



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“REDISEÑO DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO
DE GRANOS, EN LA FACULTAD DE CIENCIAS
PECUARIAS – ESPOCH”**

MUÑOZ CHICAIZA JORGE TEODORO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-06-14

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

JORGE TEODORO MUÑOZ CHICAIZA

Titulada:

“REDISEÑO DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE GRANOS, EN LA FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS – ESPOCH”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Juan de Dios Silva Zambrano
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Miguel Aquino Arroba
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JORGE TEODORO MUÑOZ CHICAIZA

TÍTULO DE LA TESIS: “REDISEÑO DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE GRANOS, EN LA FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS – ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2014-01-30

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno Romero PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Juan de Dios Silva DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Miguel Aquino ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Telmo Moreno Romero
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Jorge Teodoro Muñoz Chicaiza

DEDICATORIA

Deseo dedicar este proyecto a la primera persona que formo un pilar fundamental en mi educación personal al enseñarme el verdadero valor de la vida mi querido abuelo Manuel Teodoro Muñoz Padilla, te extrañamos y recordamos por siempre.

Jorge Muñoz Chicaiza

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida con éxito, a mis padres Manuel Teodoro Muñoz y María Susana Chicaiza, quienes con gran esfuerzo lucharon para que este objetivo sea cumplido, A mis hermanos y amigos quienes han estado conmigo durante todo el trayecto de mi vida personal y profesional apoyándome y brindándome palabras de aliento en el momento oportuno.

A la Familia Orellana y en especial a mi mejor amigo Daniel Orellana por todo su apoyo incondicional brindado en varias etapas de mi vida.

A mis tutores de Tesis Ing. Washington Rúaes, Ing. Juan De Dios Silva e Ing. Miguel Aquino por su apoyo y entrega incondicional en el presente proyecto de grado.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todas las personas que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa más de mi vida.

Jorge Muñoz Chicaiza

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO	
2.1 Estado del arte de la tecnología mecánica para procesamiento de alimentos.....	3
2.1.1 <i>Estado del arte de los equipos de procesamiento de granos</i>	3
2.1.1.1 <i>Transportador por tornillo</i>	3
2.1.1.2 <i>Molino de martillos</i>	6
2.1.1.3 <i>Ventilador radial</i>	9
2.1.1.4 <i>Ciclón</i>	11
2.1.1.5 <i>Mezcladora de tornillo</i>	14
2.2 Marco Teórico.....	16
2.2.1 <i>Procesamiento de granos</i>	16
2.2.2 <i>Tipos de alimentos balanceados</i>	16
2.2.2.1 <i>Maíz</i>	18
2.2.3 <i>Sistema de transporte por tornillos</i>	20
2.2.4 <i>Sistema de molienda</i>	25
2.2.4.1 <i>Molino de martillos</i>	25
2.2.5 <i>Diseño del ventilador</i>	31
2.2.6 <i>Sistema de separación de partículas</i>	38
2.2.7 <i>Sistema recolector de polvos</i>	43
2.2.7.1 <i>Diseño del sistema recolector de polvos</i>	49
2.2.8 <i>Válvulas rotatorias</i>	52
2.2.9 <i>Mezcladora</i>	54
2.2.10 <i>Sistemas de transporte neumático</i>	55
2.2.11 <i>PLC Siemens S7-200</i>	60
2.2.12 <i>Potencia</i>	61
3. MÉTODO DE DISEÑO	
3.1 Fases de diseño.....	65
3.1.1 <i>FASE 1. Especificaciones</i>	65
3.1.2 <i>FASE 2. Diseño conceptual</i>	65
3.1.3 <i>FASE 3. Diseño de ingeniería</i>	65
3.1.4 <i>FASE 4. Diseño de detalle</i>	65
3.2 Procesos de diseño.....	66
3.2.1 <i>Definición del problema</i>	66
3.2.2 <i>Declaración de la misión</i>	67
3.2.3 <i>Mercado primario</i>	67
3.2.4 <i>Postulados</i>	67
3.2.5 <i>Personas interesadas en el producto</i>	67

4.	ANÁLISIS DE VALOR DE LA PLANTA PROCESADORA DE GRANOS	
4.1	Descripción del proceso de producción de balanceado.....	68
4.1.1	<i>Equipos en la línea de producción de balanceado.....</i>	69
4.2	Calidad y ciclo de vida del producto.....	71
4.3	Estado técnico actual de los equipos.....	71
4.3.1	<i>Estado técnico del sistema de alimentación tolva – tornillo transportador uno.....</i>	72
4.4	Necesidades del operario.....	73
4.5	Necesidades del cliente.....	74
4.6	Matriz de necesidades-medidas.....	74
5.	DISEÑO CONCEPTUAL	
5.1	Diseño conceptual planta procesadora de grano.....	75
5.1.1	<i>Declaración de las funciones para la planta procesadora de grano.....</i>	75
5.1.2	<i>Estructura funcional.....</i>	76
5.1.3	<i>Generación de alternativas.....</i>	78
5.1.4	<i>Método de evaluación de soluciones.....</i>	78
5.1.5	<i>Evaluación de la ruta de solución.....</i>	82
5.1.6	<i>Evaluación del peso específico para cada criterio.....</i>	82
5.2	Diseño conceptual del molino de martillos.....	84
5.2.1	<i>Establecimiento de las funciones.....</i>	84
5.2.2	<i>Criterios de sección. (Ver anexo E).....</i>	85
5.2.3	<i>Conceptos solución.....</i>	85
5.2.4	<i>Evaluación de peso específico para los criterios y solución.....</i>	87
5.3	Diseño conceptual del filtro de mangas.....	88
5.3.1	<i>Establecimiento de las funciones.....</i>	88
5.3.2	<i>Criterios de sección.....</i>	89
5.3.3	<i>Conceptos solución.....</i>	89
5.3.4	<i>Evaluación del peso específico para cada criterio.....</i>	90
5.3.5	<i>Determinación de tabla de conclusión-filtro mangas.....</i>	91
5.4	Sistema electrónico de control.....	92
6.	DISEÑO DE INGENIERÍA	
6.1	Datos de campo.....	93
6.2	Necesidades de uso de los equipos.....	93
6.3	Rediseño del sistema de molienda y transporte neumático.....	93
6.3.1	<i>Ventilador.....</i>	94
6.3.1.1	<i>Análisis de la velocidad dispuesta por el ventilador.....</i>	94
6.3.1.2	<i>Análisis de la velocidad de saltación.....</i>	94
6.3.1.3	<i>Para la velocidad de saltación.....</i>	95
6.3.1.4	<i>Análisis de la relación de velocidades.....</i>	96
6.3.1.5	<i>Análisis de caída de presión.....</i>	96
6.3.1.6	<i>Diseño del ventilador.....</i>	100
6.3.1.7	<i>Parámetros funcionales.....</i>	101
6.3.1.8	<i>Configuración de la voluta.....</i>	109

6.3.2	<i>Análisis del molino de martillos.....</i>	111
6.3.2.1	<i>Análisis del comportamiento de la materia prima.....</i>	117
6.3.2.2	<i>Determinación de número de martillos.....</i>	119
6.4	Diseño del sistema recolector de polvos.....	119
6.5	Determinación de los parámetros de funcionamiento de los ciclones...	123
6.6	Rediseño del sistema de control.....	128
6.6.1	<i>Análisis energético de la planta procesadora de grano.....</i>	128
6.6.2	<i>Sistema de control.....</i>	131
7.	SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS	
7.1	Análisis molino de martillos.....	135
7.1.1	<i>Martillo.....</i>	135
7.1.2	<i>Cámara de remolienda.....</i>	136
7.1.3	<i>Análisis de flujo del ventilador.....</i>	138
7.2	Análisis de ducto bypass (<i>molino – mezcladora</i>)	139
8.	ANÁLISIS ECONÓMICO	
8.1	Materiales directos.....	141
8.2	Materiales indirectos.....	141
8.3	Mano de obra.....	141
8.4	Uso de equipo y herramientas.....	141
8.5	Transporte.....	141
8.6	Dirección técnica.....	142
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
9.1	Conclusiones.....	143
9.2	Recomendaciones.....	144

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Ingredientes principales de balanceado..... 17
2	Fórmula para la elaboración de balanceado para cerdos 17
3	Fórmula para la elaboración de balanceado para aves..... 18
4	Diámetro geométrico medio de muestra de maíz molido en plantas de balanceados en granjas avícolas, Santa Cruz de la Sierra de Bolivia 19
5	Toneladas métricas 20
6	Tabla de coeficiente CF1..... 23
7	Factor C_1 en función del tipo de material 24
8	Clasificación del tipo de molienda..... 26
9	Factor de velocidad tangencial 30
10	Características de los ciclones de alta eficiencia 39
11	Velocidades de filtración para algunas combinaciones de filtros de talegas y telas 50
12	Guía para estimar el área total de la tela para filtros de mangas que utilizan limpieza por agitación o aire en contracorriente 51
13	Parámetros de funcionamiento en fase diluida. 56
14	Longitud equivalente para codos, válvulas, y ductos flexibles..... 59
15	Análisis técnico del sistema de alimentación tolva – tornillos uno 72
16	Estado técnico de los sistemas de la planta procesadora de grano 73
17	Requerimientos de los equipos..... 73
18	Matriz morfológica (Planta procesadora de grano) 80
19	Criterios de evaluación. 82
20	Peso específico de criterios 83
21	Evaluación del peso específico del criterio producción de la PPG 83
22	Evaluación del peso específico del criterio mantenibilidad de la PPG 83

23	Evaluación del peso específico del criterio costo de la PPG	83
24	Evaluación del peso específico del criterio seguridad de la PPG.....	84
25	Tabla de conclusiones – Planta procesadora de grano.....	84
26	Matriz morfológica (Molino de martillos).....	86
27	Peso específico de criterios del molino de martillos.....	87
28	Evaluación del peso específico del criterio producción molino de martillos..	87
29	Evaluación del peso específico del criterio mantenibilidad del MM.....	87
30	Evaluación del peso específico del criterio costo del molino de martillos	87
31	Evaluación del peso específico del criterio seguridad del MM	88
32	Tabla de conclusiones – Molino de martillos.....	88
33	Matriz morfológica (Filtro de mangas).....	89
34	Peso específico de criterios del filtro de mangas	90
35	Evaluación del peso específico del criterio producción del FM	90
36	Evaluación del peso específico del criterio mantenibilidad del FM.....	91
37	Evaluación del peso específico del criterio costo del FM	91
38	Evaluación del peso específico del criterio seguridad del FM.....	91
39	Tabla de conclusiones	91
40	Diámetro en función del ángulo de la voluta.	111
41	Ventilador de álabes rectos.	111
42	Comportamiento del maíz a ensayo de compresión	117
43	Parámetros de diseño de los martillos	119
44	Características de los ciclones de alta eficiencia	123
45	CAE – Martillos.....	135
46	CAE – Cámara de remolienda	137
47	Análisis de flujo del ventilador radial.	139
48	Análisis de flujo del ducto bypass del ventilador a la mezcladora	139
49	Costos	142

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Partes principales del tornillo transportador – CONVEYOR.....	3
2 Tonillo transportador en el que considera el diseño seguro	4
3 Patrones del flujo de partícula dentro del transportador de tornillo inclinado en varios ángulos para diferentes formas de las partículas.	5
4 DEM con la experimentación tasas de flujo de masa de estudio previo de Owen y Cleary (2009).....	5
5 Molino de martillos - PELLETMILL.....	6
6 Molino de martillos - STOLZ	7
7 Molino de martillos HIPPO MILLS.....	8
8 Materias primas en función de la energía que se requiere para su molienda...8	
9 Disposición general de ventiladores y accesorios.....	9
10 Disposición general de ventiladores INNOVA.....	10
11 Partes principales del ciclón separador.....	11
12 Esquema de Hurricane	12
13 Disposición general de una mezcladora - CUTTERMAN	14
14 Disposición general de una mezcladora – TECNOFER	15
15 Mezcladora inclinada	16
16 Maíz seco	18
17 Distribución porcentual por rango de DGM (micras) de molienda	19
18 Partes del transportador por tornillos.....	21
19 Refuerzo de hélice de tornillo transportador	22
20 Eficiencia del reductor de bandas	22
21 Transportador de tornillo sin fin. Variación de su rendimiento en función de la inclinación.....	23

22	Tornillo transportador.....	24
23	Vista en corte de molino de martillos.	25
24	Representación de las fuerzas tangencial y normal en el martillo.....	28
25	Diámetros de tamiz para molienda.	30
26	Flujo en un rodete centrífugo de ancho constante	31
27	Esquema del ventilador radial.....	32
28	Rendimiento interno de un ventilador	34
29	Rendimiento interno de un ventilador	34
30	Ciclón típico con estrada de gas tangencial.....	39
31	Disposición general del filtro de mangas.....	44
32	Filtración interior.....	46
33	Filtración exterior.....	46
34	Filtración interior.....	47
35	Filtración interior.....	48
36	Funcionamiento de las válvulas rotatorias.....	53
37	Dimensiones principales de la válvula rotatoria	53
38	Mezcladora	55
39	Partes del PLC S7-200.....	61
40	Triangulo de potencias	63
41	Metodología de Phal y Beitz	66
42	Plata de procesamiento de grano – ESPOCH	68
43	Diagrama de proceso de alimentación y molienda.....	69
44	Diagrama de proceso de separación y mezclado.	70
45	Caja negra (Planta de procesamiento de granos).....	75
46	Caja transparente (análisis de funciones principales de la planta procesadora de grano actual).....	76
47	Caja transparente (análisis de funciones de la planta procesadora de grano actual)	77

48	Ruta de solución A.	84
49	Ruta de solución B	88
50	Ruta de solución A	92
51	Diagrama funcional	92
52	Elementos del molino de martillos dispuestos para rediseño.	94
53	Velocidad del aire: (a) ducto de ingreso y (b) ducto de descarga.	98
54	Presión del aire: (a) ducto de ingreso y (b) ducto de descarga.	99
55	Flujo en un rodete centrifugo de ancho constante	101
56	Rendimiento interno de un ventilador	104
57	Rendimiento interno de un ventilador	104
58	Triangulo de velocidades a la entrada del rodete.	106
59	Dimisiones de la voluta.	109
60	Martillo del molino	112
61	Propiedades físicas del martillo	113
62	Momento de inercia de masa del martillo.	113
63	Disposición de los martillos del molino en el volante.	114
64	Representación de las fuerzas tangencial y normal en el martillo.	116
65	Maíz para ensayo	117
66	Filtro de mangas.	120
67	Dimensiones del ciclón.	123
68	Elementos eléctricos dispuestos en la planta procesadora de grano.	128
69	Potencia aparente de la planta procesadora de grano.	130
70	Simulación de proceso	132
71	Programación PLC	133
72	Cargas distribuidas en la cámara de remolienda.	137

