 37	108,3355 853
19	0,184508 41	0	0,601147 7	0	0	0	0,785656 112	25	0,075312 01	0,0715	15,48565 61	14,7	109,0158 35	114,828
	0,184508 41	0,097235 98	0,601147 7	0	0	0	0,882892 094	25	0,075784 9	0,0715	15,58289 21	14,7	108,3355 85	114,828

Velocidad inicial	Velocidad Final	TOTAL	5,69	PSI	Caudal	25,3	ft3/s	Caudal	18,2	ft3/s
25,23663	35		392,30	mBar	Salida	1516	CFM	Entrada	1093	CFM
66			157,49	in H2O		2577	m3/h		1858	m3/h

## APÉNDICE C

### Selección de Válvula Dosificadora

Para la dosificación del Maíz se utilizará una válvula de tipo rotatoria comúnmente llamada esclusa, con alabes sellantes que evitará que se escape el aire en el Sistema de Transporte.

La capacidad de dosificación es de 25 t/h mayor a las 23 t/h a la cual se diseña el transportador helicoidal, este incremento en la capacidad se da para evitar el estancamiento del material. La selección se realiza haciendo uso de la información suministrada por el fabricante de válvulas rotatorias (WAM, 1995).

**Tabla C-1 Selección en Base a la Capacidad de Dosificación**

CAPACITY IN lb/h WITH A SPECIFIC WEIGHT OF 63 lb/c. foot				
SPEED	RV 6"	RV8"	RV 10"	RV12"
10 rpm	2900	7100	14600	25900
20 rpm	5800	14300	29200	51900
30 rpm	8700	21500	43900	77800
Variable Speed				
4 rpm	1100	2900	5800	10400
22 rpm	6400	15800	32200	57100

Fuente: Catálogo WAM de Válvulas Rotatorias.

Para obtener la capacidad máxima de alimentación del Maíz, las unidades que se encuentran en t/h se las convierte a lb/h, para luego por medio de una proporción de densidades llevarla a 63 lb/ft<sup>3</sup> como indica la *Tabla C-1*.

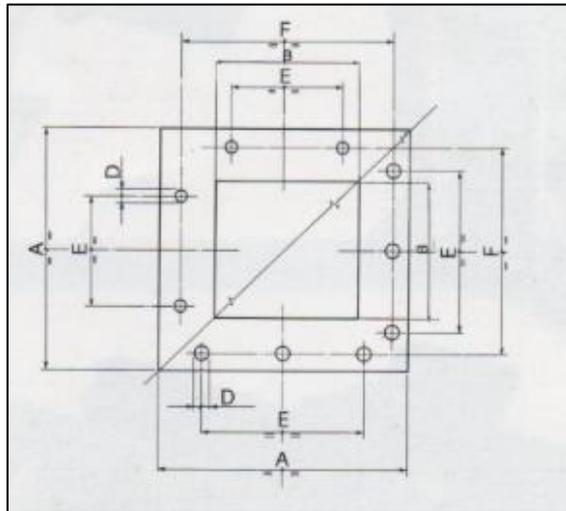
$$Capacidad_{max} = 25 \frac{t}{h} * 2.2 \frac{lb}{t} = 55000 \frac{lb}{h}$$

$$\rho_{Maiz} = 722 \frac{kg}{m^3} * 2.2 \frac{lb}{kg} * \frac{1 m^3}{(3.28 ft)^3} = 147.64 \frac{lb}{ft^3}$$

$$Capacidad_{max} = \frac{63 \frac{lb}{ft^3}}{147.64 \frac{lb}{ft^3}} * 55000 \frac{lb}{h}$$

$$Capacidad_{max} = 23469.25 \frac{lb}{h}$$

Se selecciona la Válvula Rotatoria RV 12" a 10 RPM debido a que es capaz de soportar la capacidad requerida.



**Figura C-1 Dimensiones de la Válvula Rotatoria**

Fuente: Catálogo WAM de Válvulas Rotatorias.

**Tabla C-2 Dimensión de Brida de Entrada y Salida**

SIZE	A	B	D	E	F
RV 6"	10 7/16"	5 29/32"	9/16"	4 23/72"	8 55/64"
RV 8"	12 19/32"	7 7/8"	9/16"	5 29/32"	11 1/32"
RV 10"	14 3/4"	9 27/32"	9/16"	7 3/32"	13 3/16"
RV 12"	17 5/16"	11 13/16"	3/4"	5 1/8"	15 3/4"

Fuente: Catálogo WAM de Válvulas Rotatorias.

# APÉNDICE D

## Selección de Brida para Acople Rígido de Tubería

Tabla D-1 Características de Brida Victaulic

Tamaño		Separación de extremos de tubería <sup>3</sup>		Perno/tuerca <sup>4</sup>		Dimensiones					Peso
Tamaño nominal DN	Diámetro exterior real pulgadas mm	Admisible pulgadas mm	Cant.	Tamaño pulgadas mm	Preensamblado (condición Installation-Ready™)		Unión ensamblada			Aproximado (unitario) lb kg	
					X pulgadas mm	Y pulgadas mm	X pulgadas mm	Y pulgadas mm	Z pulgadas mm		
2	2.375	0.15	2	1/2 x 3	4.00	6.13	3.63	6.13	2.13	2.7	
DN50	60.3	3.8		M12 x 76	100	156	92	156	54	1.2	
2 1/2	2.875	0.15	2	1/2 x 3	4.50	6.75	4.00	6.75	2.13	3.0	
	73.0	3.8		M12 x 76	114	171	102	171	54	1.4	
DN65	3.000	0.15	2	1/2 x 3	4.63	6.88	4.13	6.88	2.13	3.1	
	76.1	3.8		M12 x 76	118	175	105	175	54	1.4	
3	3.500	0.15	2	1/2 x 3 1/4	5.25	7.38	4.63	7.50	2.13	3.7	
DN80	88.9	3.8		M12 x 83	133	187	118	191	54	1.7	
4	4.500	0.15	2	1/2 x 3 1/4	6.63	8.75	5.88	8.75	2.13	5.1	
	DN100	114.3		3.8	M12 x 83	168	222	149	222	54	2.3
	4.250	0.15	2	1/2 x 3 1/4	6.38	8.50	5.75	8.50	2.13	4.7	
	108.0	3.8		M12 x 83	162	216	146	216	54	2.1	
5	5.563	0.15	2	3/4 x 4	7.75	10.25	7.13	10.25	2.25	7.0	
	141.3	3.8		M16 x 101	197	260	181	260	57	3.2	
	5.250	0.15	2	3/4 x 4	7.50	10.00	6.75	9.88	2.25	6.1	
	133.0	3.8		M16 x 101	191	254	171	251	57	3.0	
DN125	5.500	0.15	2	3/4 x 4	7.75	10.25	7.00	10.13	2.25	6.7	
	139.7	3.8		M16 x 101	197	260	178	257	57	3.0	
6	6.625	0.15	2	3/4 x 4	8.88	11.38	8.13	11.25	2.25	8.2	
	DN150	168.3		3.8	M16 x 101	226	289	207	286	57	3.7
	6.250	0.15	2	3/4 x 4	8.50	11.00	7.75	10.88	2.25	7.6	
	159.0	3.8		M16 x 101	216	279	197	276	57	3.4	
	6.500	0.15	2	3/4 x 4	8.75	11.25	8.00	11.13	2.25	7.9	
	165.1	3.8		M16 x 101	222	286	203	283	57	3.6	
	8.515	0.22	2	3/4 x 5	11.25	14.25	10.38	14.13	2.63	15.0	
	DN200	216.3		5.6	M20 x 127	286	362	264	359	67	6.8
8	8.625	0.22	2	3/4 x 5	11.25	14.37	10.50	14.25	2.63	15.1	
	DN250	219.1		5.6	M20 x 127	286	365	267	362	67	6.8
10	10.750	0.20	2	3/4 x 6 1/2	13.25	17.00	13.00	17.13	2.75	23.6	
	DN250	273.0		5.1	M22 x 165	337	432	330	435	70	10.7
12	12.750	0.20	2	3/4 x 6 1/2	15.63	19.00	15.00	19.00	2.75	27.2	
	DN300	323.9		5.1	M22 x 165	397	483	381	483	70	12.3

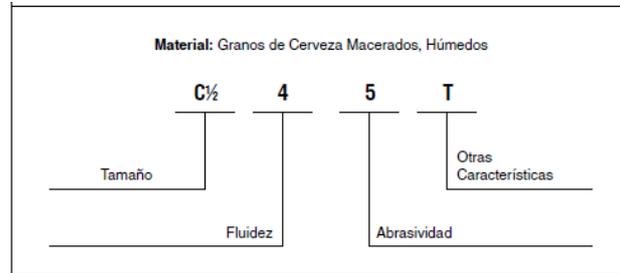
<sup>3</sup> La dimensión de separación permitida de extremos de tubería indicada es solo para fines de tendido del sistema. Los acoples rígidos QuickVic™ Estilo 107N se consideran conexiones rígidas y no admiten la expansión o contracción de los sistemas de tuberías.

<sup>4</sup> El número de pernos requeridos corresponde al número de segmentos.

Fuente: Junta Tipo Acople Rígido 107N, Victaulic.

# APÉNDICE E

## Factores para Dimensionamiento del Transportador Helicoidal



**Figura E-1 Significado Código de Material.**

Fuente: Manejo de Materiales, Alimentador Helicoidal.

**Tabla E-1 Factores de Capacidad para Transportador con Paso Especial**

Factores de Capacidad para Transportador con Paso Especial $CF_1$		
Paso	Descripción	$CF_1$
Estándar	Paso = Diámetro del Helicoidal	1.00
Corto	Paso = $\frac{1}{2}$ Diámetro del Helicoidal	1.50
Medio	Paso = $\frac{1}{2}$ Diámetro del Helicoidal	2.00
Largo	Paso = $1\frac{1}{2}$ Diámetro del Helicoidal	0.67

Fuente: Manejo de Materiales, Alimentador Helicoidal.

**Tabla E-2 Factores de Capacidad con Helicoidal Especial**

Factores de Capacidad para Transportador con Helicoidal Especial $CF_2$			
Tipo de Helicoidal	Carga del Transportador		
	15%	30%	45%
Helicoidal con Corte	1.95	1.57	1.43
Helicoidal con Corte y Doblez	N.R.*	3.75	2.54
Helicoidal de Listón	1.04	1.37	1.62

\*No se recomienda.  
Si no se utilizan ninguno de los tipos anteriores de helicoidal:  $CF_2 = 1.0$ .

Fuente: Manejo de Materiales, Alimentador Helicoidal.

**Tabla E-3 Factores de Capacidad con Paletas Mezcladoras**

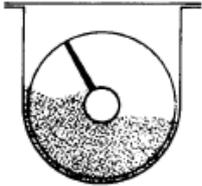
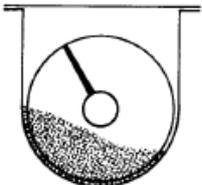
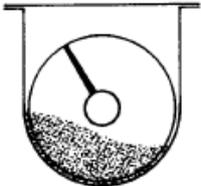
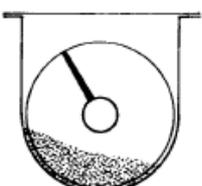
Capacidad para Transportador con Paletas Mezcladoras $CF_3$					
Paletas Estándar de Paso Invertido a 45°	Paletas por Paso				
	Ninguna	1	2	3	4
Factor $CF_3$	1.00	1.08	1.16	1.24	1.32

Fuente: Manejo de Materiales, Alimentador Helicoidal.

