ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad De Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Diseño de una Línea de Producción de Fertilizantes Pulverizados usando Molino de Pines"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIEROS MECÁNICOS

Presentada por:

Anell Isabel Borbor Hidalgo
Alex Geovanny Crespo Ordóñez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2012

AGRADECIMIENTO

Nuestra gratitud a Dios por permitirnos culminar nuestros estudios.

A todos nuestros amigos que de uno u otro modo compartieron y colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente al Ing. Ernesto Martínez L. Director de Tesis, por su invaluable apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la dicha de vivir y guiar cada paso que doy. A mis padres Chilton e Isabel, por su amor, confianza y motivación constante. A mi hermano, por su incondicionalidad. En especial a mi abuelito Leandro por su ejemplo de perseverancia y superación.

Anell Isabel Borbor Hidalgo

DEDICATORIA

A Dios por guiarme a lo largo de mi vida y a mis padres por el apoyo incondicional que me brindaron en todo momento, siendo un pilar fundamental.

Alex Crespo Ordóñez

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Gustavo Guerrero M.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR

Ing. Manuel Helguero G.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

_____ _____

Anell Isabel Borbor Hidalgo Alex Geovanny Crespo Ordóñez

RESUMEN

Para satisfacer las necesidades de una población que crece aproximadamente 75 millones cada año, y debido al incremento en la producción de alimentos a nivel mundial, se denota mejoras notables en las oportunidades económicas de los países en desarrollo como es el caso del ECUADOR, territorio agrícola. La demanda por alimentos de calidad con mayor nivel proteico ha aumentado, por lo cual los fertilizantes aportan al desarrollo productivo de los diversos cultivos, de tal manera que la eficiencia además de mantenerse, se incrementa. Es por ello que los agricultores están atentos a los cambios e impactos demográficos y alimentarios.

Se planteó el siguiente proyecto de tesis que trata sobre la necesidad de implementar una línea de producción de mezcla de fertilizantes inorgánicos NPK en una pequeña empresa de la ciudad de Guayaquil.

Para el efecto, se analizaron los diferentes factores que intervienen en el proceso de la línea de producción, se estableció la distribución física de la línea de acuerdo a los requerimientos y el espacio disponible. Además, se seleccionaron los equipos y se diseñó el Molino Pulverizador de Pines. Se realizó una descripción de los costos de inversión y tiempo requerido para la fabricación del molino pulverizador de pines. Estos criterios se

fundamentaron en tablas, catálogos, experiencia y la aplicación de herramientas como Solidworks® y Autocad®.

Finalmente se plantea la distribución de la línea y se detalla el diseño funcional de un molino de pines con capacidad de 2 Ton/h, el cual logra cumplir con la necesidad de transformar las mezclas de fertilizantes en polvo con las características adecuadas para una posterior aplicación de las técnicas de fertirriego y aplicación foliar a un costo competitivo de $11789,23 (ONCE MIL SETECIENTOS OCHENTA Y NUEVE DÓLARES CON VEINTE Y TRES CENTAVOS), que resultó en menor precio al referencial del mercado internacional, destacando como una mejor opción en cuanto a tecnología, seguridad y funcionalidad.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN..... II

ÍNDICE GENERAL..... IV

ABREVIATURAS..... IX

SIMBOLOGÍA..... XI

ÍNDICE DE FIGURAS..... XIV

ÍNDICE DE TABLAS..... XVI

ÍNDICE DE PLANOS..... XVIII

INTRODUCCIÓN..... 1

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES..... 3

1.1 Antecedentes..... 3

1.2. Objetivos de la Tesis..... 4

1.3. Importancia de la Nutrición de las Plantas..... 4

1.4. Propiedades del Fertilizante..... 9

1.4.1 Funcionalidad y Características..... 10

1.4.2.Técnicas de Aplicación..... 13

1.4.3 Granulometría..... 18

CAPÍTULO 2

2. CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL FERTILIZANTE PULVERIZADO. 20

2.1 Requerimientos Generales de Diseño…….. 20

2.2. Sistema de Pesajes Tolvas.....23

2.3. Stema de Transporte Tornillo Helocoidal.....24

2.4 Sistema de Mezclado.....25

2.4.1. Mecanismos de Mezclado.....26

2.4.2. Tipos de Máquinas Mexcladoras de Sòlidos.....27

2.4.3. Mezcladores Móviles 27

2.4.4. Mezcladores de Carcasa Estacionaria.....30

2.4.5. Influencia de los Ingredientes en el Mezclado 34

2.4.6. Alternativas del Sistema de Mezclado 35

2.4.7. Criterios de Selección del Mezclador.....37

2.5. Molienda 40

2.5.1. Diferencias entre Técnicas de Reducción de Partículas.....41

2.5.2. Molino Pulverizador de Pines.....42

2.6. Sistema de Desempolvado 45

2.6.1. Ciclón.....45

2.6.2. Filtro de Mangas 48

2.7. Esquema del Proceso.....59

2.8. Diagrama de Equipos 60

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 61

3.1.Dimensionamiento de las Tolvas de Recepción 61

3.2. Diseño y Selección del Transportador Helicoidal.....70

3.3. Dimensionamiento y Selección del Mezclador.....86

3.4. Diseño del Molino Pulverizador de Pines.....98

3.5. Diseño y Selección de Componentes del Sistema de Desempolvado.. 98

3.5.2. Dimensionamiento de los Ductos.....101

3.5.3. Dimensionamiento del Ciclón.....102

3.5.4. Dimensionamiento del Filtro de Mangas.....105

3.5.5. Selección del Ventilador.....106

3.6. Selección del Sistema de Despacho.....115

3.7. Selección de Válvulas para la Línea de Producción 117

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL MOLINO PULVERIZADO DE PINES 119

4.1. Diseño de Forma del Molino 120

4.2. Distribución de los Pines.....123

4.3. Diseño de los Pines para la Trituración del Grano.....124

4.4. Diseño de los Discos Porta Pines 143

4.5. Diseño del Eje.....144

4.6. Potencia Requerida del Motor 151

4.7. Selección de Componentes 153

4.7.1. Selección de Chaveta 153

4.7.2. Selección de Pernos de Sujeción del Disco Estator 158

4.7.3. Selección de Rodamientos 162

4.7.4. Selección de Tamiz.....164

4.8. Especificaciones Técnicas y Plano del MolinoRotativo.....165

4.9. Análisis funcional del Molino de Pines con la Aplicación de la Herramienta Solidworks……. 167

4.10.Análisis de la Estructura Soporte del Molino con la Aplicación De la Herramienta de Solidworks…… 168

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE COSTOS…… 170

5.1. Presupuesto para Construcción del Molino de Pines.....171

5.2. Cronograma de la Construcción del Molino de Pines 176

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 178

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

AISI	American Iron and Steel Institute
atm	Atmósfera
CFM	Pie cúbico por minuto
col	Columna
DIN	Instituto Alemán de Normalización
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
ft^3	Pie cúbico
H2O	Agua
HP	Horse Power
h	Hora
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
Kg	Kilogramos
KW	Kilowatt
lbs	Libras
m	Metro
m^2	Metro cuadrado
m^3	Metro cúbico
min	Minuto
mm	Milímetros
MPa	Mega pascales
N	Newton
N.m	Newton por metro
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
pulg	Pulgada
rad/s	Radianes por segundo
RNA	Ácido Ribonucleico
RPM	Revoluciones por minuto

s	Segundo
Ton	Tonelada
µm	Micras
^{o}C	Grados Centígrados

SIMBOLOGÍA

A	Área del ducto
A	Área de la base mayor de la tolva
A’	Área de la base menor de la tolva
A_p	Apotema del tronco de pirámide de la tolva
at	Área total filtrante en filtro de mangas
B	Ancho de la campana extractora
C	Capacidad del tornillo transportador
C_m	Cantidad de mangas en el filtro
D	Diámetro externo del tornillo transportador
D	Diámetro del ciclón
D	Diámetro de la base mayor de la tolva
d	Diámetro del ducto del sistema de desempolvado
d	Diámetro de la base menor de la tolva
D_m	Diámetro de las mangas
e	Espesor del disco rotor
F	Fuerza
g	Generatriz
H	Altura de la tolva
h_1	Altura de la parte cilíndrica del mezclador
h_2	Altura parte cónica del mezclador
I	Momento de inercia
K	Símbolo químico del Potasio
ka	Factor de modificación de la condición superficial
kb	Factor de modificación de tamaño
kc	Factor de modificación de la cara
Kd	Factor de modificación de la temperatura
Ke	Factor de modificación de efectos diversos

L	Longitud total del transportador
L	Longitud de la campana extractora
L_m	La longitud de las mangas
M_m	Masa de la mezcla
m_{pin}	Masa del pin
N	Símbolo químico del Nitrógeno
N	Velocidad de operación del tornillo transportador
N_t	Número de granos de fertilizante por cada revolución del eje del motor
n	Factor de seguridad
P	Símbolo químico del Fosforo
P	Presión
P	Potencia
P	Perímetro de la base mayor de la tolva
P’	Perímetro de la base menor de la tolva
Q	Caudal
Q_{mr}	Rendimiento real del tornillo helicoidal
R	Radio de la parte cilíndrica del mezclador
r	Radio de la parte cónica del mezclador
r_g	Radio de giro
S	Paso del tornillo helicoidal
S_e	Resistencia a la fatiga
S_e’	Limite de resistencia a la fatiga
S_m	Resistencia a la fatiga en el rango de vida finita
SP	Caída de presión del sistema de desempolvado
S_{ut}	Resistencia última a la tracción
S_y	Resistencia a la fluencia
t	Tiempo
t	Espesor de pared de tolva
V	Velocidad tangencial del pin

V	Volumen del mezclador
V	Velocidad de transporte en el ducto
V_m	Volumen de la mezcla
VP	Presión dinámica
W	Peso
ω	Velocidad angular del eje del motor del molino
α	Aceleración
μ	Viscosidad dinámica
ρ_m	Densidad de la mezcla
σ_a	Amplitud del esfuerzo
σ_m	Esfuerzo medio
$\sigma_{máx}$	Esfuerzo máximo
$\sigma_{mín}$	Esfuerzo mínimo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Esquema General de Nutrición de una Planta……	5
Figura 1.2	Proceso de la Fotosíntesis……	6
Figura 1.3	Nomenclatura de los Fertilizante Compuestos ……	9
Figura 1.4	Fertirrigación por Goteo.....	14
Figura 1.5	Aplicación Foliar……..	17
Figura 1.6	Diversos Fertilizantes Granulados……	19
Figura 2.1	Mezclador de Tambor……	28
Figura 2.2	Mezclador Cónico……..	28
Figura 2.3	Mezclador de Doble Cono……...	29
Figura 2.4	Mezclador en V……..	30
Figura 2.5	Mezclador de Cintas……..	31
Figura 2.6	Mezclador de Tornillo Vertical……..	31
Figura 2.7	Mezclador de Paletas……...	32
Figura 2.8	Mezclador de Palas Planetario……	32
Figura 2.9	Mezclador Sigma……	33
Figura 2.10	Mezclador Barra Z……	34
Figura 2.11	Molino de Pines……	44
Figura 2.12	Mecanismos de Colección de Partículas en un Ciclón……	46
Figura 2.13	Eficiencia de un Ciclón……	47
Figura 2.14	Filtro de Mangas de Sacudido……	50
Figura 2.15	Filtro de Mangas de Aire Reverso……..	51
Figura 2.16	Filtro de Mangas Tipo Pulse Jet……..	52
Figura 2.17	Elementos Mecánicos en un Colector de Polvo Pulse Jet…..	53
Figura 2.18	Tipos de Campanas de Captura……	54
Figura 2.19	Ventilador Centrífugo……	58
Figura 3.1	Tolva de Recepción……..	65
Figura 3.2	Tolva de Almacenamiento……	66
Figura 3.3	Presión en las Paredes de la Tolva……	67

Figura 3.4 Diseño de Forma del Silo…….. 88
Figura 3.5 Dimensiones del Silo…… 91
Figura 3.6 Dimensiones Generales del Mezclador…….. 97
Figura 3.7 Esquema Sistema Desempolvado……. 99
Figura 3.8 Esquema del Ciclón…….. 102
Figura 3.9 Embolsadora de Carga por Gravedad…….. 117
Figura 4.1 Diseño de Forma del Molino de Pines……. 120
Figura 4.2 Distribución de Pines En Discos Rotor y Estator…… 123
Figura 4.3 Impacto de Granos en Pin…….. 124
Figura 4.4 Fuerzas Sobre el Pin……..... 134
Figura 4.5 Fuerza Fluctuante ……136
Figura 4.6 Análisis del Pin…… 142
Figura 4.7 Diagrama de Cuerpo Libre del Eje…… 145
Figura 4.8 Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector del Eje… 146
Figura 4.9 Dimensiones de Chaveta…… 155
Figura 4.10 Rodamientos de Bolas…… 162
Figura 4.11 Tamiz…… 165
Figura 4.12 Estudio del Principal Elemento del Molino……167

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los Nutrientes Minerales…… 7
Tabla 2 Formula Química, concentración, índice salino e índice de Acides de los principales fertilizantes usados en el fertirriego…. 16
Tabla 3 Matriz de Ponderación de Cada Parámetro- Sistema de Mezcla 39
Tabla 4 Matriz de Decisión Para El Sistema De Mezclado…… 40
Tabla 5 Rango De Velocidades De Captura…… 56
Tabla 6 Ángulos típicos de reposo de varios fertilizantes comunes……. 63
Tabla 7 Relación entre el ángulo de reposo y la fluidez…… 64
Tabla 8 Propiedades del material a transportar……75
Tabla 9 Diámetro del tornillo…… 77
Tabla 10 Características del Cojinete de Suspensión…… 79
Tabla 11 Torque de los acoples…… 82
Tabla 12 Potencia de los acoples…… 83
Tabla 13 Componentes del tornillo sin fin…… 85
Tabla 14 Dimensiones del alimentador de tornillo sin fin tipo SF 2D…….. 85
Tabla 15 Dimensiones de la cubierta tubular del tornillo sin fin…… 86
Tabla 16 Valores de Wo…….. 93
Tabla 17 Valores de ρ…….. 93
Tabla 18 Valores de K…… 94
Tabla 19 Especificaciones técnicas de mezcladoras MZ…….. 97
Tabla 20 Dimensiones estándar de Ciclones……103
Tabla 21 Dimensiones del Ciclón……103
Tabla 22 Coeficientes de fluctuación para ciertas aplicaciones……..128
Tabla 23 Valores de Resistencia al aplastamiento de fertilizantes comunes……...133
Tabla 24 Coeficientes para el cálculo del factor de la condición Superficial…… 138
Tabla 25 Valores de factor de carga…… 139
Tabla 26 Dimensiones de chaveta……155
Tabla 27 Características del perno…….. 158
Tabla 28 Especificaciones técnicas del molino pulverizador de pines……166
Tabla 29 Resultados tubo cuadrado y perfil rectangular……..……169
Tabla 30 Materiales Necesarios para la Construcción del molino de Pines……..171
Tabla 31 Peso de los Elementos del Molino de Pines……..172

Tabla 32 Costos Equipos…….. 173
Tabla 33 Costo de Mano de Obra…… 174
Tabla 34 Costo Transporte…….. 174
Tabla 35 Valor Total de Costos Directos…… 175
Tabla 36 Costos Totales…… 176

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Distribución de Línea
Plano 2	Dimensiones del Pin
Plano 3	Dimensiones del Disco Estator
Plano 4	Dimensiones del Disco Rotor
Plano 5	Detalle del Molino de Pines
Plano 6	Detalle de la Estructura Soporte del Molino de Pines

INTRODUCCIÓN

En un país donde su segunda principal fuente de ingreso económico es la agricultura, el uso de fertilizantes se ha vuelto indispensable debido a la baja fertilidad de la mayoría de los suelos para los altos rendimientos y la buena calidad que se esperan en la actualidad. Por lo cual el uso de fertilizantes en los cultivos es indispensable para mantener una agricultura sostenible. Estos en su mayoría son aplicables directamente al suelo asimilando los nutrientes por las raíces, sin embargo cuando las condiciones de absorción de los nutrientes presentan adversidades o deficiencias, la aplicación por vía radicular es limitada en tiempo y forma, es por ello que surgen nuevos métodos de aplicación confiables, tanto para satisfacer las reales necesidades nutricionales de las plantas como para la fertilización en estos periodos críticos. Gracias a la existencia de técnicas como la fertirrigación y aplicación foliar es posible suministrar los nutrientes y micronutrientes requeridos por los diversos tipos de cultivos y lograr controlar su desarrollo.

Es por ello que en la presente tesis “Diseño de una línea de producción de fertilizantes inorgánicos pulverizados usando molino de pines” se muestra el proceso de desarrollo de un proyecto de ingeniería, donde es necesario aplicar los conocimientos académicos adquiridos para establecer el diseño

de forma de la línea considerando una producción de 2 Ton/h. Así también se refleja la selección del acero inoxidable como material para los elementos que componen la línea, puesto que el producto a mezclar es medianamente corrosivo. Otro de los aspectos considerados es el sistema de desempolvado, ya que el fertilizante como tal es altamente nocivo tanto para la salud de los operadores como para el medio ambiente. No menos importante son los tiempos de producción en cada tramo del proceso ya que son fundamentales para el análisis de la continuidad del mismo. No siempre es posible, debido a sus altos costos, acceder a las mejores tecnologías para satisfacer una necesidad. Sin embargo, sí es factible avanzar en el conocimiento, lo cual nos permitirá optimizar los recursos con los que se cuenta.

Sin embargo se enfoca el principal interés en el diseño del Molino Pulverizador de pines, con el cual se espera obtener un producto final capaz de cumplir con la granulometría que se requiere para ser soluble y aplicable. Demostrando que la técnica de la molienda es la que permite hoy en día obtener productos finamente pulverizados.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES.

1.1. Antecedentes.

La presente tesis se desarrolla dentro de una pequeña empresa de la ciudad de Guayaquil dedicada a la producción de mezclas de fertilizantes inorgánicos granulados, se plantea la necesidad de transformar el producto mezclado en polvo utilizando un molino pulverizador de pines, con la finalidad de cubrir las exigencias del mercado agrícola, el cual se encuentra tecnificando sus sistemas de riego para los diversos tipos de cultivo gracias a la actual inversión del estado para con la agricultura.

La línea debe de cumplir con una producción aproximada de 2 Ton/h.

1.2. Objetivos de la Tesis.

El objetivo principal de esta tesis es diseñar una línea de producción de mezclas de fertilizantes inorgánicos en polvo con el fin de elaborar un diseño funcional, cumpliendo la necesidad de obtener un producto de calidad con las características adecuadas para ser aplicado en los distintos cultivos agrícolas mediante las técnicas de fertirrigación y aplicación foliar a un precio competitivo.

Dado el objetivo principal, se derivan los objetivos específicos, los cuales son:

- Seleccionar de manera eficaz los equipos y componentes necesarios para el desarrollo del proceso de producción.
- Realizar el diseño completo de un Molino de Pines para que pueda ser utilizada en la pulverización de mezclas de fertilizantes, con una capacidad de 2Ton/h.

1.3. Importancia de la Nutrición en las Plantas.

De los factores que regulan el desarrollo y crecimiento de las plantas es quizás, la nutrición de las mismas, el más importante.

La Figura 1.1 muestra de manera esquemática el sistema de nutrición para cualquier planta en general.

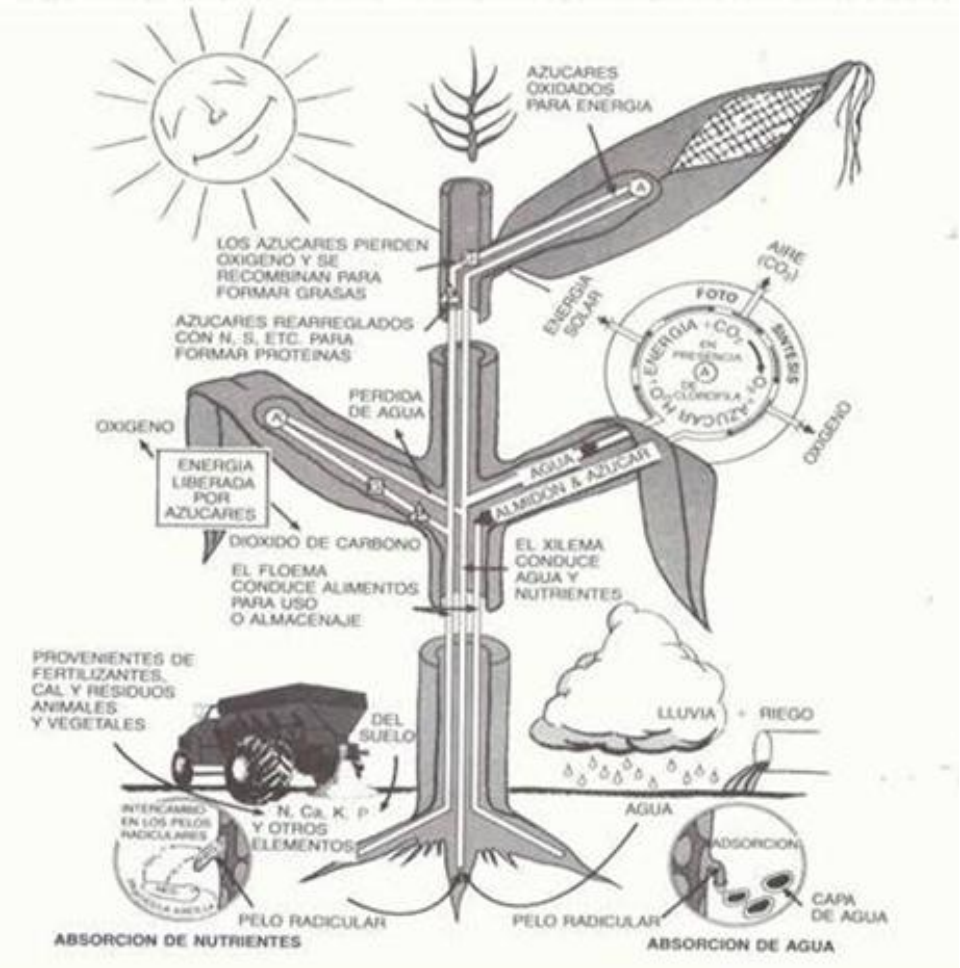


FIGURA 1.1 ESQUEMA GENERAL DE NUTRICIÓN DE UNA PLANTA

Tipos de Nutrientes.

Existen 16 nutrientes que resultan imprescindibles para la vida de las plantas. Se denominan nutrientes esenciales. Estos se clasifican en dos tipos:

Nutrientes no Minerales.- Dentro de este grupo están: el oxígeno (O), el hidrógeno (H), y el carbono (C). Estos elementos se

encuentran en el aire y en el agua. Las plantas consiguen estos nutrientes a través del proceso de la fotosíntesis.

FIGURA 1.2 PROCESO DE LA FOTOSÍNTESIS

Nutrientes Minerales.- Son elementos químicos que provienen del suelo y se clasifican en dos grupos: Los Macronutrientes y Micronutrientes, denominados así porque son aquellos que deben ser absorbidos por las plantas en grandes y pequeñas cantidades respectivamente.

La tabla 1 presenta la clasificación de los nutrientes minerales que serán objeto de este estudio por ser los elementos que integran la materia prima que se utilizará para la producción de fertilizantes inorgánicos. (1)

TABLA 1

CLASIFICACIÓN DE LOS NUTRIENTES MINERALES

Nutrientes Minerales			
Clasificación		**Nombre y Símbolo**	**Forma Absorbida**
Macronutrientes	**Primarios**	Nitrógeno (N)	NH_4^* , NO_3^-
		Fosforo (P)	$H_2PO_4^-$, HPO_4^-
		Potasio (K)	K^*
	Secundarios	Calcio (Ca)	Ca^{**}
		Magnesio (Mg)	Mg^{**}
		Azufre (S)	SO_4^-, SO_2
Micronutrientes		Hierro (Fe)	Fe^{**}, Fe^{***}
		Manganeso (Mn)	Mn^{**}
		Boro (B)	H_3BO_3
		Zinc (Zn)	Zn^{**}
		Cobre (Cu)	Cu^{**}
		Molibdeno (Mo)	MoO_4^-
		Cloro (Cl)	Cl^-

El nitrógeno es importante en;

- Formación de clorofila.

- Producción fotosintética de carbohidratos.

- Síntesis de proteínas.

El fósforo es importante en;

- Transferencia de energía dentro del tejido celular.

- Composición de cromosomas, DNA, RNA.

- Desarrollo radicular.

El potasio es importante en;

- Síntesis de proteínas, carbohidratos, clorofila.

- Traslocación y almacenamiento de carbohidratos.

El calcio es importante en;

- La formación de pectatos de calcio que actúan en el proceso de absorción de nutrientes.
- Forma sales con los ácidos orgánicos e inorgánicos, regulando la presión osmótica de las células.

El magnesio es importante en;

- Forma parte de la molécula de clorofila, la cual produce la síntesis de carbohidratos.
- Es un activador enzimático.

Cuando un suelo no proporciona alguno de estos nutrientes en la cantidad suficiente que la requerida por las plantas, es necesario aplicarlo a través de un fertilizante que contenga dicho nutriente y que no permita la disminución del rendimiento y/o calidad de las cosechas.

Una vez explicados los papeles de los principales nutrientes (N-P-K) se debe conocer que los fertilizantes compuestos son la mezcla física de 2 o más fertilizantes simples en diferentes proporciones que generan una combinación específica de concentraciones de nutrientes de acuerdo a la necesidad específica de un suelo.

La nomenclatura numérica empleada para identificar un fertilizante compuesto muestra, en un orden secuencial N – P – K – S – Mg, la concentración porcentual de cada uno de estos elementos.

Para graficar esta nomenclatura se muestra un ejemplo en la Figura 1.3 a continuación:

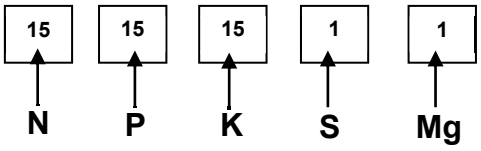


FIGURA 1.3 NOMENCLATURA DE LOS FERTILIZANTE COMPUESTOS

1.4. Propiedades Del Fertilizante.

En esta sección se explica de manera sencilla y figurativa el papel que desempeñan los fertilizantes, producto de negocio principal de la empresa, en el desarrollo agrícola y los factores que intervienen para su aplicación.

1.4.1. Funcionalidad y Características.

Mientras que las plantas crecen, absorben y agotan los nutrientes del suelo. Los fertilizantes nutren el suelo mediante la devolución de los nutrientes minerales esenciales.

Se trata de un hecho biológico de que las plantas necesitan 1.0 Kg de nitrógeno para producir de 10 a 15 Kg de grano.

En definitiva, gracias a los fertilizantes se alcanzan los siguientes retos:

- Asegurar la productividad y calidad nutricional de los cultivos, ofreciendo una seguridad alimenticia e incrementando el contenido de nutrientes de las cosechas.
- Evitar la necesidad de incrementar la superficie agrícola mundial, ya que sin los fertilizantes habría que destinar millones de hectáreas adicionales a la agricultura.
- Conservar el suelo y evitar su degradación y, en definitiva, mejorar la calidad de vida del agricultor y de su entorno.

- Contribuir a la mayor producción de materia prima para la obtención de energías alternativas.

Características físicas del fertilizante:

- Densidad aparente, higroscopicidad, compactación o "apelmazado", forma de partículas, dureza de los gránulos y contenido de polvo.

- Tamaño de la partícula: Se refiere al diámetro de los ingredientes después de la molienda. Las partículas grandes y pequeñas no se mezclan adecuadamente, por lo que es preferible tener partículas de tamaños intermedios.

- Forma de la partícula: Está estrechamente relacionada al tamaño, se debe procurar obtener partículas lo más homogéneas posibles.

- Densidad: La densidad es la relación ente el peso de cierto volumen de un cuerpo y el peso de un volumen correspondiente de agua destilada a 4°C, es decir, el peso específico de los ingredientes, las partículas de alta densidad (como minerales) tienden a separase e irse al

fondo, por lo que el mezclado será deficiente, por lo que es importante conocer la densidad de los ingredientes a utilizar para así obtener un buen mezclado.