SIMBOLOGÍA

S	Área del canalón del tornillo transportador	m ²
D	Diámetro del canalón	m
CF ₁	Coefficiente de capacidad para tornillos transportadores	
C ₁	Coefficiente de carga por tipo de material a transportar	
l _p	Paso del tornillo transportador	m
n	Número de revoluciones	r.p.m
d _t	Diámetro del tornillo transportador	m
d _e	Diámetro del eje del tronillo transportador	m
k	Factor por ángulo de inclinación del tornillo transportador	
δ	Densidad	kg/m ³
i _d	Grado de desintegración o desmenuzamiento	
D _{max}	Mayor dimensión lineal del material antes de la molienda	mm
d _{max}	Mayor dimensión lineal del material desmenuzado	mm
P _m	Potencia necesaria para el molino	kW
Q	Caudal	Ton/h
I _o	Momento entorno a un eje paralelo que está a una distancia d	kg.m ²
I _G	Momento principal de inercia	kg.m ²
d	Distancia del eje paralelo al centro de gravedad	m
m _m	Masa del martillo del molino de martillos	kg
M _o	Momentos externos	N.m
α	Aceleración angular	rad/s ²
a ^t	Aceleración tangencial	m/s ²
a ⁿ	Aceleración centrífuga o normal	m/s ²
r _g	Radio de giro	m
F ^t	Fuerza tangencial	N

F^n	Fuerza centrífuga o normal	N
F_G	Fuerza generada	cm^3/min
e_m	Número de martillos	
P_m	Potencia del Molino	kW
G	Peso del martillo	kg
R	Diámetro del círculo que describen los martillos	m
f	Factor dependiente de la velocidad de rotación de los martillos	
D_2	Diámetro externo-ventilador radial	m
D_{1e}	Diámetro interno exterior-ventilador radial	m
D_1	Diámetro interno medio	m
D_{1i}	Diámetro interno del interior	m
b	Altura del álabe	m
m_s	Flujo másico de los sólidos	kg/s
m_a	Flujo másico del aire	kg/s
V_m	Flujo volumétrico de la mezcla	m^3/s
ρ_a	Densidad del gas – aire	kg/m^3
ρ_s	Densidad de los sólidos – maíz molido	kg/m^3
ΔP_{tot}	Presión total útil del ventilador	Pa
ΔP_d	Incremento de la presión dinámica	Pa
ΔP_e	Incremento de la presión estática	Pa
ρ_m	Densidad de la mezcla	kg/m^3
v_s	Velocidad de salida	m/s
v_e	Velocidad de entrada	m/s
g	Gravedad	m/s^2
H	Altura efectiva	m
Y	Salto energético de la máquina	
nq	Número específico de revoluciones	

$u_{2,1}$	Velocidad absoluta del rodete a la salida, entrada	m/s
ψ	Rendimiento interno de un ventilador	
K_{ca}	Coeficiente de velocidad en la boca de aspiración	
C_a	Velocidad en la boca de aspiración	m/s
η_v	Eficiencia volumétrica	
c_{1m}	Componente meridional de la velocidad del flujo-entrada	m/s
c_{1m}	Componente meridional de la velocidad del flujo-entrada	m/s
b_1	Ancho del rodete en la entrada	m/s
C_1	Velocidad absoluta de la mezcla	m/s
z	Número de álabes del rotor	
H_\square	Altura efectiva para un número finito de álabes	m
e_z	Coeficiente de disminución de trabajo	
S	Momento estático	
Ψ	Coeficiente de presión a la salida	
R	Grado de reacción	
P_a	Potencia consumida	kW
D_c	Diámetro del ciclón o colector	m
V_i	Velocidad de entrada al ciclón	m/s
V_s	Velocidad de saltación	m/s
W	Velocidad equivalente	
μ	Viscosidad del gas transportador	N-s/m ²
V_s	Velocidad de saltación	m/s
K_a	Relación de la altura de entrada respecto al diámetro del ciclón.	
k_b	Relación del ancho de entrada respecto al diámetro del ciclón	
v_i	Velocidad de ingreso al ciclón	m/s
T	Temperatura a la altura del lugar	°C
n	Exponente del vórtice	

Nh	Es el número de cabezas de velocidad	
G	Factor de configuración	
T_i	Tiempo de relajación	s
D_{50}	Diámetro de corte	
N	Número de vueltas completas que da el gas a través del ciclón	
V_f	Velocidad de filtración	m/s
A	Factor de material	
B	Factor de aplicación	
C	Factor de concentración	
D_p	Diámetro medio de la partícula	
A_i	Área de la manga	m ²
D_m	Diámetro de la manga	m
L_m	Longitud de la manga	m
n_m	Número de mangas	
ΔP_p	Caída de presión a través de la capa de partículas	[mmH ₂ O]
K_2	Factor de resistencia debido a la capa de partículas	$\left[\frac{\text{mmH}_2\text{O}-\text{m}\cdot\text{s}}{\text{g}} \right]$
θ	Tiempo de acumulación de partículas o de filtración	s
L	Longitud del rotor	m
ΔP_T	Caída de presión total en el sistema	Psi
ΔP_{acc}	Caída de presión debido a la aceleración de los sólidos	Psi
ΔP_g	Caída de presión del gas debido a las pérdidas por fricción	Psi
ΔP_s	Caída de presión debido al flujo de los sólidos en el ducto	Psi
ΔH_g	Caída de presión debido a la elevación del gas	Psi
ΔH_s	Caída de presión debido a la elevación de los sólidos	Psi
ΔP_{misc}	Caída de presión debido a equipos varios	Psi
g_c	Constante	ft-lb/lb-s ²
K	Factor multiplicador para solidos transportados	

L	Longitud equivalente de tubería	ft
R	Relación del flujo másico de sólidos y gas	lb/lb
W	Carga debido a los sólidos	lbs/s.ft ²
Z	Variación de elevación en la línea de transporte	ft
ρ_g	Densidad del gas	lbs/ft ³
v_g	Velocidad de aire	m/s
h	Altura sobre el nivel del mar	msnm
ε	Factor de rugosidad de la tubería	mm
\dot{m}_p	Es el flujo másico de los sólidos	lb/s
\emptyset	Ángulo de desfase entre V e I	
Q	Potencia reactiva en volta amperios reactivos	VAR
V	Voltaje	V
I	Intensidad de corriente	A
Fp	Factor de potencia	

LISTA DE ABREVIACIONES

PLC	Programador Lógico Controlable
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
CAE	Ingeniería Asistida por Computadora
CAD	Diseño Asistido por Computadora
FEA	Análisis de Elemento Finito
VEIN	Vitales, Esenciales, Importantes, Normales
DGM	Diámetro geométrico medio
msnm	Metros sobre el nivel del mar
m-ca	Metros de columna de aire
mb	Milibares
Psi	Pies por pulgada cuadrada
Pa	Pascales
N	Newton
mmH ₂ O	Milímetros de columna de aire
°C	Grados centígrados
VAR	Voltamperios reactivos
kW	Kilovatios
CPU	Unidad central de procesamiento
PPG	Planta de procesamiento de grano
MM	Molino de martillos
FM	Filtro de mangas
s	segundos
V	Voltaje
I	Corriente

LISTA DE ANEXOS

- A** Eficiencias mecánicas típicas para accionamientos
- B** Estado técnico de equipos de la planta procesadora de grano
- C** Matriz de necesidades medidas.
- D** Caja negra y caja transparente del molino de martillos y colector de polvos.
- E** Criterio de selección
- F** Factor de material
- G** Dimensiones de los ciclones dispuestos en la planta procesadora de grano
- H** Factor de rugosidad
- I** Propiedades del aire
- J** Velocidad caída de presión del ducto bypass
- K** Factores de resistencia para telas de tejido plano
- L** Códigos y cotización de materiales para la futura implementación del rediseño

RESUMEN

El rediseño la Planta de procesamiento de Granos en la Facultad de Ciencias Pecuarias - ESPOCH, tiene la finalidad aumentar la producción de grano molido.

Mediante la evaluación de estado técnico de la planta procesadora de grano, con el método de la gestión del valor, se determinó que el cuello de botella es el molino de martillos funcionando a una capacidad de 900 kg/h, sabiendo que los demás equipos (Válvula rotatoria, tornillos transportadores, mezcladora) tienen una productividad de 2000 a 2500 kg/h. Así mismo, en la fase de separación de partículas, se observó que existe desperdicio de materia prima, por lo que se diseñó el filtro de manga para acoplarse al proceso y beneficiaria la calidad de aire en el lugar de trabajo.

En el rediseño del molino de martillos se partió del estado del arte para el aumento de producción de 900 kg/h a 2000 kg/h, incrementando el área del tamiz y asegurando su funcionamiento con factor de seguridad de dos para análisis estático y de fatiga en los martillos y el contramartillo. Se rediseñó el ventilador radial que está acoplado en el eje del molino que drene la capacidad máxima de transporte de 2200 kg/h a una velocidad de flujo de 35 m/s. El diseño del filtro de mangas se basó en la cantidad de material que el ciclón no colecta equivalente al 0.1% a filtrar y recuperar. Se acopló un ducto bypass para enviar el material procesado del molino a la mezcladora, y otro que termina en el filtro de mangas.

La implementación de los rediseños y del mantenimiento general logrará que la producción sea de 2000 Kg/h a plena carga en la Planta de procesamiento de Granos-ESPOCH, contribuyendo de esta forma a optimizar los equipos para mejorar los procesos productivos.

ABSTRACT

The redesign of grains processing Plant in the Faculty of Livestock – ESPOCH, is aimed to increase the production of milled grain.

Through the evaluation of technical condition of grains processing plant, with the method of management value, was determined that the neck of bottle is the hammer mill working to the capacity of 900 kg/h, knowing that the other equipment (rotary valve, conveyor screw, mixer) have a productivity of 2000 to 2500 kg/h. In addition, in the phase of separation of particles, was observed that exist raw material waste, why designed the baghouse filter to conform to the process and benefit the air quality in the place of work

In the redesign of hammers mill started from art condition for the increase of production of 900 kg/h to 2000 kg/h, increasing the sieve area and assuring its working with security factor of two for static and fatigue analysis in hammers and dolly. Is redesigned the radial fan that is attached in the axis if mill that drain the maximum capacity of the transport of 2200 kg/h to a flow speed of 35 m/s. The design of baghouse filter was based on the material quality that the cyclone not collects. Equivalent to 0.1 % to filter and recuperate. Was connected a bypass duct for sending the processed material from mill to the mixer and other that finishes in the baghouse filter.

The implementation of the redesigns and general maintenance the production will be reached of 2000 kg/h to full load in the grains processing Plant-ESPOCH, contributing of that way to optimize the equipment to improve the productive processes.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la actualidad existen plantas de producción de granos que se utilizan en la alimentación aviar, vacuno, y otros. Los cuales están compuestos básicamente de los siguientes sistemas: de molienda de granos, sistemas de transportación mecánico y/o neumático, sistemas de mezclado del grano procesado (maíz molido y aditamentos nutricionales) y sistemas de control y operación.

En nuestro medio existen empresas pequeñas que se dedican más a la reparación mecánica de este tipo de equipos, sin tener un registro de las tecnologías de diseño y reparación de los cuales se puede nutrir en futuros diseños de mejoramiento e innovación.

En otros países desarrollan este tipo de productos con tecnologías más avanzadas y para producciones a gran escala siendo inaccesible su adquisición debido a su elevado costo.

CUADRADO Iván. Ha realizado el diseño y construcción de un molino de martillos en la USFQ quien manifiesta la poca importancia que le conceden al sector agropecuario y proponiendo un molino para producción de harina de trigo de tal manera que sea de bajo costo de adquisición del equipo, (CUADRADO MOYANO, y otros, 2009).

VARGAS Julio. Ha realizado el diseño de un ventilador centrífugo en la Universidad Católica del Perú quien menciona la fácil fabricación del ventilador centrífugo con respecto a los demás tipos de ventiladores lo convierte en una buena alternativa al momento de hacer la selección del equipo o ventilador, debido a su poca complejidad por tal motivo no se hacen estudios sobre su funcionamiento y dimensionamiento por lo que el análisis realizado es útil para plantear cálculos para este tipo de ventiladores y se demostró que la teoría cumple para los ventiladores centrífugos radiales comparado con resultados prácticos y también reales, (VARGAS ALAYO, 2013).

SÁNCHEZ Mayorga. Ha realizado la repotenciación de una fábrica de producción de alimentos en la ESPE, en el mismo menciona que con el uso de Labview se tuvo un sistema flexible y dinámico a los cambios continuos que se dan en las cantidades de productos utilizados en la fabricación. Al igual que la utilización de un software para mantenimiento, (SÁNCHEZ MAYORGA, y otros, 2008).

1.2 Justificación

El presente tema tiene como propósito el rediseñar la planta procesadora de granos de la Facultad de Ciencias Pecuarias la misma que en la actualidad se encuentra paralizada debido a aspectos de falla mecánica y de control. La importancia de la producción de alimentos procesados ayuda en la productividad de las explotaciones pecuarias, siendo trascendente su optimización para tal fin.

En los rediseños mecánicos y de control se utilizara elementos disponibles en el medio con un mínimo costo de adquisición y se preverá un funcionamiento de calidad, bajos tiempos de operación y de fácil acceso para el mantenimiento de los equipos.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Rediseñar una planta de procesamiento de granos, en la Facultad de Ciencias Pecuarias - ESPOCH.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Rediseñar los sistemas de la planta considerando el método de Pahl y Beitz y la ingeniería de gestión del valor con el fin de incrementar su capacidad de producción actual.

Simular los sistemas de la planta mediante CAD –CAE

Realizar un análisis de costos de rediseño de la planta procesadora de grano.