## APÉNDICE F

### Factores Para Determinar Requerimiento de Potencia del Transportador Helicoidal

**Tabla F-1 Cargas de Artesa**

	Carga de Artesa	Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Capacidad Pies Cúbicos por Hora (Paso Completo)		Máx. RPM
			A 1 RPM	A Máx. RPM	
<b>45%</b>		4	0.62	114	184
		6	2.23	368	165
		9	8.20	1270	155
		10	11.40	1710	150
		12	19.40	2820	145
		14	31.20	4370	140
		16	46.70	6060	130
		18	67.60	8120	120
		20	93.70	10300	110
		24	164.00	16400	100
	30	323.00	29070	90	
<b>30% A</b>		4	0.41	53	130
		6	1.49	180	120
		9	5.45	545	100
		10	7.57	720	95
		12	12.90	1160	90
		14	20.80	1770	85
		16	31.20	2500	80
		18	45.00	3380	75
		20	62.80	4370	70
		24	109.00	7100	65
	30	216.00	12960	60	
<b>30% B</b>		4	0.41	29	72
		6	1.49	90	60
		9	5.45	300	55
		10	7.60	418	55
		12	12.90	645	50
		14	20.80	1040	50
		16	31.20	1400	45
		18	45.00	2025	45
		20	62.80	2500	40
		24	109.00	4360	40
	30	216.00	7560	35	
<b>15%</b>		4	0.21	15	72
		6	0.75	45	60
		9	2.72	150	55
		10	3.80	210	55
		12	6.40	325	50
		14	10.40	520	50
		16	15.60	700	45
		18	22.50	1010	45
		20	31.20	1250	40
		24	54.60	2180	40
	30	108.00	3780	35	

Fuente: Manejo de Materiales, Transportadores Helicoidales.

La potencia necesaria para operar el transportador esta dado por las ecuaciones mostradas en la la sección 2.7.1.5. A continuacion se detalla el desarrollo de las

ecuaciones con sus debidos factores que fueron determinados por las diferentes *Tablas* dadas en este APÉNDICE F.

$$HP_f = \frac{(10.25) (87) (55) (4.4)}{1,000,000} = 0.216 \text{ HP}$$

$$HP_m = \frac{(1125) (10.25)( 45) (1)(1)(0.5)}{1,000,000} = 0.26 \text{ HP}$$

$$HP \text{ Total} = \frac{(0.216 + 0.26)(2.5)}{0.87} = 1.37 \text{ HP}$$

**Tabla F-2 Factor de Diámetro del Transportador**

Factor del Diámetro del Transportador, $F_d$			
Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Factor $F_d$	Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Factor $F_d$
4	12.0	14	78.0
6	18.0	16	106.0
9	31.0	18	135.0
10	37.0	20	165.0
12	55.0	24	235.0
		30	300.0

Fuente: Manejo de Materiales, Transportadores Helicoidales.

**Tabla F-3 Factor Para Buje Colgante**

Factor del Buje para Colgante		
Tipo de Buje		Factor del Buje para Colgante $F_b$
B	Rodamiento de Bolas	1.0
L	Bronce <i>Martín</i>	2.0
S	* Bronce Grafitado * Bronce, Impregnado en Aceite * Madera, Impregnado en Aceite * Nylatron * * Nylon * Teflón * UHMH * Uretano	2.0
	* Hierro Endurecido <i>Martín</i>	3.4
H	* Superficie Endurecida * Stellite * Cerámica	4.4

\* Bujes no lubricados o bujes sin lubricación adicional.

Fuente: Manejo de Materiales, Transportadores Helicoidales.

**Tabla F-4 Factor del Helicoidal**

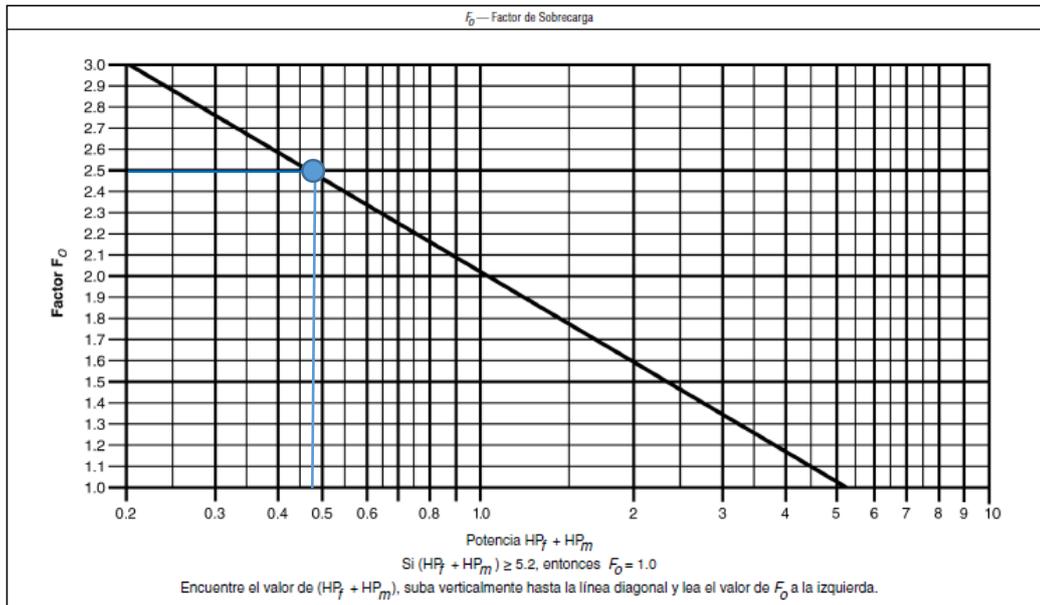
Tipo de Helicoidal	$F_c$ Factor por porcentaje de carga de transportador			
	15%	30%	45%	95%
Estándar	1.0	1.0	1.0	1.0
Helicoidal con Corte	1.10	1.15	1.20	1.3
Con Corte y Doblez	N.R.*	1.50	1.70	2.20
Helicoidal de Listón	1.05	1.14	1.20	—
*No recomendada				

Fuente: Manejo de Materiales, Transportadores Helicoidales.

**Tabla F-5 Factor de Paletas**

Número de Paletas por Paso	Factor de Paleta, $F_p$				
	Paletas Estándar por Paso. Paletas Ajustadas a 45° Paso Invertido				
	0	1	2	3	4
Factor de Paleta — $F_p$	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

Fuente: Manejo de Materiales, Transportadores Helicoidales.



**Figura F-1 Factor de Sobrecarga**

Fuente: Manejo de Materiales, Transportadores Helicoidales.

# APENDICE G

## Selección de Elementos Estándares Tornillo Helicoidal

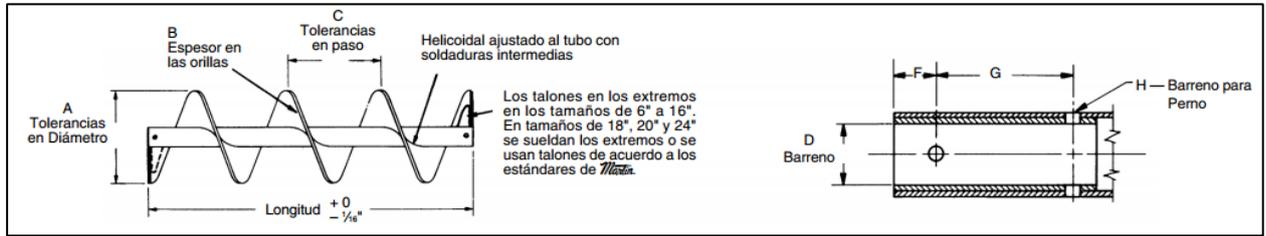
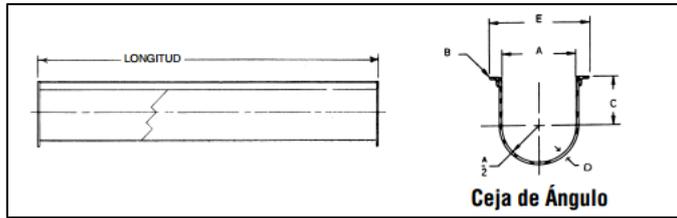


Tabla G-1 Helicoidales Seccionales Paso Estándar

Diámetro del Helicoidal y Paso	Diámetro del Ejes	Designación de Tamaño	Tamaño de Tubo Cédula 40	Longitud, Pies y Pulgadas	A		B	C		D		F	G	H
					Tolerancia en Diámetro			Tolerancia en Paso	Diámetro Interno del Buje					
					Más	Menos			Más	Menos	Mínimo			
6	1½	6S312	2	9-10	¼	¾	¾	¼	¼	1.505	1.516	¾	3	¾
	1½	9S312	2	9-10	¼	¾	¾	¼	¼	1.505	1.516	¾	3	¾
9	2	9S412	2½	9-10	¼	¾	¾	¼	¼	2.005	2.016	¾	3	¾
	2	9S416	2½	9-10	¼	¼	¼	¼	¼	2.005	2.016	¾	3	¾
10	2	10S412	2½	9-10	¼	¾	¾	¼	¼	2.005	2.016	¾	3	¾
	2	12S412	2½	11-10	¼	¾	¾	¼	¼	2.005	2.016	¾	3	¾
12	2½	12S512	3	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	2.443	2.458	¾	3	¾
	2½	12S516	3	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	2.443	2.458	¾	3	¾
	3	12S616	3½	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	3.005	3.025	1	3	¾
14	3	12S624	3½	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	3.005	3.025	1	3	¾
	2½	14S512	3	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	2.443	2.458	¾	3	¾
	3	14S616	3½	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	3.005	3.025	1	3	¾
16	3	14S624	3½	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	3.005	3.025	1	3	¾
	3	16S612	3½	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	3.005	3.025	1	3	¾
	3	16S616	3½	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	3.005	3.025	1	3	¾
18	3	16S624	3½	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	3.005	3.025	1	3	¾
	3	18S612	3½	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	3.005	3.025	1	3	¾
	3	18S616	3½	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	3.005	3.025	1	3	¾
20	3	18S624	3½	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	3.005	3.025	1	3	¾
	3	20S612	3½	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	3.005	3.025	1	3	¾
	3	20S616	3½	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	3.005	3.025	1	3	¾
24	3	20S624	3½	11-9	¼	¾	¾	¼	¼	3.005	3.025	1	3	¾
	3½	24S712	4	11-8	¼	¾	¾	¼	¼	3.443	3.467	1½	4	¾
	3½	24S716	4	11-8	¼	¾	¾	¼	¼	3.443	3.467	1½	4	¾
	3½	24S724	4	11-8	¼	¾	¾	¼	¼	3.443	3.467	1½	4	¾
24	3½	24S732	4	11-8	¼	¾	¾	¼	¼	3.443	3.467	1½	4	¾

Fuente: Manejo de Materiales, Alimentadores Helicoidales.