- Higroscopicidad: Es la propiedad de los materiales de absorber la humedad del ambiente o desprender la que contienen según las características prevalecientes en el lugar en el que se encuentren. Un ingrediente altamente higroscópico puede absorber suficiente humedad del ambiente y producir aglutinaciones indeseables.

- Adhesividad y carga estática: Se refiere a la capacidad que tienen ciertos ingredientes de permanecer unidos a otros materiales, tal es el caso de algunos medicamentos que permanecen pegados a las paredes de la mezcladora.

Sin embargo la eficiencia de un fertilizante depende de las características del suelo, del manejo del cultivo y de las condiciones climáticas, es por ello que la selección, momento y forma de aplicación adecuados ayudará a mejorar la eficiencia agronómica y lograr una eficaz recuperación de la inversión por el fertilizante.

1.4.2. Técnicas de Aplicación del Fertilizante.

Se ha considerado tradicionalmente que la forma de nutrición para las plantas es a través del suelo, de donde las raíces absorberán el agua y los nutrientes necesarios. Los fertilizantes en su mayoría se presentan en forma granular por una razón específica, se trata de que el granulo se vaya disolviendo paulatinamente para que la planta lo vaya absorbiendo de acuerdo a sus necesidades y no bruscamente pues esto traería como consecuencia un alto desperdicio del producto y el riesgo de “quemar” las raíces provocando con esto la muerte de la planta. Sin embargo la fertilización radicular no permite proporcionar a las plantas sus reales necesidades nutricionales. La cantidad y la regulación de la absorción dependen de varios factores, tales como la variedad del cultivo, la fecha de siembra, la rotación de cultivos, las condiciones del suelo y del tiempo.

Es por ello que en la actualidad se ha hecho necesario buscar nuevos productos y desarrollar otras técnicas de aplicación a fin de mejorar la productividad. De tal manera que se ha promovido la necesidad de disponer de fertilizantes solubles en agua, tan limpios y purificados como

sea posible para disminuir la posibilidad de obstrucción de los emisores.

Fertirrigación.

Fertirrigación o fertigación, son los términos para describir el proceso por el cual los fertilizantes son aplicados junto con el agua de riego. Este método es un componente de los modernos sistemas de riego a presión como; aspersión, microaspersión, pivote central, goteo, exudación, etc. Con esta técnica, se puede controlar fácilmente la parcialización, la dosis, la concentración y la relación de fertilizante.

FIGURA 1.4 FERTIRRIGACIÓN POR GOTEO

La fertirrigación ofrece ventajas con respecto a los métodos tradicionales:

- La fertirrigación permite altos rendimientos.

- Disminuye la compactación del suelo.
- Utiliza menos energía en las aplicaciones.
- La aplicación de nutrientes y agua es más precisa, localizada y controlada.
- La distribución de nutrientes se realiza conforme a las necesidades de la planta y en la forma química adecuada.
- Proporciona la solución nutritiva adecuada según el estadio de fenológico del cultivo.
- Supone un ahorro de agua, nutrientes y mano de obra.
- Permite un impacto ambiental mínimo.

La tabla 2 muestra la formula química, concentración, índice salino e índice de acides de los principales fertilizantes usados en el fertirriego. [1]

TABLA 2

FÓRMULA QUÍMICA, CONCENTRACIÓN, ÍNDICE SALINO E ÍNDICE DE ACIDES DE LOS PRINCIPALES FERTILIZANTES USADOS EN EL FERTIRRIEGO

Fertilizante	Fórmula Química	Nutrimiento %	Índice salino [1]	Índice básico [2]	Índice ácico [3]
Nitrógeno (N)					
Amonio Anhídrido	NH_3	82	0,572		148
Nitrato de Amonio	NH_4NO_3	35	2,999		62
Sulfato de Amonio	$(NH_4)_2SO_4$	21	3,253		110
Fosfato Monoamónico	$NH_4H_2PO_4$	11	2,453		58
Fosfato diamónico	$(NH_4)HPO_4$	18	1,614		70
Solución Nitrogenada		40	1,93		57
Nitrato de Potasio	KNO_3	13-14	5,336		
Nitrato de Sodio	$NaNO_3$	16	6,06	29	
Urea	$CO(NH_2)_2$	45-46	1,618		71
Fósforo P2O5					
Superfosfato simple	$Ca(H2PO_4)_2$	20	0,39	Neutro	
Superfosfato triple (SFT)	$Ca(H2PO_4)_2$	46	0,21	Neutro	
MAP		48	0,485		
DAP		46	0,637		
Potasio K2O					
Cloruro de Potasio	KCl	60	1,936	Neutro	
Sulfato de Potasio	K_2SO_4	50	0,853	Neutro	
Sulfato de K y Mg	$K_2SO_4.2MgSO$	22	1,971	Neutro	

[1] Por unidad de nutrimiento N, P_2O_5 y K_2O

[2] El índice básico o alcalino está expresado en función del fertilizante

[3] Mezcla de agua con nitrato de amonio y/o urea

Aplicación foliar.

La fertilización foliar consiste en la aplicación de una solución nutritiva al follaje de las plantas, con el fin de complementar la fertilización realizada al suelo, o bien, para corregir deficiencias especificas en el mismo periodo de desarrollo del cultivo. Mediante la aplicación foliar se

superan las limitaciones de la fertilización del suelo tales como la lixiviación, la precipitación de fertilizantes insolubles, el antagonismo entre determinados nutrientes, los suelos heterogéneos que son inadecuados para dosificaciones bajas, y las reacciones de fijación/absorción como en el caso del fósforo y el potasio.

FIGURA 1.5 APLICACIÓN FOLIAR

Es importante comprender que a pesar de que la nutrición foliar ha probado ser la forma más rápida para curar las deficiencias de nutrientes y acelerar la performance de las plantas en determinadas etapas fisiológicas, este método no puede sustituir a la provisión de nutrientes a través de las raíces, dado que la absorción de todos los nutrientes de las

plantas a través de las hojas involucra una cantidad considerable de mano de obra con un alto riesgo de fitotoxicidad.

1.4.3. Granulometría.

El término granulometría se refiere al tamaño de las partículas o gránulos del fertilizante y su proporción en el volumen total del mismo. Este influye en la fijación, solubilidad y eficiencia de fertilizante en el suelo.

Cabe indicar que para las técnicas de fertilización descritas anteriormente se requiere que el producto final presente una granulometría entre 0,1 y 0,15 mm.

La Figura 1.5 muestra ejemplos de fertilizantes granulados. Arriba de izquierda a derecha: fosfato diamónico, salitre potásico, salitre sódico. Abajo de izquierda a derecha: superfosfato triple, urea granulada y mezcla.

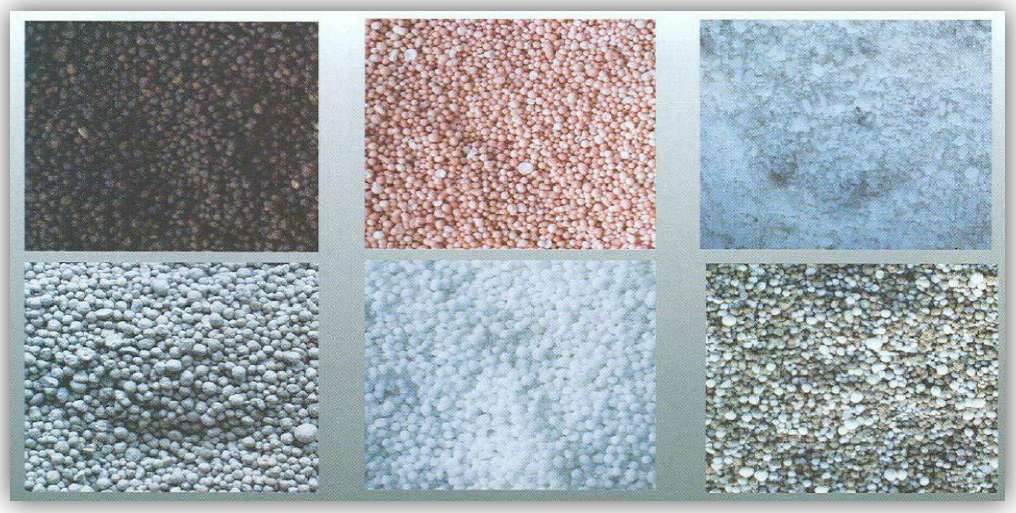


FIGURA 1.6 DIVERSOS FERTILIZANTES GRANULADOS

CAPÍTULO 2

2. CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL FERTILIZANTE PULVERIZADO.

2.1. Requerimientos Generales del Diseño.

Se requiere una línea de producción de mezclas de fertilizantes inorgánicos en polvo con una capacidad de 2 Ton/h. Por ello se describe paso a paso los requerimientos en cada etapa de la línea.

Inicia con la recepción de los principales componentes del fertilizante en grano, los cuales llegan directamente a la zona de descarga y posteriormente son transportados hacia la zona de almacenamiento por medio de un montacargas de esta manera las propiedades de estos componentes se mantienen en perfecto estado para su utilización, mantenido el inventario físico de la planta y un control del stock de los materiales fertilizantes simples,

alcanzando los parámetros logísticos y operativos necesarios, estos materiales granulados son expuestos al proceso de planificación de producción de acuerdo a las diversas formulaciones de fertilizantes con la finalidad de satisfacer a plenitud los requerimientos del agricultor para mantener el estado nutricional del suelo y del vegetal.

Una vez estructurado el plan a aplicar el jefe de planta recibe de las oficinas la información referente a los componentes y a la proporción de dichos materiales fertilizantes que comprenden la fórmula o mezcla a preparar (Batch). Él se encarga de ajustar dicha información para que sea utilizada por los obreros, quienes son los que inician la manipulación de la materia prima en el proceso de elaboración de la mezcla física del fertilizante de esta forma, ellos son capaces de colocar dentro de la tolva las cantidades exactas de cada uno de los distintos componentes, para así iniciar el proceso de producción.

La alimentación de la maquinaria se realizará partiendo con la recepción de los componentes en una tolva pesadora para luego mediante un tornillo sinfín poder transportar la cantidad predeterminada de los materiales, además de realizar la post-

mezcla de los fertilizantes simples; posteriormente el material será alojado dentro de una tolva de recepción para luego dejar caer el material hacia la boca acondicionadora del trompo mezclador, es necesario que la tolva en la parte superior almacene los componentes mientras se realiza la mezcla procurando mantener la continuidad del proceso. Asegurando así una mezcla totalmente homogénea y libre de terrones.

Una vez concluida la mezcla el contenido del trompo mezclador es desalojado y mediante un segundo tornillo sin fin el mismo que transporta el fertilizante compuesto granulado hacia una pequeña tolva, que a su vez direcciona el paso de la mezcla hacia la zona central del molino pulverizador, donde se pulveriza la mezcla por acción de la fuerza centrífuga generada por la rotación del disco rotor, de esta manera el fertilizante es enviado a la periferia de la placa del rotor donde colisiona con los impactadores o pines seleccionados. En esta zona, el material es sometido a múltiples impactos a su paso a través del laberinto de los pines o bloques que se traduce en la reducción del tamaño de la mezcla. La fuerza que es impartida al material es controlada por la velocidad del rotor donde el máximo de energía, se obtiene con una velocidad del

rotor alta, mientras que para un manejo más suave, se selecciona una velocidad de rotación baja.

Finalmente, después de pasar por la zona de impacto, el material será descargado hacia el cono de una tolva para su posterior ensacado. Una vez cosido, cada saco es dirigido hacia las plataformas de los vehículos destinados para el transporte terrestre del fertilizante hasta la unidad de despacho.

Debido a que el fertilizante es un producto químico gran parte de los equipos deberán ser diseñados considerando como material base el acero inoxidable para protegerlos de la corrosión.

2.2. Sistema de Pesaje de Tolvas.

En cualquier industria que requiera dosificación de polvos, granos o piezas, es necesario saber la cantidad exacta que contiene en su interior, el método de precisión más exacto que existe es la determinación del peso mediante una báscula para tolva.

La indicación de una báscula de recipiente no depende de la densidad del producto, indica exactamente la cantidad de materia existente, independientemente de su temperatura o presión. Esto permite, el llenado, vaciado, la dosificación y mezclas de

ingredientes, con el objetivo de realizar formulaciones completas y cuidadas.

2.3. Sistema de Transporte Tornillo Helicoidal.

Estos transportadores están formados por aspas helicoidales (hélice laminada a partir de una barra plana de acero) o seccionales (secciones individuales cortadas y formadas en hélices, a partir de una placa plana), montadas en una tubería o eje que gira. Sus capacidades máximas son de 280 metros cúbicos por hora.

El sinfín es definido en función de las características de trabajo, como pueden ser el caudal, cantidad de solido a transportar, velocidad de transporte, inclinación del equipo, agresividad del material a transportar, dimensiones del canal, etc.

Ventajas

- Simple y ampliamente disponibles en muchas medidas.
- Bajo costo.
- Disponible para aplicaciones horizontales, verticales, inclinadas, pueden ser fijas o portátiles con ruedas.

- Adaptables a la mayoría de materia granulada y a la alimentación de estos materiales.
- Aplicable como mezclador, medidor de flujo, alimentador de fuerzas o agitador.

Desventajas

- Alto torque requerido cuando el material está húmedo.
- Desgaste medio o pesado.
- Ruidoso sino descansa en rodamiento o no es operado a la capacidad correcta.
- En granos alto daño sino es operado a la capacidad correcta.

2.4. Sistema de Mezclado.

La mezcla tiene por objeto combinar todos los componentes que entran en distinta proporción y con características muy variadas, como densidad, tamaño, etc. para conseguir la distribución uniforme de cada materia prima, es decir homogenizar el producto, esto crea un valor agregado que no existe en los ingredientes de manera individual. Las cantidades de cada componente que se van a mezclar dependen del tipo de fórmula que se esté realizando, la cual previamente se balancea de acuerdo a la composición de las materias primas.

Aunque las mezclas que se realizan en la planta son diferentes tanto en ingredientes como en cantidad, el orden de mezclado es prácticamente el mismo en todos los casos, y es como se muestra a continuación:

Primero se adicionan los componentes sólidos en orden descendente de acuerdo a la cantidad de estos (nitrógeno amoniacal, óxido de fósforo, óxido de potasio, que son los componentes primarios de los fertilizantes). Posteriormente se adicionan los componentes sólidos de menor porcentaje de inclusión (azufre, hierro zinc, y demás micronutrientes), pre-mezclados durante el transporte del tornillo sin fin.

2.4.1. Mecanismos de Mezclado. [(2)]

Convección: Transferencia de grupos de partículas grandes del material en forma de oleadas de un lugar a otro distante en el lecho del mezclado.

Fallas: Deslizamiento de planos entre diferentes regiones del lecho del mezclado. Esto puede ocurrir individualmente en las masas, o en forma de flujo laminar.

Difusión: Movimiento de partículas individuales sobre la superficie del lecho; esto hace que se cambie la posición relativa de la partícula respecto al lecho.

En la mayoría de los mezcladores el mezclado ocurre por la combinación de los tres mecanismos anteriores. Sin embargo, puede decirse que en los mezcladores móviles priman los mecanismos de fallas y difusión, mientras que en los fijos el mezclado ocurre principalmente por el mecanismo de convección.

2.4.2. Tipos de Máquinas Mezcladoras de Sólidos. [2]

Un buen mezclador es aquel que mezcle todo el lote del producto en forma suave, además de ser fácil de limpiar, descargar, tener poca fricción, buena hermeticidad, alta movilidad, fácil mantenimiento y bajo consumo de energía.

2.4.3. Mezcladores Móviles. [2]

Se basan en el mecanismo de volcamiento del material causado por la rotación del recipiente y fuerza de la gravedad. Para un buen mezclado en estos equipos, los polvos deben ser de dimensiones similares y de flujo fácil,

nunca se deben llenar con más del 80% de su capacidad nominal.

Según su forma los mezcladores se clasifican en:

Cilíndricos o de tambor: Consiste de una carcasa cilíndrica que se puede rotar a lo largo de su eje para producir flujo cruzado del material.

FIGURA 2.1 MEZCLADOR DE TAMBOR

Cónico: El principio de caída y rebote del material es igual al del mezclador de tambor.

FIGURA 2.2 MEZCLADOR CÓNICO

De doble cono: Durante la rotación el polvo se entremezcla entre cada uno de los extremos del equipo. Sus ventajas son que se puede cargar y descargar por ambos lados, además de ser de fácil limpieza, tener tiempos de mezclado cortos y de producir un buen flujo cruzado.

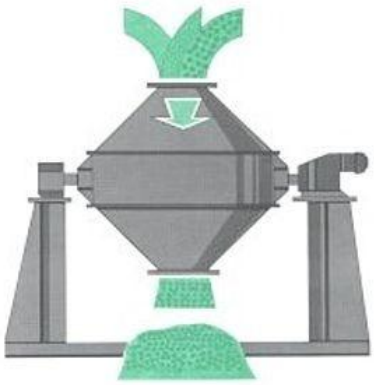


FIGURA 2.3 MEZCLADOR DE DOBLE CONO

En V o de Calzoncillo: Consiste de dos cilindros unidos en sus extremos con una angulación que oscila entre 45 y 90°. El principal mecanismo de mezclado que produce es por convención. Como estos equipos son herméticos, pueden producir vacío y secado además de no contaminar ni de empolvar. Este equipo es el más preciso de los mezcladores de carcasa móvil.

FIGURA 2.4 MEZCLADOR EN V

2.4.4. Mezcladores de Carcasa Estacionaria. [2]

Son equipos donde la carcasa permanece estática, en cuyo interior poseen una serie de elementos que ejecutan el mezclado como aire a chorro, cuchillas, tornillos o paletas; algunos de éstos producen un flujo en forma de vortex o turbulento.

De Cintas: Consiste de un tambor horizontal con un eje axial de soporte y un agitador de cintas. La rotación alrededor del eje de una sola cinta produce un movimiento radial alrededor de la parte interna del mezclador, al mismo tiempo otra cinta curvada produce un movimiento axial alrededor de la parte interna del mezclador.

FIGURA 2.5 MEZCLADOR DE CINTAS

De Tornillo vertical: Consiste de una carcasa cónica con un tornillo sin fin interno que transporta el material hacia arriba y luego el movimiento de cascada y gravitacional lo regresa hasta el fondo.

Las principales ventajas de las mezcladoras verticales son su relativamente bajo costo y su menor requerimiento de espacio. Las desventajas incluyen un mayor tiempo de mezclado, capacidad limitada de inclusión de ingredientes líquidos y mayores requerimientos de limpieza.

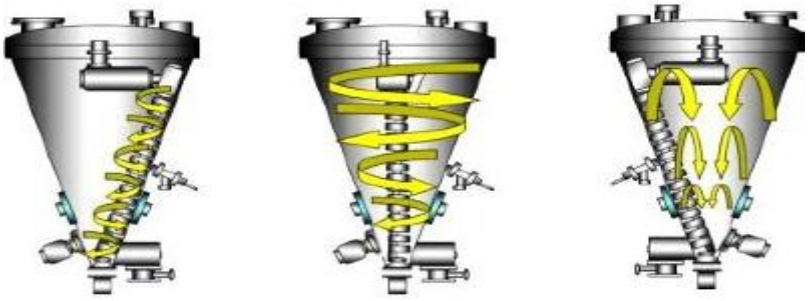


FIGURA 2.6 MEZCLADOR DE TORNILLO VERTICAL

De Paletas: Consiste de un recipiente cilíndrico vertical donde el material se mezcla por acción de palas o paletas unidas a un eje rotatorio central. El flujo de los polvos se produce en tres dimensiones ocurriendo un movimiento radial y axial simultáneo.

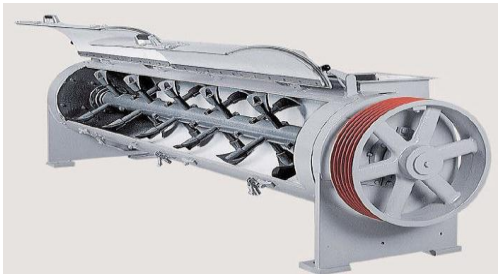


FIGURA 2.7 MEZCLADOR DE PALETAS

De Palas planetario: Posee un eje vertical con paletas que rotan en una configuración planetaria proporcionando una doble acción mezcladora.

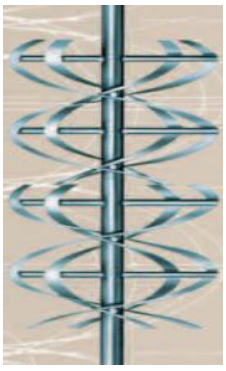


FIGURA 2.8 MEZCLADOR DE PALAS PLANETARIO

Sigma: Consiste de un cilindro vertical donde el mezclado ocurre por unas cuchillas pequeñas propulsoras localizadas en su fondo. Es muy eficiente en romper los aglomerados pero su gran desventaja es que produce calentamiento del material por lo tanto consume mucha energía.

FIGURA 2.9 MEZCLADOR SIGMA

Barra z: Consiste de un recipiente cilíndrico horizontal con dos ejes paralelos (cuchillas espirales) que rotan en direcciones opuestas y que producen un movimiento tangencial de choque. Se aplica en el mezclado de masas pegajosas, duras y densas.

FIGURA 2.10 MEZCLADOR BARRA Z

2.4.5. Influencia de los Ingredientes en el Mezclado.

La operación de una mezcladora depende tanto del tipo o diseño de la mezcladora como de las propiedades físicas de los ingredientes.

Durante el proceso de mezclado las propiedades físicas de los ingredientes que influyen en el funcionamiento de la mezcladora son: tamaño de la partícula, forma de la partícula, peso específico o densidad, higroscopicidad, susceptibilidad a la carga electrostática, adhesividad.

Si todas las propiedades físicas son relativamente iguales, la mezcla es relativamente simple, pero conforme los

parámetros físicos empiezan a variar más ampliamente, los problemas de mezcla y segregación se complican.

Los factores que pueden afectar la calidad homogeneidad de la mezcla son: llenado excesivo de la mezcladora, tiempo de mezclado, la velocidad o RPM que gira el tornillo mezclador, secuencia de adición de los ingredientes, desgaste del tornillo mezclador, compuertas que no cierran bien permitiendo el escape de los ingredientes.

La segregación puede ocurrir durante el mezclado si existe mucha diferencia en el tamaño de las partículas de los ingredientes en la mezcla. También cuando el mezclado está por encima del tiempo óptimo determinado para la mezcladora. Esto sucede con frecuencia cuando los operadores, con el objetivo de mejorar la calidad, extienden el tiempo de mezclado.

2.4.6. Alternativas del Sistema de Mezclado.

Se enfocan los aspectos más importantes a considerar para la posterior selección del sistema de mezclado, se realiza la

comparación entre el mezclador vertical de tornillo de cono y el mezclador horizontal de cintas:

Espacio disponible en la planta. Si el espacio en la planta es limitado, la mejor opción es escoger un mezclador vertical.

Descarga completa. El mezclador vertical del tornillo de cono le da virtualmente 100% descarga a través del cono inferior.

Presupuesto para la energía. El mezclador de cinta consume dentro 25% hasta 30% más energía, sobre ciclos de mezcla largas.

Riesgo de contaminación. El mezclador de cinta plantea siempre una mayor amenaza de contaminación.

Producto sensible al calor. La acción de mezcla de una cinta puede generar más calor a comparación del mezclador de tornillo.

Capacidad de producción requerida. Si se necesita flexibilidad el mezclador de cono puede funcionar eficientemente con jornadas tan pequeñas de hasta 10% de su capacidad. El mezclador de la cinta generalmente requiere un mínimo de 40-50% de capacidad plena.

Rapidez. Los mezcladores del tornillo del cono son generalmente 30% más rápido que los mezcladores de la cinta con aplicaciones similares.

Exactitud de la mezcla. El mezclador de la cinta y mezclador del tornillo del cono, igualmente producen un producto bien mezclado.

Limpieza. No hay duda que el mezclador del tornillo de cono es más fácil de limpiar.

2.4.7. Criterios de Selección del Mezclador. [2]

La selección de la alternativa más idónea para la selección del mezclador se realiza en base a los criterios que se presentan a continuación en orden de importancia:

1. Costo
2. Seguridad en el uso
3. Facilidad de uso
4. Tamaño
5. Mantenibilidad
6. Rendimiento
7. Facilidad de carga / descarga
8. Facilidad de acople
9. Facilidad de fabricación
10. Vida útil

Selección de Alternativas.

Para la selección de las alternativas, primero se realiza una tabla a través del método de la matriz combinex, este consiste en numerar los parámetros en orden de importancia, es posible que varios parámetros tengan la misma importancia. Una vez realizado este procedimiento se ubican en la tabla como una matriz cuadrada, entonces se van calificando las posibilidades. Cuando los parámetros coinciden, no tienen calificación, cuando tienen el mismo grado de importancia, se califica con 0.5 puntos, y por último cuando es más importante el parámetro de la primera

columna, se califica con 1 punto. Para terminar este método, se suman los puntos de cada parámetro y se dividen para el total, así se obtiene el factor de ponderación, WF (Weighting Factor). Luego de haber obtenido el factor de ponderación de cada uno, se realiza la matriz de decisión, calificando a cada alternativa del 1 al 10, donde el 1 es muy malo y el 10 es muy bueno.

TABLA 3
MATRIZ DE PONDERACIÓN DE CADA PARÁMETRO-SISTEMA DE MEZCLA [(2)]

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PTS	WF
1	Costo	-	0,50	0,50	1	1	1	1	1	1	1	8	0,18
2	Seguridad	0,50	-	0,50	1	1	1	1	1	1	1	8	0,18
3	Facilidad de uso	0,50	0,50	-	1	1	1	1	1	1	1	8	0,18
4	Tamaño	0	0	0	-	0,50	0,50	1	1	1	1	5	0,11
5	Mantenibilidad	0	0	0	0,50	-	0,50	1	1	1	1	5	0,11
6	Rendimiento	0	0	0	0,50	0,50	-	1	1	1	1	5	0,11
7	Facilidad de carga/descarga	0	0	0	0	0	0	-	0,50	1	1	2,5	0,06
8	Facilidad de acople	0	0	0	0	0	0	0,50	-	1	1	2,5	0,06
9	Facilidad de fabricación	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1	1	0,02
10	Vida útil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0.00
												45	1

TABLA 4

MATRIZ DE DECISIÓN PARA EL SISTEMA DE MEZCLADO [(2)]

Factor	Factor de ponderación	Mezcladora horizontal de cintas	Mezclador de tornillo vertical
Costo	0,18	4	8
Seguridad	0,18	7	7
Facilidad de uso	0,18	8	8
Tamaño	0,11	4	8
Mantenibilidad	0,11	5	7
Rendimiento	0,11	8	6
Facilidad de carga/descarga	0,06	8	7
Facilidad de acople	0,06	7	8
Facilidad de fabricación	0,02	5	7
Vida útil	0	8	8
		6,21	7,41

2.5. Molienda.

La operación de molienda consiste esencialmente en la transformación física de la materia sin alterar su naturaleza. La reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado. Los molinos son aparatos que reducen el tamaño de los trozos de material con elementos móviles del interior del mismo. De entre los diversos tipos de molinos que existen para llevar a cabo tal acción, la elección se fundamenta en la naturaleza o el estado físico (dureza, granulometría y humedad) del producto a tratar y del grado de

finura que se quiera obtener, así como en base a la producción que se desee.

2.5.1. Diferencias entre Técnicas de Reducción de Partículas.

Las técnicas de reducción de tamaño son:

- Compresión: es utilizada para la reducción gruesa de sólidos duros, genera productos gruesos, medios o finos.
- Corte: se utiliza cuando se requiere un tamaño definido de partículas.
- Frotación o rozamiento: genera productos finos a partir de materiales blandos no abrasivos.
- Impacto: Esta técnica consiste en el choque de las partículas para la disminución de su tamaño.

Los molinos que se utilizan habitualmente en la industria agrícola son los pulverizadores por impacto. Estos pulverizadores se emplean para la molienda de materias quebradizas, poco resistentes a golpes, como son los fertilizantes. La granulometría mediana que se puede obtener para el material de salida es bastante fina, hasta 40 micras; sin embargo, la producción que permiten los pulverizadores es relativamente pequeña, yendo de 100

Kg/h a un máximo de 5 Ton/h. Estos molinos están indicados para las necesidades de obtención de finuras muy elevadas pero con producciones relativamente pequeñas.