Elaborar fichas técnicas de los equipos de la planta procesadora de granos

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte de la tecnología mecánica para procesamiento de alimentos

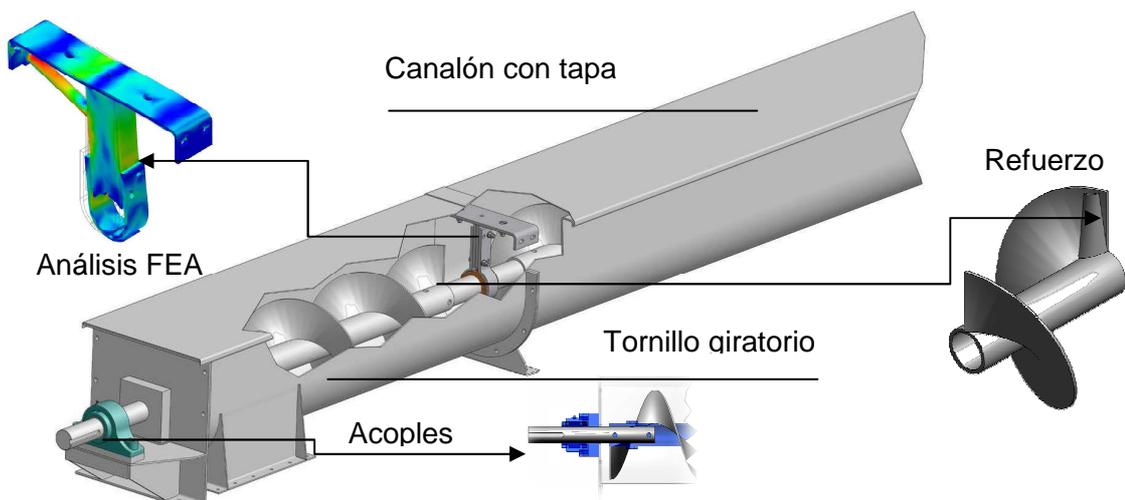
En el mercado internacional se han desarrollado maquinas e implementos para para el procesamiento de granos en una planta de balanceado, las cuales pueden realizar: molienda, limpieza, transporte y mezclado, o incluir sistemas dosificadores automatizados.

2.1.1 Estado del arte de los equipos de procesamiento de granos

2.1.1.1 Transportador por tornillo. Se llaman transportadores de tornillo sin fin a los aparatos que efectúan el desplazamiento del material por un canalón, valiéndose por un tornillo giratorio ver Figura 1.

CONVEYOR, Han implementado transportes por tornillo alterando ciertos parámetros de diseño y el método utilizado por los diseñadores. Con estos cambios se incrementa la vida útil de los equipos y ahorro de material, (CONVEYOR, 2012).

Figura 1. Partes principales del tornillo transportador – CONVEYOR



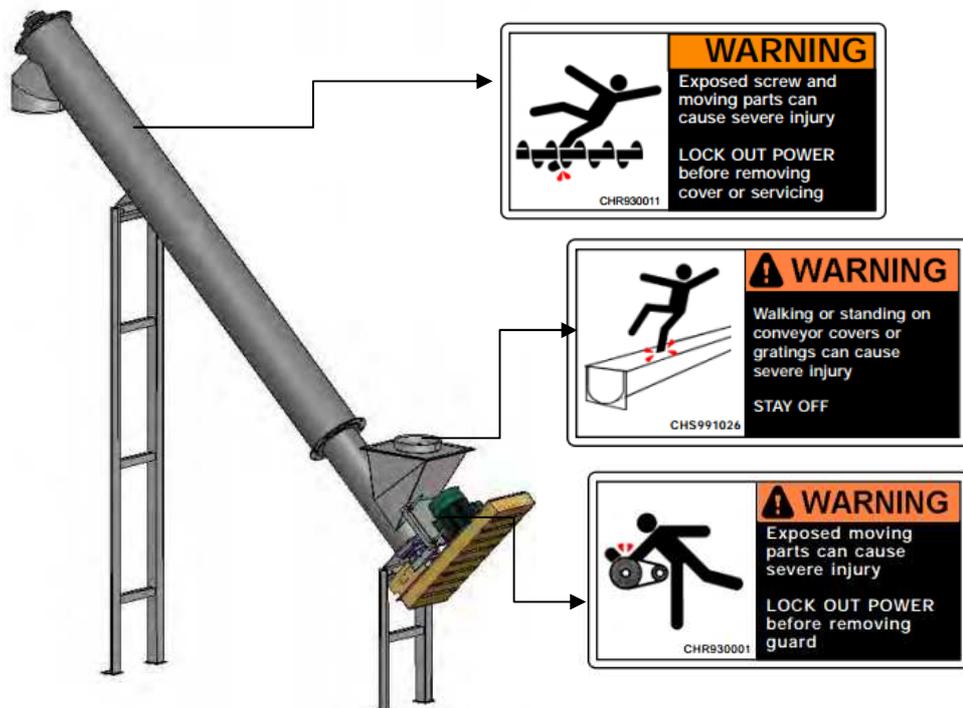
Fuente: <http://www.conveyoreng.com/wp-content/uploads/downloads/2013/02/CEMC-Screw-Conveyor-Manual-2.20.pdf>

El cambio de acero al carbono por acero inoxidable establece una gran diferencia en peso así como en vida útil de los equipos y nuevos campos de aplicación. También

han establecido avances en el diseño de los elementos que constituyen el transportador, los mismos que deben pasar primero por un análisis FEA (Análisis de Elementos Finitos) antes de entrar a la fase de prueba. También se han considerado refuerzos para evitar desgaste por fricción del álabe, ubicado en la zona de alimentación del tornillo.

ORTHMAN. Han implementado en sus diseños, nuevos parámetros que no afectan la eficiencia del equipo pero mantienen un margen de seguridad en la industria, (ORTHMAN, 2004), como se puede ver en la Figura 2.

Figura 2. Tonillo transportador en el que considera el Diseño seguro



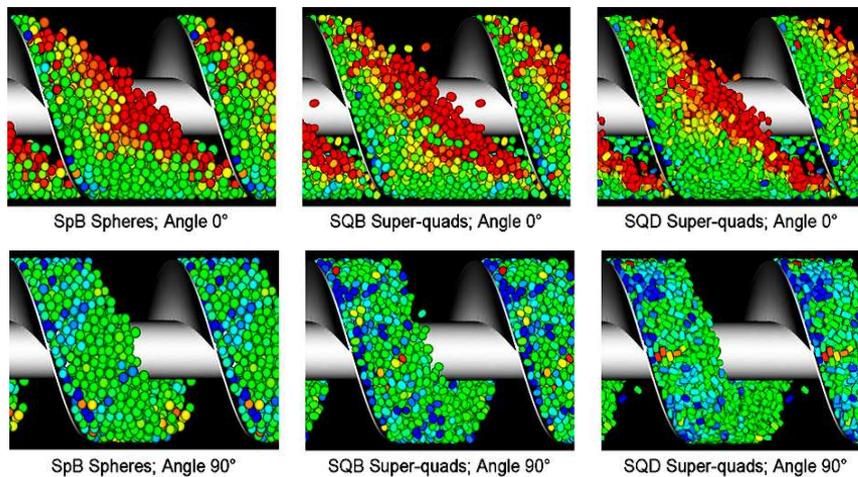
Fuente:<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>

En el que han implementado una nueva forma de trabajo con el uso más intenso de la ergonomía (factores humanos), y la seguridad del operario.

Estudios de los tornillos transportadores

OWEN Philip. Ha realizado pruebas experimentales de la variación de la eficiencia en relación al ángulo e inclinación, (OWEN, 2009).

Figura 3. Patrones del flujo de partícula dentro del transportador de tornillo inclinado en varios ángulos para diferentes formas de las partículas. La partículas son de color por su velocidad: de azul a rojo para 0,4 a 0,9 m / s respectivamente

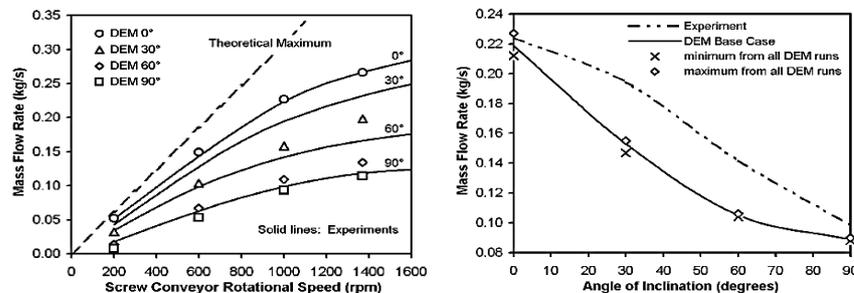


Fuente: http://www.cfd.com.au/cfd_conf09/PDFs/132OWE.pdf

En la Figura 3 se puede apreciar la influencia del ángulo de inclinación en relación a la velocidad de la partícula, si se considera una inclinación de 0° la velocidad de la partícula rodea los 0,9 m/s y al inclinarlo 90° la velocidad baja considerablemente a 0,4 -0,5 m/s lo que eventualmente reduce la eficiencia del tornillo transportador.

La línea discontinua en la Figura 4 muestra el caudal másico medido en los experimentos. Esta curva decrece lentamente durante inclinaciones inferiores a 30°. A continuación, para ángulos más pronunciados que decae fuertemente y linealmente, es notorio que el flujo másico en 90° sea el menor posible lo que indica una baja eficiencia.

Figura 4. DEM con la experimentación tasas de flujo de masa de estudio previo de Owen y Cleary (2009)



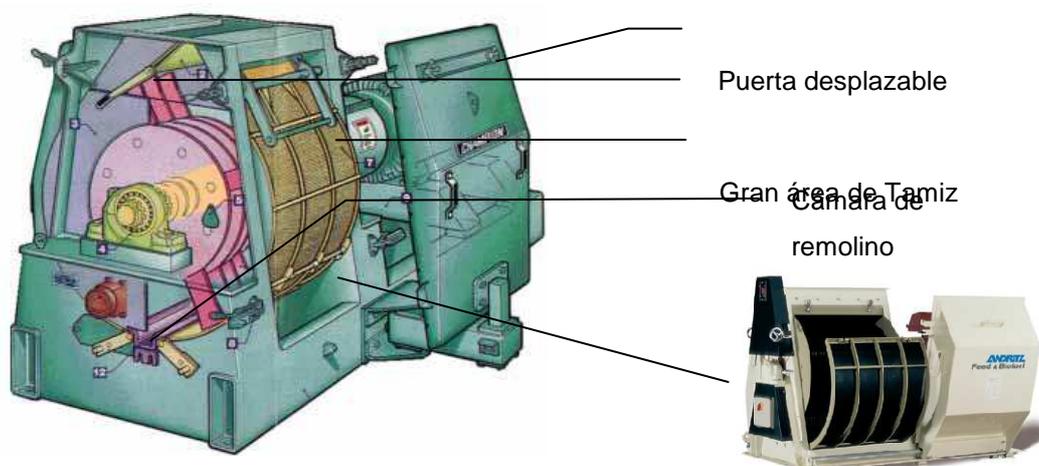
Fuente: http://www.cfd.com.au/cfd_conf09/PDFs/132OWE.pdf

También se muestra el caudal mínimo y máximo, respectivamente originados en condiciones de simulación en el estudio actual. El rango entre mínimos y máximos para el transportador horizontal es de aproximadamente el 7% del valor del caso base. Esto disminuye con el aumento de la inclinación del tornillo transportador. Para inclinaciones mayores de 60 ° y 90 ° de la gama se ha reducido a alrededor del 2%. Esto demuestra que el flujo de masa es prácticamente invariante a los cambios de forma de las partículas, y a los cambios a partícula-partícula y las fricciones de partículas límite.

2.1.1.2 Molino de martillos. Los molinos de martillos en la actualidad los más empleados. Tienen su eje horizontal, inclinado o vertical. Generalmente, el rotor con sus martillos va dispuesto sobre el eje prolongado de un motor eléctrico. Sobre él se montan unas chapas con agujeros, que sujetan los martillos. Estos se encuentran sujetos por un extremo, el desmenuzamiento se consigue al chocar los granos contra los martillos, que consiguen en primer lugar la deformación plástica del grano y seguidamente la ruptura por estallido. La trituración continúa hasta que las partículas son capaces de atravesar los orificios de una criba que rodea al rotor ver Figura 5. La difusión de la electrónica ha posibilitado la inclusión de sensores de detección de cuerpos metálicos extraños en la zona de alimentación de los molinos, que automatizan el control y evitan averías.

Establecen sus diseños basados en puertas desplazables para fácil acceso a mantenimiento de martillos y cambio de rejillas, (PELLETMILL, 2013).

Figura 5. Molino de martillos - PELLETMILL

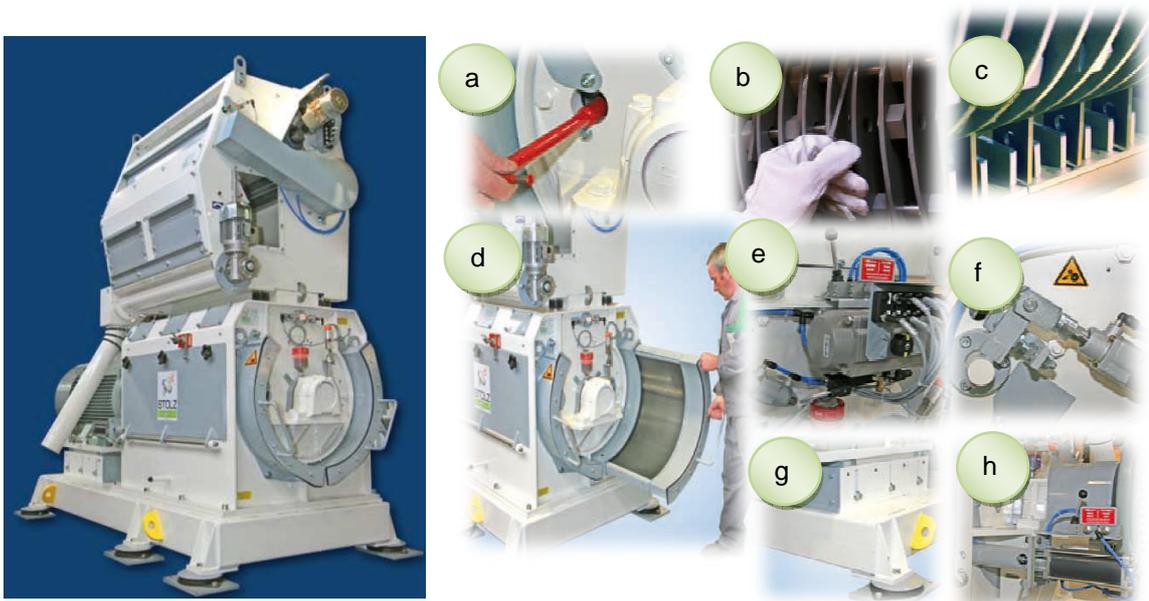


Fuente: <http://www.pelletmill.nl/Hammermill.pdf>

También establece una la mayor área posible de tamiz para incremento de eficiencia del molino, al igual que una cámara de remolienda lo que crea una acción de molienda doble del material que es forzado a una alta velocidad.