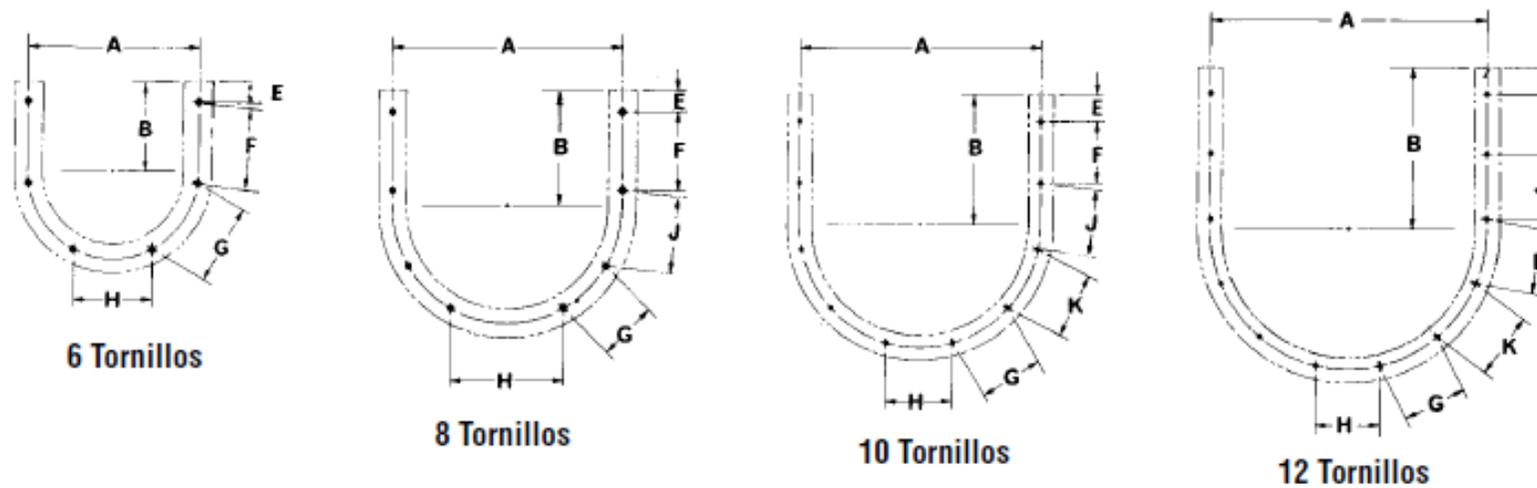
**Tabla G-2 Artesas Para Transportador Tipo U**



Diámetro del Transportador	D	Ceja de Ángulo	Artesa con Ceja de Ángulo				A	B	C	E	F
			Peso lb		Peso lb						
			Largo 10**	Largo 5**	Largo 12**	Largo 6**					
4	16 Cal.	4CTA16	53	29	—	—	5	1½	3%	7¼	7¼
4	14	4CTA14	60	33	—	—				7¾	7¼
4	12	4CTA12	78	42	—	—				7¼	7¼
6	16 Cal.	6CTA16	67	44	—	—	7	1½	4½	9¾	9¼
6	14	6CTA14	78	49	—	—				9¼	9¼
6	12	6CTA12	101	60	—	—				9¾	9¾
6	10	6CTA10	123	73	—	—				9¾	9¾
6	¾	6CTA7	164	86	—	—			9%	9%	
9	16 Cal.	9CTA16	113	66	—	—	10	1½	6%	13¼	13¼
9	14	9CTA14	127	73	—	—				13¾	
9	12	9CTA12	156	87	—	—				13¼	
9	10	9CTA10	176	102	—	—				13¾	
9	¾	9CTA7	230	124	—	—				13%	
9	¼	9CTA3	286	152	—	—	13½				
10	16 Cal.	10CTA16	118	69	—	—	11	1½	6%	14¼	14¼
10	14	10CTA14	133	76	—	—				14¾	
10	12	10CTA12	164	92	—	—				14¼	
10	10	10CTA10	178	102	—	—				14¾	
10	¾	10CTA7	233	131	—	—				14%	
10	¼	10CTA3	306	163	—	—				14½	
12	12 Cal.	12CTA12	197	113	236	135	13	2	7%	17¼	17½
12	10	12CTA10	234	133	281	160				17¾	
12	¾	12CTA7	294	164	353	197				17%	
12	¼	12CTA3	372	203	446	244				17½	
14	12 Cal.	14CTA12	214	121	257	145	15	2	9%	19¼	19¾
14	10	14CTA10	258	143	309	172				19¾	
14	¾	14CTA7	328	180	394	216				19%	
14	¼	14CTA3	418	224	501	269				19½	
16	12 Cal.	16CTA12	238	133	285	160	17	2	10%	21¼	21½
16	10	16CTA10	288	159	345	191				21¾	
16	¾	16CTA7	368	200	442	240				21%	
16	¼	16CTA3	471	243	565	291				21½	
18	12 Cal.	18CTA12	252	159	302	191	19	2½	12%	24¼	24½
18	10	18CTA10	353	170	423	204				24¾	
18	¾	18CTA7	444	243	533	291				24%	
18	¼	18CTA3	559	298	671	358				24½	
20	10 Cal.	20CTA10	383	228	460	274	21	2½	13½	26¾	26%
20	¾	20CTA7	484	271	581	325				26%	
20	¼	20CTA3	612	334	734	401				26½	
24	10 Cal.	24CTA10	443	255	531	306	25	2½	16½	30¾	30%
24	¾	24CTA7	563	319	676	383				30%	
24	¼	24CTA3	717	363	860	435				30%	

Fuente: Manejo de Materiales, Alimentadores Helicoidales.

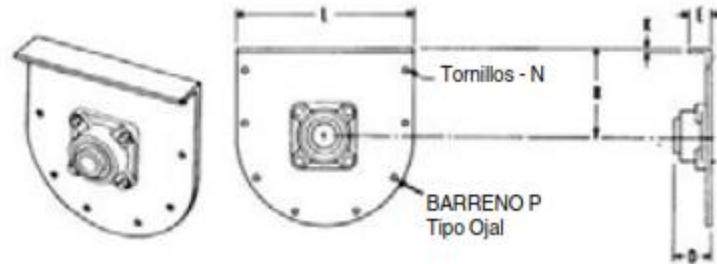
Tabla G-3 Tornillos para Bridas para Artesa Tipo U



Diámetro del Helicoidal	Tornillos		A	B	E	F	G	H	J	K	L
	Número	Diámetro									
4	6	$\frac{3}{8}$	7	$3\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	—	—	—
6	6	$\frac{3}{8}$	$8\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	—	—	—
9	8	$\frac{3}{8}$	$12\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	—	—
10	8	$\frac{3}{8}$	$13\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	—	—
12	8	$\frac{1}{2}$	$15\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	—	—
14	8	$\frac{1}{2}$	$17\frac{1}{2}$	$9\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	—	—
16	8	$\frac{3}{8}$	20	$10\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	—	—
18	10	$\frac{3}{8}$	22	$12\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{8}$	$5\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	—
20	10	$\frac{3}{8}$	$24\frac{1}{2}$	$13\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{8}$	$6\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	—
24	12	$\frac{3}{8}$	$28\frac{1}{2}$	$16\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{8}$	$6\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$

Fuente: Manejo de Materiales, Transportadores Helicoidales.

Tabla G-4 Bridas para Artesa Tipo U



Diámetro del Transportador	Diám. de Eje	• Número de Parte	B	D			E	K	L	N	Peso lb	P Ojal
				Rodamiento de Fricción	Rodamiento de Bolas	Rodamiento de Rodillos						
4	1	4TE2-*	3%	2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	1%		1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	¼	8%	¾	3	7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> x 7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>
6	1½	6TE3-*	4½	3 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	3 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	1½	¼	10%	¾	4	7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> x 7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>
9	1½	9TE3-*	6%	3¼	2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	3 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	1%	¼	13¼	¾	9	7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> x 7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>
	2	9TE4-*	6%	4¼	2½	3 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	1%	¼	13¼	¾	9	7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> x 7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>
10	1½	10TE3-*	6%	3¼	2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	3 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	1¼	¼	14¼	¾	11	7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> x 7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>
	2	10TE4-*	6%	4¼	2½	3 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	1¼	¼	14¼	¾	11	7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> x 7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>
12	2	12TE4-*	7%	4¼	2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	3%	2	¼	17¼	½	20	7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> x 1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>
	2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	12TE5-*	7%	5%	2 <sup>15</sup> / <sub>16</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	2	½	17¼	½	20	
	3	12TE6-*	7%	6%	3%	4 <sup>15</sup> / <sub>16</sub>	2	¼	17¼	½	20	
14	2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	14TE5-*	9¼	5 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	2 <sup>15</sup> / <sub>16</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	2	¼	19¼	½	35	7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> x 1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>
	3	14TE6-*	9¼	5 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	3%	4 <sup>15</sup> / <sub>16</sub>	2	¼	19¼	½	35	
16	3	16TE6-*	10%	6 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	3 <sup>15</sup> / <sub>16</sub>	5	2½	¾	21¼	¾	42	1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> x 1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>
18	3	18TE6-*	12%	6%	3 <sup>15</sup> / <sub>16</sub>	5	2½	¾	24¼	¾	60	1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> x 1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>
	3 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	18TE7-*	12%	7%	4 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	2½	¾	24¼	¾	60	
20	3	20TE6-*	13½	6%	3%	5 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	2½	¾	26¼	¾	90	1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> x 1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>
	3 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	20TE7-*	13½	7%	4%	5%	2½	¾	26¼	¾	90	
24	3 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	24TE7-*	16½	7%	4%	5%	2½	¾	30¼	¾	120	1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> x 1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>

Fuente: Manejo de Materiales, Transportadores Helicoidales.

## APENDICE H

### Eficiencias de Reductores de Velocidad.

**Tabla H-1 Eficiencias de Diferentes Mecanismos Reductores de Velocidad**

<b>Tipo de Mecanismo Reductor de Velocidad</b>	<b>Eficiencia Mecánica Aprox.</b>
Faja en V	0.94
Cadena de Rodillos con Sprockets tallados, sin cubierta	0.93
Cadena de Rodillos con Sprockets tallados, encerramiento hermético de aceite	0.95
Reductor de Velocidad o Motorreductor de Engranajes Helicoidales con Reducción Simple	0.98
Reductor de Velocidad o Motorreductor de engranajes Helicoidales con Reducción Doble	0.97
Reductor de Velocidad o Motorreductor de Engranajes Helicoidales con Reducción Triple	0.95
Reducción Bihelicoidal, Reductor de Velocidad montado sobre el eje	0.97
Reductor de Velocidad Helicoidal Cónico con Reducción Simple, Doble o Triple	0.94
Reductor de Velocidad Helicoidal de Tornillo Rango Bajo (n hasta 20:1)	0.90
Reductor de Velocidad Helicoidal de Tornillo Rango Medio (n de 20:1 hasta 60:1)	0.85
Reductor de Velocidad Helicoidal de Tornillo Rango Alto (n de 60:1 hasta 100:1)	0.78
Reductor de Velocidad de Tornillo sin fin Rango Bajo (n hasta 20:1)	0.90
Reductor de Velocidad de Tornillo sin fin Rango Medio (n de 20:1 hasta 60:1)	0.70
Reductor de Velocidad de Tornillo sin fin Rango Alto (n de 60:1 hasta 100:1)	0.50

Fuente: CEMA Belt Conveyor for Bulk Materials.

## APÉNDICE I

### Selección de Motorreductor para el Transportador Tornillo Sin Fin

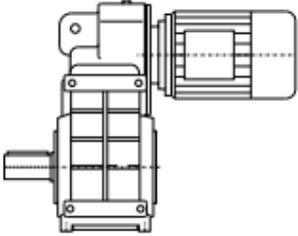
El motorreductor se lo seleccionó utilizando el catálogo de SIEMENS D87.1-2011. La selección comienza de acuerdo a las características del reductor que se requiere instalar, se elige un reductor de ejes paralelos debido a que es uno que va a utilizar poco espacio y tiene un mayor torque.

Del catálogo se selecciona un modelo que cumpla los requisitos que sea de aproximadamente 2 HP, con una velocidad de giro de salida de 87 rpm. El equipo con las características más cercanas a los requerimientos es el FZ.48-LA90ZLB4E, con referencia 2KJ1303-EQ13-L1 que tiene 1.5 kW (2 HP) y una velocidad de giro de salida de 88 rpm detallado en la *Figura I-1*.

Output speed $n_2$ (50 Hz) rpm	Output torque $T_2$ Nm	Service factor $f_B$	Gearbox ratio $i_{tot}$	Order No.	Order code (No. of poles)	Weight <sup>*)</sup> kg
<b>FZ.48B-LA90ZLB4E</b>						
26	549	0.91	55.19	2KJ1302 - ■EQ13 - ■■A2		37
29	493	1.1	49.58 ★	2KJ1302 - ■EQ13 - ■■X1		37
34	423	1.3	42.5	2KJ1302 - ■EQ13 - ■■W1		37
38	382	1.4	38.45 ★	2KJ1302 - ■EQ13 - ■■V1		37
41	353	1.5	35.49	2KJ1302 - ■EQ13 - ■■U1		37
47	307	1.8	30.86 ★	2KJ1302 - ■EQ13 - ■■T1		37
51	279	1.9	28.02	2KJ1302 - ■EQ13 - ■■S1		37
56	255	2.1	25.59 ★	2KJ1302 - ■EQ13 - ■■R1		37
61	234	2.3	23.48	2KJ1302 - ■EQ13 - ■■Q1		37
67	215	2.5	21.63 ★	2KJ1302 - ■EQ13 - ■■P1		37
73	195	2.8	19.64	2KJ1302 - ■EQ13 - ■■N1		37
80	178	3.0	17.89 ★	2KJ1302 - ■EQ13 - ■■M1		37
88	163	3.3	16.39	2KJ1302 - ■EQ13 - ■■L1		37

**Figura I-1 Selección Inicial del Motorreductor para el Transportador Tornillo Sin Fin**

Fuente: Catálogo Motorreduct (DONGFENG) (WAMGROUP) (Victaulic, 2015) (Dresser, 2014)ores SIEMENS® D87.1.