2.5.2. Molino Pulverizador de Pines.

El molino pulverizador de pines está constituido por una cámara de trituración. Esta cámara está atravesada por un eje que gira a gran velocidad y sobre el cual van fijados unos discos especiales que contienen los pines, basa su principio de operación en la molienda por impacto en la que el material se ve sometido a secuenciales colisiones debido a las altas fuerzas centrifugas y recorridos muy estrechos entre los discos de pines dentro de la cámara. Estos pines son posicionados en filas de tal manera que forman círculos concéntricos. El disco rotor de pines es enlazado con el disco estator. La mezcla granulada es previamente dosificada por un tornillo sinfín y direccionada por la tolva de recepción hacia la parte central del estator, y luego es guiada por una platina deflectora hacia la zona de rotación. Al alcanzar la periferia el producto es seleccionado por un tamiz que determina el tamaño relativo de las partículas. El

producto en proceso es llevado por el flujo de aire generado hacia la boca de descargue directo.

El logro de la deseada estrecha distribución de tamaño de partícula se obtiene mediante el control de la velocidad del rotor. La variación de la velocidad del rotor entre unos pocos cientos de RPM hasta 5400 RPM proporciona la flexibilidad para utilizar la máquina como una molienda gruesa o unidad de aglomerantes, así como un molino de molienda fina o pulverizador.

Lo que comprende el cuerpo, se fabrica en acero al carbón terminado en pintura epóxica sanitaria, en acero inoxidable tipo 304 o en aluminio según la necesidad. La base es hecha en acero al carbón y termina en pintura electroestática. Los pines son fabricados de acero inoxidable tipo 304 sometido a temple y revenido para elevar su propiedad de dureza. El disco rotor y estator es de acero inoxidable al igual que el tamiz.

Debido a las variantes e intercambiabilidad de sus piezas interiores: disco rotor, disco estator, pines, tamiz tiene alta

adaptabilidad a la producción y sus aplicaciones, desde materiales granulares hasta partículas súper finas además de evitar contaminaciones. La cubierta de la cámara de los discos de pines se articula lo que significa que todos los componentes en contacto con el material abrasivo se pueden acceder fácilmente y limpiarse para el mantenimiento o las reparaciones necesarias.

FIGURA 2.11 MOLINO DE PINES

2.6. Sistema de Desempolvado.

2.6.1. Ciclón

El ciclón es básicamente un equipo que remueve el material particulado de una corriente gaseosa basándose en el principio de impactación inercial.

Su función es separar polvo y otras partículas a través de fuerza centrífuga y por gravedad. El aire cargado de polvo entra tangencialmente por la parte superior cilíndrica y dirige las partículas a las paredes exteriores del ciclón. La corriente de aire sigue una trayectoria en espiral que primero se dirige hacia el fondo del tronco de cono, ascendiendo después por el centro del mismo. El aire, una vez depurado, abandona el ciclón por la parte superior. Las partículas separadas se descargan por el fondo del ciclón.

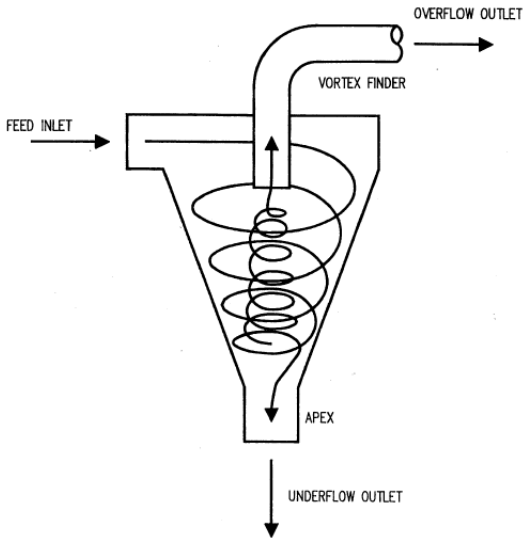


FIGURA 2.12 MECANISMOS DE COLECCIÓN DE PARTÍCULAS EN UN CICLÓN

Teóricamente el aumento de la velocidad de entrada al ciclón implica un aumento de la fuerza centrífuga y por lo tanto un aumento de la eficiencia (curva 1), por el contrario cuando se disminuye el flujo también disminuye la eficiencia (curva 2). Sin embargo velocidades de entrada muy altas generan la resuspensión de material particulado de las paredes internas del ciclón, lo cual disminuye la eficiencia del ciclón; adicionalmente aumentar la velocidad de entrada implica mayor consumo de energía.

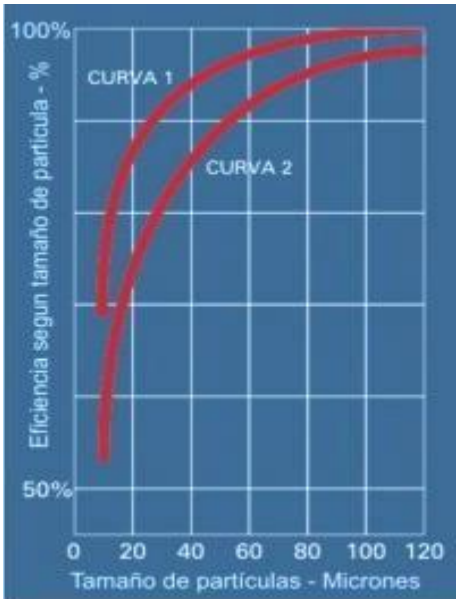


FIGURA 2.13 EFICIENCIA DE UN CICLÓN

Las principales familias de ciclones de entrada tangencial son:

- Ciclones de alta eficiencia.
- Ciclones convencionales.
- Ciclones de alta capacidad.

Ciclones de alta eficiencia: Están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales, pueden remover partículas de 5μm con eficiencias hasta del 90%, pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes. Tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de mayores costos de

energía para mover el gas sucio a través del ciclón. Por lo general, el diseño del ciclón está determinado por una limitación especificada de caída de presión, en lugar de cumplir con alguna eficiencia de control especificada.

Ciclones de alta capacidad: De acuerdo con Vatavuk (1990), Los ciclones de alta capacidad están garantizados solamente para remover partículas mayores de 20μm, aunque en cierto grado ocurra la colección de partículas más pequeñas.

2.6.2. Filtro de Mangas.

Los filtros de mangas son considerados como los equipos más representativos de la separación sólido-gas mediante un medio poroso. Son estructuras metálicas cerradas en cuyo interior se disponen elementos filtrantes textiles en posición vertical (mangas). Se montan sobre una cámara que acaba en su parte inferior en una tolva de recogida de partículas. El aire cargado de sólidos es forzado a pasar a través del textil, sobre el que se forma una capa de polvo. La retención de partículas por los filtros se debe a la participación de diferentes mecanismos:

a) Tamizado o intercepción directa, que consiste en la retención de las partículas que tienen un tamaño superior al de los poros del medio filtrante;
b) Inercia o impacto inercial provocado por los cambios de dirección del fluido;
c) La intercepción difusional que se manifiesta con partículas pequeñas por el movimiento browniano.
d) El efecto de las fuerzas electrostáticas entre partículas de polvo y el filtro.
e) El proceso de filtración continúa hasta que la caída de presión se hace tan importante que requiere la limpieza del sistema.

Tipos de Filtros de Mangas por su Mecanismo de Limpieza.

Existen tres tipos de filtros de mangas: de sacudido, aire reverso y pulse jet.

Filtros de mangas de sacudido: Este tipo de filtros colectan el polvo en el interior. La estructura generalmente tiene dos o más compartimientos para permitir que uno de ellos pueda desconectarse para su limpieza. Las mangas filtrantes cuelgan de forma vertical en filas con la parte superior

cerrada, permitiendo así que se conecten al mecanismo de sacudido a lo ancho del colector. La parte inferior de las mangas está abierta y se conecta a la placa portamangas.

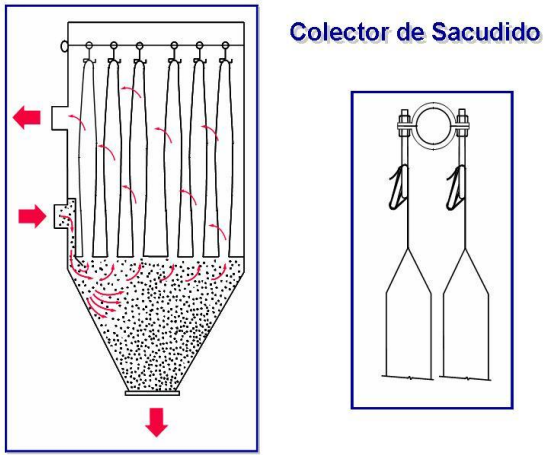


FIGURA 2.14 FILTRO DE MANGAS DE SACUDIDO

Filtros de mangas de aire reverso: En un sistema de aire reverso, el gas cargado de polvo entra a través de la parte inferior del filtro y es dirigido hacia las mangas filtrantes por medio de deflectores. Las partículas se recogen en el interior de las mangas que cuelgan verticalmente, mientras que el aire limpio se encuentra en el exterior de las mangas.

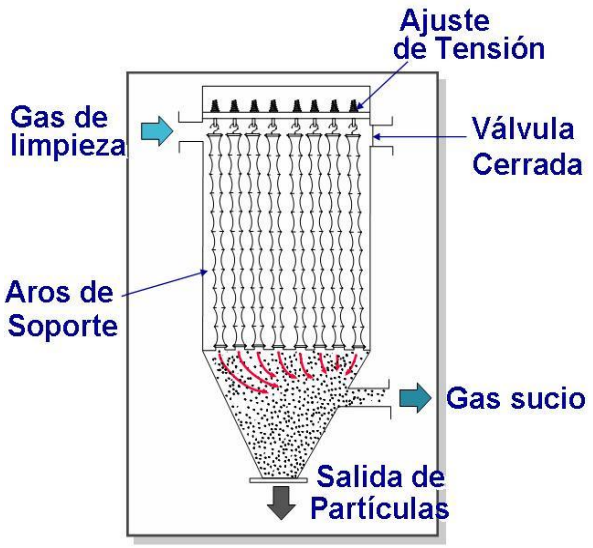


FIGURA 2.15 FILTRO DE MANGAS DE AIRE REVERSO

Filtros de mangas pulse-jet: Este tipo de filtros, permite una mejor cantidad de aire con igual área en el colector, es decir mayor relación de aire-tela. El sistema pulse-jet funciona generalmente con una relación de aire a tela de 1.2-1.8$m^3/m^2/min$. Esto significa que la estructura general del filtro es de menor tamaño, lo que lo hace más económico al construirse. Las mangas filtrantes cuelgan verticalmente dentro de la unidad y se sujetan por la parte superior con abrazaderas y la parte inferior de la manga es cerrada. En estos sistemas, las mangas tienen canastillas internas de alambre.

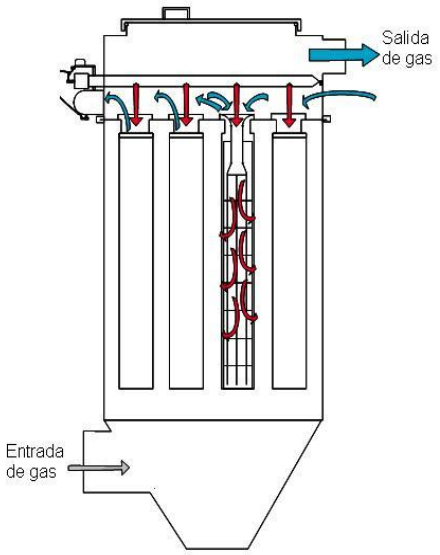


FIGURA 2.16 FILTRO DE MANGAS TIPO PULSE JET

Relación aire-tela.

La relación aire tela es una simple relación matemática utilizada para medir la cantidad de tela filtrante disponible para filtrar un volumen de aire dado a un caudal dado.

Existen relaciones aire-tela estándares basadas en el mecanismo de limpieza, utilizándolas para determinar los límites operacionales de un filtro de mangas, para el filtro de sacudido la relación es 0.75 - 0.90 $m^3/m^2/min$ (2.5 - 3.0:1); para el de aire reverso es 0,60 - 0,75 $m^3/m^2/min$ (2.0 - 2.5:1) y para el pulse jet es 1.50 - 1.80 $m^3/m^2/min$ (5.0 – 6.0:1).

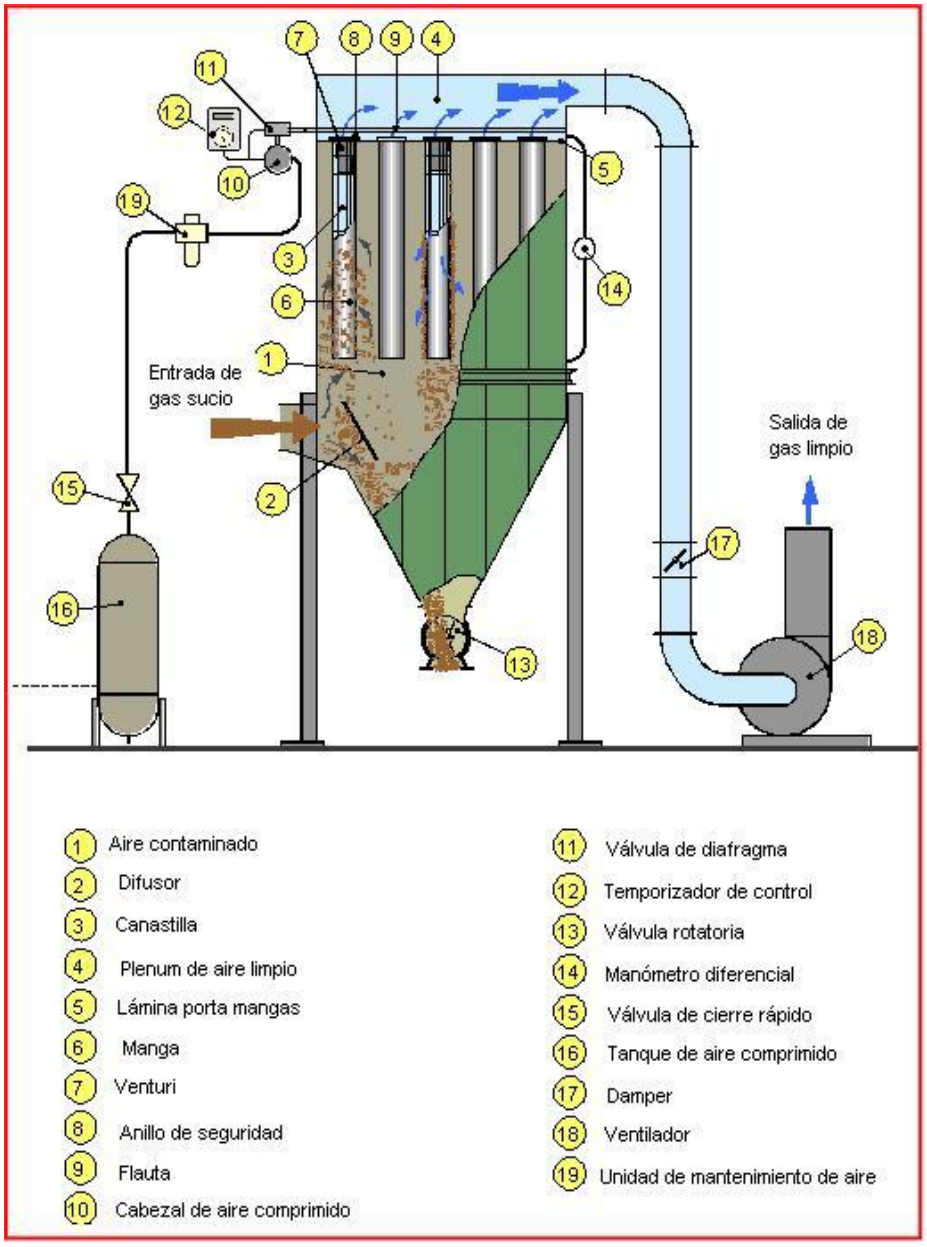


FIGURA 2.17 ELEMENTOS MECÁNICOS EN UN COLECTOR DE POLVO PULSE JET

Es fundamental hacer una evaluación de los elementos principales localizados antes y después del filtro de mangas.

Campana de Captura.

Las campanas de captura están diseñadas para transportar el polvo generado hacia el filtro dentro de un sistema.

El diseño de la campana de captura en los puntos de succión deberá otorgar el tiro suficiente para levantar las partículas que están en combinación con el aire ambiente pero sin capturar el material que forma parte del flujo principal.

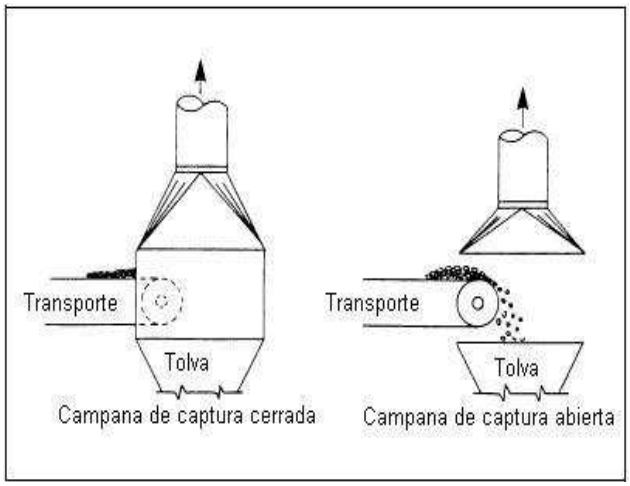


FIGURA 2.18 TIPOS DE CAMPANAS DE CAPTURA

Es posible optimizar las campanas de captura considerando los siguientes puntos:

- La campana debe ser ubicada lo más cercano posible a la fuente de contaminación.
- La entrada de la campana debe estar ubicada de tal manera que haga que al menos, el patrón de movimiento del fluido se desvíe hacia ella.
- El ancho de la campana debe ser mayor que el de la fuente de contaminación.
- Se pueden colocar aletas dentro de la campana para llevar el flujo hacia el ducto con menores pérdidas.

Para el diseño de la campana de captura, hay que considerar que a la salida de ésta y entrada al ducto, la velocidad de transporte de las partículas deberá llegar a 18 m/s como mínimo, siendo ésta la velocidad promedio para polvos industriales provenientes moliendas y manejo general de materiales.

TABLA 5

RANGO DE VELOCIDADES DE CAPTURA [3]

CONDICIÓN DE LA DISPERSIÓN DEL CONTAMINANTE	APLICACIÓN	VELOCIDAD DE CAPTURA (m/s)
Sueltas sin velocidad en el aire	Evaporación de tanques	0.25 a 0.5
Sueltas con velocidad baja del aire	Transportadores de baja velocidad	0.5 a 1.0
Generación activa dentro de la zona de generación	Carga/descarga de transportadores, trituradoras	1.0 a 2.5
Alta velocidad dentro de la zona	Molienda, sandblasting	2.5 a 10

Ductos.

El ducto en un sistema de extracción localizada es el lugar por donde se traslada el aire contaminado desde la campana, que se encuentra junto al foco contaminante, al punto en que se ha ubicado el separador y la descarga. Cuando ese aire pasa por cualquier ducto debe vencerse la resistencia originada por la fricción y, por lo tanto, hay que gastar energía. La magnitud de esta pérdida por fricción tiene que ser calculada antes que el sistema está instalado, con el objeto de elegir el ventilador más adecuado.

El diseño de ductos se fundamenta en la mecánica de fluidos y sus principios. Donde ρ_{aire}=1.20 Kg/m^3 a 20ºC y 1 atm de presión; y la viscosidad cinemática tiene un valor de μ =16x10^{-4} m^2/s.

Una adecuada velocidad del gas dentro del ducto permitirá que el polvo sea transportado junto con él. Básicamente, en cualquier punto del ducto, la velocidad debe estar entre 18 m/s y 20 m/s, porque si la velocidad es menor se encontraría material segregado a lo largo del ducto; en cambio, con una velocidad muy alta, resultaría en abrasión en el ducto.

Ventilador.

El ventilador es el corazón del sistema. Controla el flujo de gas en el punto de generación de la contaminación y en el resto del sistema y sus componentes. Proveen la energía necesaria para que el flujo logre vencer la resistencia (o caída de presión) a través del ducto y colector. Existen 2 tipos de ventiladores: axiales y centrífugos. En sistemas de control de la contaminación, los ventiladores centrífugos son los mayormente utilizados.

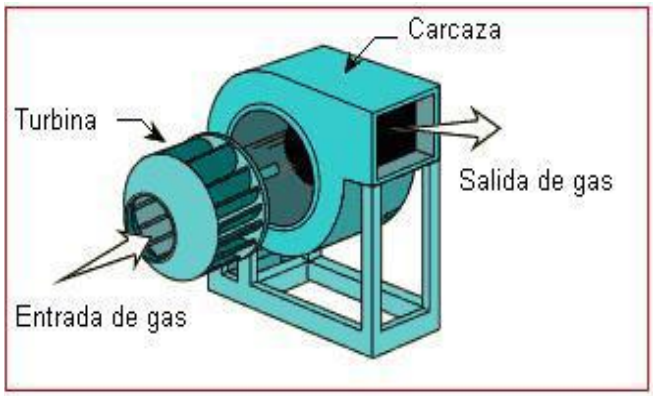
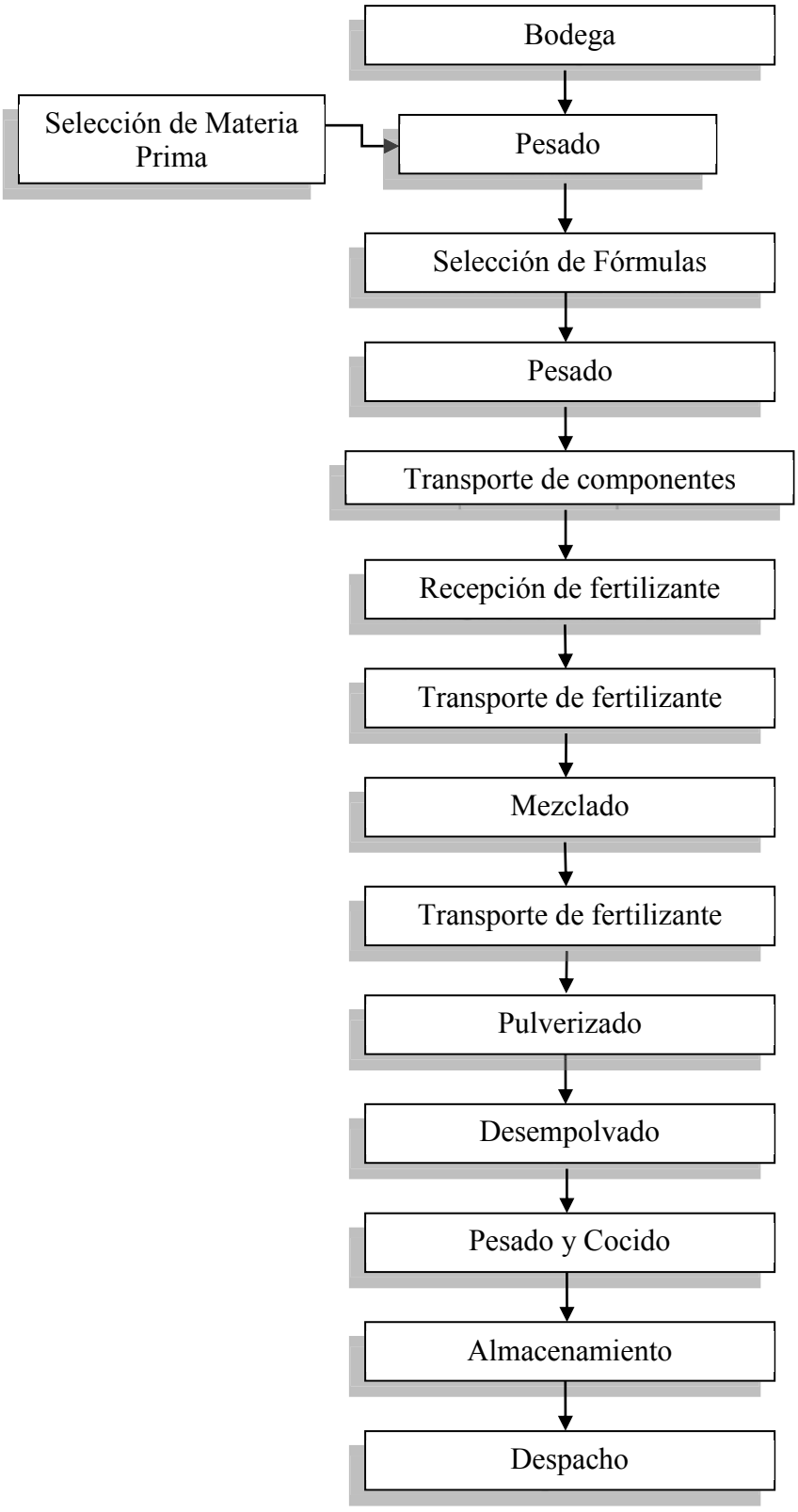
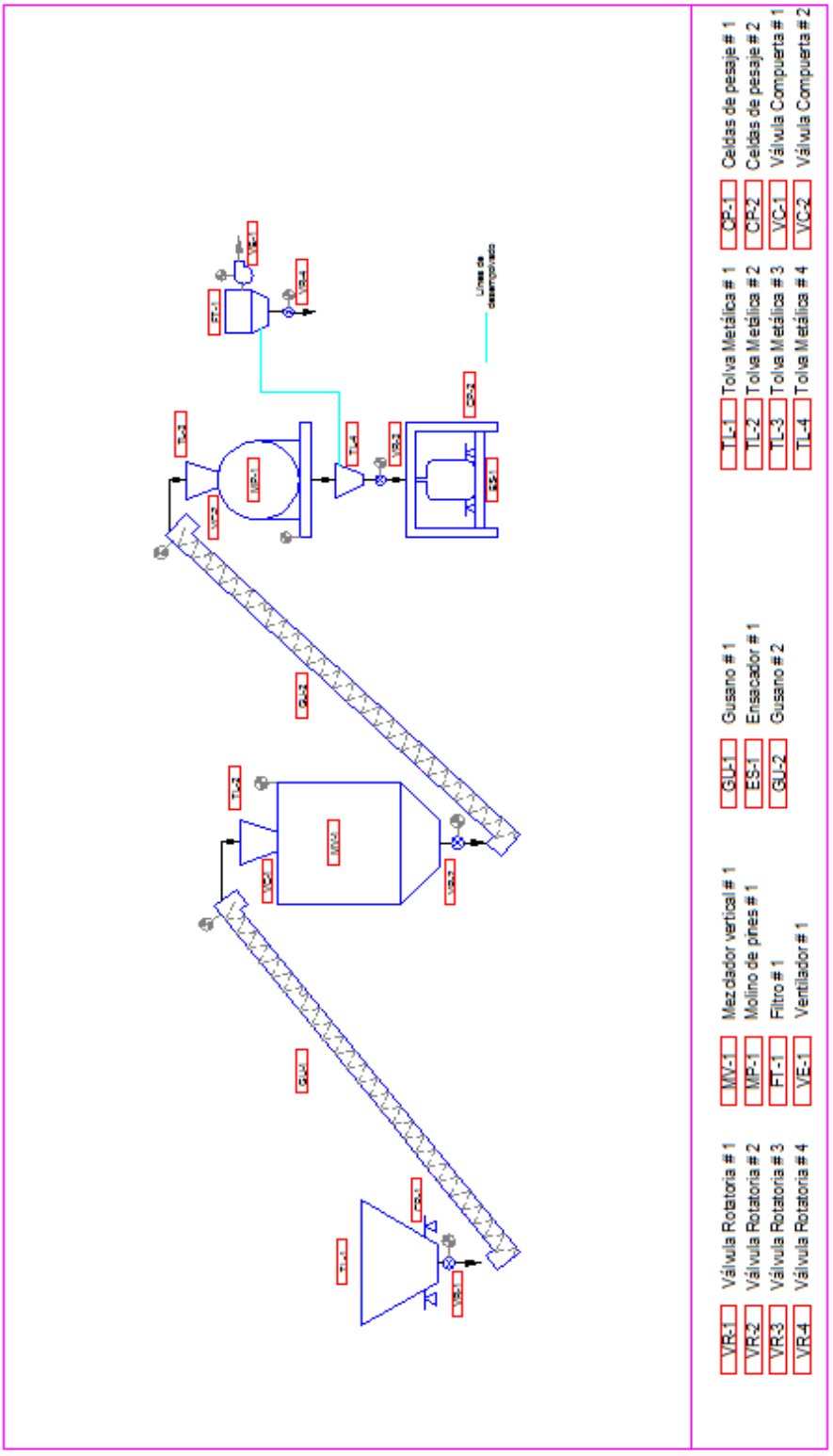


FIGURA 2.19 VENTILADOR CENTRÍFUGO

2.7. Esquema del Proceso.



2.8. Diagrama de Equipos.



CAPÍTULO 3

3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN.