Stolz. Enfoca los avances tecnológicos implementados en sus diseños considerando el fácil acceso para mantenimiento de los equipos tales como los martillos, la rejilla y nuevas modificaciones que hacen más fácil una labor de mantenimiento, al igual que seguridad con el bloqueo de ciertos elementos móviles. (STOLZ S.A., 2012).

Figura 6. Molino de martillos - STOLZ



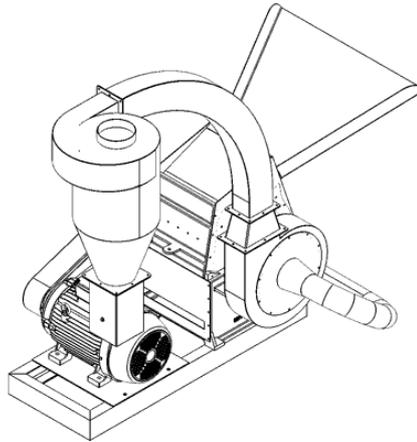
Fuente: http://www.stolzsa.com/sites/default/files/catalogos/es/procesos/es_molienda.pdf

- a) Cambio rápido de los ejes de martillos con herramienta específica.
- b) Volteado rápido de los martillos
- c) Contra martillos
- d) Cambio manual de las rejillas en operación con carter de seguridad
- e) Actuador rotativo para la orientación del panel de alimentación
- f) Bloqueo para la estanqueidad de las rejillas
- g) Estructura soporte del motor – base – contacto anti-vibratorio
- h) Extracción neumática de las rejillas

En estos modelos los molinos de martillos a medida que el producto molido pasa a través de la criba una corriente de aire suministrada por un ventilador acoplado al eje

de molino de martillos lo toma y lo lleva al separador,(AFRICA Group, 2013) de donde pasa al silo o al ensacado ver Figura 7.

Figura 7. Molino de martillos HIPPO MILLS



Fuente: http://www.hippomills.co.za/hammer_mills/hippo-69.php

Algunos estudios

Pelletmill, establece en sus enunciados establecen la influencia que tiene el área del tamiz sobre la eficiencia del molino de martillos, el tamiz rodean la cámara de molienda con superficie de la pantalla casi continua lo que genera una máxima acción de molienda y el rendimiento por ciclo. El uso de la enorme área de tamiz disponible en los molinos de martillo optimizará la capacidad, incluso mientras que la molienda extremadamente fina, (PELLETMILL, 2013).

CEFIC, redacta que los componentes físico-dinámicos de la molienda por impacto o percusión han sido ampliamente estudiados por varios autores en los últimos años, llegando a construir una sólida teoría de este tipo de tratamiento, (CEFIC, 1995).

Figura 8. Materias primas en función de la energía que se requiere para su molienda

Material	Diámetro tamiz (mm)	Rendimiento (kg/CV/h)
Cebada	3	45
Trigo	3	65
Maíz	3	74
Mijo	2,5	80
Girasol	8	110
Alfalfa	8	110

Fuente: www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_MG/MG_1995_1_1_95_63_70.pdf

El modelo más aceptado y aplicable a este proceso parte del hecho que el impacto del molino se produce cuando las partículas a reducir se encuentran a alta velocidad en la superficie del molino. La ruptura o no de las partículas depende de la fuerza aplicada y de la capacidad de resistencia del producto. La energía de ruptura de la partícula se produce esencialmente por la denominada energía cinética y los materiales son más fáciles de reducir si contienen grietas, estratificaciones o inclusiones de otros productos.

Los Factores que influyen en el tamaño de la partícula y su impacto en la calidad del PELLET, en la que se establece los factores importantes que afectan la eficiencia del molino de martillos, y parámetros que se deben considerar para tener un alto rendimiento. Así como la influencia del área de la criba, como parámetro primordial para aumento de capacidad, entre mayor sea el área de tamiz, más oportunidad tiene el material procesado de salir, lo que aumenta el caudal e ingreso de una manera eficiente, sin necesidad de cambiar parámetros establecidos como el número de martillos, (GRINDING EQUIPMENT, 2003).

2.1.1.3 Ventilador radial. CINCINNATI FAN, han establecido nuevas modificaciones que intervienen en el sistema de funcionamiento de los ventiladores radiales como el cambio de material a fundición de aluminio en diferentes disposiciones, bridas de acople-desacople en punto específicos para mantenimiento y un regulador de caudal, (CINCINNATI FAN, 2013).

Figura 9. Disposición general de ventiladores y accesorios



Fuente: <http://www.cincinnati-fan.com/catalogs/PBSCatalog.pdf>

INNOVA. Establece varios cambios en sus diseños para una máxima eficiencia, igual un diseño robusto para una máxima velocidad de trabajo, más un alto factor de seguridad, con el fin de otorgarle una mayor vida útil. La construcción tubular del bastidor otorga un funcionamiento silencioso, ya que elimina vibraciones y la cámara de eco que se forma en los bastidores, (INNOVA, 2013).

El diseño del chasis, posee una superficie más pequeña, lo que impide que se formen grandes cantidades de polvo, además el chasis posee gran rigidez (ya que su diseño es de servicio pesado, y un espacio cómodo para realizar cualquier tipo de mantenimiento).

Figura 10. Disposición general de ventiladores INNOVA



Fuente: <http://www.innova-ing.com/pdf/ventiladores.pdf>

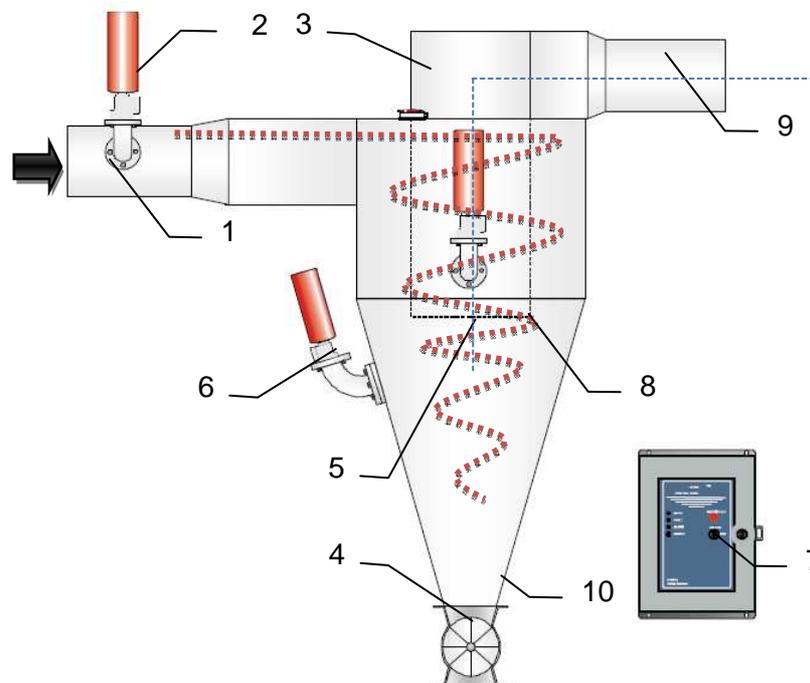
- 1 Rotores.
- 2 Sujeción de eje.
- 3 Eje más robusto.
- 4 Diseño versátil.
- 5 Bastidor de servicio pesado.
- 6 Funcionamiento silencioso.
- 7 Calidad de pintura.
- 8 Guardas de seguridad estándar.
- 9 Diseño más higiénico.
- 10 Los materiales hacen a la calidad de INNOVA.
- 11 Salida bridada.

Algunos estudios

VARGAS Julio. Menciona en sus conclusiones la fácil fabricación del ventilador centrífugo estudiado con respecto a los demás tipos de ventiladores lo convierte en una buena alternativa al momento de construir o seleccionar un ventilador radial por su poca complejidad y por tanto no se hacen estudios sobre su funcionamiento y geometría y se demostró que la teoría cumple para los ventiladores centrífugos radiales comparado con resultados prácticos y reales, (VARGAS ALAYO, 2013).

2.1.1.4 Ciclón. IEP, ha establecido varios avances en los separadores de partículas, con el fin de automatizarlos y utilizar su máximo rendimiento, así como nuevos sistemas supresores de explosión. Las partículas arrastradas en suspensión por una corriente de aire o gas entran tangencialmente al ciclón. En esta zona, la corriente de aire se ve sometida a una fuerte aceleración centrífuga que obliga a los elementos sólidos a adherirse a las paredes del ciclón, con una fuerza proporcional a su masa. Las partículas más pesadas caen y pasan a la válvula dosificadora en cambio las partículas más livianas se someten a un vacío producido por el efecto del ciclón y salen por el ducto de desempolvado a un filtro o un sistema de recirculación, (IEP , 2013).

Figura 11. Partes principales del ciclón separador



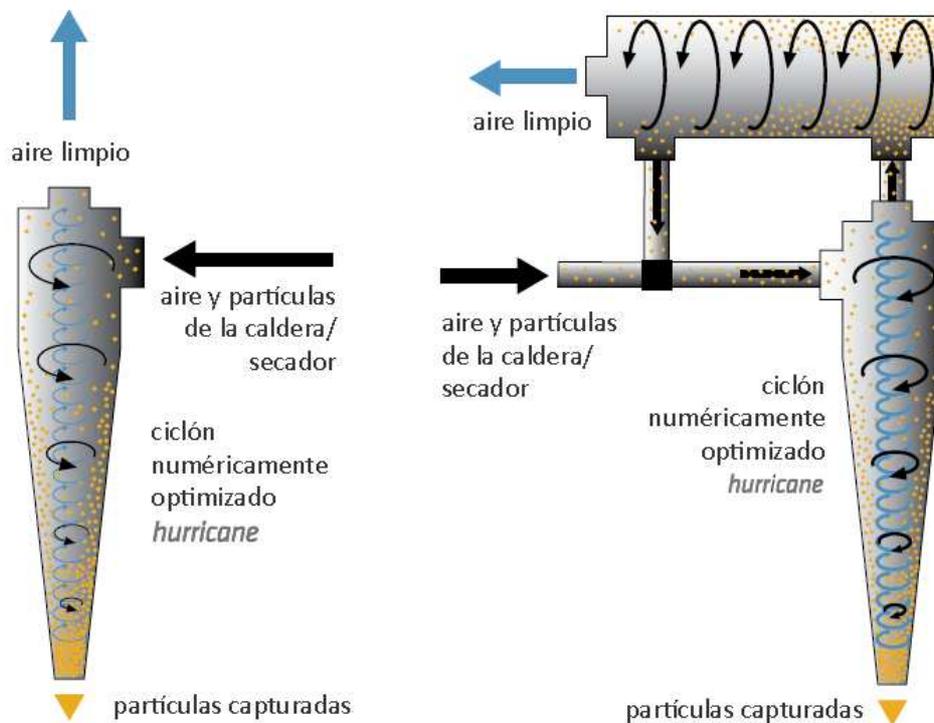
Fuente: www.ieptechnologies.com/wp-content/uploads/2013/07/MC-543-Cyclone-Separators-Rev-AF.pdf

- | | |
|------------------------------------|------------------------|
| 1. Ducto de Aire de ingreso | 6. Válvula rotatoria |
| 2. Silenciador de aire | 7. Panel de control |
| 3. Sensor de presión | 8. Torbellino primario |
| 4. Sistema supresor de explosiones | 9. Gas desempolvado |
| 5. Torbellino secundario | 10. Bridas de acople |

Los ciclones en estos sistemas ACS de presión son utilizados para la depuración de aire pero siguen el mismo principio de funcionamiento, inicialmente, ACS seleccionó una teoría sobre la eficiencia del ciclón para obtener la predicción de captación de partículas a partir de nuevas geometrías, y estableció un modelo matemático con el objetivo de aumentar la recogida de partículas hacia el máximo valor posible, manteniendo al mismo tiempo la caída de presión en unos niveles razonables, (ACS, 2013)

Desde el momento en que ACS desarrolló un modelo de simulación para el comportamiento de los ciclones mediante la optimización numérica, se han podido generar millones de prototipos virtuales en un tiempo razonable, dando como resultado una configuración completamente nueva de geometrías.

Figura 12. Esquema de Hurricane



Fuente: <http://www.pricast.es/pdf/v2/ACS.pdf>

Algunos estudios

BARBOSA Juan. En este trabajo se presenta un estudio de la influencia de cuatro parámetros que intervienen en la eficiencia de separación de un ciclón con entrada tangencial. Se consideran los efectos de algunas propiedades del gas y de las partículas a separar, así como los efectos de algunas dimensiones geométricas de los ciclones. El estudio paramétrico se lleva a cabo utilizando un modelo matemático propuesto anteriormente por los autores, previamente comparado con resultados experimentales mostrando un buen desempeño en la predicción de la eficiencia de separación de estos equipos.

Efecto de la densidad de la partícula sobre la eficiencia de separación. Utilizando el modelo propuesto el análisis real es cercano al experimental teniéndose como error un 1,74%. El aumento de la densidad de las partículas para separar resulta benéfico para la eficiencia de separación del ciclón manteniendo constantes las variables que influyen la separación.

Efecto de la viscosidad del gas sobre la eficiencia de separación. Al analizar esta variable se puede notar que el incremento en la viscosidad del gas disminuye la eficiencia de separación. Esto está directamente relacionado con la temperatura del gas, por lo que podemos afirmar que un incremento en la temperatura del gas producirá una disminución en la eficiencia de separación del ciclón.

Esto puede explicarse fácilmente relacionando el aumento en la viscosidad del gas con un aumento en el arrastre sobre la partícula. La fuerza de arrastre actúa en la misma dirección pero en sentido contrario a la fuerza centrífuga, por lo que al aumentar la magnitud del arrastre se hace más difícil que la partícula alcance la pared del ciclón y sea capturada.