Mounting type	Order No. 14th position	Code in type designation 3rd position for solid shaft, 4th position for hollow shaft	Representation
Foot-mounted design	A	-	
Housing flange (C-type)	H	Z	
Design with torque arm	D	D	

**Figura I-2 Arreglo del Motorreductor**

Fuente: Catálogo Motorreductores SIEMENS® D87.1.

Los dígitos sin definir en los cuadros azules de la *Figura I-1* muestran el tipo de eje de salida, la tensión de trabajo y la característica de fijación del equipo (Catálogo Motorreductores SIEMENS® D87.1). Por motivos de diseño se procede a seleccionar un motorreductor con eje hueco de diámetro del eje, el cual opera con un voltaje de 440 V y se elaboración va a ser con “Centraje tipo C” mostrada en la *Figura I-2*.



**Tabla I-1 Dimensiones del Motorreductor para Transportador Tornillo Sin Fin**

Motor	F.A.48B								Weight	
	k	kB	AC	AD	AG	LL	HH	O	FDA.48B	FZA.48B
LA71	392.0	447.0	139.0	146	90	90	114.5	M20x1.5/M25x1.5	24	24
LA71Z	411.0	466.0	139.0	146	90	90	114.5	M20x1.5/M25x1.5	24	24
LA80	429.0	492.5	156.5	155	90	90	114.0	M20x1.5/M25x1.5	29	29
LA80Z	451.5	515.0	156.5	155	90	90	187.0	M20x1.5/M25x1.5	33	33
LA90S/L	460.0	531.0	174.0	163	90	90	114.0	M20x1.5/M25x1.5	34	33
LA90ZL	505.0	576.0	174.0	163	90	90	238.0	M20x1.5/M25x1.5	40	39
LA100L	506.0	587.0	195.0	168	120	120	154.5	2xM32x1.5	43	42
LA100ZL	576.0	657.0	195.0	168	120	120	286.5	2xM32x1.5	53	52
LA112M	535.5	616.5	219.0	181	120	120	160.0	2xM32x1.5	-	53
LA112ZM	563.5	644.5	219.0	181	120	120	264.0	2xM32x1.5	-	60

Fuente: Catálogo Motorreductores SIEMENS® D87.1.

# APÉNDICE J

## Selección de Filtro de Desempolvado

Tabla J-1 Información General del Filtro de Desempolvado

High Efficiency Blowing Pipes With Elliptical Nozzles

Maintenance-free Air Jet Cleaning Unit Integrated Into Weather Protection Cover

Quick Release Filter Element Replacement

Easy and safe dust emission sampling  
Sampling pipe extension not supplied

SILOTOP® zero 24.5 m<sup>2</sup>

Seal Frame With Integrated Anti-Intrusion Grille

Comfortable Cover Opening System With Gas Cylinder

zero POLYPLEAT® Filter Elements With Integrated Venturi Shafts Ensure Optimum Filter Surface - Body Volume Ratio

SILOTOP® zero 14 m<sup>2</sup>

Overall Dimensions					
CODE	BODY Ø mm [in]	FILTER SURFACE m <sup>2</sup> [sq ft]	MAX. HEIGHT WHEN CLOSED mm [in]	MAX. HEIGHT WHEN OPEN mm [in]	WEIGHT kg [lb]
SILAB 14	800 [31.5]	14.0 [150]	1,100 [43.3]	1,850 [72.8]	68 [150]
SILAB 24	800 [31.5]	24.5 [264]	1,100 [43.3]	1,850 [72.8]	79 [174]

Fuente: Catálogo de Productos SILOTOP.

# APÉNDICE K

## Selección del Blower

Tabla K-1 Información General de la Selección del Blower

Frame Size	Speed	4 PSI		5 PSI		6 PSI		7 PSI		8 PSI		9 PSI		10 PSI		12 PSI		13 PSI		14 PSI		15 PSI		VACUUM DATA		
		CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	INHG	CFM	BHP										
22	2950	31	0.9	29	1.1	27	1.3	26	1.5	24	1.7	23	1.9	21	2.1									13	20	1.3
	3550	40	1.0	39	1.3	37	1.5	35	1.8	34	2.0	32	2.3	31	2.5	28	3.0							14	28	1.7
	5275	68	1.6	66	2.0	64	2.4	63	2.7	61	3.1	60	3.5	59	3.8	56	4.6							15	53	2.8
24	2950	68	1.7	65	2.1	63	2.5	60	2.9															14	48	2.8
	3550	88	2.0	85	2.5	82	3.0	79	3.5															14	67	3.4
	5275	143	3.1	140	3.9	137	4.6	134	5.4															15	119	5.5
32	1750	54	1.4	51	1.7	48	2.1	45	2.4	43	2.8	41	3.1	39	3.5	35	4.1							13	37	2.2
	2950	108	2.4	105	3.0	102	3.6	99	4.2	97	4.7	95	5.3	93	5.9	89	7.1	87	7.6	86	8.2	84	8.8	15	84	4.3
	3550	135	3.0	132	3.7	129	4.4	126	5.1	124	5.8	122	6.5	120	7.2	116	8.6	114	9.3	113	10.0	111	10.6	16	108	5.6
33	1750	75	1.9	71	2.4	67	2.9	64	3.3	61	3.8	58	4.3	56	4.7	51	5.7							13	53	3.0
	2950	149	3.3	145	4.1	141	4.9	138	5.7	135	6.5	132	7.3	130	8.1	125	9.7							15	119	5.9
	3550	186	4.1	182	5.0	178	6.0	175	6.9	172	7.9	169	8.8	167	9.8	162	11.7							15	156	7.2
36	1750	132	3.2	126	3.9	121	4.7	117	5.5															14	95	5.4
	2950	254	5.5	249	6.8	244	8.1	239	9.4															15	212	9.8
	3550	316	6.7	310	8.3	305	9.9	300	11.5															15	273	11.9
42	1750	78	1.9	74	2.4	71	2.8	69	3.3	66	3.7	64	4.2	61	4.7	57	5.6	55	6.0					14	55	3.2
	2950	150	3.3	147	4.1	144	4.9	141	5.7	139	6.5	136	7.2	134	8.0	130	9.6	128	10.3	126	11.1	124	11.9	16	121	6.2
	3550	187	4.1	183	5.1	180	6.0	177	7.0	175	7.9	172	8.8	170	9.8	166	11.6	164	12.6	162	13.5	160	14.4	16	157	7.6
45	1750	161	3.8	155	4.7	150	5.6	145	6.6	140	7.5	136	8.4	132	9.3									14	121	6.4
	2950	306	6.7	300	8.2	295	9.8	290	11.3	285	12.9	281	14.4	277	16.0									16	253	12.5
	3550	379	8.2	373	10.1	368	12.0	363	13.9	358	15.7	354	17.6	349	19.5									16	326	15.2
47	1750	215	5.0	208	6.2	201	7.4	195	8.6															14	165	8.4
	2950	407	8.8	399	10.8	392	12.9	386	14.9															15	348	15.4
	3550	502	10.9	495	13.3	488	15.8	482	18.3															15	444	18.8
53	1170	113	2.7	108	3.4	103	4.1	99	4.8	96	5.4	92	6.1	89	6.8	82	8.1							13	85	4.3
	1750	189	4.2	184	5.2	180	6.2	176	7.2	172	8.2	168	9.2	165	10.3	159	12.3	156	13.3	153	14.3			15	151	7.5
	2850	334	7.4	329	9.0	325	10.7	321	12.3	317	14.0	313	15.6	310	17.2	304	20.5	301	22.1	298	23.8	295	25.4	16	291	13.4
56	1170	196	4.6	188	5.7	182	6.9	175	8.0	170	9.1	164	10.2	159	11.4	150	13.6							14	146	7.8
	1750	324	7.0	316	8.7	310	10.4	304	12.1	298	13.8	292	15.5	287	17.2	278	20.5	273	22.2					15	266	12.6
	2850	567	12.2	560	15.0	553	17.7	547	20.5	541	23.2	536	26.0	530	28.7	521	34.2	517	37.0					16	501	22.4
59	1170	299	6.7	290	8.4	281	10.0	273	11.7															14	237	11.4
	1750	486	10.3	477	12.8	469	15.2	461	17.7															15	414	18.4
	2850	842	18.0	832	22.0	824	26.0	816	30.0															15	770	30.8
65	1170	223	5.2	215	6.4	208	7.7	202	8.9	196	10.2	190	11.5	185	12.7	175	15.2	171	16.5	166	17.7			14	171	8.7
	1750	365	8.0	358	9.9	351	11.8	344	13.7	339	15.6	333	17.4	328	19.3	318	23.1	313	24.9	309	26.8	305	28.7	16	297	15.1
	2350	513	11.4	505	13.9	499	16.4	492	19.0	486	21.5	481	24.0	475	26.5	465	31.6	461	34.1	456	36.6	452	39.1	16	445	20.6
68	1170	358	8.3	345	10.3	334	12.3	324	14.3	314	16.3	305	18.3	297	20.3	281	24.4	274	26.4	267	28.4			14	275	13.9
	1750	587	12.7	574	15.7	563	18.7	553	21.8	544	24.8	535	27.8	526	30.8	510	36.8	503	39.8	496	42.9			16	478	24.0
	2350	824	17.8	811	21.8	800	25.9	790	29.9	781	34.0	772	38.0	763	42.1	747	50.2	740	54.2	733	58.3			16	715	32.8
615	1170	670	15.4	647	19.1	626	22.9	607	26.7															11	581	20.5
	1750	1099	23.4	1076	29.1	1055	34.7	1036	40.4															12	989	33.7
	2350	1543	32.4	1520	40.0	1499	47.6	1480	55.2															12	1433	46.0
76	1170	393	8.6	383	10.6	374	12.7	367	14.8	359	16.8	352	18.9	346	21.0	333	25.1	328	27.2	322	29.2	317	31.3	15	319	15.4
	1750	628	13.4	618	16.5	609	19.6	601	22.7	594	25.8	587	28.9	580	32.0	568	38.1	562	41.2	557	44.3	552	47.4	16	543	24.9
	2050	749	16.2	740	19.8	731	23.4	723	22.0	716	30.6	709	34.3	702	37.9	690	45.1	684	48.7	678	52.4	623	56.0	16	664	29.5
711	1170	738	15.5	723	19.2	710	23.0	697	26.8	686	30.5	675	34.3	665	38.1									15	623	27.9
	1750	1166	23.9	1151	29.5	1138	35.2	1125	40.8	1114	46.4	1103	52.0	1093	57.7									16	1035	45.0
	2050	1387	28.6	1372	35.2	1359	41.8	1347	48.4	1335	55.0	1324	61.6	1314	68.2									16	1256	53.1
718	1170	1224	25.0	1202	31.1	1183	37.2																	12	1122	36.3
	1750	1920	38.2	1898	47.4	1879	56.5																	12	1818	54.8
	2050	2280	45.5	2258	56.2	2239	66.9																	12	2178	64.7

Fuente: Rotary Positive Blowers/Exhausters URAI.