3.1. Dimensionamiento de las Tolvas de Recepción.

Se detalla el diseño de tres tolvas principales en la línea. La primera tiene por función recibir fertilizante al granel vertido directamente de los sacos por los operadores para luego ser transportado por un tornillo sin fin hacia la segunda tolva, la cual por estar dotada de un sistema de balanzas (celdas de pesaje) y un sensor de nivel es capaz de registrar el peso del material vertido y con esto dosificar las cantidades precisas de los distintos componentes, cuando esta capacidad es alcanzada se abre la válvula de compuerta para descargar instantáneamente a la mezcladora; de esta manera garantiza que el producto final cumple con las proporciones exactas que constituyen las diversas fórmulas

de los fertilizantes. La tercera tolva es la de almacenamiento del fertilizante en polvo, una vez que este ha sido pulverizado en el Molino de Pines el producto final es descargado hacia esta tolva para su posterior ensacado y cocido.

Se debe tener especial cuidado en proteger a las tolvas de la acumulación de fertilizantes en su interior, es por ello que se recomienda una alimentación continua durante intervalos de tiempo ya que la humedad provocaría que los fertilizantes se apelmacen y no desciendan al tornillo sin fin, a la mezcladora o a la ensacadora, además que disminuirá la capacidad real de la tolva.

La geometría de la tolva dependerá del sistema adoptado para recoger los granos. En efecto, en el primer caso que es recogida mediante un tornillo transportador, la forma de la tolva puede ser una pirámide regular invertida (de base cuadrada o rectangular). Mientras que para las dos siguientes se decidió que tengan forma de cono truncado para su fácil descarga.

Para que los granos fluyan bien, es importante establecer las dimensiones exactas de la tolva: longitud y ancho de la base, profundidad y ángulo de reposo del fertilizante, el cual deberá ser

tomado en cuenta para evitar que la carga se adhiera a las paredes de la tolva.

TABLA 6

ÁNGULOS TÍPICOS DE REPOSO DE VARIOS FERTILIZANTES COMUNES (1)

FERTILIZANTE		
TIPO	**GRADO**	**ÁNGULO DE REPOSO (GRADOS)**
Urea Granular	46-0-0	34-38
Sulfato de Amonio Granular	21-0-0	36-38
Sulfato de Amonio Cristalino	21-0-0	29-36
Nitrato de Amonio	34-0-0	29-38
Fosfato Diamónico Granular	18-46-0	27-37
Fosfato Monoamónico	11-55-0	28-37
Superfosfato Triple Granular	10-50-0	30-34
Cloruro de Potasio Granular	0-46-0	28-35
Cloruro de Potasio Estándar	0-60-0	31-35
Sulfato de Potasio Granular	0-0-50	28-35

TABLA 7

RELACIÓN ENTRE EL ÁNGULO DE REPOSO Y LA FLUIDEZ

Ángulo de reposo	Fluidez
< 25	Excelente
26 – 30	Buena
31 – 40	Regular
> 40	Pobre

Debido a que el producto a almacenar por su composición química es medianamente corrosivo se decide utilizar como material al acero inoxidable AISI 304 a pesar de su costo elevado tiene una buena resistencia y protección contra la corrosión.

Descripción de Análisis de Fuerzas.

Las tolvas no presentan mayores complicaciones y su diseño se reduce al dimensionamiento.

Para esto es necesario conocer el volumen que ocupa la carga. Con este valor se definen las relaciones entre las áreas superior e inferior de la tolva así como la altura que esta debe tener. A partir de la fórmula de volumen se tiene que:

Para la tolva de forma prismática:

$$V = \frac{H}{3} * \left(A + A' + \sqrt{A * A'} \right) \qquad (3.1)$$

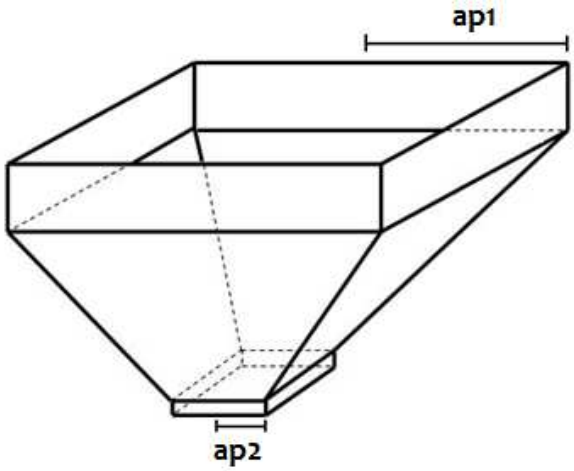


FIGURA 3.1 TOLVA DE RECEPCIÓN

Dónde:

Área lateral es igual a: $A_L = \frac{P+P'}{2} * A_p$ (3.2)

Área Total es igual a: $A_T = \frac{P+P'}{2} * A_p + A + A'$ (3.3)

Mientras que para las tolvas de forma cónica:

$$V = \frac{\pi H}{3} (R^2 + r^2 + Rr) \qquad (3.4)$$

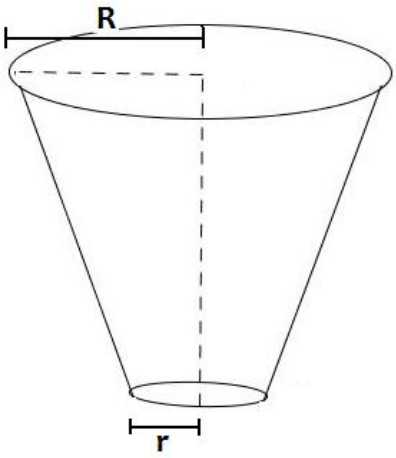


FIGURA 3.2 TOLVA DE ALMACENAMIENTO

Donde:

$$g = \sqrt{H^2 + (R - r)^2} \quad (3.5)$$

Diseño de tolvas.

Se diseña ambas tolvas como si se tratara de un recipiente de pared delgada.

$$\sigma_t = \frac{Pd}{2t} \quad (3.6)$$

Dado que la presión que actúa sobre las paredes es igual a:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.7)$$

De la ecuación 3.7 se tiene que para la tolva prismática:

$$P = \frac{W * Sen35}{\frac{P+P'}{2} * A_p + A + A'} \quad (3.8)$$

De igual manera, se tiene que para la tolva cónica:

$$P = \frac{W * Sen\ 35}{\pi[g(R+r)+R^2+r^2]} \quad (3.9)$$

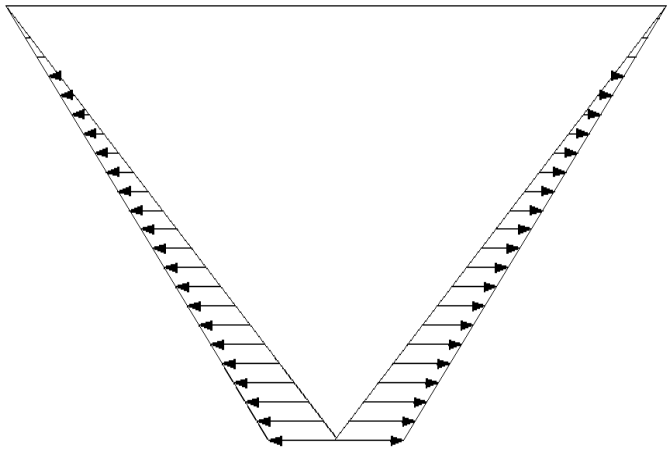


FIGURA 3.3 PRESIÓN EN LAS PAREDES DE LA TOLVA

Para el cálculo del espesor de las paredes de la ecuación 3.6:

$$t = \frac{Pd}{2\sigma_t}$$

Dado que:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_t}$$

$$\sigma_t = \frac{S_y}{n}$$

$$t = \frac{Pdn}{2S_y} \quad (3.10)$$

Dónde:

t = Espesor de pared de tolva.

S_y= Resistencia del material a utilizar, 276 MPa.

n= Factor de seguridad, 2.

d= El diámetro o perímetro, 200 mm.

Para un diseño preliminar se define:

- Tolva prismática: Perímetro superior= 1050 mm
- Tolva cónica: Diámetro superior= 1280 mm
- La altura de las tolvas se la escogió de 600 mm y de 900 mm para la tolva prismática y cónica respectivamente.

Una vez planteada la interrogante se tiene que:

Para la tolva prismática:

$$\mathrm{V} = 0{,}2705\ \mathrm{m}^3$$

Por lo tanto la masa a almacenar es igual a:

$$\mathrm{m} = 272{,}39\ \mathrm{Kg} > 250\ \mathrm{Kg}\ (\text{carga inicial})$$

Y su peso es de:

$$\mathrm{W} = 2672{,}18\ \mathrm{N}$$

De esta manera, la presión mediante la ecuación 3.8 es igual a:

$$\mathrm{P} = 514\ \mathrm{Pa}$$

Finalmente de la ecuación 3.10 se tiene que:

$$\mathrm{t} = 3{,}72 * 10^{-7}\mathrm{m}$$

Para la tolva cónica:

De la ecuación 3.1 se tiene que el volumen almacenado en la tolva es:

$$\mathrm{V} = 0{,}46\ \mathrm{m}^3$$

Por lo tanto la masa a almacenar es igual a:

$$\mathrm{m} = 458{,}9\ \mathrm{Kg} > 400\ \mathrm{Kg}\ (\text{carga inicial})$$

Y el peso es:

$$\mathrm{W} = 4502{,}52\ \mathrm{N}$$

Mediante la ecuación 3.5 se calcula la generatriz:

$$\mathrm{g} = 1050$$

De la ecuación 3.9 se tiene que la presión en la pared de la tolva es:

$$\mathrm{P} = 687{,}16\ \mathrm{Pa}$$

Finalmente de la ecuación 3.10, el espesor es de:

$$\mathrm{t} = 4{,}98 * 10^{-7}\mathrm{m}$$

Para ambos casos el cálculo indica que el espesor es mínimo debido a la poca presión ejercida en las paredes de la tolva, dado que es difícil maniobrar con materiales de poco espesor y por facilidad de compra en el mercado se selecciona un espesor estándar de 2 mm.

Selección de Celdas de Pesaje.

Uno de los sistemas más exactos para determinar el contenido de un recipiente es la determinación de su peso. Debido a que las tolvas deben dosificar cuidadosa y homogéneamente el material se ha seleccionado celdas de pesaje modelo 745 con una capacidad de carga de 550 Kg en base al catálogo de METTLER TOLEDO (APÉNDICE A).

3.2. Diseño y Selección del Transportador Helicoidal.

Para esta parte de la línea de producción, dado que los transportes de tornillos sin fin son un equipo normalizado, se recurre a un fabricante y se siguen los pasos que éste da para la selección y diseño del transporte adecuado. El fabricante elegido es Martin y se detalla a continuación los pasos sugeridos:

Paso 1: Establecer los factores conocidos que son:

- Tipo de material que se va a transportar
- Tamaño máximo de grumos duros
- Porcentaje de grumos duros por volumen
- Capacidad requerida en ft^3/h
- Capacidad requerida en lbs/h
- Distancia que se va a transportar el material

- Todo factor adicional que afecte al transporte

Paso 2: Clasificar el material de acuerdo al sistema mostrado en la tabla 1-2 del MANUAL DE MARTÍN, (APÉNDICE B).

Selección intermedia de rodamientos: L-S

Factor del material: 1.4

Porcentaje de llenado del cajón: 45%

Paso 3: Determinar la capacidad de diseño a partir de la tabla 1-6 del MANUAL DE MARTÍN, (APÉNDICE B). Conociendo el valor del porcentaje de llenado del paso 2 y la capacidad requerida en ft^3/h.

Paso 4: Comprobar el diámetro de hélice y determinar la velocidad N. Para esto se calcula N dividiendo la capacidad requerida en ft^3/h para los ft^3/h a 1 RPM.

$$N = \frac{\text{Capacidad requerida}}{\text{Capacidad a 1 RPM}} \qquad (3.11)$$

Este valor debe ser menor que el valor máximo de N según la tabla 1-6 del MANUAL DE MARTÍN, (APÉNDICE B).

Paso 5: Confirmar el diámetro y la velocidad para las limitaciones de grumos duros. En este caso NO APLICA.

Paso 6: Determinar el número de rodamientos según la tabla 1-11 del MANUAL DE MARTÍN, (APÉNDICE B). El paso 2 da la posibilidad de escoger en la misma tabla el rodamiento tipo L o tipo S.

Paso 7: Determinar la potencia. Tomando el factor de material Fm encontrado en el paso 1, se aplican las siguientes fórmulas.

$$\mathrm{HP_f} = \frac{\mathrm{LNF_d f_b}}{1000000} \qquad (3.12)$$

$$\mathrm{HP_m} = \frac{\mathrm{CLWF_f F_m F_p}}{1000000} \qquad (3.13)$$

$$\mathrm{Total\ HP} = \frac{(\mathrm{HP_f + HP_m})\mathrm{F_o}}{\mathrm{e}} \qquad (3.14)$$

Para un transportador de tornillo inclinado se usa la siguiente fórmula:

$$\mathrm{HP_{Final}} = \mathrm{HP_{horizontal}} + \frac{\mathrm{TPH} * \mathrm{altura\ (mts)}}{100} \qquad (3.15)$$

Los siguientes factores determinan la potencia requerida para las condiciones anteriores.

L= Longitud total del transportador, ft.

N= Velocidad de operación, RPM.

Fd= Factor de diámetro del transportador (Tabla 1-12 del MANUAL DE MARTÍN, APÉNDICE B).

Fb= Factor de cojinete de suspensión (Tabla 1-13 del MANUAL DE MARTÍN, APÉNDICE B).

C= Capacidad, ft^3/h.

W= Peso del material, lb/ft^3.

Ff= Flight factor (Tabla 1-14 del MANUAL DE MARTÍN, APÉNDICE B).

Fm= Factor de material (Tabla 1-2 del MANUAL DE MARTÍN, APÉNDICE B).

Fp= Factor de paleta cuando es requerido, (Tabla 1-15 del MANUAL DE MARTÍN, APÉNDICE B).

Fo= Factor de sobrecarga (Tabla 1-16 del MANUAL DE MARTÍN, APÉNDICE B).

e= Eficiencia del acoplamiento (Tabla 1-17 del MANUAL DE MARTÍN, APÉNDICE B).

Paso 8: Comprobar los valores de torque y potencia según las tablas 1-18 y 1-19 del MANUAL DE MARTÍN, (APÉNDICE B). El torque se calcula según:

$$\text{Torque} = \frac{63{,}025 * \text{HP}}{\text{RPM}} \qquad (3.16)$$

Paso 9: Selección de los componentes adicionales de acuerdo a las tablas 1-8, 1-9 y 1-10 del MANUAL DE MARTÍN, (APÉNDICE B).

Paso 10: Consultar la página H38 del catálogo del MANUAL DE MARTÍN, (APÉNDICE B) para definir detalles típicos de la distribución.

Proceso de diseño.

Factores conocidos:

Tipo de material que se va a transportar: Fertilizante

Tamaño máximo de grumos duros: Para este caso se considera que no hay grumos.

Porcentaje de grumos duros por volumen: No aplica

Capacidad requerida en ft^3/h: 91,875 ft^3/h

Capacidad requerida en lbs/h: 5512,5 lbs/h

Distancia que se va a transportar el material: 3,5 m

Todo factor adicional que afecte al transporte: No aplica

Clasificación del material:

Tipo de Material: Fertilizante Cloruro de Potasio

Densidad: 60 lb/pie3

Código del Material:

B6-25T

TABLA 8

PROPIEDADES DEL MATERIAL A TRANSPORTAR [4]

B6	2	5	T
Tamaño	**Flotabilidad**	**Abrasividad**	**Propiedades Varias**
Fino. Tamiz N.6 (0,132”) y menos	Flujo Libre	Medianamente abrasivo	Medianamente Corrosivo

Selección del tornillo: L-S

Serie del componente: 2

Factor FM: 1.4

Tipo de carga: 45

Capacidad requerida: 2 Ton/h

Capacidad de Diseño:

A partir de la capacidad requerida calcularemos la capacidad de diseño del transportador de tornillo teniendo en cuenta que es recomendado para transportadores de tornillo longitudinales ordinarios utilizar un paso de ½ D en el tornillo.

$$2{,}5\ \frac{\text{Ton}}{\text{h}} * \frac{1000\ \text{Kg}}{1\ \text{Ton}} * \frac{2{,}205\ \text{lb}}{1\ \text{Kg}} * \frac{1}{60\ \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = 91{,}875\ \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$$

$$(\text{Capacidad equivalente}) = \text{Capacidad requerida} * \text{CF1} * \text{CF2} * \text{CF3}$$

$$\text{CF1} = 1{,}5 \text{ ya que el paso del tornillo es} \frac{2}{3} \text{D}$$

$$\text{CF2} = 1 \text{ ya que no hay modificaciones en la aleta}$$

$$\text{CF3} = 1 \text{ ya que no hay paletas}$$

$$(\text{Capacidad equivalente}) = 91{,}875\ * 1{,}5 * 1 * 1$$

$$(\text{Capacidad equivalente}) = 137{,}81\ \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$$

Determinación del diámetro del tornillo y velocidad:

Utilizando el tipo de carga 45 y la capacidad de diseño de $137{,}81\ \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$ se escoge el diámetro del tornillo detallado en la Tabla 9.

TABLA 9
DIÁMETRO DEL TORNILLO (4)

Diámetro del tornillo (pulgadas)	Capacidad (ft^3/h)		Máx RPM
	A 1 RPM	A Máx RPM	
6	2,23	368	165

Para el cálculo de la velocidad se usa la ecuación 3.11:

$$\mathrm{N} = \frac{\text{Capacidad requerida}}{\text{Capacidad a 1 RPM}}$$

$$\mathrm{N} = \frac{91{,}875\,\frac{\mathrm{ft}^3}{\mathrm{h}}}{2{,}23\,\frac{\mathrm{ft}^3}{\mathrm{h}}} = 41{,}20\ \mathrm{RPM}$$

La velocidad de $41{,}20\ \mathrm{RPM}$ no supera la velocidad máxima recomendada de 165 RPM lo cual verifica el cálculo.

Sin embargo para que la línea tenga un proceso cercano a la continuidad es necesario ampliar la capacidad de carga con el objetivo de incrementar las revoluciones del eje del motor y de esta forma se logre transportar el fertilizante al granel en el menor tiempo posible para su posterior mezcla. Es por ello que para alcanzar los tiempos óptimos de transporte durante los 6 Batch por

hora se requiere que en cada ciclo el proceso completo se tarde de 9 a 11 min. aproximadamente, por lo tanto si se considera la capacidad real de 2000 Kg/h el tornillo sin fin empleara 10 min solamente en transportar 300 Kg, entonces se concluye que para una carga de 6000 Kg/h. este transportará el material en 3 minutos aproximadamente que es lo que se requiere.

Se procede a re-calcular los valores obtenidos siguiendo el mismo procedimiento.

Dado que la capacidad requerida es igual a:

$$6\ \frac{\text{Ton}}{\text{h}} * \frac{1000\ \text{Kg}}{1\ \text{Ton}} * \frac{2{,}205\ \text{lb}}{1\ \text{Kg}} * \frac{1}{60\ \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = 220{,}5\ \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$$

Donde la capacidad equivalente es:

$$(\text{Capacidad equivalente}) = 220{,}5 * 1{,}5 * 1 * 1$$

$$(\text{Capacidad equivalente}) = 330{,}75\ \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$$

Por lo tanto la velocidad a la que gira el tornillo es igual a:

$$\text{N} = \frac{330{,}75\ \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}}{2{,}23\ \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}} = 148{,}31\ \text{RPM}$$

La velocidad de $148{,}31\ \mathrm{RPM}$ no supera la velocidad máxima recomendada de $165\ \mathrm{RPM}$ para el tornillo sinfín de 6” lo cual garantiza la selección.

Determinación del diámetro máximo del tornillo según el tamaño de grumos:

Debido a que el fertilizante es muy fino se considera que no tiene grumos, utilizando la tabla 1-7 del MANUAL DE MARTIN, (APÉNDICE B). Se obtiene el diámetro de la tubería.

$$\emptyset = 2\,{}^{3}/_{8}\,"$$

Determinación del tipo de rodamiento de suspensión:

TABLA 10
CARACTERÍSTICAS DEL COJINETE DE SUSPENSIÓN [(4)]

Grupo de Componente	Tipo de Cojinete	Material recomendado para el acoplamiento del eje	Temperatura máxima recomendada de operación	Fb
L-S	NYLON	ESTÁNDAR	160 °F	2

Determinación de la potencia:

La potencia requerida es el total de la potencia para vencer la fricción (HPf) más la potencia para transportar el material a la

capacidad especificada (HPm) multiplicada por el factor de sobrecarga Fo y dividida para la eficiencia del acoplamiento del motor y el reductor de velocidad.

$L = 3{,}5\ \text{m} = 11{,}48\ \text{ft}$

$N = 148{,}31\ \text{RPM}$

$F_d = 18$

$f_b = 2$

$C = 137{,}81 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$

$W = 60 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$

$F_f = 1\ \ \text{Standard al } 45\%$

$F_m = 1{,}4$

$F_p = 1$

Remplazando en las Ecuaciones 3.12 y 3.13 respectivamente se tiene:

$$HP_f = \frac{LNF_d f_b}{1000000} = \frac{11{,}48 * 148{,}31 * 18 * 2}{1000000} = 0{,}061$$

$$HP_m = \frac{CLWF_f F_m F_p}{1000000} = \frac{137{,}81 * 11{,}48 * 60 * 1 * 1{,}4 * 1}{1000000} = 0{,}13$$

Para el cálculo de la potencia total se tiene:

$F_o = 3;\ HP_f + HP_m = 0{,}2$

$e = 0{,}95$ ya que el acoplamiento es directo.

Aplicando la ecuación 3.14:

$$\text{Total HP} = \frac{(\text{HP}_\text{f} + \text{HP}_\text{m})\text{F}_\text{o}}{\text{e}} = \frac{(0{,}061 + 0{,}13)3}{0{,}95} = 0{,}60$$

De acuerdo a la ecuación 3.15:

$$\text{HP}_\text{Final} = \text{HP}_\text{horizontal} + \frac{\text{TPH} * \text{altura (mts)}}{100}$$

$$\text{HP} = 0{,}60 + \frac{100 * 2}{100} = 2{,}60 \approx 3 \text{ HP}$$

Chequeo de la Potencia y Torque en los componentes estándar del transportador:

Para el cálculo del torque se usa la ecuación 3.16:

$$\text{Torque} = \frac{63{,}025 * \text{HP}}{\text{RPM}}$$

$$\text{Torque} = \frac{63{,}025 * 3}{148{,}31} = 1{,}27 \text{ lbs.pulg}$$

Según la tabla 11, se tiene que el diámetro del acoplamiento es de 1-1/2 pulgadas y tubería de diámetro de 2 pulgadas, debido a que el valor de torque más bajo es de 3,07 lbs.pulg el cual es mayor al obtenido de 1,27 lbs.pulg.

TABLA 11
TORQUE DE LOS ACOPLES [4]

Coupling	Pipe		Couplings		Bolts				
Shaft Dia. In.	Sch. 40		Torque in Lbs.*		Bolt Dia. In.	Bolts in Shear in Lbs. ▲		Bolts in Bearing in Lbs.	
	Size In.	Torque In. Lbs.	CEMA Std. (C-1018)	Martin Std. (C-1045)		No. of Bolts Used		No. of Bolts Used	
						2	3	2	3
1	1½	3,140	820	999	⅜	1,380	2,070	1,970	2,955
1½	2	7,500	3,070	3,727	½	3,660	5,490	5,000	7,500
2	2½	14,250	7,600	9,233	⅝	7,600	11,400	7,860	11,790
2 7/16	3	23,100	15,090	18,247	⅝	9,270	13,900	11,640	17,460
3	3½	32,100	28,370	34,427	¾	16,400	24,600	15,540	23,310
3	4	43,000	28,370	34,427	¾	16,400	24,600	25,000	37,500
3 7/16	4	43,300	42,550	51,568	⅞	25,600	38,400	21,800	32,700

▲ Values shown are for A307-64, Grade 2 Bolts. Values for Grade 5 Bolts are above x 2.5
*Values are for unheattreated shafts.

Para el cálculo de la potencia a 1 RPM se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{HP}}{\text{RPM}} \quad (3.17)$$

$$\text{Potencia} = \frac{3}{148{,}31} = 0{,}020 \text{ a } 1 \text{ RPM}$$

Según la tabla 12 se tiene que el diámetro de 1-1/2 pulgadas es una correcta elección ya que el valor de 0,072 es menor que 0,48 a 1 RPM.

TABLA 12
POTENCIA DE LOS ACOPLES [4]

Coupling	Pipe		Couplings		Bolts				
Shaft Dia. In.	Size In.	H.P. per R.P.M.	H.P. per R.P.M.		Bolt Dia. In.	Bolts in Shear H.P. per R.P.M. ▲		Bolts in Bearing H.P. per R.P.M.	
			CEMA Std. (C-1018)	Martin Std. (C-1045)		No. of Bolts Used		No. of Bolts Used	
						2	3	2	3
1	1¼	.049	.013	.016	⅜	.021	.032	.031	.046
1½	2	.119	.048	.058	½	.058	.087	.079	.119
2	2½	.226	.120	.146	⅝	.120	.180	.124	.187
2 7/16	3	.366	.239	.289	⅝	.147	.220	.184	.277
3	3½	.509	.450	.546	¾	.260	.390	.246	.369
3	4	.682	.450	.546	¾	.260	.390	.396	.595
3 7/16	4	.682	.675	.818	⅞	.406	.609	.345	.518

▲ Values shown are for A307-64, Grade 2 Bolts.

Selección de los Componentes Adicionales.

Expansión térmica en el transportador de tornillo

Debido a que el transportador de tornillo opera a temperatura ambiente se considera que no habrá problemas por fuerzas producidas por la expansión térmica.

Deflexión en el tornillo del transportador.

Cuando se usa tornillos de longitud mayor a la estándar la deflexión puede ser un problema si es que no se utiliza cojinetes de suspensión intermedios, por lo tanto se calcula la deflexión utilizando la siguiente fórmula:

$$D = \frac{5WL^3}{384(29000000)I} \qquad (3.18)$$

D= Deflexión, (pulg).

W= Peso total del tornillo, (lbs).

L= Longitud total del tornillo, (pulg).

I= Momento de inercia de la tubería, tabla 1-20 para un diámetro de tubería de 2” del MANUAL DE MARTÍN, (APÉNDICE B).

Aplicando la ecuación 3.18 se tiene:

$$\mathrm{D} = \frac{5 * 62 * (118)^3}{384(29000000)0{,}666} = 0{,}07"$$

L=9-10 (ft-pulg) =118 pulg

I=0,666

W promedio del tornillo de longitud estándar = 62 lbs

Para una longitud estándar del tornillo de 118 pulgadas se tiene que la deflexión es igual a 0.07” la cual es menor al valor crítico de 0,25”, lo que indica factibilidad del diseño.

Según el número de serie de componentes 2 se procede a seleccionar los componentes en la tabla 13.

TABLA 13

COMPONENTES DEL TORNILLO SIN FIN [4]

Component Group 2					
Screw Diameter Inches	Coupling Diameter Inches	Screw Number		Thickness, U.S. Standard Gauge or Inches	
		Helicoid Flights	Sectional Flights	Trough	Cover
6	1½	6H308	6S309	14 Ga..	16 Ga..
9	1½	9H312	9S309	10 Ga.	14 Ga.
9	2	9H412	9S412	10 Ga.	14 Ga.