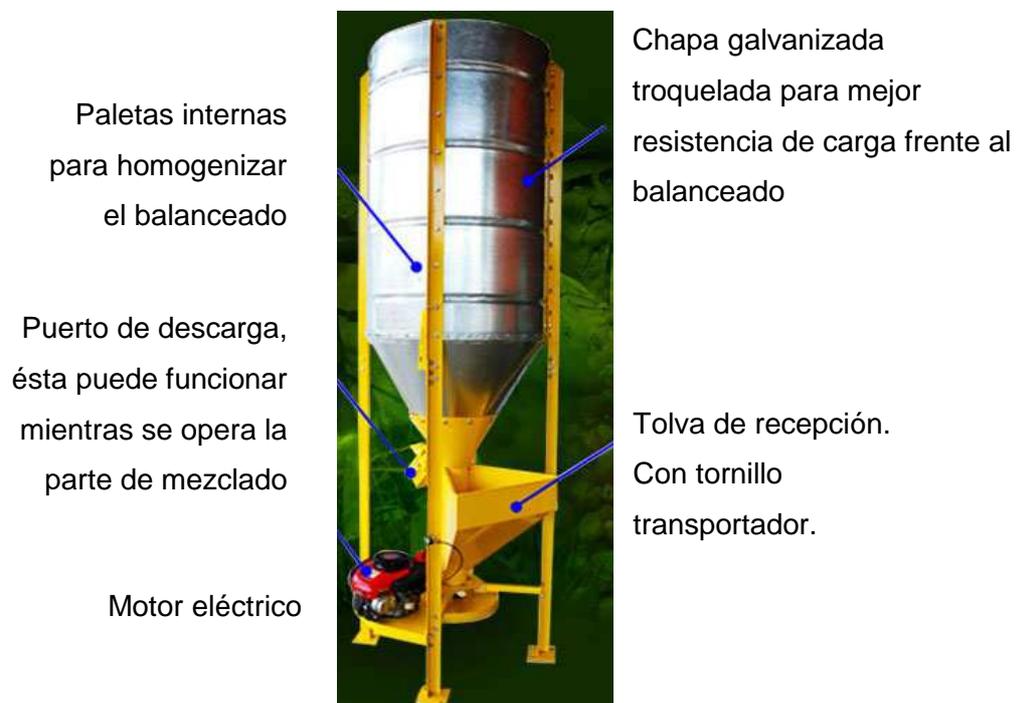
Efecto de la altura del cilindro (h) en la eficiencia del ciclón. Al analizar este cambio se puede observar que el incremento en la altura del cilindro nos produce un incremento en la eficiencia de separación del ciclón. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Hoffmann 2001, en los cuales encuentran que el incremento en la altura del cilindro produce un incremento en la eficiencia de separación. Sin embargo, también se reporta haber encontrado un límite para ese incremento después del cual, la eficiencia disminuye en lugar de crecer.

Efecto de la altura de la entrada del gas (a) en la eficiencia de separación. Finalmente, queriendo evaluar el efecto de otro parámetro geométrico se varía la altura de la entrada del ciclón para observar los efectos de esa variación. Puede observarse que el incremento de la altura de la entrada del gas en el ciclón produce una disminución en la eficiencia de separación del ciclón.

Esto puede explicarse ya que al aumentar la altura de la entrada del gas al ciclón, disminuye la velocidad a la entrada del mismo si se mantiene un caudal constante de gas. Al disminuir la velocidad del gas a la entrada del ciclón disminuirá la velocidad tangencial y, por lo tanto, la fuerza centrífuga dentro del separador, lo cual provoca una disminución de las posibilidades de las partículas de ser proyectadas contra la pared del separador y ser, en consecuencia, capturadas, (BARBOSA SALDAÑA, y otros, 2006).

2.1.1.5 Mezcladora de tornillo. CUTTERMAN, han dispuesto varios cambios en sus diseños. La mezcladora mezcla y ensila a la vez. La construcción de este equipo es totalmente en acero. No hay partes plásticas. Añadiendo así varios años de funcionamiento óptimo. Adicionalmente, es un equipo muy fácil de transportar, desarmar, ensamblar y reparar, (CUTTERMAN, 2013).

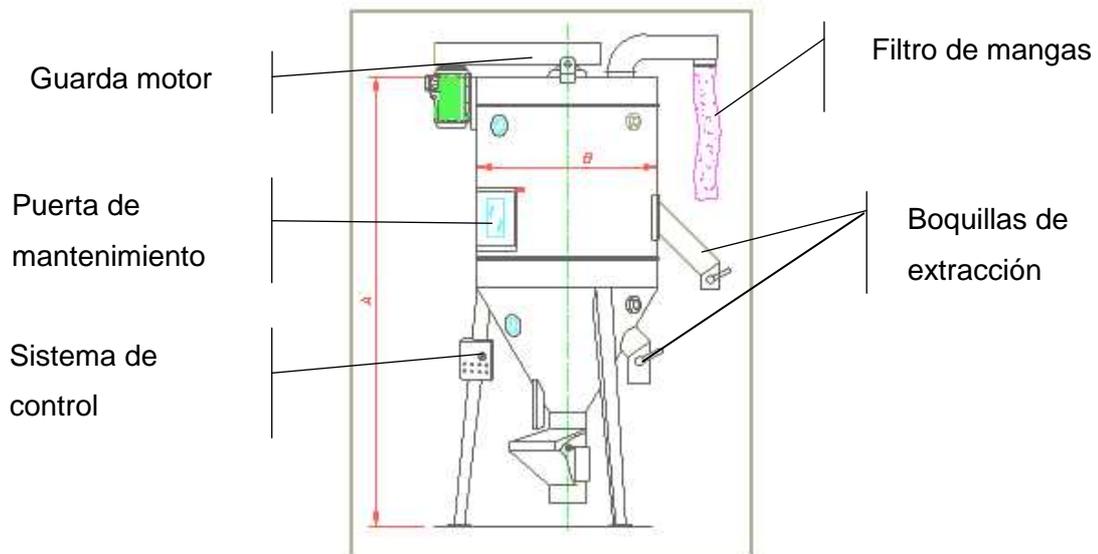
Figura 13. Disposición general de una mezcladora - CUTTERMAN



Fuente: <http://cutterman.com/mezcladora%20C4010.html>

TECNOFER. Han considerado instalaciones neumáticas en sus diseños por tal razón han dispuesto un filtro de mangas para el alivio de presión, al mismo tiempo se han considerado puestas de inspección para un fácil acceso a mantenimiento y grillas para la verificación de material mezclado, (TECNOFER, 2013).

Figura 14. Disposición general de una mezcladora – TECNOFER



Fuente: <http://www.tecnofer.biz/?it/miscelatore-verticale-2>

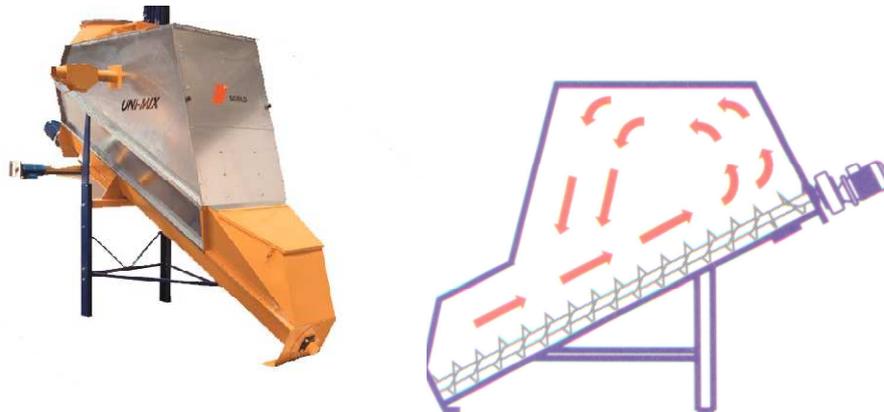
Estos diseños también han implementado sistemas de control para un proceso cuidadoso de mezclado. Al igual que elementos de seguridad tales como guarda motores, y dos boquillas para la extracción de material.

VINTHER. En su introducción de alimentos balanceados establece que en los últimos 10–15 años el mezclador inclinado, por sus ventajas, ha sustituido al mezclador vertical como el tipo más común de mezcladores para granjas. El tiempo mezclar se reduce comparando con el mezclador vertical, en el fondo el mezclador inclinado, tiene un canal con un sinfín fuerte. A la salida, el sin fin tiene las opuestas al tramo general, que empujan la mezcla hacia arriba. La posición inclinada del mezclador es de aproximadamente 27°. La mezcla ocurre cuando las materias se deslizan lentamente hacia el extremo opuesto. Con el engranaje del motor, el sinfín rota a 41 rpm. De esta manera, el mezclador trabaja casi sin generar ruido, (VINTHER, 2006).

El mezclador inclinado está disponible en dos modelos con volúmenes de 500 kilogramos y de 1.000 kilogramos de balanceados. Se provee parcialmente montado,

lo que reduce el volumen del envío y permite colocar el mezclador en lugares pequeños. La exactitud de la mezcla es mejor que la del mezclador vertical, sin embargo, no llega a conformar las demandas de la ley de una exactitud de mezcla de 1:100.000.

Figura 15. Mezcladora inclinada



Fuente: <http://www.los-seibos.com/teoria/intrprodbal.pdf>

2.2 Marco Teórico

2.2.1 *Procesamiento de granos.* La industria de alimentos balanceados es el eslabón agroindustrial en la cadena del sector pecuario que se encarga de convertir las materias primas de origen agrícola como sorgo, maíz amarillo, yuca industrial y soya, así como subproductos de la industria del azúcar como melazas y de la molinería como el trigo, maíz y arroz, en alimento para la producción de carne de pollo y cerdo, huevo, leche, quesos y otros derivados lácteos y embutidos entre otros. Estos alimentos no solo son importantes en términos del gasto, sino también en términos nutricionales, ya que algunos de estos alimentos son la fuente primaria de proteína animal que requiere el organismo para su normal desarrollo. (Asociación nacional de empresarios de Colombia, 2013)

2.2.2 *Tipos de alimentos balanceados.* Los alimentos balanceados están relacionados con cada tipo de animal a alimentar.

Los animales más importantes son:

- Cerdos
- Aves de corral
- Ganados y otros rumiantes

- Conejos
- Pescados
- Animales de piel
- Perros, gatos y otros animales domésticos

Las composiciones de las mezclas dependen de muchos factores, en general dependen de las materias primas disponibles y tradiciones de cada país determinado. Los principales ingredientes dispuestos en las mezclas de balanceados no varían mucho y consisten básicamente en las siguientes materias primas:

Tabla1. Ingredientes principales de balanceado

		Porcentaje en mezclas normales
Productos de granos:	Centeno, trigo, avena, centeno, triticale y maíz	65%
Productos con proteína:	Soja, arvejas, porotos, torta de oleaginosas, harina de peces, carne y harina de huesos, grasa y aceite	20%
Pre-mezclas:	Pre-mezcla de proteína con minerales y vitaminas	12%
Minerales y vitaminas		3%

Fuente: <http://www.los-seibos.com/teoria/intrprodbal.pdf>

Existen varias fórmulas para la elaboración de balanceados como se puede ver en la Tabla2 y Tabla3.

Tabla2. Fórmula para la elaboración de balanceado para cerdos

Cerdos	Destetes	Lechones	Lechones	Lechones	Madres	Madres
	5-12 kg	12-20 kg	20-30 kg	30-100 kg	criando	preñadas
Cebada		10,0	20,0	20,0	40,8	70,4
Trigo	60,0	54,8	47,5	54,5	38,0	17,6
Soja		20,0	26,5	22,4	15,6	8,6
Pre-mix destetes	25,0					
Minerales lechones		4,0				
Minerales jóvenes			4,0			
Minerales terminado				3,1		
Minerales madres					3,6	3,4
Grasa	5,0	4,2	2,0		1,0	
Harina de peces	10,0	7,0			1,0	
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: <http://www.los-seibos.com/teoria/intrprodbal.pdf>

Se puede ver que para la fórmula de alimento de aves se considera un gran porcentaje en mezcla de granos para un buen balance nutricional

Tabla3. Fórmula para la elaboración de balanceado para aves

Aves	Ponedoras	Pollitos chicos	Pollitos creciendo	Pollos arrancador	Pollos creciendo
Cebada	25,00	20,00	30,00		10,00
Trigo	31,40	41,90	42,00	40,85	35,45
Maíz	10,00	10,00	10,00	15,00	15,00
Torta de girasol	10,00	7,00	10,00	8,00	4,50
Harina de soja	3,75	9,50		22,40	20,25
Harina de peces	2,00	2,50	1,00	1,00	1,00
Harina de carne y hueso	5,00	4,00	4,00	6,00	6,00
Conchilla	5,00				
Grasa	4,05	3,10	1,00	4,75	6,00
Pre-mix	3,80	2,00	2,00	2,00	1,80
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: <http://www.los-seibos.com/teoria/intrprodbal.pdf>

2.2.2.1 Maíz. Siendo el maíz uno de los principales componentes para la elaboración de balanceado se debe establecer sus propiedades y características.

Figura 16. Maíz seco



Fuente: <http://lolazar.wordpress.com/about/>

Granulometría

JORDAN A. Mediante el estudio de grado realizado en 21 granjas avícolas en un radio aproximado de 50 Km de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, cuyo asentamiento de empresas de los distintos rubros pecuarios es debido a su condición estratégica en el sector agrícola y la agroindustria. El objetivo principal del estudio correspondió a conocer de la situación del manejo de la molienda del maíz, *principal ingrediente*

energético en las dietas o raciones para aves de corral y cerdos. Veinte y un granjas fueron estratificadas en tres grandes grupos, a saber: pequeña (< 20000 aves), mediana (20000 a 60000 aves) y grande (> 60000 aves) en su capacidad instalada. Los resultados obtenidos, objetos de la discusión, son resumidos en la Tabla4.