## APÉNDICE L

### Velocidad y Diámetro de Garganta de Venturi

De la ecuación 48 y 49:

$$C_t = \left\{ 2C_p T_i \left[ 1 - \left( \frac{P_t}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] + C_i^2 \right\}^{0.5} \quad d_t = \left[ \frac{C_i}{C_t} * \left( \frac{P_t}{P_i} \right)^{-\frac{1}{\gamma}} \right]^{0.5} * d_i$$

Se procede a igualar  $V_p = \emptyset_z$  obteniendo:

$$C_p T_i + \frac{v_1^2}{2} = C_p T_t + \frac{C_t^2}{2}$$

$$C_t = [2C_p(T_i - T_t) + C_i^2]^{0.5}$$

$$C_t = \left\{ 2C_p T_i \left[ 1 - \left( \frac{P_t}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] + C_i^2 \right\}^{0.5}$$

$$d_t = \left[ \frac{C_i}{C_t} * \left( \frac{P_t}{P_i} \right)^{-\frac{1}{\gamma}} \right]^{0.5} * d_i$$

Se sabe que:

$$P_t = 140,5 \text{ kPa}$$

$$P_i = 160,5 \text{ kPa}$$

$$C_i = 25,23 \text{ m/s}$$

$$C_t = \left\{ 2000 * 298 \left[ 1 - \left( \frac{140,5}{160,5} \right)^{0,286} \right] + 25,23^2 \right\}^{0.5}$$

$$C_t = 150,7 \text{ m/s}$$

$$d_t = 43 \text{ mm}$$

# APÉNDICE K

## Volquete DongFeng

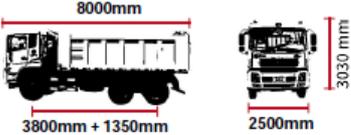
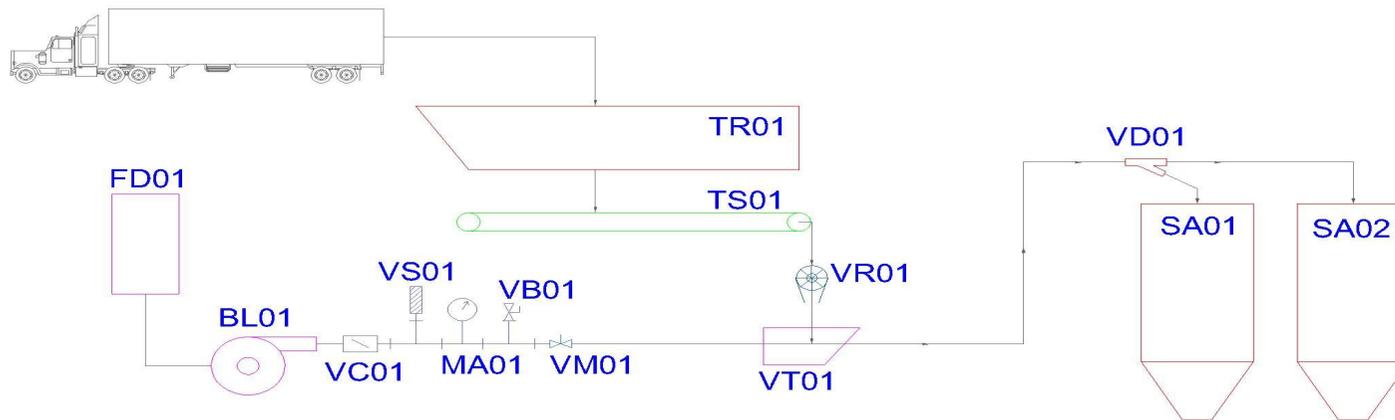
Especificaciones		DFL3251A1			
<b>Dimensiones</b> 		<b>Frenos</b> Modelo: Dongfeng De Servicio: Neumaticos full aire tipo leva tambor con válvula reguladora de freno, ABS Wabco en todos los ejes (4 vías) Freno Auxiliar: Accionado por corte de aire y freno para semiremolque De parqueo: Neumática, cámara de muelle acumulador accionado por resortes actuan sobre el Eje posterior. De Motor: Mando electro neumaticos de comando en el acelerador y embrague. Área fren.6.52 cm <sup>2</sup>		<b>Embrague</b> Modelo: Hidráulico Neumatico SACHS Diámetro del Plato: 430mm	
<b>Pesos</b> Peso Bruto (GVW): 25.000 kg Peso de la Volqueta: 9.200 kg Capacidad de carga: 15.800kg Volumen de Carga: 14m <sup>3</sup>		<b>Cabina</b> Cabina: Full Equipo con cama Inclinación: Mecánica Estilo: T LIFT serie Adelantada con suspensión Cubierta: Antioxidante Parabrisas: Cristal Inastillable Vidrios: Electricos Radio: AM, FM, USB. Cinturones de Seguridad: 3 puntos Asiento Conductor: Ajustable Aire Acondicionado: Si Bloqueo Central: Si Bocina: Eléctrica y Neumática		<b>Suspensión</b> Suspensión Delantera: 9 ballestas con amortiguador Suspensión Posterior: 10 ballestas con tandem	
<b>Motor</b> Marca: Cummins Modelo: ISLe 375 30 Sistema: Injection Bosh Common Rail Maxima Potencia: 375HP a 2100r.p.m Máximo Torque: 1550 Nm/1100 -1400 rpm Cilindrage: 8900cc, 6 cilindros en linea Emisiones: EURO III Aspiración: Turbo, Intercooler Sistema de arranque en Frio: COLD START		<b>Combustible</b> Tipo: Depósito de Aluminio con tapa y seguridad Capacidad: 400litros		<b>Ejes</b> Eje delantero: DF-DANA Capacidad de Carga Eje Delantero: 8 T Eje posterior: DF_DANA Capacidad de Carga Eje Posterior: 2x16 Ton, Cubos reductores (catalina)	
<b>Dirección</b> Tipo: Hidráulica		<b>Sistema Eléctrico</b> Circuito Eléctrico: 24v Batería: 180Ah Capacidad Alternador: 80A		<b>Neumáticos</b> Dimensiones: 12R22,5 Precio ..... Asesor Comercial ..... Contacto .....	
<b>Transmisión</b> Marca: FAST GEAR (EATON FULLER) Modelo: 12JS160T Sincronizada Marchas: 12 + 2 de reversa				<b>Distribuidor exclusivo para Ecuador desde 2005</b>  Cuenca: Av. España 14/55 y Granada, Telfs.: (072)853498 / (072)863028 Quito: Av. 30 de Agosto 4174 y Albornoz, Telfs.: (022)402810 / (022)412087 Guayaquil: Av. las Americas 1041 y Calle La Salle (esquina). Aoaq: Bypass de Aoaq. Telfs.: (022)389823 / 0991808103	

Figura L-1 Volquete DongFeng Seleccionado

Fuente: Catalogo DongFeng

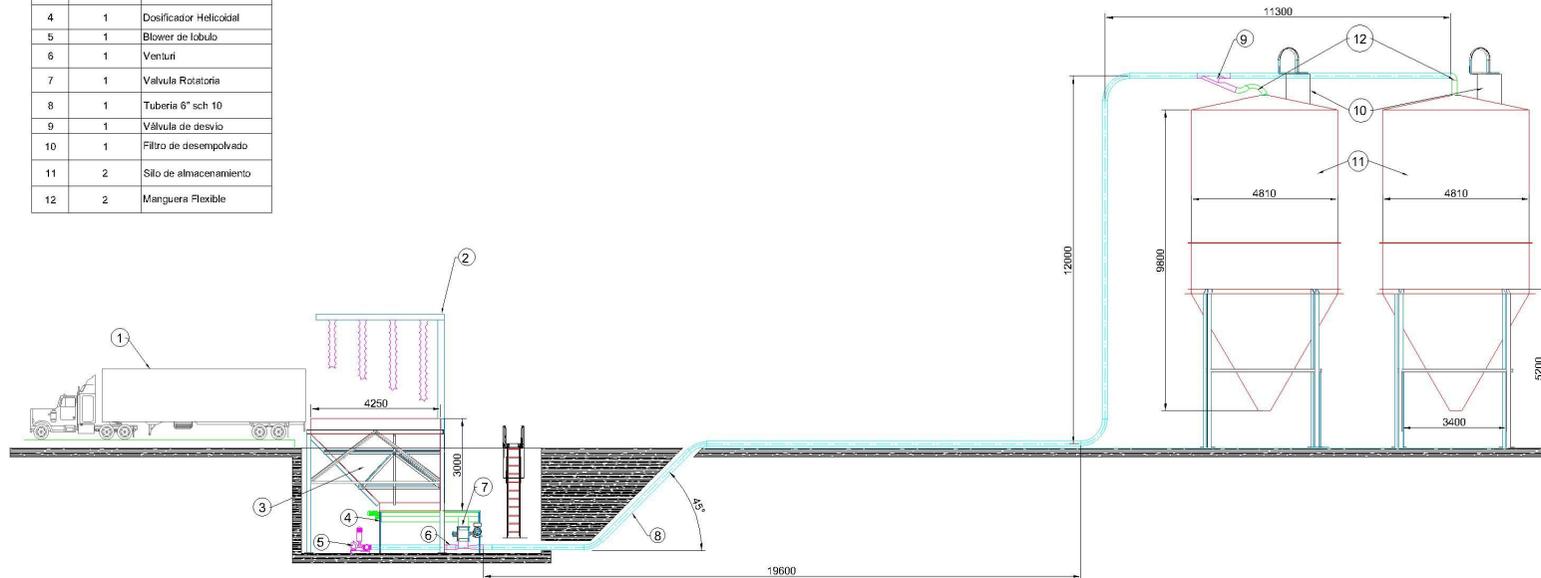
# PLANOS

SIMBOLOGIA		
ITEM	CODIGO	DESCRIPCION
1	TR01	Tolva de Recepción
2	TS01	Transportador de Tornillo
3	VR01	Válvula Rotatoria
4	VT01	Venturi
5	VD01	Válvula de Desvío
6	SA01	Silo de Almacenamiento
7	SA02	Silo de Almacenamiento
8	FD01	Filtro de Desempolvado
9	BL01	Blower
10	VC01	Válvula Check
11	VS01	Válvula de Seguridad
12	MA01	Manometro
13	VB01	Válvula de Bola
14	VM01	Válvula de Mariposa



	NOMBRE	INSTITUCIÓN	TÍTULO: <b>Diagrama de Flujo del Sistema</b>	FORMATO: <b>A4</b>	
	DIBUJ.	Ricardo Ramírez Zapata Jorge Soria Castro			ESPOL
	VERIF.	Ing. Federico Camacho			Proyecto: Sistema Transporte Neumático de Maíz en Grano en Fase Diluida
OBSERVACIONES	FECHA	Enero de 2018	ESCALA: 1:5	Plano: 1	

SIMBOLOGIA		
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	1	Camión
2	1	Cabina retenedora de polvo
3	1	Tolva de alimentación
4	1	Dosificador Helicoidal
5	1	Blower de lobulo
6	1	Venturi
7	1	Valvula Rotatoria
8	1	Tuberia 6" sch 10
9	1	Valvula de desvío
10	1	Filtro de desempolvado
11	2	Silo de almacenamiento
12	2	Manguera Flexible



	NOMBRE	INSTITUCIÓN
DIBUJ.	Ricardo Ramírez Zapata Jorge Soria Castro	<b>ESPOL</b>
VERIF.	Ing. Federico Camacho	Proyecto:
FECHA	Enero de 2018	<b>Sistema Transporte Neumático de Maíz en Grano en Fase Diluida</b>

	NOMBRE	INSTITUCIÓN
DIBUJ.	Ricardo Ramírez Zapata Jorge Soria Castro	<b>ESPOL</b>
VERIF.	Ing. Federico Camacho	Proyecto:
FECHA	Enero de 2018	<b>Sistema Transporte Neumático de Maíz en Grano en Fase Diluida</b>