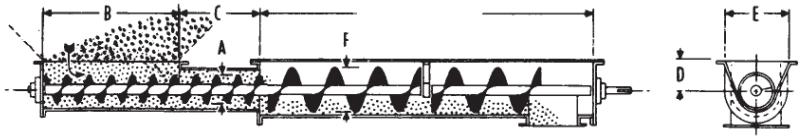
Alimentadores del tornillo

Los alimentadores de tornillo están diseñados para regular la tasa en la que el material libre cae dentro del transportador, para este diseño se utiliza un alimentador tipo 2 ya que se usó un paso (2/3D), para ser más exacto los tipos 2B y 2D son los recomendados para manipular materiales finos de flujo libre.

TABLA 14

DIMENSIONES DEL ALIMENTADOR DE TORNILLO SIN FIN TIPO SF 2D [4]

SF2D



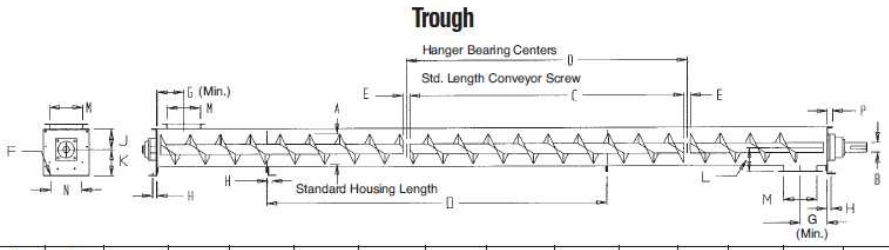
Feeder Diameter A	Maximum Lump Size	Maximum Speed RPM	Capacity Cubic Feet per Hour		B	C	D	E	Extended Screw Diameter F		
			At One RPM	At Maximum RPM					Trough Loading %		
									15	30	45
6	½"	70	3.1	217	60	18	7	14	10	9	9
9	¾"	65	11	715	66	26	9	18	14	12	10
12	1"	60	29	1740	72	36	10	22	20	16	14
14	1¼"	55	44	2420	76	42	11	24	24	18	16
16	1½"	50	68	3400	78	48	11½	28		20	18
18	1¾"	45	99	4455	80	54	12⅛	31		24	20
20	2"	40	137	5480	82	60	13½	34			24
24	2½"	30	224	6720	86	72	16½	40			

Diseño del transportador.

Escogiendo una cubierta tubular y el diámetro del tornillo se escogen los demás parámetros de la tabla 15.

TABLA 15

DIMENSIONES DE LA CUBIERTA TUBULAR DEL TORNILLO SIN FIN (4)



A Screw Diameter	B Coupling Diameter	C Length	D Length	E	F	G (Min.)	H	J	K	L	M	N	P	R
4	1	9-10½	10	1½	⅜	4½	⅞	3⅜	4⅝	3¾	5	5¾	1⁷⁄₁₆	1
6	1½	9-10	10	2	⅜	6	⁹⁄₁₆	4½	5⅝	5	7	8¼	1½	1
9	1½ 2	9-10	10	2	½	8	1⅝	6⅛	7⅞	7⅛	10	9⅝	1⅝	1½

3.3. Dimensionamiento y selección del mezclador.

Para el diseño de la máquina existen varios parámetros que van a limitar sobre todo las dimensiones principales:

a) Capacidad total del sistema de mezclado

b) Ángulo de reposo de la mezcla

A continuación se detalla cada parámetro y se determinan sus valores si es el caso.

a) Capacidad total del sistema de mezclado.

La capacidad del sistema de mezclado viene determinada por el peso de la materia prima a mezclar y su densidad final. Además se tendrá el volumen que va a ocupar el tornillo homogeneizador dentro del cono y el cilindro, así como una distancia segura desde la materia prima que será mezclada hasta el borde superior del cilindro para que no se derrame la mezcla. Para la línea de producción, la máquina deberá ser capaz de mezclar un máximo de 400 Kg de materia prima.

b) Ángulo de reposo de la mezcla.

Este parámetro es bastante importante, ya que va a determinar el mínimo ángulo de elevación que debe tener el cono para permitir que la mezcla resbale por el mismo sin ningún problema y así minimizar las pérdidas. Este ángulo de reposo va a depender de la composición de la mezcla, del material del cono, de la temperatura ambiental y de la humedad. La teoría dice que el ángulo de reposo α debe ser:

$\alpha > 60^{o}$ para polvos cohesivos

$\alpha < 25^{o}$ para polvos no cohesivos

De manera que para asegurar un libre y continuo deslazamiento del material, de acuerdo a la tabla 3.1 $\alpha = 35^{o}$.

Dimensionamiento de las partes:

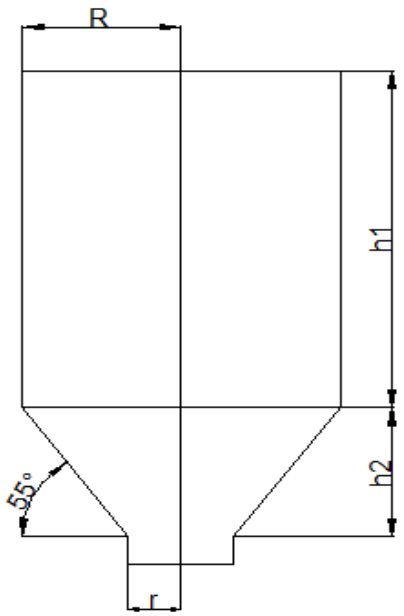


FIGURA 3.4 DISEÑO DE FORMA DEL SILO

Conociendo la cantidad de masa a mezclar y la densidad del fertilizante, se obtiene el volumen del mezclador vertical.

$$V_m = \frac{M_m}{\rho m} \quad (3.19)$$

Donde:

M_m= Masa de la mezcla, (Kg).

V_m= Volumen de la mezcla, (m^3).

ρ_m= Densidad de la mezcla fertilizante, (Kg/m^3).

Remplazando valores en la ecuación 3.19:

$$\mathrm{Vm} = \frac{400\ \mathrm{Kg}}{1007\ \mathrm{Kg/m^3}} = 0{,}4\ \mathrm{m^3}$$

$\mathrm{V_m} = 0.40\ \mathrm{m^3}$ (Volumen del mezclador trabajando al 80% de su capacidad).

$\mathrm{V_m} = 0.50\ \mathrm{m^3}$ (Volumen del mezclador trabajando al 100% de su capacidad).

Tomando en consideración que los mezcladores trabajan al 80 % de su capacidad, se dimensiona el mezclador a un volumen $(\mathrm{V_m} = 0.50\ \mathrm{m^3})$

Dimensionamiento de las Partes Principales.

El volumen total, parte cilíndrica más parte cónica, está dado por la siguiente expresión:

$$\mathrm{V} = \pi \mathrm{R^2 h1} + \frac{1}{3}\pi \mathrm{h2}(\mathrm{R^2} + \mathrm{r^2} + \mathrm{R} * \mathrm{r}) \qquad (3.20)$$

Debido al limitado espaciamiento se toma como condición que el radio (R) debe ser cuatro veces el radio (r), es decir:

R = 4r

R= 0,400 m

Geometricamente se sabe que:

Ecuación 3.21: Altura sección cónica del silo

$$h2 = (R - r) * \tan(\alpha) \qquad (3.21)$$

Entonces, remplazando la ecuación 3.20 en la ecuación 3.21, y despejando h1, se tiene:

Ecuación 3.22 Altura sección cilíndrica del silo

$$h1 = \frac{V - \frac{\pi}{3}(R-r) * (R^2 + r^2 + R * r) * \tan(\alpha)}{\pi R^2} \qquad (3.22)$$

Finalmente, se remplazan todos los valores conocidos en la ecuación 3.22 para obtener el valor de h1 y posteriormente el valor de h2:

h_1 = 808 mm Altura del cilindro

h_2 = 428 mm Altura del cono truncado

De ésta manera, queda dimensionado el cono donde se realiza la mezcla de los diferentes componentes del fertilizante inorgánico.

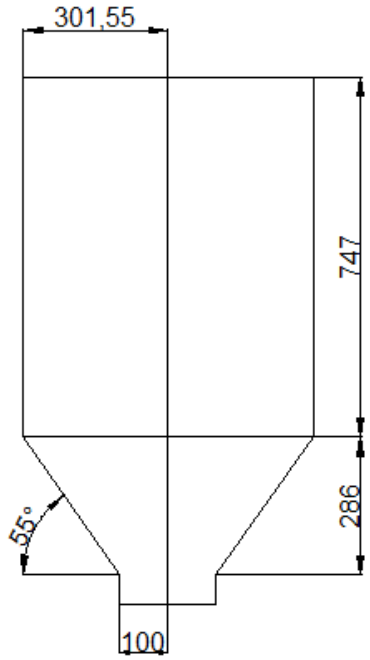


FIGURA 3.5 DIMENSIONES DEL SILO

Cálculo del tornillo homogenizador.

El volumen llenado en un plano helicoidal de un tornillo de diámetro D y paso S, al dar una vuelta completa alrededor del eje está dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 3.23 Volumen de un plano helicoidal

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 S \qquad (3.23)$$

Para expresar el rendimiento volumétrico en una hora, se tiene:

Ecuación 3.24 Rendimiento volumétrico del tornillo por hora

$$Qv = 15\pi D^2 SN \qquad (3.24)$$

Por último, el rendimiento teórico del tornillo toma en cuenta la densidad del producto que va a transportar, de manera que la ecuación final queda:

$$Q_{mr} = 15\pi D^2 S N \rho m \qquad (3.25)$$

Q_{mr}= Rendimiento real del tornillo helicoidal, (Ton/h).

D= Diámetro del tornillo helicoidal, (m).

S= Paso del tornillo, (m).

N= Revoluciones del tornillo, (RPM).

$\rho_{m=}$ Densidad de la mezcla, (Ton/m^3).

Potencia requerida

La potencia requerida para accionar el tornillo helicoidal es el resultado de la suma de 3 potencias parciales [5], así:

Ecuación 3.26: Potencia requerida por el sistema de mezcla

$$P = P1 + P2 + P3 \qquad (3.26)$$

Donde:

P1= Potencia requerida para accionar el tornillo sin carga, (HP).

P2= Potencia requerida para vencer la resistencia del material, (HP).

P3= Potencia requerida para transportar el material, (HP).

Ahora, se procede a hacer el cálculo de las potencias parciales. La potencia P1, requerida para accionar el tornillo helicoidal sin carga adicional se expresa como:

Ecuación 3.27: Potencia para accionar el tornillo sin carga

$$P1 = \frac{WoLDN\rho}{14000} \qquad (3.27)$$

Donde:

W_o= Peso de un metro de eje incluyendo la superficie helicoidal, (Kg/m, Tabla 17).

ρ= Coeficiente dependiente de la longitud del tornillo helicoidal, (Tabla 16).

TABLA 16

VALORES DE Wo [5]

D (mm)	76	102	200
Wo (Kg/m)	5,72	7,14	14

TABLA 17

VALORES DE ρ [5]

L (m)	1	3	5	10	15	25	40
ρ	5	3	2	1,5	1,3	1,2	1,1

La potencia P2, necesaria para vencer la resistencia del material está dada por la siguiente expresión:

Ecuación 3.28: Potencia requerida para vencer la resistencia del material

$$P2 = 0.013 L1 Q_{mr} K \frac{D}{S} \qquad (3.28)$$

Donde:

L_1= Longitud de la hélice, (m).

K= coeficiente dependiente del tipo de material que se transporta (Tabla 18).

TABLA 18

VALORES DE K [(5)]

Material	K
Cereales	0,2
Polvo de carbón y harina	0,25-0,30
Cemento, yeso	0,4
Arena y arcilla	0,7
Cuarzo	0,9
Escoria seca	1,4
Fertilizantes	1,4

La potencia P3, requerida para transportar el material a lo largo del tornillo se define como:

$$P3 = \frac{Q_{mr} he}{270} \qquad (3.29)$$

Ecuación 3.29: Potencia requerida para transportar el material

Donde:

he= Altura de elevación del material, (m).

Finalmente, al remplazar cada una de las potencias parciales, se tiene la expresión de la potencia necesaria para accionar el tornillo helicoidal que se encargará de realizar la mezcla del material:

Ecuación 3.30: Potencia total requerida por el sistema de mezcla

$$P = \frac{WoLDN\rho}{14000} + 0.013L1Q_{mr}K\frac{D}{S} + \frac{Q_{mr} he}{270} \qquad (3.30)$$

Una vez obtenida la expresión para el cálculo de la potencia de entrada requerida, se procede a remplazar cada uno de los valores ya conocidos.

Se tiene que:

Wo= Peso del eje, 7,14 (Kg/m).

D= Diámetro externo del tornillo, 0,10 (m).

L= Longitud del eje completo, 1 (m).

N= Velocidad de giro del tornillo, 100 (RPM).

p= Coeficiente dependiente de la longitud del tornillo, 5.

L1= Longitud de la hélice, 0,75 (m).

K= Coeficiente dependiente del tipo de material que se transporta, 1,4.

S= Paso de la hélice, 0,06 (m).

Q_{mr}= Rendimiento del tornillo, 3 (Ton/h).

he= Altura de elevación del material, 0,9 (m).

Remplazando en la ecuación 3.30 la potencia requerida para el tornillo es igual a:

$$P = 0{,}10 \text{ HP}$$

Ya que no se encuentran motores comerciales de 0,10 HP, se escoge una mezcladora Tipo Mz, la cual se adapta a este requerimiento.

TABLA 19

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MEZCLADORAS MZ.

ESPECIFICACIONES TECNICAS POR MODELO				
MODELO	POTENCIA	VOL. MEZCLA		DENSIDAD
Referencia	HP	Litros	Kilos d - 1	gr/cm3
MZ - 10	0.75	10	10	Hasta - 1.2
MZ - 20	1	20	20	Hasta - 1.2
MZ - 50	1	50	50	Hasta - 1.2
MZ - 100	1.2	100	100	Hasta - 1.2
MZ - 200	2.4	200	200	Hasta - 1.2
MZ - 300	4	300	300	Hasta - 1.2
MZ - 500	5	500	500	Hasta - 1.2
MZ - 750	7,5	750	750	Hasta - 1.2
MZ - 1000	10	1000	1000	Hasta - 1.2
MZ - 1300	12	1300	1300	Hasta - 1.2
MZ - 1500	15	1500	1500	Hasta - 1.2
MZ - 2000	15	2000	2000	Hasta - 1.2

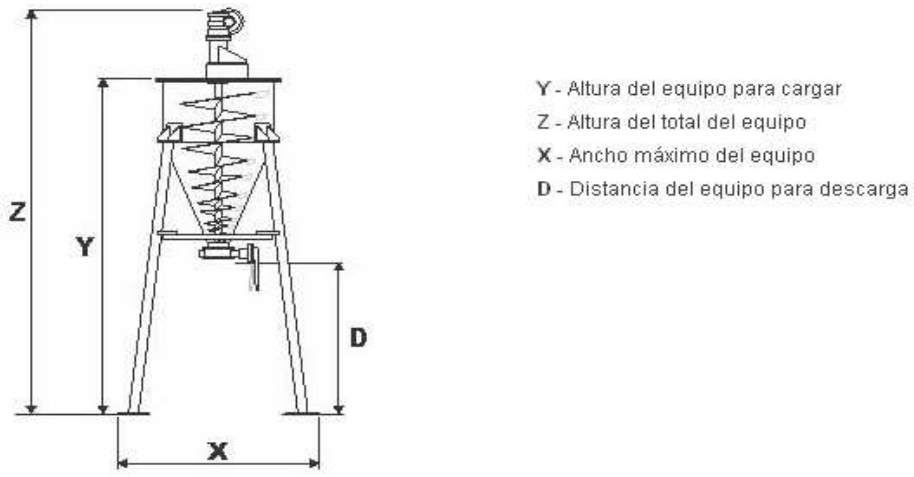


FIGURA 3.6 DIMENSIONES GENERALES DEL MEZCLADOR

3.4. Diseño del Molino Pulverizador de Pines.

El diseño del molino pulverizador de pines se presenta a detalle en el siguiente capítulo.

3.5. Diseño y Selección de Componentes del Sistema de Desempolvado.

Se presentan los cálculos necesarios para el diseño de cada uno de los componentes a utilizar en el sistema, como son campana extractora, ducto, ciclón, filtro de mangas, y la selección del ventilador.

Diseño de forma.

Este sistema de extracción de polvo está constituido de los siguientes elementos: la campana extractora que está apoyada sobre la pared lateral de la cubierta adjunta a la tolva de descarga del molino de pines, el ducto, un ciclón, un filtro de mangas y el ventilador con su respectivo motor.

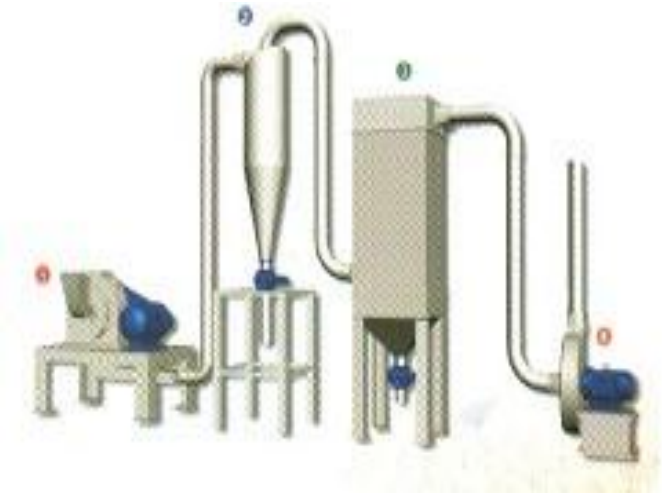


FIGURA 3.7 ESQUEMA DE SISTEMA DESEMPOLVADO

3.5.1. Selección de Campana Extractora.

Se tiene que para llenado de sacos el caudal de polvo generado es de:

Para polvos tóxicos → Caudal =1500 ft^3/min y Velocidad de transporte= 3500 ft/min. (3)

Para determinar las dimensiones de la campana se basó en un catálogo para fabricación de campanas extractoras usado en el Holcim Design Criteria (APÉNDICE C, [1]). La velocidad de captura utilizada es de 1,4 m/s, que se encuentra dentro del rango permisible para su aplicación. (APÉNDICE C, [2])

Por lo tanto la campana extractora a utilizar en este sistema y que cumple con las características necesarias para su uso es la de tipo rectangular a canto vivo.

El factor de forma de la campana establece lo siguiente:

La relación entre el ancho (B) y la longitud de la entrada (L) de la campana sea mayor o igual a 0.2. (APÉNDICE C, [3])

$$B/L \geq 0.2$$

Por lo cual las dimensiones de la campana son:

$$\frac{190}{260} \geq 0.2$$

$$0{,}73 \geq 0.2$$

La ubicación de la campana es significativa para la captura de las emisiones, puesto que el caudal dentro del ducto del sistema varía con el cuadrado de la distancia entre la campana y la fuente de contaminación. (APÉNDICE C, [4])

$$Q = v_h(10x^2 + a) \qquad (3.31)$$

Donde:

Q= Caudal necesario en el punto de desempolvado.

x= Distancia desde la cara del ducto que da hacia la fuente hacia el punto más lejano de la fuente.

V_h= Velocidad de captura a la distancia x.

a= Área de la entrada de la campana.

De la ecuación 3.31 despejando x se tiene que:

$$x = \sqrt{\frac{Q}{V_h} - a}$$

Entonces:

$$x = \sqrt{\frac{\frac{0{,}71\ m^3/s}{1{,}4\ m/s} - 0{,}3\ m^2}{10}}$$

$$x = 0{,}14\ m$$

3.5.2. Dimensionamiento de los Ductos.

Para el diseño del ducto, por el cual las partículas serán extraídas es necesario encontrar las pérdidas debido a las resistencias friccional y dinámica del sistema, así como también el diámetro del mismo. Es por ello que se toma en referencia el caudal a ser succionado por la campana extractora y la velocidad de transporte Standard para las partículas de polvo cuyo valor es de 20 m/s [(3)].

Aplicando la siguiente fórmula se tiene:

$$Q = A * V \qquad (3.32)$$

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

$$A = \frac{0{,}71 m^3/s}{20\ m/s}$$

$$A = 0{,}035\ m^2$$

Dado que:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \qquad (3.33)$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0{,}035\ m^2}{\pi}}$$

$$d = 0{,}21\ m$$

3.5.3. Dimensionamiento del Ciclón.

Para el diseño del ciclón se usará el modelo simplificado de Lapple [5].

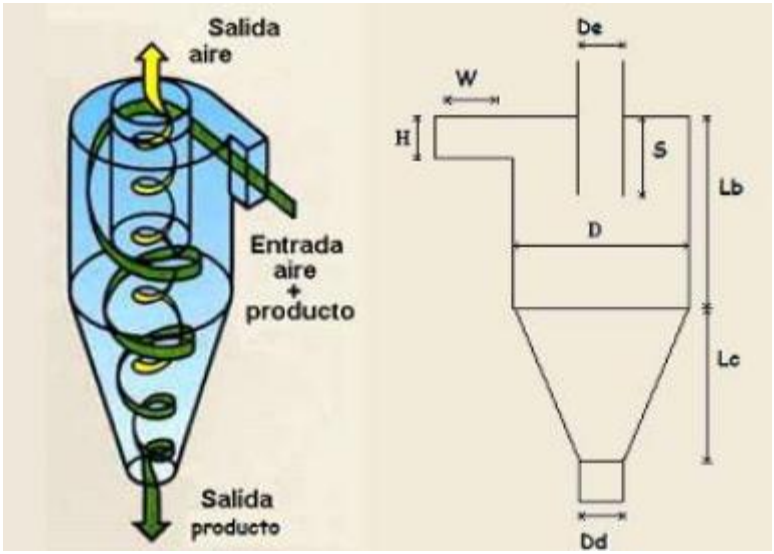


FIGURA 3.8 ESQUEMA DEL CICLÓN [5]

TABLA 20
DIMENSIONES ESTÁNDAR DE CICLONES [6]

	Tipo Del Ciclón					
	Eficacia Alta		Convencional		Alto Rendimiento	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Diámetro Del Cuerpo, *D/D*	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Altura de la entrada, *H/D*	0,5	0,44	0,5	0,5	0,75	0,8
Anchura de la entrada, *W/D*	0,2	0,21	0,25	0,25	0,375	0,35
Diámetro de la salida del gas, D_e/D	0,5	0,4	0,5	0,5	0,75	0,75
Longitud del buscador del vórtice, *S/D*	0,5	0,5	0,625	0,6	0,875	0,85
Longitud del cuerpo, L_b/D	1,5	1,4	2,0	1,75	1,5	1,7
Longitud del cono, L_c/D	2,5	2,5	2,0	2,0	2,5	2,0
Diámetro del enchufe del polvo, D_d/D	0,375	0,4	0,25	0,4	0,375	0,4

FUENTES: Columnas (1) y (5) = Stairmand, 1951; columnas (2), (4) y (6) = Swift, 1969; columnas (3) = Lapple, 1951.

Finalmente asumiendo el diámetro del ciclón se obtiene:

TABLA 21
DIMENSIONES DEL CICLÓN

Dimensiones Ciclón	
D	**0,20 m**
H	0,10 m
W	0,05 m
De	0,10 m
S	0,125 m
Lb	0,40 m
Lc	0,40 m
Dd	0,05 m

El valor del diámetro de la partícula está dado por la siguiente ecuación:

$$Dp = \sqrt{\frac{9*\mu*W}{\pi*Ne*Vi*(\rho_p-\rho_g)}} \qquad (3.34)$$

N_e= Número de revoluciones que el fluido da en el vórtice exterior, 6 vueltas.

V_i= Velocidad de entrada al ciclón, 15 (m/s).

ρ_p= Densidad de la partícula, (1 Kg/m^3).

ρ= Densidad del fluido transporte, 1007 (Kg/m^3).

μ= Viscosidad del fluido transporte, 185x10^{-7} (Ns/m^2).

$$Dp = \sqrt{\frac{9 * (185 * 10^{-7}\text{N.s/m}^2 * 9{,}8\text{mKg/s}^2\text{N}) * 0{,}05\text{m}}{\pi * 6 * (15\text{m/s}) * (1007-1)\text{Kg/m}^3}}$$

$$Dp = 1{,}69 * 10^{-5}\ \text{m}$$

Ahora se haya la eficiencia de colección del ciclón.

$$n = \frac{1}{1+\left(\frac{Dp}{Dpj}\right)^2} \qquad (3.35)$$

Donde Dpj es el tamaño de partícula máximo que pasa por el tamiz#80 (0,15 mm).

$$n = \frac{1}{1+\left(\frac{1{,}69 * 10^{-5}}{1{,}5\ * 10^{-4}}\right)^2}$$

$$n = 98\%$$

Comprobando que el diámetro asumido es correcto.

3.5.4. Dimensionamiento del Filtro de Mangas.

Es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros para el diseño del filtro de mangas:

$$\text{Caudal} = 0{,}71\ \text{m/s}$$

La relación aire-tela a/t=1,8 $m^3/m^2/min$, establecida para el filtro pulse jet.

Dimensión de las mangas $\emptyset = 145\text{mm y L} = 2500\ \text{mm}$, tomado de catálogos de fabricantes.

$$a_t = \frac{Q}{at} \qquad (3.36)$$

De donde Q es el caudal de diseño del colector y del sistema y at es el área total filtrante, que viene dada por:

$$a_t = \pi * c_m * d_m * l_m \quad (3.37)$$

Siendo:

C_m= La cantidad de mangas en el filtro.

D_m= El diámetro de las mangas.

L_m= La longitud de las mangas.

Sustituyendo valores, se obtiene:

$$a_t = \frac{42{,}6\ m^3/min}{1{,}8\ \frac{m^3/m^2}{min}}$$

$$a_t = 23{,}7 m^2$$

Finalmente el número de mangas viene dado por:

$$c_m = \frac{a_t}{\pi * d_m * l_m} \qquad (3.38)$$

Entonces remplazando:

$$c_m = \frac{23{,}7 m^2}{\pi * 0{,}16 m * 2{,}5 m}$$

$$c_m = 19\ mangas$$

Estas son distribuidas en un arreglo de 4 columnas de 5 mangas cada columna.

3.5.5. Selección del Ventilador.

Para la selección del ventilador es necesario que este cree vacío en el sistema para lograr extraer todo el polvo generado por el molino de pines durante la pulverización. Teniendo el valor del caudal con que fluye $Q = 1500\ CFM$, el siguiente paso es conocer los valores de cabezal estático, por lo tanto para obtener este valor se calculan todas las pérdidas generadas en los diferentes accesorios del sistema.

Pérdida en ducto circular.

Por medio de los factores establecidos de pérdidas en ductos circulares de pared interna lisa (APÉNDICE C, [5]), y asumiendo una longitud total de 4 metros de trayectoria de acuerdo al diseño postulado, se tiene que la pérdida a lo largo del ducto es:

$$h_d = KL \qquad (3.39)$$

Siendo K el factor de fricción por pérdidas dinámicas, de acuerdo a la geometría del accesorio utilizado y sus dimensiones.

$$K = 2{,}2\,\frac{\text{pulg}H_2O}{100\text{ft}} = 1{,}86\,\frac{\text{mm. col. }H_20}{\text{m}}$$

Por lo tanto se obtiene:

$$h_d = (1{,}86)(4)$$

$$h_d = 7{,}44\ \text{mm. col. }H_20$$

Presión dinámica (VP).

Para el cálculo del cabezal estático generado en el ducto es necesario el valor de la presión dinámica (VP) generada en

el interior del mismo, la cual se la obtiene de la siguiente fórmula:

$$\mathrm{V} = 4{,}003\sqrt{\mathrm{VP}} \qquad (3.40)$$

Despejando de la ecuación la presión dinámica se tiene:

$$\mathrm{VP} = (\frac{\mathrm{V}}{4{,}003})^2$$

$$\mathrm{VP} = \left(\frac{20}{4{,}003}\right)^2$$

$$\mathrm{VP} = 24{,}96\ \mathrm{mm.col.}\ \mathrm{H_2}0$$

Este valor esta verificado de acuerdo a la tabla de presión dinámica para diferentes velocidades. (APÉNDICE C, [6])

Pérdida en campana extractora.