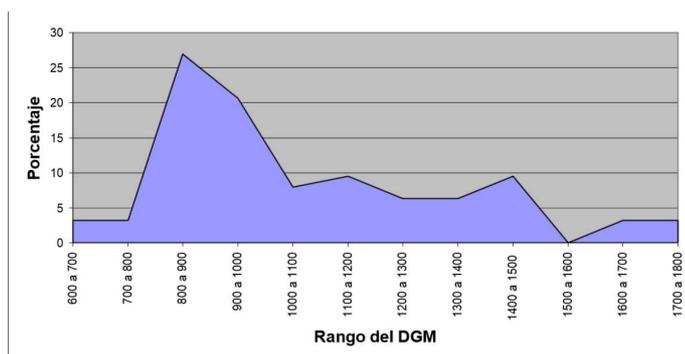
Tabla4. Diámetro geométrico medio de muestra de maíz molido en plantas de balanceados en granjas avícolas, Santa Cruz de la Sierra de Bolivia

VARIABLES	(N)	DGM, micras				Distribución Porcentual		
		Media ±D.S.	Min.	Máx.	<800	800 a 1000	>1000	
GENERAL	63	1075,4 262,1	603	1710	6,3	49,2	44,4	
PRODUCTORES, ESTRATO								
CHICO	21	911,2 ^b 160,7	603	1181	19,0	57,2	23,8	
MEDIANO	21	1139,1 ^a 275,3	830	1710		47,6	52,4	
GRANDE	21	1175,8 ^a 261,4	830	1710		38,1	61,9	
FASES DE CRIANZA								
INICIO	21	1115,8 285,1	736	1710	4,8	47,6	47,6	
CRECIMIENTO	21	1032,3 203,8	627	1324	9,5	52,4	38,1	
ENGORDE	21	1078,1 294,0	603	1630	4,8	42,8	52,4	

(N): Número de muestras analizadas

Fuente:[http://www.fcv.uagrm.edu.bo/sistemabibliotecario/doc_tesis/TESIS%20JORDA N-20101028-164029.pdf](http://www.fcv.uagrm.edu.bo/sistemabibliotecario/doc_tesis/TESIS%20JORDA%20N-20101028-164029.pdf)

Figura 17. Distribución porcentual por rango de DGM (micras) de molienda



Fuente:[http://www.fcv.uagrm.edu.bo/sistemabibliotecario/doc_tesis/TESIS%20JORDA N-20101028-164029.pdf](http://www.fcv.uagrm.edu.bo/sistemabibliotecario/doc_tesis/TESIS%20JORDA%20N-20101028-164029.pdf)

Al considerar el tamaño de partícula de 1050 micras proporcional economía de la energía eléctrica y aumenta el rendimiento de la molienda del maíz manteniendo el mismo desempeño de las aves, independientemente de la forma física de la ración, pero se puede trabajar con un rango recomendado de 800 a 1000 .(JORDAN,

2013). Se considerara como parámetro de diseño una granulometría de diámetro máximo 1000 μm , (JORDAN, 2013).

Densidad.

La densidad es un parámetro importante que influye de gran manera en el diseño. Por tanto se considera una densidad de 625 [kg/m³], (STEMM , 2013)

Producción de granos procesados de maíz en el Ecuador se muestran en la Tabla 5.

Tabla5. Toneladas métricas

Año	Aves	Cerdos	Camarones	Otros	Total	Variación (%)
2005	1.185.600,00	140.400,00	109.200,00	124.800,00	1.560.000	
2006	1.238.800,00	146.700,00	114.100,00	130.400,00	1.630.000	4%
2007	1.368.000,00	162.000,00	126.000,00	144.000,00	1.800.000	10%
2008	1.450.080,00	171.720,00	133.560,00	152.640,00	1.908.000	6%
2009	1.482.000,00	175.500,00	136.500,00	156.000,00	1.950.000	2%
2010	1.596.000,00	189.000,00	147.000,00	168.000,00	2.100.000	8%
2011	1.710.000,00	202.500,00	157.500,00	180.000,00	2.250.000	7%
2012*	1.812.600,00	214.650,00	166.950,00	190.800,00	2.385.000	

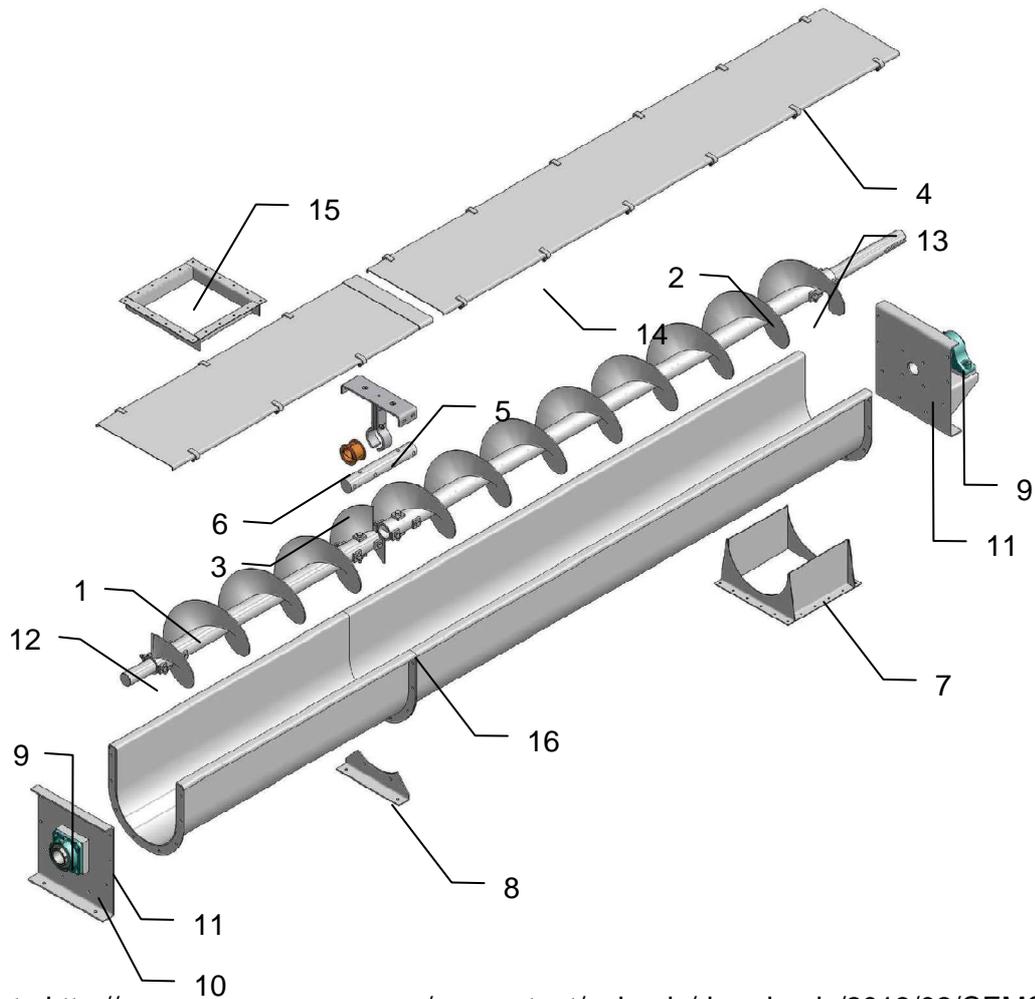
Fuente: <http://servicios.agricultura.gob.ec/sinagap/index.php/2012-12-13-15-11-25/produccion-de-productos-procesados-del-maiz>

2.2.3 Sistema de Transporte por tornillos. Se llaman transportadores de tornillo sin fin a los aparatos que efectúan el desplazamiento del material por un canalón, valiéndose por un tornillo giratorio.

Este transportador consta de las siguientes partes principales:

- | | |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Tornillo | 9. Chumaceras |
| 2. Árbol de transmisión | 10. Sellos de eje |
| 3. Acoplamiento de eje | 11. Tapas Brida |
| 4. Tapas | 12. Bujes internos |
| 5. Apoyo intermedio | 13. Pernos de acoplamiento |
| 6. Rodamiento del Apoyo intermedio | 14. Abrazaderas de cubierta |
| 7. Descarga | 15. Ducto de entrada de material |
| 8. Soporte de Canalón | 16. Canalón |

Figura 18. Partes del transportador por tornillos



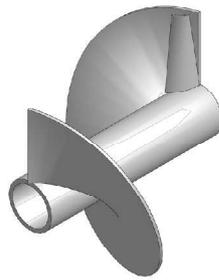
Fuente: <http://www.conveyoreng.com/wp-content/uploads/downloads/2013/02/CEMC-Screw-Conveyor-Manual-2.20.pdf>

Helicoide. La disposición del tornillo varía en función del material a transportar. Un tornillo ya sea de hélice a derechas o izquierdas dependiendo de la forma de la hélice. La dirección de la hélice determina a que sentido debe girar el tornillo con el fin de mover el material en la dirección correcta. La dirección del tornillo puede determinarse mirando el extremo del tornillo.

Canalón. Los canalones varían de forma en dependencia de los requerimientos o disposición del mismo, tomando como caso de estudio un canalón redondo dispuesto actualmente. Los transportadores de tornillo tienen una longitud de transporte entre 4 y 14 m y pueden trabajar desde una posición horizontal hasta casi vertical.

Refuerzo. Cada extremo de un tornillo se refuerza con un terminal que se monta en la parte trasera del álabe, lo que ayuda que prolongar la vida útil de la helicoide.

Figura 19. Refuerzo de hélice de tornillo transportador



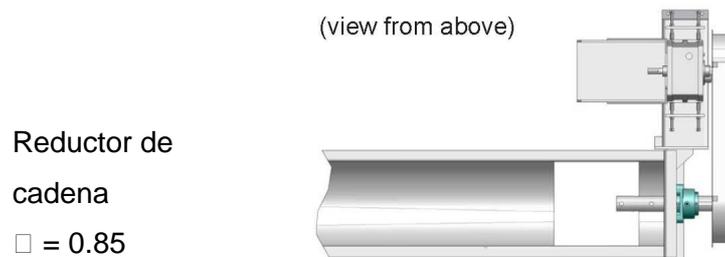
Fuente: <http://www.conveyoreng.com/wp-content/uploads/downloads/2013/02/CEMC-Screw-Conveyor-Manual-2.20.pdf>

Eficiencia mecánica.

La eficiencia de distintos mecanismos reductores de velocidad se muestra en el Anexo A, en las que se consideran los posibles desajustes por mantenimiento y los efectos por cambio de temperatura aunque una pequeña variación en función de la empresa fabricadora pero se cubren la mayoría de las discrepancias.

Factores de servicio apropiados para los componentes de transmisión de potencia individuales deben determinarse a partir de los catálogos del fabricante, teniendo en cuenta el servicio previsto, horas de operación y el tipo de condiciones de funcionamiento. Para el caso de estudio se considera la siguiente disposición:

Figura 20. Eficiencia del reductor de bandas



Fuente: <http://www.conveyoreng.com/wp-content/uploads/downloads/2013/02/CEMC-Screw-Conveyor-Manual-2.20.pdf>

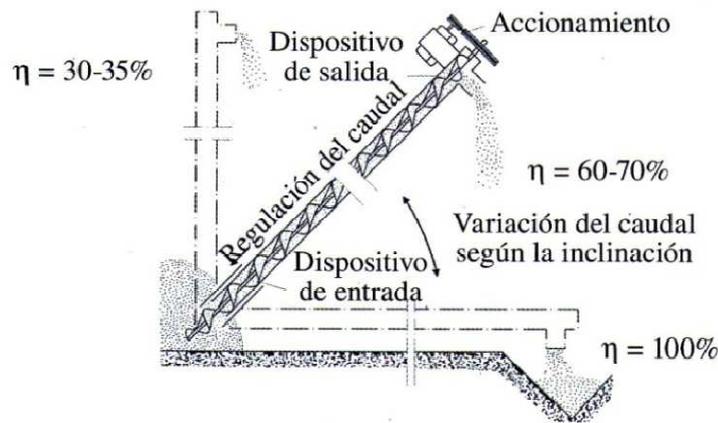
Montaje integral, Motor-reductor con transmisión por cadena al eje de accionamiento del transportador. Por lo general montado a un lado del canal por medio de una placa de adaptación.

Variación del rendimiento en función del ángulo de inclinación

La Figura 21. Muestra la capacidad de trabajo de un tornillo sin fin 160 mm de diámetro para diferentes inclinaciones de trabajo. La capacidad de trabajo varía con su

inclinación y también puede variarse mediante un dispositivo deslizante que deja al descubrimiento una estrada mayor o menor de grano en el tornillo.

Figura 21. Transportador de tornillo sin fin. Variación de su rendimiento en función de la inclinación



Fuente: Ortiz Cañavate. Máquinas agrícolas y su aplicación. 2012 pág. 406.

Área del canalón

Considerando que el canalón es cerrado el área de relleno para un diámetro D es:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (1)$$

Capacidad del tornillo trasportador

Para los tornillos de paso especial (diámetro del tornillo \neq Paso) se considera un coeficiente CF_1

Tabla6. Tabla de coeficiente CF_1

SPECIAL SCREW PITCH CAPACITY FACTOR CF_1		
PITCH	DESCRIPTION	CF_1
Standard (full)	Pitch = Diameter of screw	1.00
Short	Pitch = $\frac{2}{3}$ Diameter of screw	1.50
Half	Pitch = $\frac{1}{2}$ Diameter of screw	2.00
Long	Pitch = $1 \frac{1}{2}$ Diameter of screw	0.67

Fuente: <http://www.conveyoreng.com/wp-content/uploads/downloads/2013/02/CEMC-Screw-Conveyor-Manual-2.20.pdf>

Según las normas del Organismo de mecanización en la industria de la URSS se toman los siguientes valores de C_1 para las distintas cargas:

Tabla7. Factor C_1 en función del tipo de material

Material (Peso específico en Tn / mt ³)	Características	C_1
Arcilla (1,7); cemento (1,2); arena (1,5); yeso (1,25)	pesado – abrasivo	0,12
Antracita(1,2); Polímetro granulado(1); Centeno(0,8); Carbón pellet(1)	pesado-poco abrasivo	0,25
Carbón polvo (0,6); Heno (0,17); Leña trozos (0,4)	Liviano-poco abrasiv	0,32
Harina trigo (0,17); Aserrín (0,2); Leña astillas (0,3)	Liviano-no abrasivo	0,4

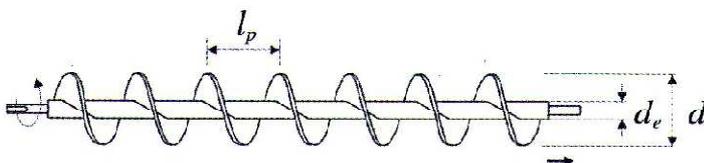
Fuente: www.caim2012.frba.utn.edu.ar/descargas/trabajos/mecanismos_maquinas_y_mecatronica.pdf

En tanto la velocidad del desplazamiento por el transportador de tornillo sin fin es:

$$v = \frac{t \cdot n}{60} \quad (2)$$

Determinación de la capacidad volumétrica.

Figura 22. Tornillo transportador



Fuente: Ortiz Cañavate. Máquinas agrícolas y su aplicación. 2012 pág. 406.