TÍTULO:	FORMATO:
<b>Diseño Detallado del Sistema</b>	<b>A4</b>

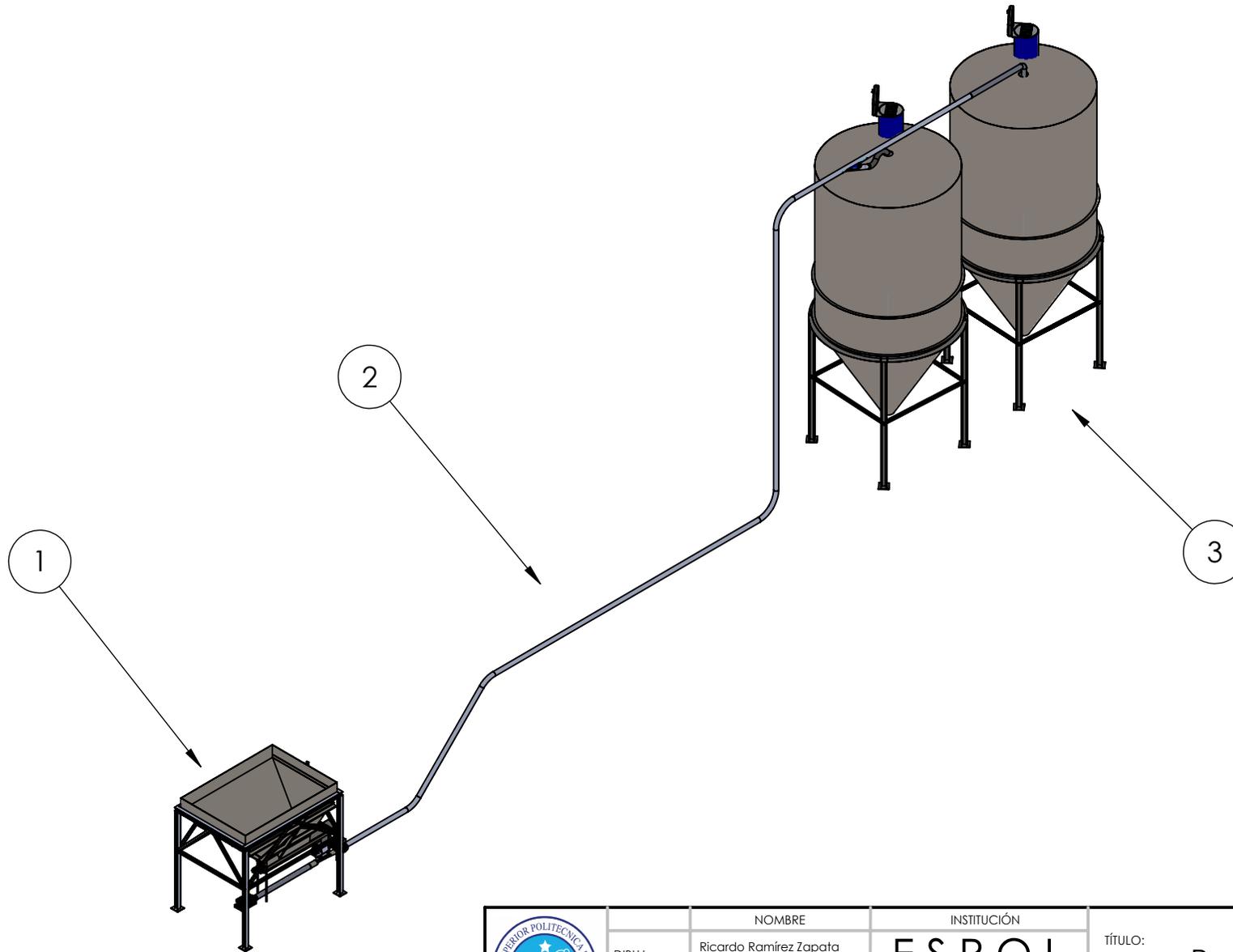
OBSERVACIONES



ESCALA:

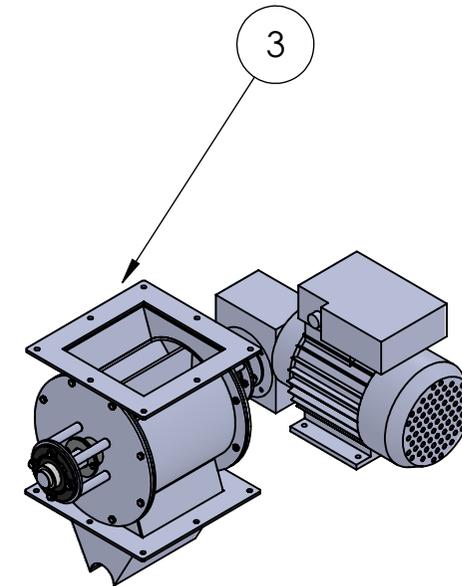
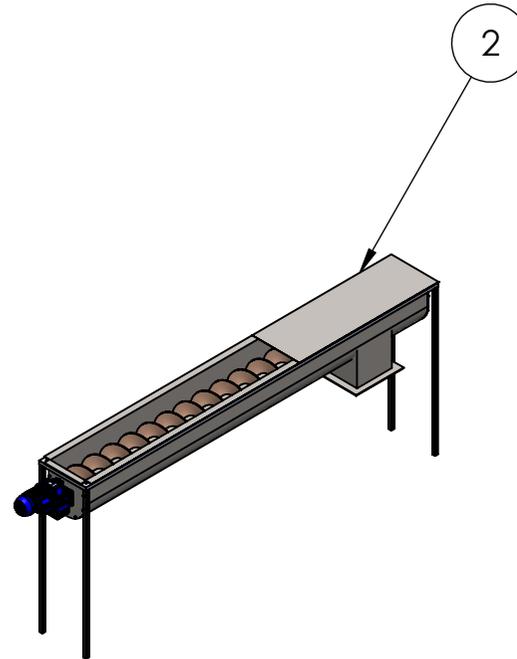
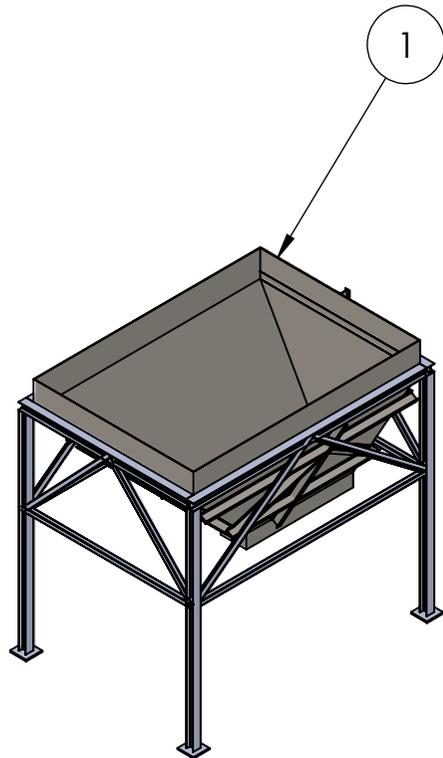
Plano: 2

LISTA DE PARTE		
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Sis. Alimentación
2	1	Sis. Transporte
3	1	Sis. Almacenamiento



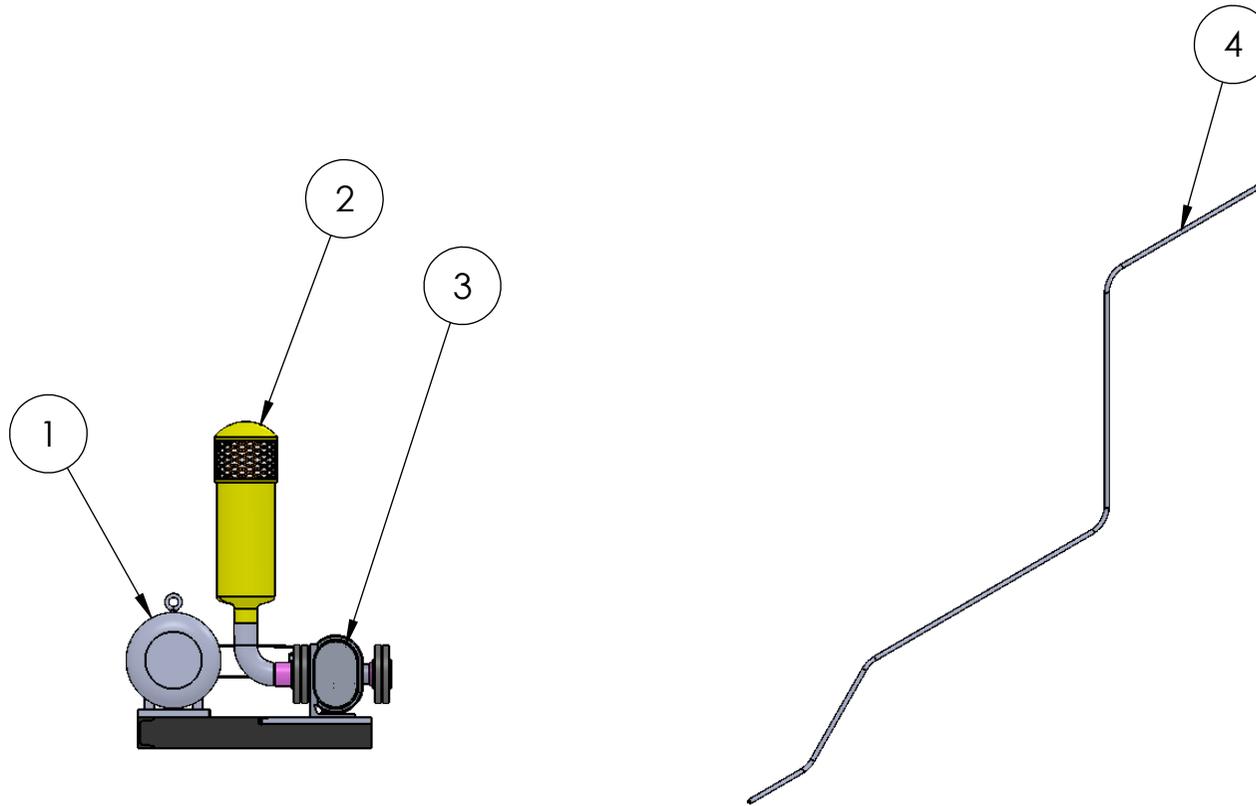
	NOMBRE	INSTITUCIÓN	TÍTULO: <b>Representación General del Sistema</b>	FORMATO: <b>A4</b>	
	DIBUJ.	Ricardo Ramírez Zapata Jorge Soria Castro			<b>ESPOL</b>
	VERIF.	Ing. Federico Camacho			Proyecto: Sistema Transporte Neumático de Maíz en Grano en Fase Diluida
OBSERVACIONES	FECHA	Enero de 2018	ESCALA: 1:200	Plano: 3	

LISTA DE PARTE		
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Tolva de Alimentación
2	1	Dosificador Helicoidal
3	1	Válvula Rotaria