Este valor está en función de la presión dinámica (VP), previamente calculada, se establece el factor de pérdida $\mathrm{F_h}$ el cual depende exclusivamente del ángulo θ (APÉNDICE C, [7]). De acuerdo al diseño de la campana $\theta = 73^0$ (Plano de fabricación).

$$\mathrm{F_h} = 0{,}2$$

Por lo tanto, la pérdida de la campana extractora es:

$$\mathrm{H_0} = 0{,}2\mathrm{VP} \quad (3.41)$$

$$\mathrm{H_0} = 0{,}2(24{,}96)$$

$$\mathrm{H_0} = 5\ \mathrm{mm.col.}\ \mathrm{H_2O}$$

Pérdidas en codos 90^0.

Para hacer del sistema un modelo estático se requiere por lo menos de 5 puntos donde el ducto se dobla simulando la existencia de 10 codos de 90^0. Al igual que la pérdida en la campana extractora, el factor de pérdida en los codos de 90º se encuentra en función de la presión dinámica (VP). Por tal motivo se escoge aquel factor donde el radio de curvatura del ducto sea 1.25 veces el diámetro del ducto. (APÉNDICE C, [8])

$$h_{1-codo.90^0} = 0{,}55\ VP \qquad (3.42)$$

$$h_{1-codos.90^0} = 0{,}55\ (24{,}96)$$

$$h_{1-codo.90^0} = 13{,}75\ mm.col.H_2O$$

$$h_{10-codos.90^0} = 10 * (13{,}73)$$

$$h_{10-codos.90^0} = 137{,}3\ mm.col.H_2O$$

Pérdida en reducciones.

Existen 2 reducciones, la primera va desde el ducto hacia el ciclón y la segunda entre el ciclón y el filtro de mangas, (APÉNDICE C. 7]), las cuales se encuentran en función del ángulo α de la reducción y la presión dinámica (VP).

Es así que, siendo $\alpha = 25^0$se puede asumir una pérdida de $h_r = 0{,}10\ VP$.

$$h_r = 0{,}10(24{,}96)$$

$$h_r = 2{,}5\ mm\ H_2O$$

$$h_{2r} = 2 * (2{,}5)\ mm\ H_2O$$

$$h_{2r} = 5\ mm.col.H_2O$$

Pérdida en el ciclón.

La pérdida de presión estática es importante conocerla ya que una eficiencia alta causa mayor pérdida de presión estática.

$$\Delta P_c = \frac{1}{2} * k * \rho_g * Vi^2 * \frac{H*W}{De^2} \quad (3.43)$$

Lich (1984) recomienda usar un valor de k, entre 12-18, se escoge un valor de 13.

$$\Delta P_c = \frac{1}{2} * 13 * 1 * 15^2 * \frac{0{,}1 * 0{,}05}{0{,}1^2}$$

$$\Delta P_c = 731{,}25\ Pa = 2{,}935\ mm.col.H_2O$$

Pérdida en filtro de mangas.

La mayor pérdida de presión en el filtro de mangas se produce cuando los gases son filtrados al atravesar las mangas. La pérdida de presión, cuando las mangas están limpias se la puede calcular con la siguiente fórmula determinada por Dennos & Klemm (1979):

$$(P_e)_{\Delta\omega} = 1045 V_f P_j^{-0,65} \qquad (3.44)$$

Luego que transcurre cierto tiempo t, la caída de presión es:

$$\Delta P_f = (P_e)_{\Delta\omega} + k_2 W_o V_f \qquad (3.45)$$

$$W_o = C_i V_f t \qquad (3.46)$$

Donde

$C_i =$ Es la cantidad de polvo que circula por unidad de volumen de gas.

$$C_i = 0,015$$

$V_f =$ Es la cantidad de filtración, la cual de acuerdo a investigaciones.

$$V_f = 0,02 \text{ m/s}$$

$t =$ Es el tiempo en segundos que trascurre entre los pulsos de aire comprimido que se aplican a una manga para su limpieza.

$$t(\text{asumido}) = 5\ \text{min} = 300\ \text{s}$$

$k_2 =$ Es la resistencia al flujo debido a la acumulación de polvo en la superficie de la manga, este valor es experimental.

$$k2 = 1{,}5 * 10^5$$

$P_j =$ Es la presión a la cual se inyectan los pulsos de aire comprimido, esta presión no debe de pasar del rango de 415-830 KPa, para este caso es de:

$$P_j = 560\ \text{KPa}$$

$W_o =$ Es la masa de polvo en función del tiempo.

Por lo tanto, la caída de presión luego de inyectar el pulso de aire es:

$$(P_e)_{\Delta\omega} = 1045(0{,}02)(560)^{-0{,}65}$$

$$(P_e)_{\Delta\omega} = 0{,}342\ \text{KPa}$$

$$(P_e)_{\Delta\omega} = 35{,}31\ \text{mm. col.}\ H_2O$$

Se tiene que la cantidad de polvo por unidad de tiempo es:

$$\omega_o = 0{,}015(0{,}02)(300)$$

$$\omega_o = 0{,}090\,\frac{\mathrm{Kg}}{\mathrm{m}^2}$$

Por lo tanto, la diferencia de presión encontrada es:

$$\Delta P_f = 0{,}342 + \frac{(1{,}5 * 10^5) * (0{,}09) * (0{,}02)}{1000}$$

$$\Delta P_f = 0{,}615\ \mathrm{KPa}$$

$$\Delta P_f = 63{,}49\ \mathrm{mm.col.}\,H_2O$$

Caída de presión total para ventilador

$$SP_{ventilador} = SP_{ducto} + \Delta P_f + \Delta P_c \quad (3.47)$$

Donde:

$$SP_{ducto} = VP + h_t \quad (3.48)$$

$$h_t = h_d + Ho + h_{10-codos.90^0} + h_{2r} \quad (3.49)$$

Remplazando valores se tiene:

$$ht = 7{,}45 + 5 + 137{,}3 + 5 = 154{,}75\ \mathrm{mm.col.}\,H_2O$$

$$SP_{ducto} = 24{,}96 + 154{,}75 = 179{,}71\ \mathrm{mm.col.}\,H_2O$$

Finalmente la caída de presión total para el ventilador es:

$$\mathrm{SP}_{\mathrm{ventilador}} = 179{,}71 + 63{,}49 + 2{,}94$$

$$\mathrm{SP}_{\mathrm{ventilador}} = -246{,}14\ \mathrm{mm.\,col.\,H_2O}$$

El valor negativo indica la contrapresión que deberá ejercer el ventilador.

La potencia de consumo adecuada que necesita el ventilador depende de la resistencia que debe vencer por la caída de presión y del caudal que debe generar. Dicha potencia será calculada de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\mathrm{P} = \frac{\mathrm{Q}*\mathrm{SP}}{6356*0{,}70} \qquad (3.50)$$

Donde:

P= Potencia del ventilador, (HP).

Q= Caudal de entrada, (ft^3/min).

SP= Caída de Presión, (pulg H_2O).

Aplicando la ecuación antes mencionada se tiene:

$$\mathrm{P} = 3{,}27\ \mathrm{HP} * (\mathrm{FS} = 1.30)$$

$$\mathrm{P} = 4{,}3\ \mathrm{HP}$$

Se detalla el catálogo de ventiladores Soler&Palau (APÉNDICE D) de donde se selecciona el ventilador CM315 que cumple con el caudal de $\mathrm{Q} = 1500\ \mathrm{CFM}$ y una caída de presión de SP=$-246{,}14\ \mathrm{mm.col.H_2O}$.

3.6. Selección del Sistema de Despacho.

Para finalizar la línea de producción se selecciona una embolsadora de carga por gravedad, el cual es un equipo diseñado para el llenado por peso de bolsas de boca abierta de gran capacidad (hasta 50 Kg) con productos de fácil deslizamiento como el caso de las mezclas de fertilizantes inorgánicos.

Las características principales del sistema son las siguientes:

- Sistema sujeta-bolsas neumático de mandíbulas que permite un cierre hermético durante el llenado de la bolsa, impidiendo la salida de polvo al exterior.
- Conducto de despresurización.
- Pesaje directo en la bolsa, a través de celdas de carga y equipo electrónico de pesaje con panel frontal, donde se pueden cargar los pesos a envasar.
- Sistema de válvula mariposa que permite doble velocidad de carga.

El modo de funcionamiento es el siguiente:

a) El operario coloca la bolsa vacía y presiona el pedal de carga.

b) Comienza la carga a alta velocidad, con la válvula mariposa totalmente abierta.
c) Cuando se llega al primer corte (programado desde el panel frontal), la válvula disminuye el paso de producto hacia la bolsa (para lograr una buena precisión en el peso final).
d) Al llegar al peso seteado la válvula se cierra y el operario está en condiciones de retirar la bolsa llena y colocar una nueva para repetir el ciclo.

Este sistema de despacho se destaca por su gran sencillez de manejo ya que se necesita un solo operario para utilizarla.

FIGURA 3.9 EMBOLSADORA DE CARGA POR GRAVEDAD

3.7. Selección de Válvulas para la Línea de Producción.

En el diseño de la línea de producción se utilizarán 6 válvulas distribuidas de la siguiente manera:

Válvulas rotatorias.

Válvula rotatoria 1: En la descarga de la tolva de recepción de materias primas

Válvula rotatoria 2: En la descarga del mezclador de cono vertical

Válvula rotatoria 3: En la descarga de la tolva receptora de mezclas de fertilizantes pulverizados

Válvula rotatoria 4: En la descarga de los residuos del filtro de mangas.

Válvulas de compuerta.

Válvula de compuerta 1: En la descarga de la tolva de pre-mezcla.

Válvula de compuerta 2: En la descarga de la tolva de pre-pulverizado. (APÉNDICE E).

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL MOLINO PULVERIZADOR DE PINES.

En el presente capítulo se describe el diseño y selección de los elementos principales que conforman el molino pulverizador de pines.

4.1. Diseño de Forma del Molino.

1 Tolva de carga

2 Tolva de descarga

3 Carcasa

4 Compuerta

5 Disco rotor y disco estator

6 Pines

7 Tamiz

8 Motor

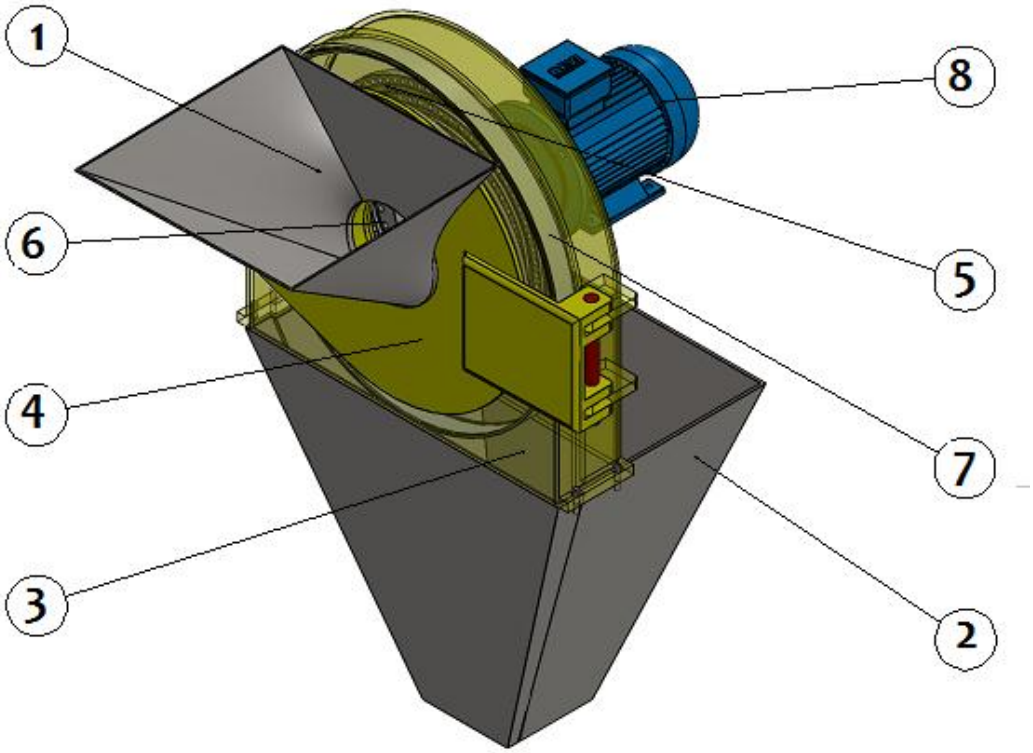


FIGURA 4.1 DISEÑO DE FORMA DEL MOLINO DE PINES

4.2. Distribución de los Pines.

Para determinar el número aproximado de granos que se deberán triturar por segundo para cumplir la capacidad requerida de molienda es necesario conocer la masa de un grano de fertilizante. Según mediciones realizadas se determinó que el grano presenta una configuración cilíndrica, teniendo como medidas promedio diámetro (Øg) de 3 mm y longitud (lg) de 3 mm.

Por lo tanto se utiliza la ecuación de volumen de un cilindro para determinar el volumen aproximando de un grano de fertilizante:

$$V_g = \frac{\pi * \emptyset_g^2 * l_g}{4} \qquad (4.1)$$

$$V_g = \frac{\pi * (0{,}003)^2 * (0{,}003)}{4}$$

$$V_g = 2{,}1 * 10^{-8} m^3$$

La masa de un grano se determina con la ecuación 4.2:

$$M_g = \rho * V_g \qquad (4.2)$$

Donde:

$\rho =$ Densidad del fertilizante, 1007 kg/m^3.

$$M_g = (\frac{1007\ kg}{m^3}) * 2{,}1 * 10^{-8}\ m^3$$

$$M_g = 2{,}1 * 10^{-5}\ Kg$$

Se define la ecuación 4.3 para obtener el número de granos a ser molidos:

$$N_g = \frac{Q}{M_g} \qquad (4.3)$$

$$N_g = \frac{\frac{2000\ Kg}{h} * \frac{1h}{3600\ s}}{2{,}1 * 10^{-5}\ Kg}$$

$$N_g = 26016\ \frac{granos}{s}$$

Se considera que el valor para la velocidad angular de un molino de pines oscila entre las 3000 y 3500 [RPM], valor recomendado por los fabricantes, se asume el valor de 3500 [RPM].

Si se divide el número de granos por segundo que se necesita triturar para las 3500 [RPM], se obtiene aproximadamente el número de granos que se deberán fracturar por vuelta que da el disco. Por lo tanto se tiene que:

$$N_t = \frac{N_g}{\omega_r} \quad (4.4)$$

$$N_t = \frac{26016\ \frac{\text{granos}}{\text{s}}}{3500 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1\text{min}}{60\text{s}}}$$

$$N_t = 480\ \text{granos/rev}$$

Si 480 granos se deben triturar por cada revolución, se supone que al menos un grano de fertilizante golpeará en un pin, es por ello que el molino tendrá aproximadamente 480 pines distribuidos en ambos discos.

La distribución de los pines en los discos rotor y estator se detalla en la siguiente figura:

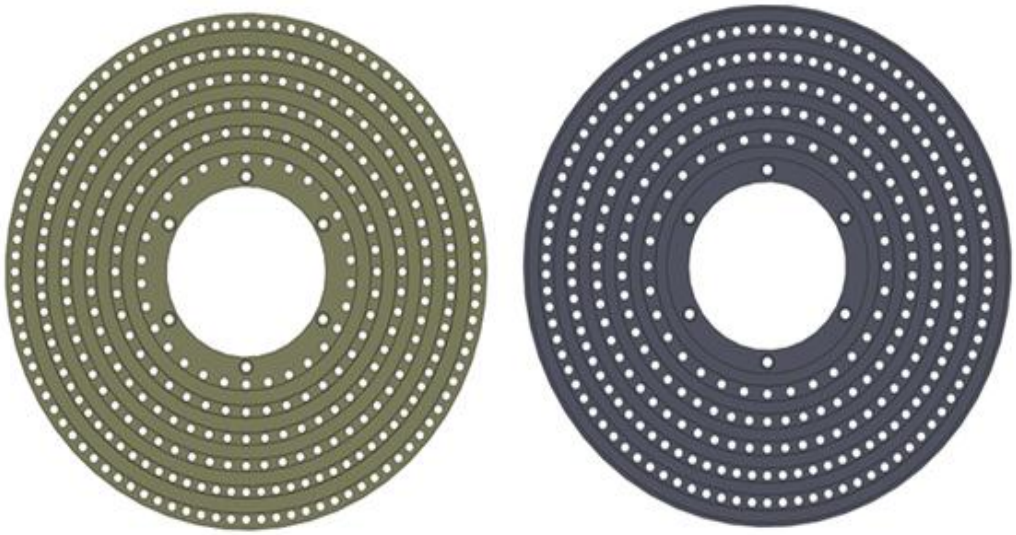


FIGURA 4.2 DISTRIBUCIÓN DE PINES EN DISCOS ROTOR Y ESTATOR

4.3. Diseño de los Pines para la Trituración del Grano.

El diseño de los pines es fundamental en el molino, ya que estos elementos son los que producen la fractura de los granos de fertilizante al momento del choque entre ambos.

La representación de este choque se la puede observar en la figura 4.3 a continuación:

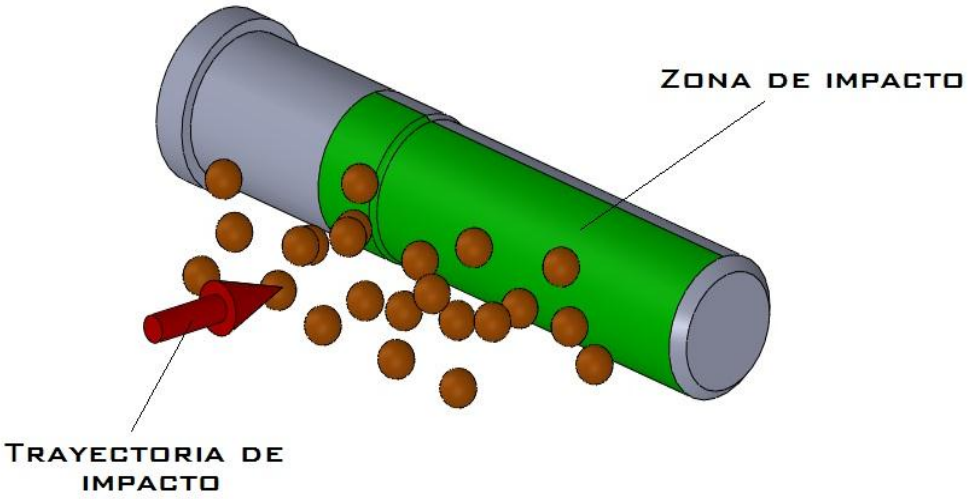


FIGURA 4.3 IMPACTO DE GRANOS EN PIN

Velocidades tangenciales del pin.

Mediante un experimento se determinó que la energía necesaria para romper el fertilizante es equivalente a dejar caer un objeto metálico de 500 gramos desde una altura de 20 mm sobre el grano. La energía de ruptura del fertilizante, se la puede obtener calculando la energía potencial mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 4.5: Energía Potencial

$$E_{ruptura} = m_m * g * h \qquad (4.5)$$

Donde:

m_m= Masa del objeto metálico, (Kg).

g= Gravedad, (m/s^2).

h = Altura, (m).

Remplazando valores en la ecuación 4.5, se obtiene.

$$E_{ruptura} = 0{,}50\ \text{Kg} * 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0{,}02\ \text{m}$$

$$E_{ruptura} = 0{,}0981\ \text{N.m}$$

Nota: Este tipo de experimento, donde se obtiene la energía necesaria de trituración para cualquier grano, no es nuevo, ya que ha sido realizado anteriormente. Para este proyecto de tesis se tuvo que realizar este experimento, ya que el valor de la energía de trituración para el fertilizante no se encontró como información disponible.

Al momento de dejar caer un objeto, se produce energía potencial, por lo que, la ecuación 4.5 antes descrita se la puede traducir en la práctica, como la energía que debe tener el pin cuando está en movimiento para triturar el grano que lo impacta.

Por otro lado, cuando en la molienda el grano de fertilizante choca con el pin se genera energía cinética, el valor de esta energía se la encuentra en la ecuación 4.6.

$$Ec = \frac{1}{2} m_g * V^2 \qquad (4.6)$$

Donde:

$m_g =$ Masa de un grano de fertilizante, (Kg).

$V =$ Velocidad tangencial del pin, (m/s).

La ecuación 4.6, se traduce como la energía del grano al momento del impacto con el pin.

Si se iguala la ecuación 4.5 y 4.6 se tiene:

$m_m * g * h = \frac{1}{2} m_g * V^2$, despejando la velocidad de esta expresión se obtiene la ecuación a continuación:

Ecuación 4.7: Velocidad tangencial adquirida por el fertilizante.

$$V_t = \sqrt{\frac{2 * E_{ruptura}}{m_g}} \quad (4.7)$$

Remplazando valores en la ecuación 4.7 se obtiene:

$$V_t = \sqrt{\frac{2 * 0{,}0981 \text{ N.m}}{2{,}1 * 10^{-5} \text{ Kg}}}$$

$$V_t = 96{,}65 \frac{m}{s}$$

La velocidad obtenida es la velocidad tangencial del pin V_t, que se la llamará V_v, (velocidad del vacío, o sin carga).

En la molienda cuando el grano choca con el pin se produce una disminución en la velocidad del mismo, por lo que existe una velocidad que será menor a la velocidad de vacío que se la llamará V_c, (velocidad con carga).

Para el cálculo de V_c, se considera a los pines, discos, eje, y demás componentes, como un solo cuerpo que gira, a esto se lo conoce como volante, además del coeficiente de fluctuación, definido en la siguiente ecuación como:

Ecuación 4.8: Coeficiente de fluctuación.

$$C_s = \frac{V_v - V_c}{V} \qquad (4.8)$$

Dónde:

V= Velocidad tangencial del volante, tomada como la velocidad tangencial media, (m/s).

Ahora, si se define V como se muestra en la ecuación 4.9 se tiene:

Ecuación 4.9: Velocidad tangencial media

$$V = \frac{V_v + V_c}{2} \qquad (4.9)$$

Si se remplaza la ecuación 4.9 en la ecuación 4.8, y luego se despeja V_c, se obtiene la ecuación 4.10 que es:

Ecuación 4.10: Velocidad tangencial final.

$$V_c = -V_v * \frac{C_s - 2}{C_s + 2} \qquad (4.10)$$

TABLA 22

COEFICIENTES DE FLUCTUACIÓN PARA CIERTAS APLICACIONES (7)

Tipo de Aplicación	Coeficiente de fluctuación C_f
Máquinas de Trituración	0,2
Máquinas Eléctricas	0,003
Máquinas Eléctricas accionadas directamente	0,002
Máquinas de Molienda de Granos	0,02
Transmisión por engranes	0,02
Máquinas para estampado o martillado	0,2
Máquinas herramientas	0,03
Máquinas para fabricación de papel	0,025
Máquinas para bombeo	0,030 a 0,050
Máquinas para cortar	0,030 a 0,050
Máquinas giratorias	0,010 a 0,020
Máquina para la industria textil	0,025

El valor de C_f, para máquinas de molienda de granos (0,020), remplazando este valor en la ecuación 4.10 se tiene:

$$V_c = -96{,}65\frac{m}{s} * \frac{0{,}020 - 2}{0{,}020 + 2}$$

$$V_c = 94{,}74\frac{m}{s}$$

Como V_c es menor a V_v, existe una cesión de potencia por parte del volante al grano.

Nota: El sistema de giro del molino es desacelerado, lo que significa que el sistema cede energía.

Radio de Giro.

Con el dato obtenido en la ecuación anterior se puede calcular la velocidad angular con carga mediante la ecuación 4.11:

Ecuación 4.11: Velocidad Angular Final

$$\omega_c = \frac{V_c}{r_g} \qquad (4.11)$$

Sin embargo de esta ecuación se deduce el radio de giro, el cual es necesario para obtener la velocidad angular del pin.

Ecuación 4.12: Radio de giro.

$$r_g = \frac{V_c * 60}{2 * \pi * \omega} \qquad (4.12)$$

Nota: Se toma la velocidad con carga, porque es la velocidad a la que giran los pines en la molienda.

Remplazando datos en la ecuación 4.12 se tiene:

$$r_g = \frac{94{,}74\ \mathrm{m/s} * 60}{2 * \pi * 3500\ \mathrm{RPM}}$$

$$r_g = 0{,}26\ \mathrm{m}$$

Con el valor obtenido del radio de giro, se tiene una idea aproximada de la medida del diámetro de los pines, del diámetro del disco portador de pines, así como también, las dimensiones de la carcasa, criba, y demás componentes del molino.

Fuerza Centrífuga.

La fuerza centrífuga se calcula mediante la ecuación 4.13, que es la siguiente.

Ecuación 4.13: Fuerza Centrífuga

$$F_{cf} = \omega^2 * m_{pin} * R_g \qquad (4.13)$$

La masa del pin es igual a:

$$m_{pin} = \rho_{pin} * V_{pin}$$

$$V_{pin} = \frac{\pi {d_{pin}}^2}{4} * h$$

$$V_{pin} = \frac{\pi(12mm)^2}{4} * 60mm$$

$$V_{pin} = 6786\ mm^3 = 6{,}786 * 10^{-6} m^3$$

$$m_{pin} = 7800\ Kg/m^3 * 6{,}786 * 10^{-6} m^3$$

$$m_{pin} = 0{,}053\ Kg$$

El radio de giro previamente calculado es:

$$r_g = 0{,}265\ m$$

Y dado que ω del motor es:

$$\omega = 3500\ RPM = 340\ rad/s$$

Remplazando valores en la ecuación 4.13:

$$F_{cf} = 0{,}053\ Kg * (340\ rad/s)^2 * 0{,}265\ m$$

$$F_{cf} = 1624\ N$$

Análisis Estático de los Pines.

La longitud de trabajo en cada pin es igual a ¾ de la longitud total. Los esfuerzos a los que está sometido el pin son de flexión en dos planos diferentes.

Se utiliza la teoría de falla de Von Mises:

$$n = \frac{Sy}{\sigma} \qquad (4.14)$$

Dónde:

n = Factor de seguridad.

Sy = Resistencia a la fluencia del pin, 1610 MPa [8].

σ = Esfuerzo flexionante máximo, (MPa).

Para determinar el esfuerzo resultante sobre el pin se usa la siguiente ecuación:

Ecuación 4.13: Esfuerzo flexionante máximo de una sección transversal circular

$$\sigma = \frac{32}{\pi d^3}(My^2 + Mz^2)^{1/2} \qquad (4.15)$$

Para establecer la condición más crítica, al impactar el mayor número de granos sobre un pin se realiza el siguiente análisis:

Paso 1

Área de grano:

$$A_{grano} = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A_{grano} = \frac{\pi(3mm)^2}{4} = 7{,}07\ mm^2$$

Paso 2

Área lateral del pin:

$$A_{lateral\ del\ pin} = L * D$$

$$A_{lateral\ del\ pin} = (45mm)(12mm) = 540\ mm^2$$

Haciendo una relación entre el área de contacto del pin y el área de contacto del fertilizante se determina el número de granos.