La capacidad volumétrica teórica de un tornillo sin fin viene expresada por la fórmula:

$$Q_t = 15\pi(dt^2 - de^2) \cdot lp \cdot n \left(\frac{m^3}{h} \right) \quad (3)$$

En donde dt , de y lp representan respectivamente los diámetros del tornillo y de su eje y el paso de la hélice (en m) y n la velocidad de giro (en r.p.m.)

Para calcular la capacidad de transporte real G_r tenemos que reconocer la densidad aparente del producto δ en kg/m³, el tipo de carga o partícula C_1 , el coeficiente de disminución de material k , y el factor para tornillos de paso especial CF_1 .

$$G_r = 15\pi \cdot C_1 \cdot k \cdot CF_1 \cdot \delta \cdot (dt^2 - de^2) \cdot lp \cdot n \left(\frac{kg}{h} \right) \quad (4)$$

2.2.4 Sistema de molienda. En general los equipos que se utilizan para la reducción de tamaño o molienda se clasifican en cuatro tipos:

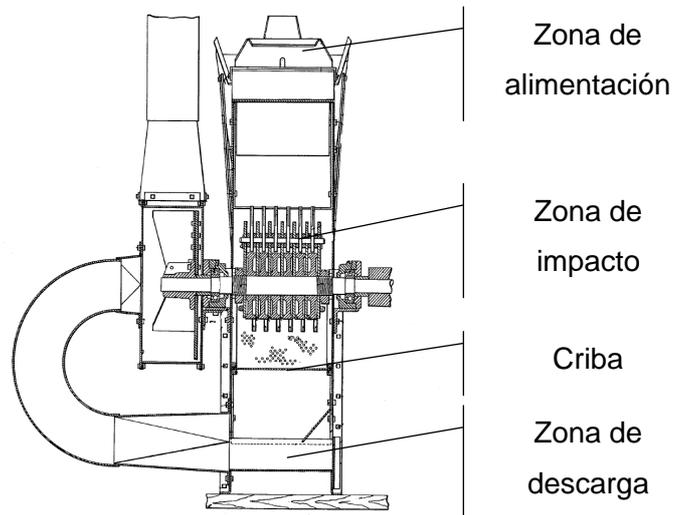
- Molino de discos
- Molino de martillos
- Molinos de rodillos
- Molinos combinados

2.2.4.1 Molino de martillos. La velocidad de alimentación al molino se controla con unas compuertas deslizantes o con un alimentador positivo, tal como un tornillo. El molino de martillos se adapta particularmente bien para moliendas media y fina. La fineza de la molienda depende del tamaño de la criba y de una velocidad de circulación del material molido a través de la cámara de molido.

La capacidad de un molino depende de la clase de grano, la fineza de la molienda, la potencia disponible, la velocidad y el contenido de humedad del producto. La reducción de tamaño se debe a las siguientes causas:

- Explosión debido al impacto de los martillos
- Corte por los bordes de los martillos
- Acción de frotamiento o rozadura.

Figura 23. Vista en corte de molino de martillos



Fuente: <http://www.google.com/patents/US2291815>

La acción de frotamiento es importante con cereales mientras que la acción de impacto es importante con maíz y materiales pesados y quebradizos.

La alimentación del producto puede ser por los lados o por los extremos de los martillos.

Tipos de molienda

Los métodos de reducción más empleados en las máquinas de molienda son compresión, impacto, frotamiento de cizalla y cortado. Los tamaños de salida de los productos de esta etapa, según Hukki, serán los siguientes:

Tabla8. Clasificación del tipo de molienda

Tipo de proceso	Tamaño de salida
Molienda gruesa	1 – 5 [mm]
Molienda media	200 – 500 [μ m]
Molienda fina	50 – 100 [μ m]

Fuente: http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5547/mod_resource/content/1/Tema_4_-_Molienda_I_.pdf

Tamaño. Para el proceso de molienda el tamaño de los fragmentos tienen un factor de gran importancia en la potencia del sistema. Los materiales de entrada de acuerdo a su tamaño se clasifican de la siguiente manera:

- Material grueso: fragmentos de un tamaño mayor a 750 [mm].
- Material mediano: fragmentos de un tamaño de 100 a 750 [mm].
- Material fino: fragmentos de un tamaño menor a 100 [mm].

Por otra parte, según el tamaño que tienen las partículas a la salida de las máquinas de desintegración, se pueden distinguir las distintas etapas de molienda.

- Molienda (desintegración final)
- Molienda grosera: tamaños de partículas de salida: entre 1 y 5 [mm].
- Molienda fina y media: tamaños de partículas de salida: menores de 0.05 y 1 [mm].

Grado de desintegración o desmenuzamiento

El coeficiente de reducción que se obtiene en las máquinas de trituración o de molienda se denomina grado de desintegración y se define como la relación entre los tamaños de las partículas a la entrada y salida de la máquina. El grado de desintegración (i_d) se expresa de la siguiente manera:

$$i_d = \frac{D_{m\acute{a}x}}{d_{m\acute{a}x}} \quad (5)$$

Donde:

$D_{m\acute{a}x}$: Mayor dimensi3n lineal del material antes de la subdivisi3n en [mm].

$d_{m\acute{a}x}$: Mayor dimensi3n lineal del material desmenuzado en [mm].

El grado de desintegraci3n en el proceso de trituraci3n se encuentra acotado entre 2 y 10, mientras que en la molienda est3 en el rango de 10 a 100 y para el proceso de pulverizaci3n mayor 100. (DUDA H., 2007 p3g. 27).

Determinaci3n del caudal suministrado por el molino

Debido a que la potencia est3 en funci3n del caudal y del grado de desmenuzamiento se puede determinar el caudal, teniendo como par3metro la potencia y el grado de desmenuzamiento, esta expresada en la siguiente ecuaci3n emp3rica, (DUDA H., 2007 p3g. 45):

$$P_m = (0.1 \text{ a } 0.15) \cdot i_d \cdot Q \quad (6)$$

Donde:

P_m : Potencia necesaria para el molido, en [Kw]

Q : Caudal o flujo m3sico de entrada, en [Ton/h]

i_d : Grado de Desmenuzamiento, adimensional.

Din3mica de los martillos

Determinaci3n del momento de inercia del martillo. La masa inercial con respecto a un eje se calcula con la ecuaci3n 7 en base al teorema de *Steiner*.

$$I_o = I_G + m_m \cdot d^2 \quad (7)$$

Donde:

I_o : Momento entorno a un eje paralelo que est3 a una distancia d en [Kg.m²].

I_G : Momento principal de inercia en [Kg.m²].

d : Distancia del eje paralelo al centro de gravedad del elemento analizado en [m].

m_m : Masa del martillo en [Kg].

Mediante el estudio din3mico de los martillos, mediante la ecuaci3n 8. El principio de De' Alembert, establece que: "La sumatoria de los momentos es igual a la sumatoria

de las inercias multiplicado por las aceleraciones angulares". (FERDINAND, 2007 pág. 1029).

$$\sum M_o = \sum I_o * \alpha \quad (8)$$

Donde:

$\sum M_o$: Sumatoria de momentos externos.

$I * \alpha$: Momento de torsión de inercia.

La ecuación anterior nos permite evaluar la aceleración angular de los martillos, se tiene:

$$T - I * \alpha = 0 \quad (9)$$

Donde T es el torque transmitido por el motor y puede calcularse con la ecuación 10.

$$T = \frac{P_m}{\omega_2} \quad (10)$$

Una vez conocida la aceleración angular se determina las aceleraciones normal y tangencial en los martillos:

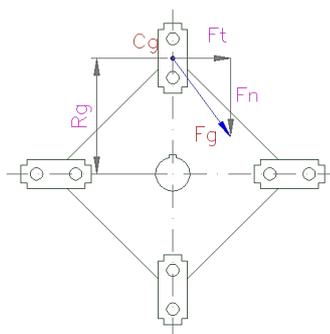
$$a^t = \alpha * r_g \quad (11)$$

$$a^n = \omega_2^2 * r_g \quad (12)$$

Fuerzas generadas en el martillo

Las fuerzas que actúan en el martillo dependen de las aceleraciones, en la Figura 24, se representan las fuerzas inerciales que actúan sobre el martillo.

Figura 24. Representación de las fuerzas tangencial y normal en el martillo



Fuente: Autor

Las fuerzas inerciales producidas son:

$$F^t = a^t * m_m(13)$$

$$F^n = a^n * m_m(14)$$

La fuerza de inercia resultante en el centro de gravedad se evalúa con la siguiente ecuación:

$$F_G = a_G * m_m(15)$$

Donde:

$$a_G = \sqrt{(a^n)^2 + (a^t)^2}(16)$$

La fuerza determinada se debe comparar con la fuerza necesaria para triturar el carbón para garantizar el funcionamiento de la máquina. (GUERRA GUAMANI , y otros, 2013).

Número necesarios de martillos

El cálculo del número de martillos depende de distintas variables las cuales se determinan en base a expresiones empíricas, (DUDA H., 2007 pág. 45), de esta manera el número de martillos esta expresado por:

$$e_m = \frac{P_m * 8 * 100000 * \eta}{G * R^2 * n^3 * f}(17)$$

$$V = \frac{2 * \pi * R * n}{60}(18)$$

Donde:

η : Rendimiento mecánico de la transmisión.

e: Número de martillos.

P_m : Potencia necesaria para el molido. [CV]

G: Peso del martillo.[kg]

R: Diámetro del círculo que describen los martillos.[m]

n: Vueltas por minuto del rotor. [rpm]

f: Factor dependiente de la velocidad de rotación de los martillos.

Velocidad Tangencial y Factor “f”

El factor “f” depende de la velocidad de rotación de los martillos, es decir de la velocidad tangencial que está dada por el valor optimo recomendado para molinos de martillos. Según Walter H. Duda. Con la velocidad tangencial del martillo se puede obtener el valor “f” de la Tabla 9:

Tabla9. Factor de velocidad tangencial

Velocidad tangencial [m/s]	Factor f
17	0.0220
20	0.0160
23	0.0100
26	0.0080
30	0.0030
40	0.0015

Fuente: DUDA H. Walter. Manual Tecnológico del Cemento 3. 2007 pág. 45

Tamiz

Cada materia prima requiere ser molida mediante el tamiz adecuado en función de la granulometría que se desea obtener (gruesa, media o fina). Esta consiste en una malla o superficie solida perforada, cuyos orificios tienen un tamaño uniforme. En dependencia del área de tamiz, dependerá la eficiencia del mismo y por ende la capacidad. Entre algunas aplicaciones industriales del tamiz consideradas por (DESMET BALLESTRA, 2013), se tiene:

Figura 25. Diámetros de tamiz para molienda

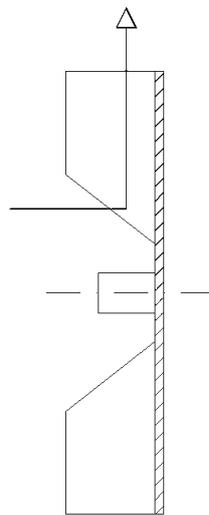


Fuente: http://www.stolzsa.com/sites/default/files/catalogos/es/procesos/es_molienda.pdf

- Industria de nutrición animal: rejillas de 3 mm o 6/7 mesh
- Industria de alimentos acuicultura y para animales doméstico rejillas de 0.8 mm o 20 mesh
- Industria para biocombustibles: rejillas de 2 mm o 9 mesh

2.2.5 Diseño del ventilador. EL dimensionamiento de los álabes del ventilador varía de acuerdo al material a transportar, altura, caudal, presión y las consideraciones que el fabricante plantee.

Figura 26. Flujo en un rodete centrífugo de ancho constante



Fuente: Autor

Los ventiladores centrífugos provocan el movimiento del gas y genera una presión obtenida por la rotación del rotor. Los parámetros de funcionamiento dependen de la geometría del rodete. Por lo tanto, las principales dimensiones a considerar son las siguientes:

Donde:

Diámetro externo, [m]

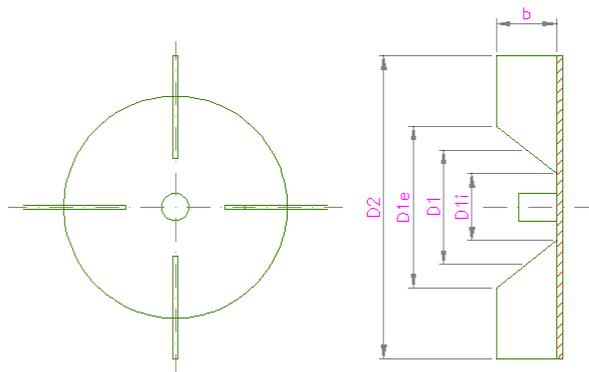
Diámetro interno exterior, [m]

Diámetro interno medio, [m]

Diámetro interno del interior, [m]

Altura del álabe, [m]

Figura 27. Esquema del ventilador radial



Fuente: Autor

El diseño del ventilador empieza con la determinación de la capacidad de transporte por hora del material molido; dentro de este punto los datos obtenidos en el capítulo anterior serán de gran importancia.

Determinación de densidad de la mezcla. La densidad de la mezcla se obtiene a partir de la productividad del material a transportar y del caudal proporcionado por el ventilador. (BRAVO ALMEIDA, y otros, 2013)

Para calcular la masa de aire partimos del flujo volumétrico.

$$\dot{V}_a = \dot{V}_m - \dot{V}_s \quad (19)$$

$$\dot{V}_s = \frac{\dot{m}_s}{\rho_s} \quad (20)$$

Para el flujo másico del aire se tiene:

$$\dot{m}_a = \rho_a * \dot{V}_a \quad (21)$$

Finalmente la densidad de la mezcla se tiene:

$$\rho_m = \frac{\dot{m}_a + \dot{m}_s}{\dot{V}_m} \quad (22)$$

Donde:

\dot{m}_s : Flujo másico de los sólidos. [kg/s].

\dot{m}_a : Flujo másico del aire en [kg/s].

\dot{V}_m : Flujo volumétrico de la mezcla. $\left[\frac{m^3}{s}\right]$.

\dot{V}_s : Flujo volumétrico de los sólidos – maíz molido en $\left[\frac{m^3}{s}\right]$.

ρ_a : Densidad del gas - aire. $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$.

ρ_s : Densidad de los sólidos – maíz molido. $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$.