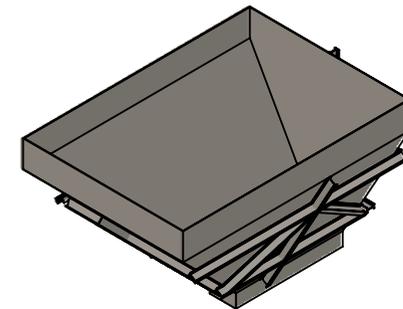
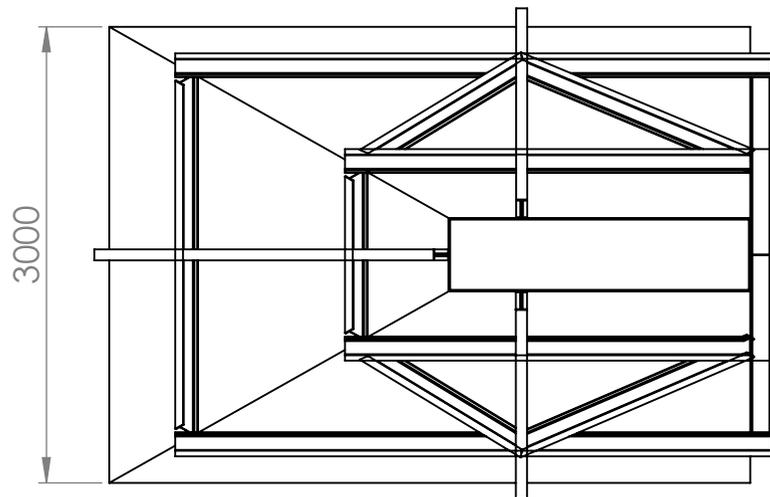
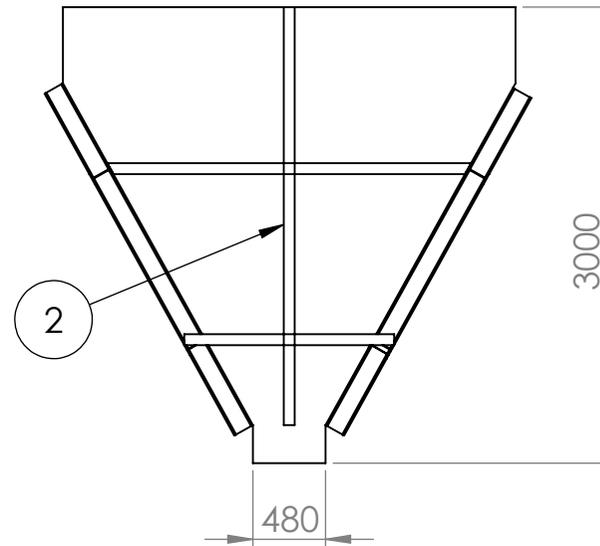
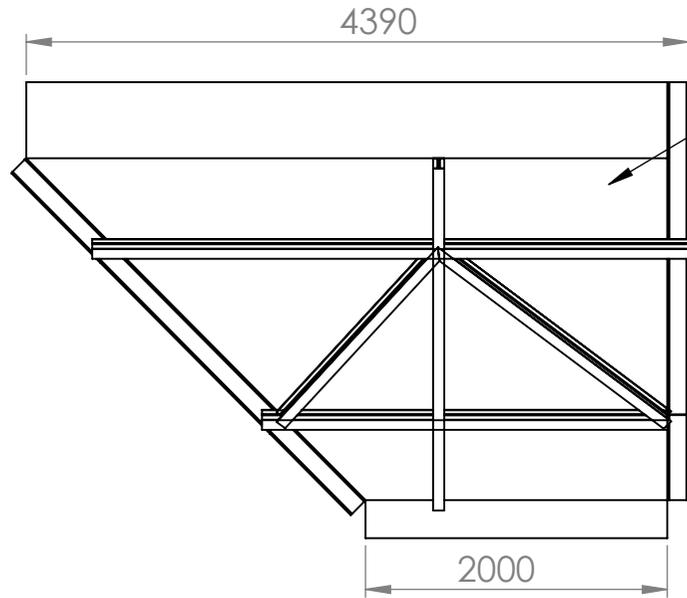
		NOMBRE	INSTITUCIÓN	TÍTULO: <b>Sistema de Alimentación</b>	FORMATO: <b>A4</b>
	DIBUJ.	Ricardo Ramírez Zapata Jorge Soria Castro	<b>ESPOL</b>		
	VERIF.	Ing. Federico Camacho	Proyecto: Sistema Transporte Neumático de Maíz en Grano en Fase Diluida		
	FECHA	Enero de 2018			
OBSERVACIONES				ESCALA:	Plano: 4

LISTA DE PARTE		
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Motor
2	1	Filtro
3	1	Blower de Lobulos
4	40	Tubería 6" Cedula 10



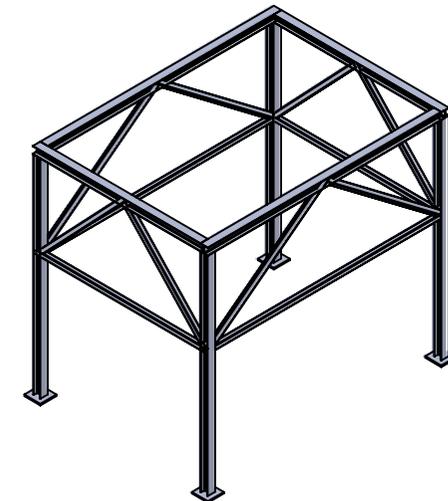
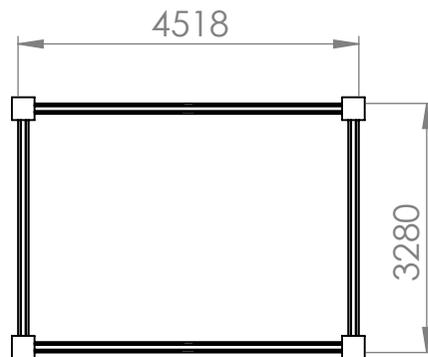
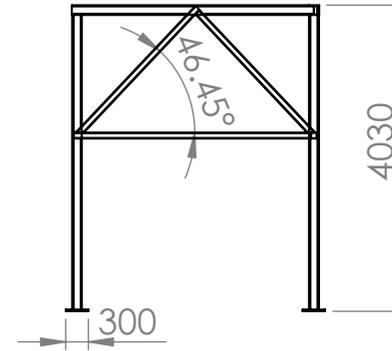
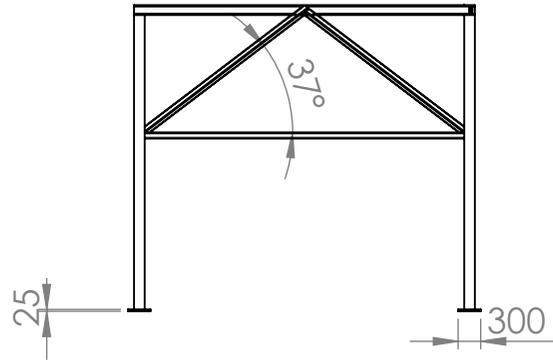
	NOMBRE	INSTITUCIÓN	TÍTULO: <b>Sistema de Transporte</b>	FORMATO: <b>A4</b>	
	DIBUJ.	Ricardo Ramírez Zapata Jorge Soria Castro			ESPOL
	VERIF.	Ing. Federico Camacho			Proyecto: Sistema Transporte Neumático de Maíz en Grano en Fase Diluida
OBSERVACIONES	FECHA	Enero de 2018	ESCALA:	Plano: 5	

LISTA DE PARTE		
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Cuepo de Tolva
2	21	IPE 140



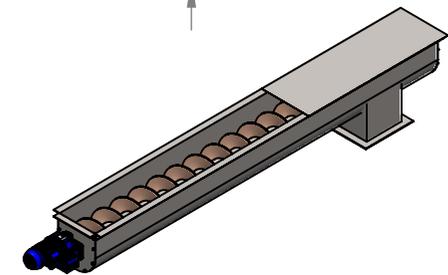
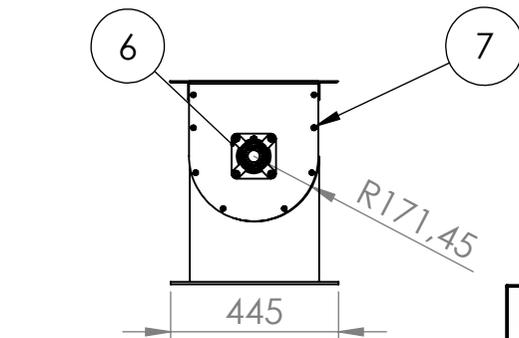
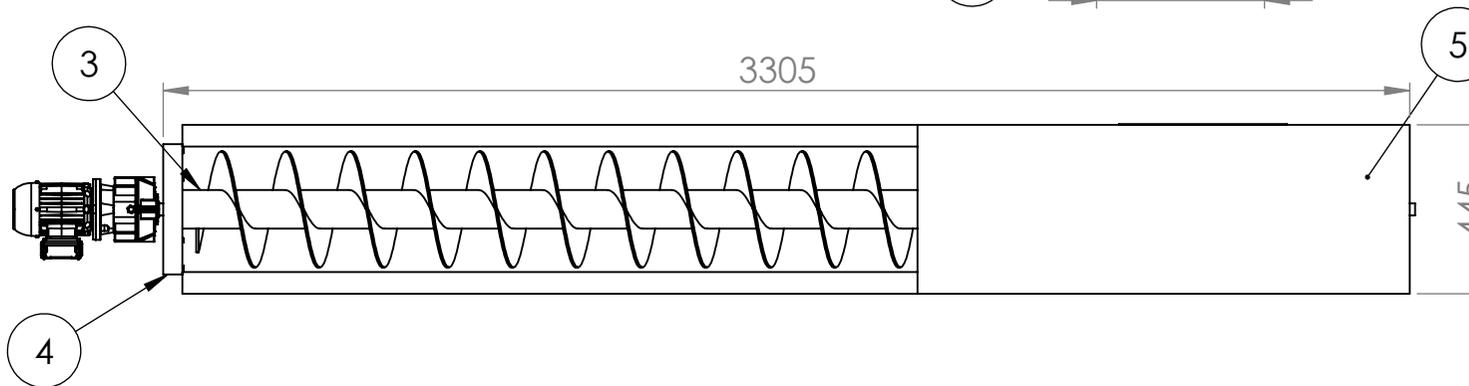
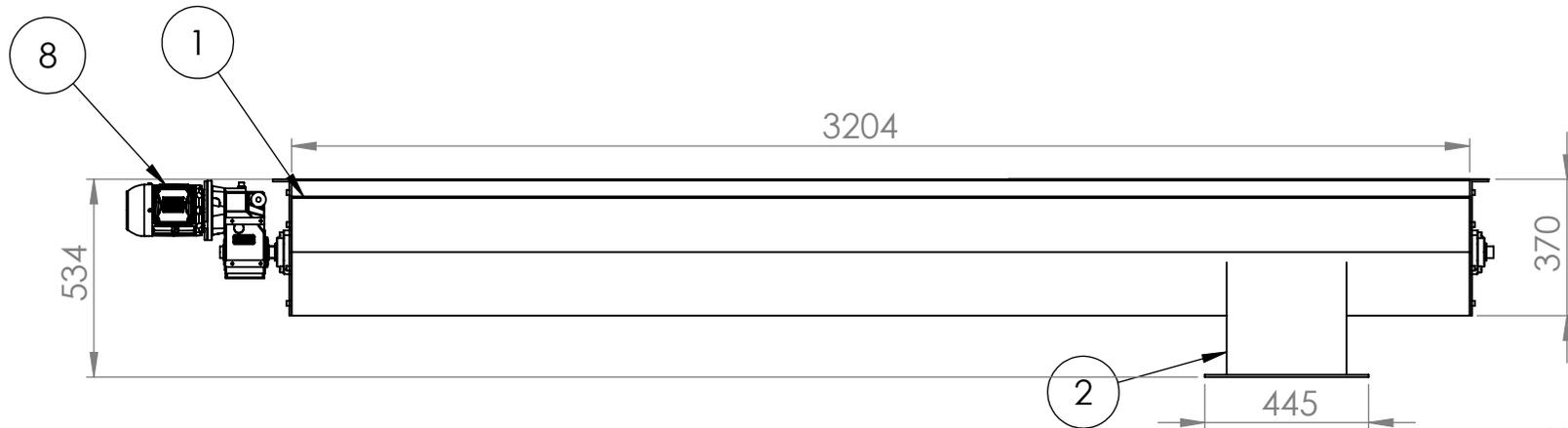
	NOMBRE	RICARDO RAMÍREZ ZAPATA JORGE SORIA CASTRO	INSTITUCIÓN	TÍTULO:		FORMATO:	
	DIBUJ.		ESPOL	Tolva de Alimentación			A4
	VERIF.	Ing. Federico Camacho	Proyecto:	Sistema Transporte Neumático de Maíz en Grano en Fase Diluida			
OBSERVACIONES	FECHA	Enero de 2018	ESCALA: 1:50	Plano: 6			

LISTA DE PARTE		
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Cuepo de Tolva
2	21	IPE 140