Número de granos:

$$\#granos = \frac{A_{lateral\ del\ pin}}{A_{grano}} \quad (4.16)$$

$$\#granos = 76\ granos$$

TABLA 23

VALORES DE RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO DE FERTILIZANTES COMUNES [(1)]

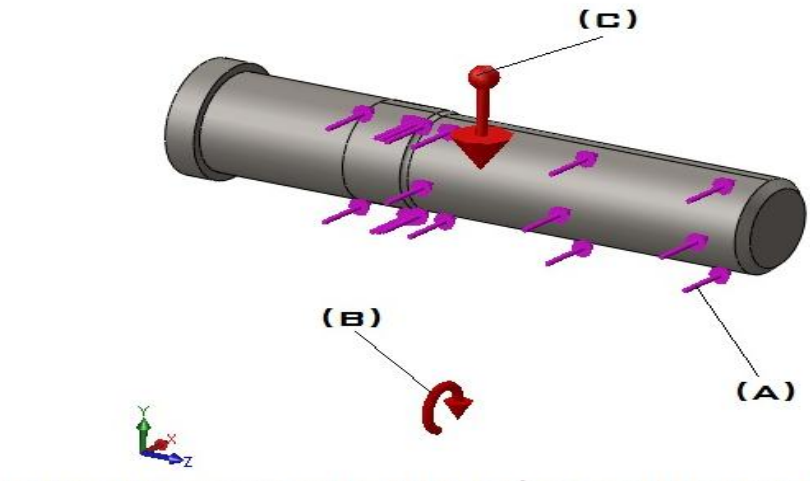
FERTILIZANTE		
TIPO	**GRADO**	**FUERZA DE IMPACTO (Kg/grano)**
Urea	46-0-0	0.8-1.2
Urea Granulada	46-0-0	1.5-3.5
Sulfato de Amonio Granulado	21-0-0	1.5-2.5
Nitrato de Amonio	34-0-0	1.2-1.7
Fosfato Diamónico Granular	18-46-0	3.0-5.0
Fosfato Monoamónico Granular	11-55-0	2.0-3.0
Cloruro de Potasio Granular	0-0-60	3.5-5.0
Sulfato de Potasio Granular	0-0-50	3.0-4.0

De la tabla 23 se tomó al cloruro de potasio granular (MOP), fuente de Potasio (K) más usada en el mundo (APÉNDICE F), como el

material sobre el cual se valida el diseño del molino de pines, debido a que este requiere de la mayor fuerza de impacto para triturarse, se realiza el siguiente análisis:

Un grano de MOP requiere de 5 N para fracturarse. Entonces para el caso más crítico en el que impacten 76 granos sobre la superficie del pin se requerirá una fuerza de 380 N para fracturar dicha cantidad de granos.

En la siguiente figura se observan dos fuerzas producidas por el efecto de rotación del disco porta pines: una fuerza producida por el impacto de los granos sobre la superficie del pin a lo largo del mismo, la fuerza centrífuga y la fuerza de gravedad.



(A) Fuerza de impacto (B) Fuerza centrífuga (C) Fuerza por la gravedad

FIGURA 4.4 FUERZAS SOBRE EL PIN

Momento generado en el plano xz

$$My = F * d$$

$$My = \frac{1}{2}(380\ N)(0{,}045\ m)$$

$$My = 8{,}55\ N.m$$

Momento generado en el plano xy

$$Mz = Fcf * \left(\frac{L}{2}\right)$$

Donde L es la longitud del extremo del pin al centroide, por lo tanto:

$$Mz = 1624\ N * (0{,}03\ m)$$

$$Mz = 48{,}72\ N.m$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 4.15:

$$\sigma = \frac{32}{\pi(0{,}012)^3}(8{,}55^{\ 2} + 48{,}72^2)^{1/2}\ N.m$$

$$\sigma = 292\ MPa$$

Por lo tanto:

$$n = \frac{1610\ MPa}{292\ MPa}$$

$$n = 5{,}51$$

Análisis a Fatiga de los Pines.

Dentro del análisis previo se obtuvo σ_{max}, además se considera que el elemento está sometido a carga fluctuante, por lo tanto el

esfuerzo mínimo se da cuando al menos un solo grano de fertilizante logra impactarse sobre el pin.

La teoría de falla de Goodman establece la siguiente ecuación:

$$\frac{\sigma a}{Se} + \frac{\sigma m}{Sut} = \frac{1}{n} \qquad (4.17)$$

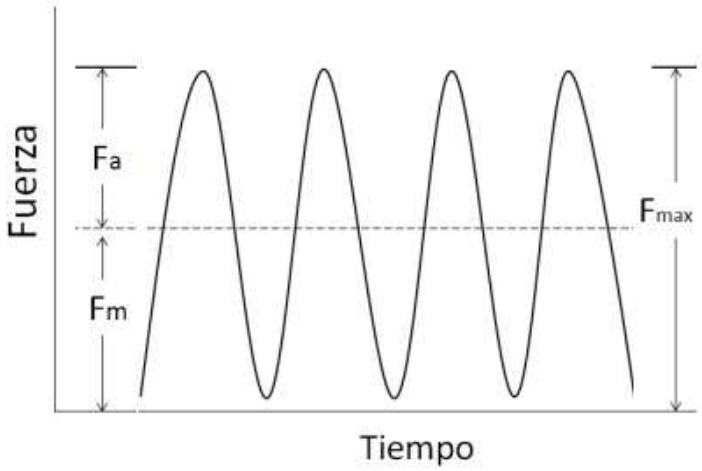


FIGURA 4.5 FUERZA FLUCTUANTE [7]

$$\sigma min = \frac{Mc}{I} \qquad (4.18)$$

$$\sigma min = \frac{(1{,}2 * 0{,}045) * 0{,}006}{\frac{\pi * 0{,}012^4}{64}}$$

$$\sigma min = 0{,}3 \text{ MPa}$$

Se obtiene σm y σa a continuación:

$$\sigma m = \frac{\sigma mx + \sigma min}{2} \qquad (4.19)$$

$$\sigma m = 146{,}15 \text{ MPa}$$

$$\sigma a = \frac{\sigma max - \sigma min}{2} \qquad (4.20)$$

$$\sigma a = 145{,}85 \text{ MPa}$$

Cálculo del límite de resistencia a la fatiga mediante la ecuación de Marin:

$$Se = ka.kb.kc.kd.ke.kf.Se` \qquad (4.21)$$

$Se =$ Resistencia a la fatiga, (MPa).

$ka =$ Factor de modificación de la condición superficial.

$kb =$ Factor de modificación de tamaño.

$kc =$ Factor de modificación de la cara.

$kd =$ Factor de modificación de la temperatura.

$ke =$ Factor de modificación de efectos diversos.

$Se` =$ Limite de resistencia a la fatiga, (MPa).

Cálculo de los factores:

Factor de modificación de la condición superficial.

$$ka = aSut^{b} \quad (4.22)$$

Se tiene la siguiente tabla donde se aprecia los valores de los coeficientes para diferentes acabados superficiales que permiten el cálculo del factor mencionado.

TABLA 24

COEFICIENTES PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL [7]

Acabado superficial	a [MPa]	B
Esmerilado	1,58	-0,085
Maquinado o laminado en frío	4,51	-0,265
Laminado en caliente	57,7	-0,718
Como sale de forja	272	-0,995

Se escoge la calidad superficial de maquinado o laminado en frio por tratarse de un material sometido durante el proceso de fabricación a maquinado.

Remplazando valores en la ecuación 4.22 se tiene:

$$\mathrm{ka} = 4.51(2220)^{-0.265}$$

$$\mathrm{ka} = 0{,}5853$$

Factor de modificación de tamaño

El factor de tamaño está asociado al diámetro del pin, establecido en 60 mm.

$$\mathrm{kb} = 0.879\ (\mathrm{d})^{-0.107};\ 0.11 \leq \mathrm{d} \leq 2\ \mathrm{pulg} \quad (4.23)$$

$$\mathrm{kb} = 0.879\ (0.47)^{-0.107}$$

$$\mathrm{kb} = 0.9524$$

Factor de modificación de la carga

El valor de este coeficiente varía dependiendo del tipo de carga que actué sobre el pin.

TABLA 25

VALORES DE FACTOR DE CARGA [7]

Valores de kc	Tipo de carga
1	Flexión
0,85	Axial
0,59	Torsión

Dado que el pin está sometido a flexión pura el Kc=1

Factor de modificación de la temperatura

$$\mathrm{kd} = 1 \text{ por no incurrir en efectos de temperatura}$$

Factor de confiabilidad

Debido a que existen cambios en la sección se tiene que el factor de confiabilidad se haya mediante la siguiente ecuación:

$$\mathrm{ke} = \frac{1}{\mathrm{kf}} \qquad (4.24)$$

Factor de modificación de efectos varios

$$\mathrm{kf} = 1 + \mathrm{q}(\mathrm{Kt} - 1) \qquad (4.25)$$

kt Se obtiene de la figura A-15-9 [6]

$$\mathrm{kt} = 1.7$$

Para encontrar la sensibilidad a la muesca (q) es necesario establecer las siguientes relaciones:

$$\frac{\mathrm{D}}{\mathrm{d}} = \frac{14\mathrm{mm}}{12\mathrm{mm}} = 1.16$$

$$\frac{\mathrm{r}}{\mathrm{d}} = \frac{1\mathrm{mm}}{12\mathrm{mm}} = 0.083$$

Una vez establecidas las relaciones mediante la figura 6-20 [7], se obtiene:

$$\mathrm{q} = 0{,}9$$

De la ecuación 4.25:

$$\mathrm{kf} = 1 + 0{,}9(1{,}7 - 1)$$

$$\mathrm{kf} = 1{,}63$$

Por consiguiente, de la ecuación 4.24:

$$\mathrm{ke} = 0{,}61$$

El límite de resistencia a la fatiga se obtiene remplazando los valores en la ecuación 4.21;

Para Sut >1400 MPa; Se´=700 MPa. Este valor es una estimación del límite de resistencia a la fatiga que se obtuvo a partir de datos experimentales. (7)

$$\mathrm{Se} = 0{,}5853 * 0.9524 * 1 * 1 * 0{,}61 * 1{,}63 * 700\ \mathrm{MPa}$$

$$\mathrm{Se} = 387{,}98\ \mathrm{MPa}$$

Remplazando los valores en la ecuación 4.17:

$$\frac{1}{\mathrm{n}} = \frac{145{,}85\ \mathrm{MPa}}{387{,}98\ \mathrm{MPa}} + \frac{146{,}15\ \mathrm{MPa}}{1610\ \mathrm{MPa}}$$

$$\mathrm{n} = 2{,}14$$

Con este valor de factor de seguridad se puede apreciar que el pin soporta las cargas de trabajo.

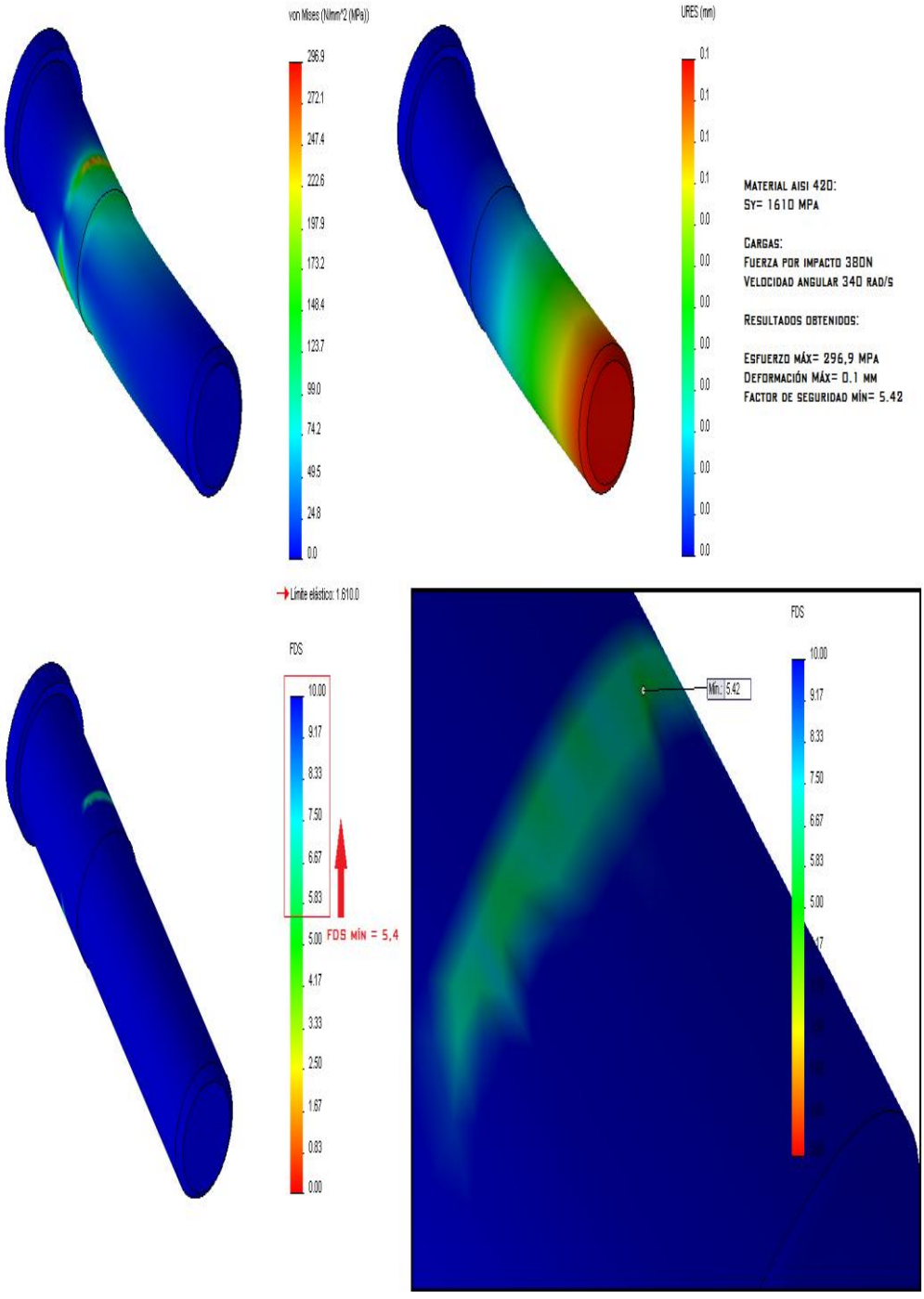


FIGURA 4.6 ANÁLISIS DEL PIN

4.4. Diseño de los Discos Porta Pines.

En las consideraciones de funcionamiento del molino de pines de la sección 4.3, se logró obtener ciertos parámetros del disco.

Se establece que el primer rotor almacena 260 pines, mientras el segundo disco estator 240 pines.

Dado que el área de impacto que tienen los pines, existe ¼ parte de su longitud, la cual debe estar firmemente ajustada en ambos discos porta pines. Por lo tanto el espesor de los discos debe ser capaz de sujetar al pin y soportar el esfuerzo al cual están sometidos estos.

En cada agujero del disco habrá una tracción por consecuencia de las fuerzas centrifugas de los pines, por lo que en cada agujero se tendrá una fuerza equivalente a dos fuerzas centrifugas de un pin.

Se aplica el siguiente criterio de falla por cortante:

$$n = \frac{Sy}{2\tau} \qquad (4.26)$$

Tomando en cuenta la consideración antes mencionada, el esfuerzo se define como:

$$\tau = \frac{2F_{cf}}{A_d}$$

Descomponiendo A_d se tiene:

$$\tau = \frac{2F_{cf}}{2*e*d_1} \qquad (4.27)$$

Si esta nueva ecuación 4.27 se remplaza en la ecuación 4.26, se obtiene la ecuación 4.28 que es la siguiente:

$$e = \frac{F_{cf}*n*2}{d_1*Sy} \quad (4.28)$$

Se estableció como factor de seguridad n=16 debido a las altas revoluciones a las que gira el disco. Por lo tanto, remplazando los valores, se tiene que el espesor mínimo del disco es igual a:

$$e = \frac{1624\ \mathrm{N} * 22 * 2}{(0.012\mathrm{m}) * (276 * 10^6 \mathrm{N/m^2})}$$

$$e = 0.015\ \mathrm{m}$$

4.5. Diseño del Eje.

Es necesario realizar el análisis del eje del Molino de Pines para comprobar que este va a resistir la carga al que está expuesto, ya que la vida útil de estas máquinas depende en su mayoría de las partes expuestas al movimiento rotacional.

Para los cálculos de las fuerzas y esfuerzos que actúan sobre el eje primero se debe realizar un diagrama de cuerpo libre del sistema.

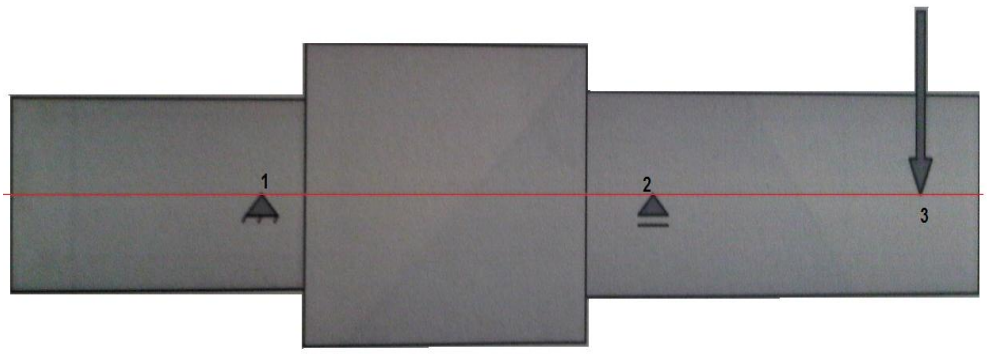


FIGURA 4.7 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL EJE

Las cargas que soporta el eje son las siguientes:

$$P_{soporte1} = P_1 = -190\ N$$

$$P_{soporte2} = P_2 = 575\ N$$

$$P_{carga} = P_3 = 302\ N$$

Del diagrama de cuerpo libre se establece los diagramas de fuerza cortante y momento flector, para obtener los valores del cortante máximo y del momento flector máximo, respectivamente.

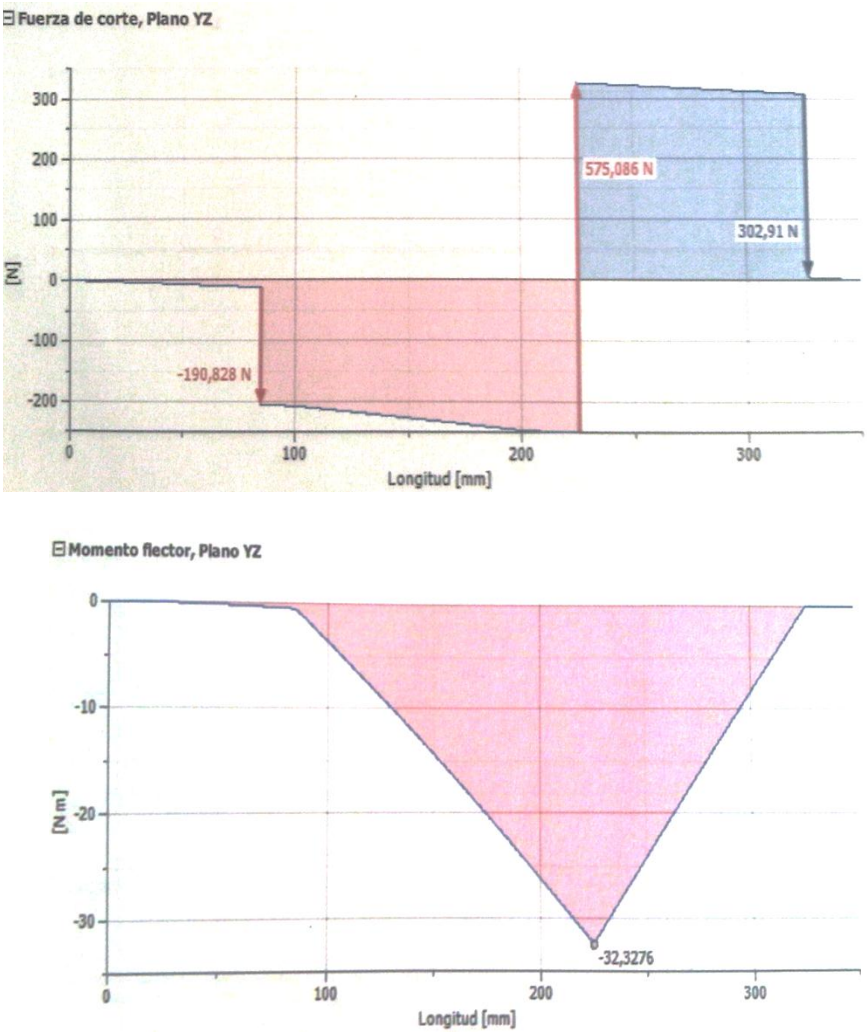


FIGURA 4.8 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DEL EJE

Donde los valores máximos resultan:

$$V_{máximo} = 575 \text{ N}$$

$$M_{máximo} = 32{,}32 \text{ N.m}$$

Análisis Estático del Eje.

Los esfuerzos a los que están comúnmente sometidos los ejes son de flexión y de torsión, presentes en una forma combinada [6].

$$d = [\frac{32n}{\pi S_y}\sqrt{M^2 + T^2}]^{1/3}$$

Por tratarse de flexión pura (T = 0) se obtiene la siguiente expresión para poder determinar la dimensión del eje.

$$d = [\frac{32n}{\pi S_y}\sqrt{M^2}]^{1/3} \quad (4.29)$$

Dónde:

$d =$ Es el diámetro del eje, 40 mm.

$n =$ Coeficiente de seguridad.

$S_y =$ Limite de fluencia del material, 2540 Kg/cm^2.

$M =$ Momento flector en la sección crítica del eje, 32,32 N.m.

Despejando el coeficiente de seguridad de la ecuación 4.29, se tiene:

$$n = \frac{d^3 \pi S_y}{32\sqrt{M^2}} \quad (4.30)$$

$$n = \frac{(0{,}04\ \mathrm{m})^3 * \pi * (250 * 10^6 \mathrm{Pa})}{32\sqrt{(32{,}32\ \mathrm{N.m})^2}}$$

$$n = 48{,}60$$

Por lo tanto el eje resiste las cargas aplicadas.

Análisis del Eje a Fatiga.

Se diseña el eje bajo el criterio de la teoría de falla de fatiga.

Esfuerzo alternante

$$\sigma_a = \frac{32*M}{\pi*d^3} \quad (4.31)$$

$$\sigma_a = \frac{32 * 32{,}32\ \text{N.m}}{\pi * (0{,}04\text{m})^3}$$

$$\sigma_a = 5{,}14\ \text{MPa}$$

$$\sigma_m = 0$$

Esfuerzo cortante medio

$$\tau_m = \frac{16*T}{\pi*d^3} \quad (4.32)$$

$$\tau_m = \frac{16 * 89\ \text{N.m}}{\pi * (0{,}04\text{m})^3}$$

$$\tau_m = 7{,}08\ \text{MPa}$$

El cálculo de la resistencia a la fatiga, se lo realiza de igual forma que en la sección 4.3.5-Análisis a fatiga de los pines, por lo tanto se utiliza la ecuación 4.21:

$$Se = ka.kb.kc.kd.ke.kf.Se`$$

Cálculo de los factores:

Factor de modificación de la condición superficial

En base a la tabla 4.4:

$$\text{ka} = 0{,}83 \text{ Laminado en caliente}$$

Factor de modificación de tamaño

Dado que el valor del diámetro del eje es de 400 mm, se tiene:

$$\text{kb} = 0.879\ (\text{d})^{-0.107};\ 0.11 \leq \text{d} \leq 2 \text{ pulg}$$

$$\text{kb} = 0.879\ (1.57)^{-0.107}$$

$$\text{kb} = 0.8375$$

Factor de modificación de la carga

$$\text{kc} = 1 \text{ debido a la Flexión}$$

Factor de modificación de la temperatura

$$\text{kd} = 1 \text{ por no incurrir en efectos de temperatura}$$

Factor de confiabilidad

$$\text{ke} = \frac{1}{\text{kf}}$$

Factor de modificación de efectos varios

$$\text{kf} = 1 + \text{q}(\text{Kt} - 1)$$

$$kt = 1.5$$

$$\frac{r}{d} = 0.1$$

$$q = 0{,}7$$

Por lo tanto:

$$kf = 1 + 0{,}7(1{,}5 - 1)$$

$$kf = 1{,}35$$

Por consiguiente:

$$ke = 0{,}74$$

Remplazando valores en la ecuación 4.21

$$Se = 0{,}83 * 0{,}8375 * 1 * 1 * 0{,}74 * 1{,}35 * 700 \text{ MPa}$$

$$Se = 486{,}10 \text{ MPa}$$

Aplicando el criterio de Von Misses, para esfuerzos equivalentes:

$$\sigma_{eq}a = \sqrt{{\sigma_a}^2 + 3{\tau_a}^2} = \sigma_a \qquad (4.33)$$

$$\sigma_{eq}a = 5{,}14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq}m = \sqrt{{\sigma_m}^2 + 3{\tau_m}^2};\ \sigma_m = 0 \qquad (4.34)$$

$$\sigma_{eq}m = \sqrt{3{\tau_m}^2}$$

$$\sigma_{eq}m = 12{,}26 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se define como:

$$n_{fatiga} = Sm/\sigma_{eq}a \qquad (4.35)$$

Donde:

$Sm =$ Resistencia máxima, (MPa).

$\sigma_{eq}m =$Esfuerzo equivalente medio, (MPa).

$$Sm = \frac{Se}{\frac{Se}{Sut}+\frac{\sigma_{eq}a}{\sigma_{eq}m}} \qquad (4.36)$$

$$Sm = \frac{486{,}10\ \text{MPa}}{\frac{486{,}10\ \text{MPa}}{1610\ \text{MPa}} + \frac{5{,}14\ \text{MPa}}{12{,}26\ \text{MPa}}}$$

$$Sm = 674{,}04\ \text{MPa}$$

Por lo tanto el factor de seguridad es igual a:

$$n_{fatiga} = 18$$

4.6. Potencia Requerida del Molino.

Para que la máquina entre en funcionamiento se necesita únicamente vencer la inercia de todos los elementos que interactúan en la misma; la potencia requerida se la calculará de la siguiente manera:

$$P_i = T_i * \omega_i \qquad (4.37)$$

Donde el torque está definido en la ecuación 4.18:

$$T_i = I_t * \alpha_m \qquad (4.38)$$

Y la aceleración es igual a:

$$\alpha_m = \frac{\omega_f - \omega_o}{{t_f}^2 - {t_o}^2}$$

Dado que ${t_o}^2 = 0$ y $\omega_o = 0\ \mathrm{rad/s}$

Se tiene:

$$\alpha_m = \frac{\omega_f}{{t_f}^2} \qquad (4.39)$$

Dónde:

P_i = Potencia para vencer la inercia de los elementos, (Watts).

T_i = Torque necesario para vencer la inercia, (N.m).

W_f = Velocidad angular, (rad/s).

I_i = Inercia de los elementos, (Kg.m^2).

α_m = Aceleración media producida mediante el encendido y plena marcha, (rad/s^2).

t_f = Tiempo de arranque del motor, (s).

Remplazando valores en la ecuación 4.39:

$$\alpha = \frac{340\ \mathrm{rad/s}}{5\ \mathrm{s}} = 68\ \mathrm{rad/s^2}$$

Donde la inercia total obtenida con la herramienta Solidworks® es igual a:

$$I_{eje} + I_{disco} + I_{pines} = 0{,}96\ \mathrm{Kg\ m^2}$$

Aplicando la ecuación 4.37:

$$P = 0{,}96\ \text{Kg}\,\text{m}^2 * 68\frac{\text{rad}}{\text{s}^2} * 340\frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P = 22195{,}2\ \text{KW} = 30\ \text{HP}$$

Se determina que la potencia mínima requerida para la trituración es de 30 HP.

4.7. Selección de Componentes.

4.7.1. Selección de Chaveta.

Características del material.

El material apropiado para elementos de acoples como cuñas o chavetas es el acero AISI 1010, cuya resistencia máxima a la tensión (Sy) es igual a 324 MPa.

Fuerzas en la chaveta.

El primer parámetro a considerar es el diámetro del eje D.

Para determinar la fuerza que actúa en la chaveta se considera la siguiente expresión:

$$F_{ch} = \frac{T}{r} \qquad (4.40)$$

Donde:

F_{ch} = Fuerza actuante en la chaveta, (N).

$T =$ Momento torsor, (N.m).

$r =$ Radio del eje, (m).

Se consideran dos tipos de esfuerzos a los que está sometida la chaveta: cortante y de aplastamiento.

El esfuerzo por corte:

$$\tau_c = F_c/A_c \quad (4.41)$$

Donde:

$\tau_c =$ Esfuerzo de corte, (N. mm^2).

$F_c =$ Fuerza de corte, (N).

$A_c =$ Área de corte, (mm^2).

El esfuerzo por aplastamiento es:

$$\sigma_a = F_a/A_{aplast} \quad (4.42)$$

Donde:

σ_a= Esfuerzo de aplastamiento, (N. mm^2).

F_a= Fuerza de aplastamiento, (N).

A_{aplast}= Área de aplastamiento, (m^2).

Detalle de Selección.

Se emplea una chaveta paralela de sección rectangular. (APÉNDICE G). Las dimensiones de la sección según la

norma DIN 6885A para un diámetro de eje 40 mm son las siguientes:

TABLA 26

DIMENSIONES DE CHAVETA

Anchura de chaveta	B	12,00 mm
Altura de chaveta	H	6,00 mm
Longitud de la chaveta	L	36,00 mm
Longitud funcional	Lf	24,00 mm
Chaflán de chaveta	S	0,40 mm
Radio de chaveta	R	0,16 mm

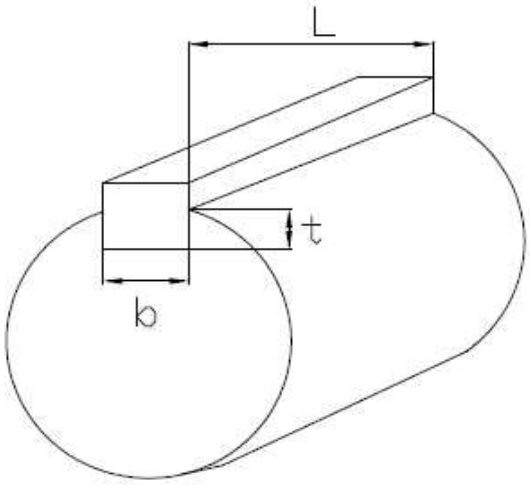


FIGURA 4.9 DIMENSIONES DE CHAVETA

Determinación del esfuerzo cortante.

$$A_c = b * l \quad (4.43)$$

$$A_c = (12 * 36)\ mm^2$$

$$A_c = 432\ mm^2$$

De la sección 4.6, se determinó que la potencia mecánica necesaria es 30 HP; por lo tanto el valor del torque (T) es 89,1 N.m y de la tabla 26 el valor de radio de chaveta (R) es igual a 0,16 mm.

Utilizando la ecuación 4.40:

$$F = \frac{89{,}1\ N.m}{0{,}02\ m} = 4455\ N$$

Sustituyendo en la ecuación 4.41:

$$\tau_c = \frac{F_c}{A_c}$$

$$\tau_c = \frac{4455\ N}{432 mm^2} = 10.31\ N/mm^2$$

Debe cumplir que:

$$\tau_c \leq S_y/2 \quad (4.44)$$

Entonces:

$$10.31\ N/mm^2 \leq \frac{324N}{2\ mm^2}$$

Como se verifica que:

$$10.31 \leq 162$$

Resiste al corte.

Determinación del esfuerzo por aplastamiento.

$$A_{aplastamiento} = t * l \quad (4.45)$$

$$A_{aplastamiento} = (6 * 36)\ mm^2$$

$$A_{aplastamiento} = 216\ mm^2$$

Aplicando la ecuación 4.42:

$$\sigma_{aplast} = \frac{F_a}{A_{aplastamiento}}$$

$$\sigma_{aplast} = \frac{4455\ N}{216\ mm^2} = 20{,}62\ N/mm^2$$

Se debe cumplir que:

$$\sigma_{aplast} \leq S_{y_{eje}} \quad (4.46)$$

Donde:

$S_{y_{eje}}$ = Resistencia máxima del eje, 210 MPa.

Como se verifica que:

$$20{,}62 \leq 210$$

Resiste al aplastamiento.

Consecuentemente se verifica la selección de la chaveta 12x6x36mm.

4.7.2. Selección de Pernos de Sujeción del Disco Estator.

Se eligió una unión no permanente (pernos) con el fin de poder desmontar el disco estator para darle facilidad en su mantenimiento o cambio de pines desgastados.

A continuación se plantea el diseño.

Geometría del perno

Se escogió pernos disponibles en el mercado, lo cuales cuentan con las siguientes características detallada en la tabla a continuación.

TABLA 27

CARACTERÍSTICAS DEL PERNO

Características del perno
Perno de cabeza hexagonal
M16
Sp=380 MPa
Sut=520 MPa
Sy=420 MPa
L_T=38 mm
A_d=201 mm^2
A_t=157 mm^2 (Tabla 8-1 Shigley)
l_d= 22 mm
L_t=15 mm

Se ha diseñado una geometría para la posición de los pernos y una vez seleccionados los pernos se procede a verificar si la selección cumple con la teoría de falla.

Se establece la ubicación de los pernos. Se determina el centroide de los pernos, la fuerza y momento sobre el elemento.

Para el diseño de esta unión mecánica se considera la teoría de falla de Goodman.

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_a}{Se} + \frac{\sigma_m}{Sut}$$

Donde son parámetros obtenidos por ecuaciones descritas más adelante.

A continuación se calculan parámetros derivados de la geometría de los pernos.

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d} \qquad (4.47)$$

$$k_m = A\exp\left(\frac{Bd}{l}\right) * Ed \qquad (4.48)$$

Remplazando los valores tabulados en la tabla 27 se obtiene que:

$$k_b = 1009 * 10^6 N/m$$

$$k_m = 3422 * 10^6 N/m$$

Ahora se puede calcular el valor de C, que representa fracción de carga externa P soportada por el perno.

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (4.49)$$

$$C = 0{,}227$$

A continuación se calcularán los esfuerzos soportados por los pernos. Iniciando con las fuerzas primarias y secundarias aplicadas sobre los pernos debido al cortante y momento.

$$F' = \frac{V}{N} \quad (4.50)$$

Donde:

V= Es la fuerza cortante, en este caso V=F.

N= El número de pernos del diseño, N=6.

$$F'' = \frac{M r_N}{\sum r^2} \quad (4.51)$$

Donde:

$M =$ Es el momento aplicado sobre el centroide O del grupo de pernos.

$r_N =$ Es la distancia desde el centroide del grupo al centro de cada perno.

Entonces se tiene que:

$$F' = 50{,}48 \text{ N}$$

$$F'' = 148{,}5 \text{ N}$$

Por lo tanto la carga externa sobre los pernos es:

$$P = \sqrt{(F')^2 + (F'')^2} \quad (4.52)$$

$$P = 156{,}8 \text{ N}$$

La precarga para cada perno:

$$F_i = 0{,}75\, F_b = 0{,}75 A_t S_p \quad (4.53)$$

$$F_i = 0{,}75 * 157 * 380$$

$$F_i = 44745 \text{ N}$$

Una vez que se tiene la fuerza primaria, secundaria y la precarga se procede a calcular el esfuerzo alternante y medio sobre el perno.

$$\sigma_a = \frac{CP}{2A_t} \quad (4.54)$$

$$\sigma_a = 113 \text{ KPa}$$

$$\sigma_m = \sigma_a + \sigma_i \quad (5.52)$$

$$\sigma_i = F_i / A_t$$

$$\sigma_m = 113 * 10^3 + \frac{44745 \text{ N}}{157 * 10^{-6}}$$

$$\sigma_m = 285 \text{ MPa}$$

Una vez calculado los esfuerzos se aplica la teoría de falla de Goodman para obtener el factor de seguridad.

$$\frac{1}{\mathrm{n}} = \frac{113 * 10^3}{380 * 10^6} + \frac{285 * 10^6}{520 * 10^6}$$

$$\mathrm{n} = 2$$

Lo que satisface el criterio.

4.7.3. Selección de Rodamientos.

La vida útil de una máquina rotativa está basada en el correcto funcionamiento de su eje. La selección de rodamientos consiste en determinar básicamente el tipo, tamaño y horas de funcionamiento, para una determinada aplicación. Se procede a utilizar para la selección de rodamientos el CATÁLOGO GENERAL SKF [9].

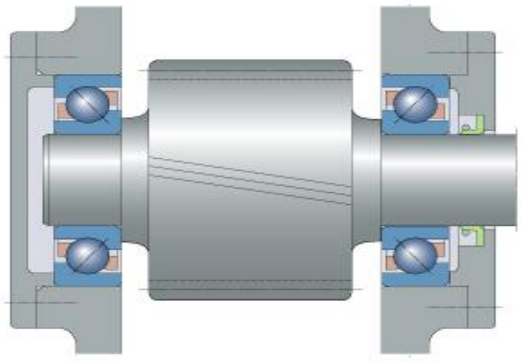


FIGURA 4.10 RODAMIENTOS DE BOLAS

Para certificar que el rodamiento seleccionado es el adecuado, se calcula el valor de la carga dinámica que debe soportar el mismo.

Del análisis que se hizo en el eje se obtienen las cargas que están soportando las chumaceras.

Por lo tanto el análisis de la chumacera se enfoca en la que soporta mayor carga, es decir, el más crítico.

La carga que va a soportar la chumacera es solamente radial y su valor es:

$$Fr = 575\ N$$

La carga dinámica se calcula mediante la siguiente fórmula

$$C = \left(\frac{L_h * 60 * n}{1 * 10^6}\right)^{\frac{1}{k}} * p \qquad (4.55)$$

Dónde:

C = Carga básica dinámica, en N.

Lh = Duración nominal en horas de funcionamiento, 16000 hr (Molino trabajando 8 horas diarias).

n = Velocidad de rotación en RPM = 3500 RPM.

P = Fr = 575 N.

K = Exponente de la fórmula de duración

Siendo: 3 si el rodamiento es de bolas, 10/3 si el rodamiento es de rodillos.

Sustituyendo en la ecuación 4.55:

$$C = 3958,9\ N$$

Con los datos anteriormente determinados y para un diámetro interno de 40 mm se selecciona rodamientos rígido de bolas SKF61808 (APÉNDICE H), con chumaceras del tipo Y con prisioneros de fijación con designación SY 40TF.

4.7.4. Selección del Tamiz.

El tamiz es aquel que separa las partículas de fertilizante según la granulometría requerida. Se tomó como muestra al cloruro de potasio existente en el mercado ecuatoriano y bajo la norma NTE INEN 2 022:1998 se especifica la granulometría requerida. Esta norma indica que el tamiz a utilizarse es el inmediato anterior al tamiz donde el 80% del material se retiene. Por lo tanto el tamiz #100 el cual tiene un agujero de malla 0,15 mm.

Se necesita dos tamices roladas de 0,15 mm de espesor, para el paso del fertilizante, en material es acero inoxidable

debido a la humedad existente en el ambiente y por el nivel de corrosión del producto, las medidas están dadas por la configuración geométrica del molino.

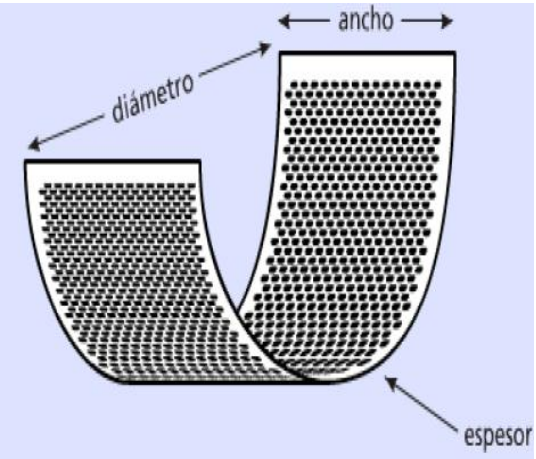


FIGURA 4.11 TAMIZ

4.8. Especificaciones Técnicas y Plano del Molino Rotatorio.

En la tabla 28 se detallan las especificaciones técnicas del molino de pines:

TABLA 28

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOLINO DE PINES

MOLINO PULVERIZADOR DE PINES	
Aplicación	Grado Quimico
Capacidad de produccion (kg/h)	Hasta 2000
Revoluciones (rpm)	3500
Potencia (HP)	30
Dimensiones (mm)	700x900x300
Granulometria (Mesh)	60-100

4.9. Análisis Funcional del Molino de Pines con la Aplicación de la Herramienta Solidworks®.

Establecidos los cálculos de los elementos que constituyen el molino de pines se determinó que la potencia del motor es de 30 HP la cual permite que el disco gire a una velocidad de $\omega = 340$ rad/s de esta forma el material granulado al entrar en contacto con los pines localizados en el disco rotor adquieren una velocidad tangencial de aproximadamente 96 m/s, la cual es suficiente para que el material se vaya triturando por el impacto con los pines estáticos generando este proceso cíclicamente hasta que finalmente se obtenga la granulometría adecuada.

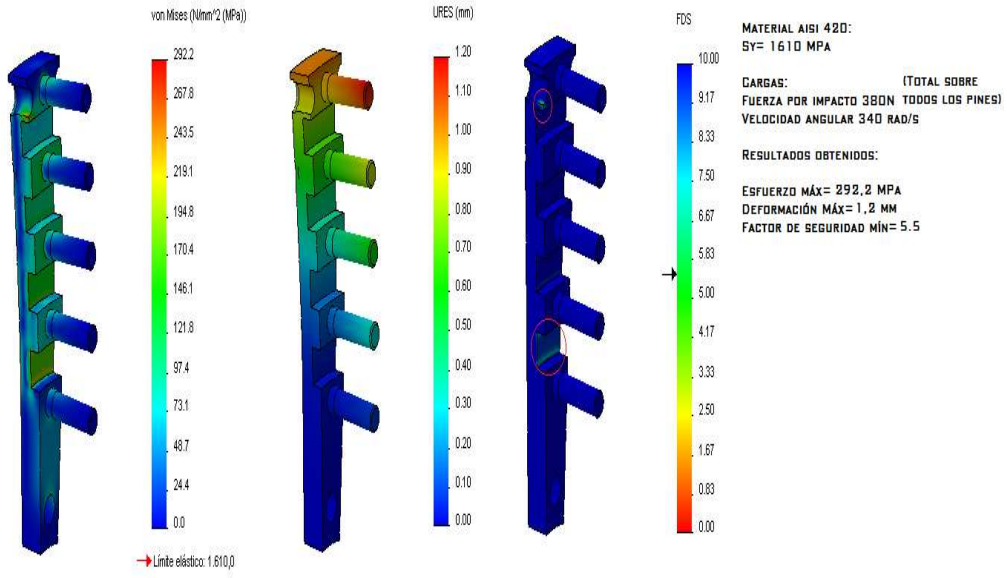


FIGURA 4.12 ESTUDIO DEL PRINCIPAL ELEMENTO DEL MOLINO

4.10. Análisis de la Estructura Soporte del Molino con la Aplicación de la Herramienta Solidworks®.

Consideraciones:

- La estructura debe soportar los siguientes elementos: molino de pines, motor, tolva de recepción, tolva de descarga, acople, rodamientos, cojinetes y pernos de sujeción que en su totalidad forman un sistema con un peso de aproximadamente 2548 N.
- La estructura debe estar fija.

Alternativas planteadas [10]:

1. Tubo cuadrado 40x2 mm
2. Perfil L 50x50x6 mm

Proceso de análisis:

- Con el programa Solidworks® se desarrolló el CAD que permite visualizar la distribución de los perfiles en dicha estructura.

- Mediante Solidworks Simulation® se realizó el análisis estático de las estructuras para verificar si las alternativas planteadas trabajan en óptimas condiciones cumpliendo las condiciones establecidas para su correcto funcionamiento.

Flujo de trabajo en Solidworks Simulation®:

Material: ASTM A36

Condiciones de borde: La base es fija

Cargas: 2548 N

Resultados obtenidos: (APÉNDICE I)

TABLA 29

RESULTADOS TUBO CUADRADO Y PERFIL ANGULAR

Descripción	Tensión Máxima (MPa)	Tensión Mínima (MPa)	Desplazamiento Máximo (mm)	Factor de seguridad mínimo
L 50x50x6	127,80	1,20	3,14	1,80
Tubo Cuadrado 40x2	68,30	0,10	3,42	3,70

De la tabla 29 se elige el perfil cuadrado ya que presenta un mayor factor de seguridad comparado con el perfil en ángulo.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE COSTOS.

5.1 Presupuesto para construcción del molino de pines.

Dentro del desarrollo conceptual, básico y de detalle del sistema de Molienda para planta productora de fertilizante, es importante que se muestre la lista de materiales y precios referenciales que aportan a la construcción del mismo.

Mediante tablas, se muestra a continuación los costos de materiales necesarios para la construcción del Molino de Pines, así como los costos de los elementos que han sido seleccionados, para luego ser utilizados.

Materiales Necesarios para la Construcción del Molino de Pines.

La tabla 30 detalla lo siguiente: La primera columna indica el número de elementos, la segunda el tipo de material, la tercera la especificación de cada material, la cuarta la cantidad de material a utilizar, la quinta el costo unitario y la última columna refleja el costo total.

TABLA 30
MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MOLINO DE PINES

Materiales necesarios para la construcción del Molino de Pines						
N	Material Requerido	Especificaciones	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (dolares)	Costo Total (dolares)
1	Lamina de acero inoxidable	6x1220x2240 mm	2	Global	648,00	1296,00
2	Lamina de acero inoxidable	10x1220x2240 mm	1	Global	1130,40	1130,40
3	Lamina de acero inoxidable	20x1220x2240 mm	1	Global	2100,00	2100,00
4	Barra redonda de acero inoxidable	ϕ=20 mm	5	Global	86,28	431,40
5	Perno-Tuerca-Arandela Plana Estator	ϕ=16x40 mm	6	Global	1,90	11,40
6	no-Tuerca Arandela Plana Base Carc	ϕ=16x40 mm	4	Global	1,90	7,60
7	Tuerca De Compuerta	ϕ=20 mm	3	Global	2,43	7,29
8	Eje acero de transmision	ϕ=40 mm	1	Global	20,00	20,00
9	Chumacera Autoalineables GMC	ϕ=40 mm	2	Global	37,07	74,14
10	Cauchos aisladores	Bases	1	Global	12,00	12,00
11	Criba de acero inoxidable	ϕ=500 mm	1	Global	370,00	92,50
12	Motor electrico	Siemens 30 Hp	1	Global	1466,64	1466,64
13	Sistema de control electrico		1	Global	600,00	600,00
14	Acople flexible	ϕ=40 mm	1	Global	256,18	256,18
15	Perno Base motor	ϕ=20x35 mm	4	Global	4,60	18,40
16	Arandela Plana	ϕ=20 mm	4	Global	0,20	0,80
17	Arandela de presion	ϕ=20 mm	4	Global	0,67	2,68
18	Angulo L ASTM A36	50x50x6 mm	6	Global	32,61	195,66
19	Pintura Base	Anticorrosivo	1	Galon	45,30	45,30
20	Pintura Final	Poliuretano	1	Galon	25,00	25,00
21	Perno de anclaje base estructura	ϕ=20 mm	8	Global	4,00	32,00
TOTAL						7825,39

*Elaborado por Anell Borbor y Alex Crespo

Costo de Equipos.

En la tabla 32 se establece el costo por hora del equipo y se multiplica este valor por el rendimiento diario del mismo, el cual está en función de los kilogramos de trabajo efectuados, por lo tanto el costo que se obtiene se lo multiplica por el peso en kilogramos equivalentes a la parte física del molino de pines detallado a continuación en la tabla 31:

TABLA 31

PESO DE LOS ELEMENTOS DEL MOLINO DE PINES

N	Piezas	Detalle	Cantidad (kg)
1	Tolva Alimentacion	Soldadura y Corte	24,00
2	Tolva Descarga	Soldadura y Corte	56,00
3	Disco Rotor	Corte-Fresado	35,00
4	Disco Estator	Corte-Fresado	35,00
5	Carcasa	Corte-Plegado	82,50
6	Compuerta	Soldadura y Corte	88,60
7	Pines	Corte-Torneado	24,00
8	Estructura Base Motor	Soldadura y Corte	200,00
9	Estructura Base Molino	Soldadura y Corte	710,00
10	Manija de puerta	Corte-Doblado	2,00
11	Brida soporte eje-rotor	Soldadura y Corte	9,00
TOTAL			1266,10

*Elaborado por Anell Borbor y Alex Crespo

TABLA 32

COSTOS EQUIPOS

COSTOS EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	**TAREA**	**CANTIDAD**	**TARIFA**	**COSTO HORA**	**RENDIMIENTO X KILOGRAMO**	**COSTO X KILOGRAMO**
		A	B	C=A*B	R	D=C*R
Máquina de Soldar	Sujección de elementos	1	0,50	0,50	0,05	0,03
Cortadora-Dobladora	Piezas de ensamble	1	0,50	0,50	0,03	0,02
Fresadora	Agujeros del disco rotor y estator	1	0,50	0,50	0,10	0,05
Torno	Maquinado de pines	1	0,50	0,50	0,10	0,05
TOTAL						0,14

*Elaborado por Anell Borbor y Alex Crespo

COSTO EQUIPOS=0,14*1266,1=180,28

Costos de Mano de Obra.

Para determinar el costo de mano de obra, detallado en la tabla 33 se multiplica el valor que representa una hora de trabajo (en base a los salarios mínimos por ley que establece la contraloría general del estado) por el rendimiento diario de un trabajador, el cual está en función de los kilogramos de trabajo, por lo tanto este valor obtenido se multiplica por el peso en kilogramos del molino calculado anteriormente.

TABLA 33

COSTO DE MANO DE OBRA

COSTOS MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	**TAREA**	**CANTIDAD**	**JORNAL/HR**	**COSTO HORA**	**RENDIMIENTO X KILOGRAMO**	**COSTO X KILOGRAMO**
(CATEGORIAS)		**A**	**B**	**C=A*B**	**R**	**D=C*R**
Maestro soldador	Tolva de alimentación y descarga, compuerta, carcasa, manija, estructruras en general	2,00	2,70	5,40	0,05	0,27
Ayudante	Ensamble	2,00	2,58	5,16	0,05	0,26
Fresador	Agujeros del disco rotor y estator	1,00	2,70	2,70	0,10	0,27
Tornero	Maquinado de Pines	1,00	2,70	2,70	0,10	0,27
Pintor	Estructura base	1,00	2,70	2,70	0,05	0,14
Eléctrico	Instalación de Motor	1,00	2,58	2,58	0,08	0,21
TOTAL						1,41

*Elaborado por Anell Borbor y Alex Crespo

COSTO EQUIPOS=1,41*1266,1=1785,20

Costo de Transporte.

TABLA 34

COSTO TRANSPORTE

COSTOS TRANSPORTE		
Denominación	Costo flete (dólares)	Valor Contratado (dólares)
Transporte maquinas al taller	100,00	100,00
Transporte de material	100,00	100,00
TOTAL		200,00

*Elaborado por Anell Borbor y Alex Crespo

Costos Directos.

TABLA 35

VALOR TOTAL DE COSTOS DIRECTOS

COSTOS DIRECTOS	
Detalle	**Costo (dólares)**
Materiales	7825,39
Equipos	180,28
Mano de obra	1785,2
Transporte	200,00
TOTAL	9990,87

*Elaborado por Anell Borbor y Alex Crespo

Costos Indirectos.

Los costos indirectos representan los gastos ingenieriles, la utilidad, e imprevistos presentes en este tipo de proyectos.

Se ha considerado el 18% de los costos directos total como rubro sobre posibles imprevistos

Costos totales.

El costo total es el resultado de la suma de los costos directos más los costos indirectos

TABLA 36

COSTOS TOTALES

COSTO MOLINO DE PINES	
Detalle	**Costo (dólares)**
Costos directos	9990,87
Costos indirectos	1798,36
TOTAL	11789,23

*Elaborado por Anell Borbor y Alex Crespo

El total de la construcción del Molino pulverizador de pines para la fábrica productora de fertilizantes asciende a $11789,23 (**ONCE MIL SETECIENTOS OCHENTA Y NUEVE DÓLARES CON VEINTE Y TRES CENTAVOS**).

5.2 Cronograma de la Construcción del Molino de Pines.

Para cumplir con el tiempo idóneo de construcción del molino de pines se deberá planificar y desarrollar un cronograma de ejecución de los Trabajos, tomando en cuenta la jornada laboral establecida en el lugar donde se ejecuten los mismos, teniendo presente además, ausentismos, accidentes, conflictos laborales, situaciones climáticas, vacaciones, domingos, festivos, cortes de energía y agua, tiempos muertos, y cualquier otro evento y/o condición que pudiese ocasionar una demora en la ejecución de los trabajos.

Este cronograma es la línea base del proyecto y sobre esta base se podrá realizar el seguimiento del cumplimiento a los trabajos contratados (APÉNDICE J).

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Luego de haber efectuado este trabajo de tesis se concluye lo siguiente:

1. Se han aplicado los conocimientos adquiridos durante el desarrollo académico. Se logró establecer el diseño funcional de la línea de producción de mezclas de fertilizantes inorgánicos con el diseño y selección y de los equipos que la componen.

2. Los materiales necesarios para la construcción del molino de pines se encuentran disponibles en el mercado nacional, así como también existe mano de obra y profesionales capacitados y competentes para desarrollar este tipo de proyectos. Contribuyendo de esta manera, a la disminución de la salida de divisas en el Ecuador.

3. En cuanto al análisis económico, los costos evaluados demuestran que la fabricación del molino de pines es viable, su implementación en la línea de producción reduce los gastos de las importaciones del fertilizante como producto terminado en estado de polvo.

4. Finalmente se puede concluir que este proyecto representa un impulso al desarrollo de las industrias dedicadas a la mezcla de fertilizantes inorgánicos, fomentando una competitividad que equilibre la alta demanda de calidad y cantidad de nutrientes para el suelo, en un país donde la agricultura es una de sus principales fuentes de ingreso económico.

Se recomienda lo siguiente:

1. Se recomienda realizar la fabricación del molino pulverizador de pines con la finalidad de validar los resultados teóricos obtenidos.

2. Se recomienda mantener el sistema de desempolvado planteado debido a que el fertilizante es un producto tóxico y nocivo para la salud humana. Es indispensable que se cumplan con las normas de seguridad adecuadas para las industrias dedicadas a la producción de mezclas de fertilizantes.

3. Se proyecta la posibilidad de una alterna utilización del molino de pines para implementarlo en una línea de producción cuyo producto final sea polvo, considerando que si se trata de un grado alimenticio los materiales para su construcción deberán ser de acero inoxidable.

4. En un posible mantenimiento del equipo, de ser necesario detener y abrir el molino, se debe verificar que esté completamente en reposo, el contacto de cualquier parte humana con el disco en movimiento puede causar daños irreparables.

PLANOS

APÉNDICES

APÉNDICE A: CATÁLOGO DE ESPECIFICACIONES DE LAS CELDAS DE PESAJE
APÉNDICE B: TABLAS USADAS DEL CATÁLOGO DE MARTIN
APÉNDICE B: TABLAS USADAS PARA EL SISTEMA DE DESEMPOLVADO
APÉNDICE D: CATÁLOGO DE VENTILADORES SOLER&PALAU
APÉNDICE E: CATÁLOGO DE VÁLVULAS
APÉNDICE F: FICHA TÉCNICA DEL CLORURO DE POTASIO
APÉNDICE G: NORMAS UNE 17.102 CHAVETAS PARALELAS
APÉNDICE H: RODAMIENTO SKF
APÉNDICE I: ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DEL MOLINO DE PINES
APÉNDICE J: CRONOGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DEL MOLINO DE PINES

BIBLIOGRAFÍA

(1). Fertilizer Manual, UNIDO-IFDC, 3rd Edition, Kluwer Academic Publishers.

(2). Amando Gómez, Joaquín Mitau, “Diseño y simulación de una mezcladora (80 Kg/semana) y dosificadora (1 Kg) de polvos finos (café, cacao, azúcar, leche, etc.), y construcción de un modelo” (Tesis, Facultad en Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Ejército, 2010).

(3). Industrial Ventilation, A manual of recommends practice, American Conference of governmental Industrial Hygienists, ACOGIH 14Ed.

(4). Manual de Martín.

(5). Máquinas De Transporte Y Elevación, Zieliñski, Ed. Estatal, Págs. 250-254.

(6). Air Pollution Control de Cooper y Alley.

(7). Joseph E. Shigley Y Charles R. Mischke, Diseño En Ingeniería Mecánica, 6ta Edición, Mcgraw-Hill, México 2002.

(8). Bohler, Catálogo de Aceros Especiales Para Maquinar.

(9). Skf, Catálogo de Rodamientos rígidos de bolas.

(10). Dipac, Catálogo de Perfiles Estructurales.