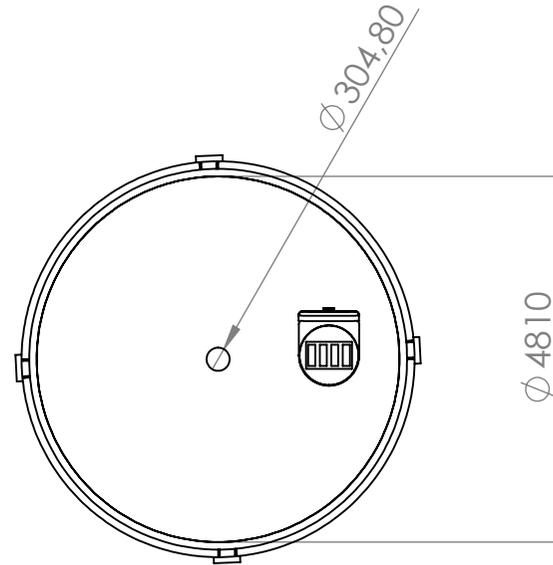
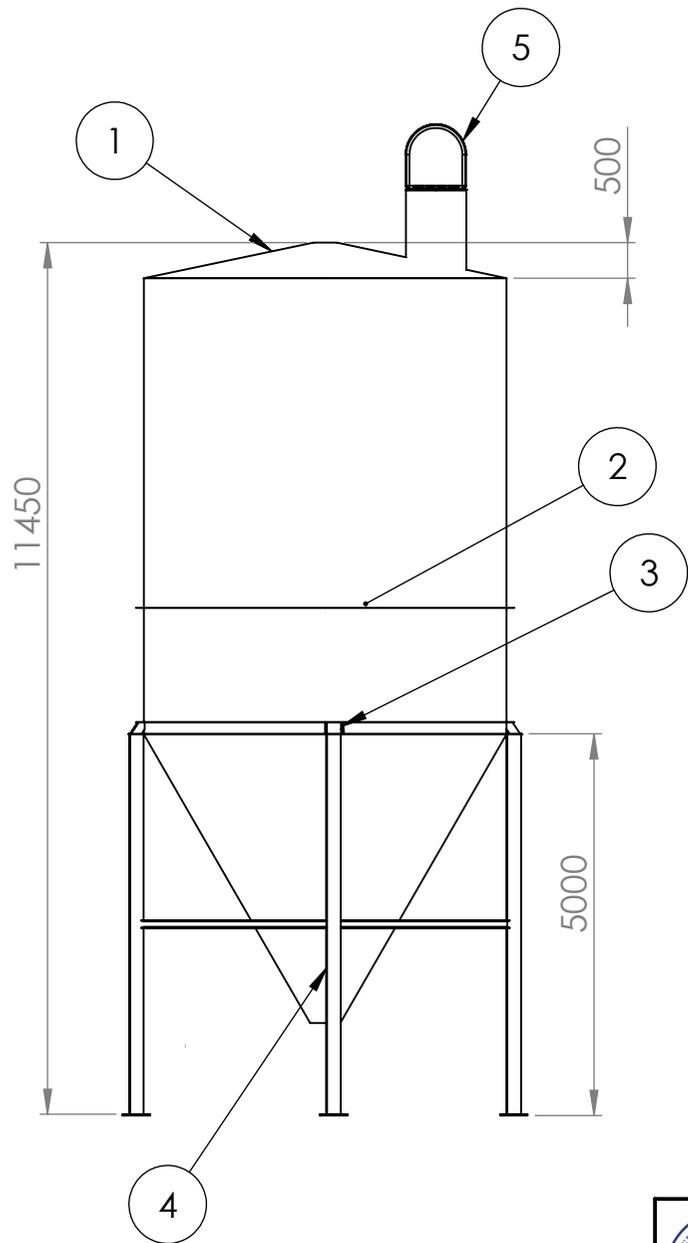


	NOMBRE	INSTITUCIÓN	<b>TÍTULO:</b> Estructura de la Tolva de Alimentación	<b>FORMATO:</b> A4	
	DIBUJ.	Ricardo Ramírez Zapata Jorge Soria Castro			ESPOL
	VERIF.	Ing. Federico Camacho			Proyecto: Sistema Transporte Neumático de Maíz en Grano en Fase Diluida
OBSERVACIONES	FECHA	Enero de 2018	ESCALA: 1:100	Plano: 7	

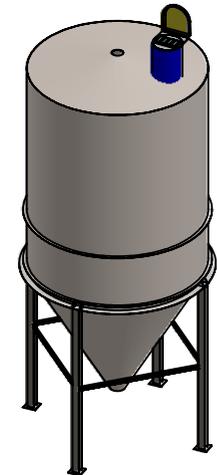
LISTA DE PARTE		
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Artesa Tipo U
2	1	Boca de Salida
3	1	Tubo y Helicoide
4	2	Tapa de Artesa
5	1	Cubierta de Artesa
6	2	Chumacera
7	16	Pernos
8	1	Motorreductor



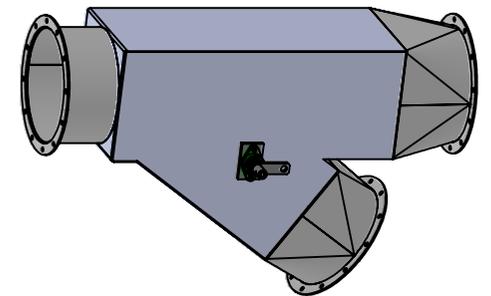
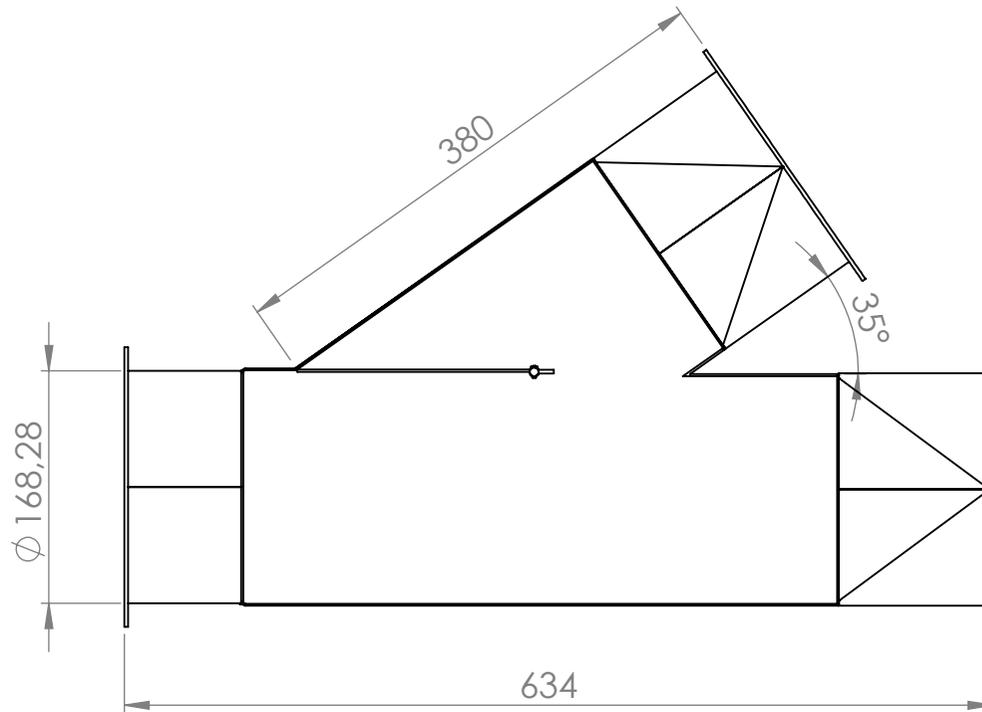
	NOMBRE		INSTITUCIÓN		TÍTULO: <b>Dosificador Helicoidal</b>	FORMATO: <b>A4</b>
	DIBUJ.	Ricardo Ramírez Zapata Jorge Soria Castro	<b>ESPOL</b>			
	VERIF.	Ing. Federico Camacho	Proyecto: <b>Sistema Transporte Neumático de Maíz en Grano en Fase Diluida</b>			
OBSERVACIONES	FECHA	Enero de 2018			ESCALA: 1:20	Plano: 8



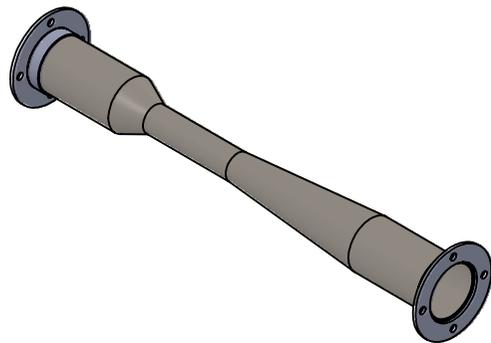
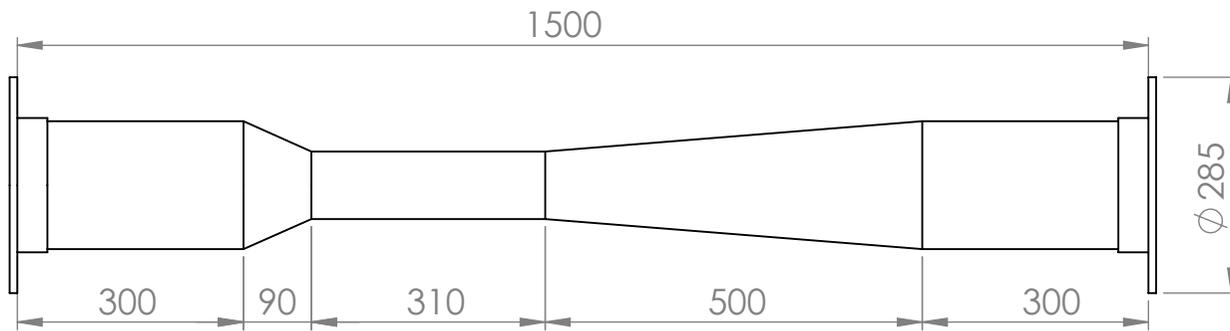
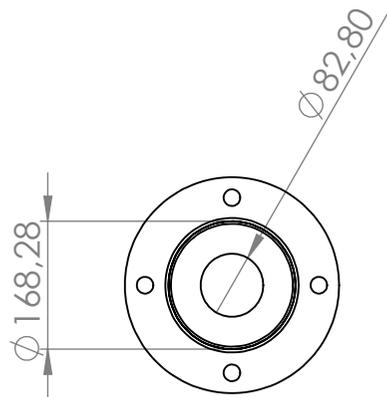
LISTA DE PARTE		
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Tapa de Silo
2	3	Anillo
3	8	Cartela
4	1	Estructura
5	1	Filtro



	NOMBRE	INSTITUCIÓN	TÍTULO: <b>Silo de Almacenamiento</b>	FORMATO: <b>A4</b>	
	DIBUJ.	Ricardo Ramírez Zapata Jorge Soria Castro			ESPOL
	VERIF.	Ing. Federico Camacho			Proyecto: Sistema Transporte Neumático de Maíz en Grano en Fase Diluida
OBSERVACIONES	FECHA	Enero de 2018	ESCALA: 1:100	Plano: 9	



		NOMBRE	INSTITUCIÓN	TÍTULO: <b>Valvula de Desvío</b>	FORMATO: <b>A4</b>
	DIBUJ.	Ricardo Ramírez Zapata Jorge Soria Castro	<b>ESPOL</b>		
	VERIF.	Ing. Federico Camacho	Proyecto: <b>Sistema Transporte Neumático de Maíz en Grano en Fase Diluida</b>		
	FECHA	Enero de 2018			
OBSERVACIONES					ESCALA:1:10 Plano: 10



	NOMBRE		INSTITUCIÓN		TÍTULO:  <b>Venturi</b>	FORMATO:  <b>A4</b>
	DIBUJ.	Ricardo Ramírez Zapata Jorge Soria Castro	<b>ESPOL</b>			
	VERIF.	Ing. Federico Camacho				
FECHA	Enero de 2018	Proyecto: <b>Sistema Transporte Neumático de Maíz en Grano en Fase Diluida</b>		ESCALA: 1:10	Plano: 11	
OBSERVACIONES						