Cálculo de la presión total. La presión total es el resultado de la suma de la presión Estática más la presión dinámica a la salida del ventilador.(MATAIX, 1986 pág. 430)

Entonces, la presión total sería el resultado de la siguiente sumatoria:

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_e + \Delta P_d \quad (23)$$

$$\Delta P_d = \rho_m * \frac{(v_s^2 - v_e^2)}{2} \quad (24)$$

Donde:

ΔP_{tot} : Presión total útil del ventilador en [Pa].

ΔP_d : Incremento de la presión dinámica en [Pa].

ΔP_e : Incremento de la presión estática [Pa].

ρ_m : Densidad de la mezcla. $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$.

v_s : Velocidad de salida. $\left[\frac{m}{s}\right]$.

v_e : Velocidad de entrada. $\left[\frac{m}{s}\right]$.

g : Gravedad, $[m/s^2]$.

La variación de presión producida por ventiladores radiales con álabes rectos, son presiones relativamente bajas, debido a la compresibilidad del aire.

Cálculo de la altura efectiva. La altura efectiva es la altura a la cual se eleva 1 kg de la mezcla (Aire y maíz molido), y se puede representar por la ecuación 25.

$$H = \frac{\Delta P_{tot}}{\rho_m * g} \quad (25)$$

Salto energético de la máquina. Es el incremento de energía del fluido.

$$Y = \frac{\Delta P_{tot}}{\rho_m} \quad (26)$$

Número específico de revoluciones. El número específico de revoluciones relaciona directamente el caudal y la altura efectiva.

$$nq = \frac{n * Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad (27)$$

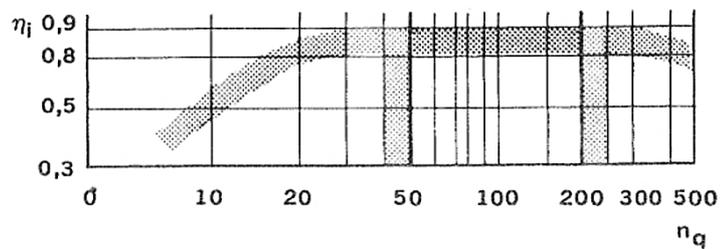
Donde:

Q : Caudal [m³/s].

H : Altura efectiva [m]

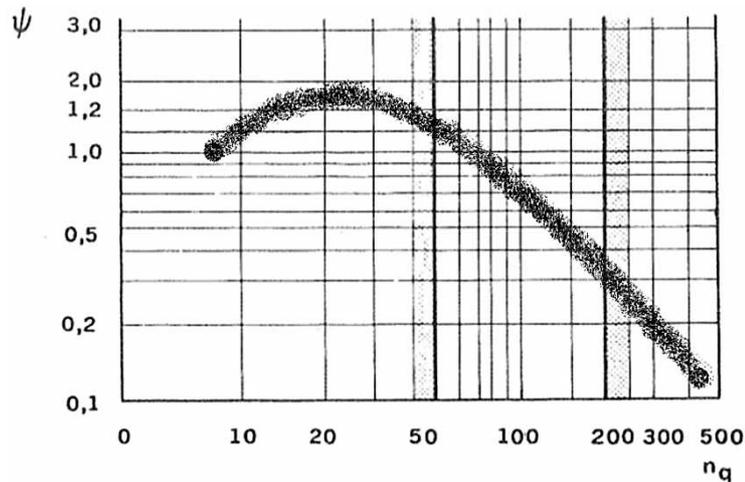
El número específico de revoluciones permite establecer mediante la Figura 28, el rendimiento interno y en la Figura 29 el coeficiente de presión.

Figura 28. Rendimiento interno de un ventilador



Fuente: MATAIX Claudio, Turbo maquinas Hidráulicas. 1975 pág. 804

Figura 29. Coeficiente de presión



Fuente: MATAIX Claudio, Turbo maquinas Hidráulicas. 1975 pág. 804

Considerando los parámetros de las tablas se utiliza el proceso de cálculo del diseño 7 para un ventilador radial. (MATAIX, 1975 págs. 803-809)

Cálculo de la velocidad absoluta del rodete a la salida

$$u_2 = \sqrt{\frac{2 * g * H}{\psi}} \quad (28)$$

Donde:

u_2 : Velocidad absoluta del rodete a la salida, [m/s].

g : Gravedad, [m/s²].

H : Altura efectiva [m].

ψ : Rendimiento interno de un ventilador.

Determinación del diámetro externo del rodete

$$d_2 = \frac{60 * u_2}{\pi * n} \quad (29)$$

Donde:

n ; Velocidad angular, [r.p.m].

Determinación del coeficiente de velocidad en la boca de aspiración

$$K_{ca} = 0,55 * \left(\frac{nq}{100}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (30)$$

Donde: nq es el número específico de revoluciones, [m/s].

Determinación de la velocidad de la mezcla en la boca de aspiración

$$Ca = K_{ca} * \sqrt{2 * g * H} \quad (31)$$

K_{ca} : Coeficiente de velocidad en la boca de aspiración.

Ca : Velocidad en la boca de aspiración.

Determinación del diámetro de la boca de aspiración

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 * Q}{\eta_v * \pi * Ca}} \quad (32)$$

Cálculo de la velocidad absoluta del rodete a la entrada. Obtenida por leyes semejanza de ventiladores.

$$u_1 = \frac{u_2}{d_2/d_1} \quad (33)$$

Determinación de la velocidad absoluta del aire antes de los álabes sin circulación

$$m = 0,5 * \left(\frac{100}{nq}\right)^{\frac{1}{6}} \quad (34)$$

Determinación del ancho del rodete a la entrada

$$b_1 = \frac{Q}{\eta_v * \pi * d_1 * Com} \quad (35)$$

Determinación del componente meridional de la velocidad del flujo a la entrada

$$c_{1m} = \tau_1 * Com \quad (36)$$

Determinación de la velocidad absoluta de la mezcla a la entrada del rodete.

$$C_1 = \sqrt{c_{1m}^2 + u_1^2} \quad (37)$$

Determinación del número de álabes del rotor. Considerando que se trata de un ventilador de salida radial sin curvatura, se tiene la siguiente relación.

$$z = k * \left(\frac{d_2 + d_1}{d_2 - d_1}\right) * \text{sen}\left(\frac{\beta_1 + \beta_2}{2}\right) \quad (38)$$

Donde el factor k radica entre los valore de (3 – 10), (MATAIX, 1975 pág. 440).

Determinación de la altura efectiva para un número finito de álabes

$$H_\infty = \frac{H}{\eta_v * e_z} \quad (39)$$

Determinación del rendimiento hidráulico

$$\eta_h = \frac{\eta_i}{\eta_v * \eta_r} \quad (40)$$

En los ventiladores η_r suele estar comprendido entre 0,98 – 0,99 (disminuyendo aún más en los ventiladores muy lentos o de n_q muy bajos). (MATAIX, 1975 pág. 807).

Determinación del coeficiente de disminución de trabajo

$$e_z = \frac{1}{1 + \frac{\Psi * r_2^2}{z * S}} \quad (41)$$

Donde:

e_z : Coeficiente de disminución de trabajo.

r_2 : Radio exterior del rodete [m].

z : Número de álabes.

S : Momento estático

Determinación del coeficiente de presión a la salida

$$\Psi = 0,6 * (1 + \text{sen}\beta) \quad (42)$$

Determinación del momento estático de la línea medida de un álabe en su representación meridional

$$S = \frac{1}{2} * (r_2^2 - r_1^2) \quad (43)$$

Al imponerse un ancho del álabe a la descarga del ventilador, se tiene:

Se tiene que:

$$c_{2m} = \frac{Q}{b_2 * \eta_v * \pi * d_2} \quad (44)$$

Determinación de la velocidad absoluta de la mezcla a la entrada del rodete.

$$C_2 = \sqrt{c_{2m}^2 + u_2^2} \quad (45)$$

Grado de reacción. Es un parámetro que describe la relación entre la transferencia de energía debido a la presión estática y la transferencia de energía debido al cambio dinámico. (MATAIX, 1986 pág. 430)

$$R = \frac{(u_2^2 - u_1^2) - (W_1^2 - W_2^2)}{2 * g * H} \quad (46)$$

Determinación de la potencia consumida (MATAIX, 1975 pág. 778)

$$P_a = \frac{Q * \Delta P_{tot}}{\eta_{tot}} \quad (47)$$

2.2.6 Sistema de separación de partículas. Existen dos tipos de ciclones, los de entrada de gas en forma tangencial y de forma radial, pero los de forma tangencial son utilizados con más frecuencia. Este tipo de ciclón consta de un cuerpo cilíndrico vertical una sección cónica inferior, una entrada tangencial y una salida superior compuesta por un tubo que penetra en el cuerpo cilíndrico. La salida de las partículas sólidas se hace por el fondo cónico.

La porción del tubo de salida que se encuentra en el interior del cuerpo cilíndrico, se conoce como «buscador de remolinos» o «buscador de vórtices», el cual evita que la corriente de gas de alimentación entre directamente a la salida. En la Figura 30, se muestra el diagrama de un ciclón típico con entrada tangencial.

Los ciclones pueden servir incluso como clasificadores, separando las partículas pesadas que caen, de las ligeras, que continúan siendo arrastradas por el aire. La temperatura de trabajo del gas a la entrada del ciclón, están limitadas por los materiales de construcción del ciclón y se pueden operar con temperaturas altas como 540 °C.

Existen parámetros que aseguran un buen funcionamiento del ciclón y alta eficiencia, por tanto una excelente remoción de partículas de material. (CASAL, y otros, 1989)

$$D_c < 1[m]$$

$$\Delta P < 2488,16 [Pa]$$

$$\frac{V_i}{V_s} < 1,35$$

$$V_i = (9 - 27,4) \left[\frac{m}{s} \right]$$

Donde:

D_c : Diámetro del ciclón o colector, [m].

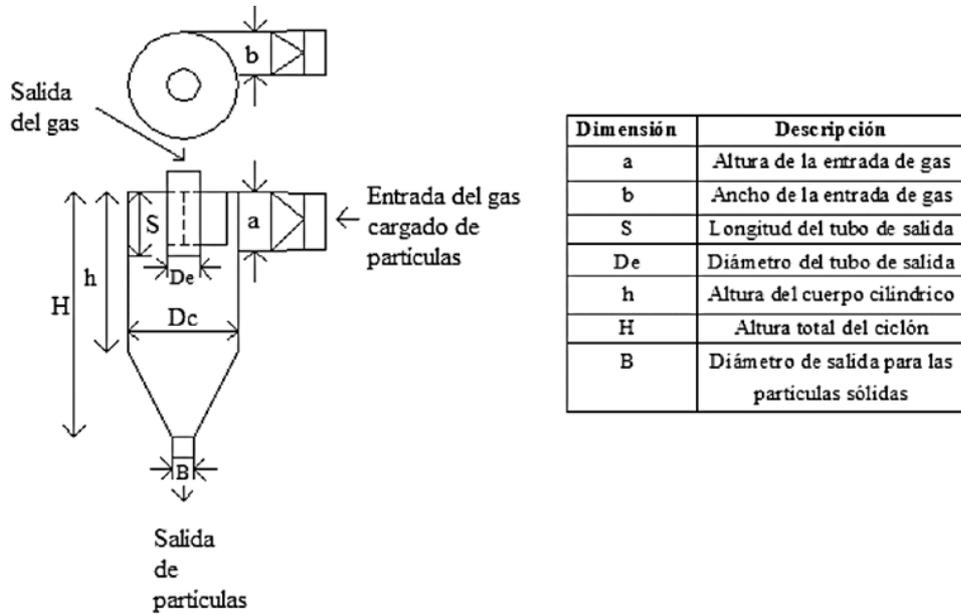
ΔP : Caída de presión, [Pa]

V_i : Velocidad de entrada al ciclón, [m/s]

V_s : Velocidad de saltación, [m/s]

Tipo de ciclón. Ciclón de alta eficiencia Stairmand.

Figura 30. Ciclón típico con estrada de gas tangencial



Fuente: BARBOSA SALDAÑA, y otros. Parámetros que afectan del ciclón. 2006

Los ciclones de alta eficiencia pueden remover partículas de 5 micras con eficiencias del 90 % logrando alcanzar eficiencias mayores.

Existen relaciones de dimensionamiento referidos para el diseño de los ciclones de alta eficiencia

Tabla10. Características de los ciclones de alta eficiencia

Dimensión	Relación dimensional	Stairmand HE	Storch 4	Tengbergen C
Diámetro del ciclón	D_c/D_C	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/D_C	0.5	1.0	0.3
Ancho de entrada	b/D_C	0.2	0.15	0.3
Altura de salida	S/D_C	0.5	0.68	0.43
Diámetro de salida	D_s/D_C	0.5	0.45	0.33
Altura de la parte cilíndrica	h/D_C	1.5	3.5	0.55
Altura de la parte cónica	z/D_C	2.5	2.7	2.2
Altura total del ciclón	H/D_C	4.0	6.2	2.75
Diámetro de salida de polvo	B/D_C	0.375	0.35	0.33
Factor de configuración	G	551.22	229.64	533.12
Número de cabezas de velocidad	NH	6.4	11.8	13.2
Número de vórtices	N	5.5	4.85	5.5

Fuente: dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4051836.pdf

Determinación de la velocidad equivalente. La velocidad equivalente cuantifica la velocidad a la que llega el material transportado al ingresar a la parte cilíndrica del colector. Relacionando propiedades físicas tanto del material a transportar como del gas transportador. (CASAL, y otros, 1989)

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 * g * \mu * (\rho_s - \rho)}{3 * \rho^2}} \quad (48)$$

Donde:

g : Gravedad, que es igual a 9,8 [m/s²].

μ : Viscosidad del gas transportador, aire que es igual a 1,81x10⁻⁵ [N-s/m²].

ρ_s : Densidad de la partícula transportada, maíz molido que es igual a 625 [kg/m³].

ρ : Densidad del gas, Aire [kg/m³].

Velocidad de saltación En los ciclones cuando la velocidad de ingreso es baja no genera efecto de fuerza centrífuga generando una disminución de la eficiencia del ciclón, si se tiene velocidades muy altas se pueden resuspender las partículas ya separadas en el fondo del cono del ciclón reduciendo igual la eficiencia. (CASAL, y otros, 1989).

$$v_s = \frac{4,913 * W * K_b^{0,4} * D_c^{0,067} * \sqrt[3]{v_i^2}}{\sqrt[3]{1 - K_b}} \quad (49)$$

Donde:

v_s : Velocidad de saltación, [m/s].

W : Velocidad equivalente, [m/s].

K_b : Relación del ancho de entrada respecto al diámetro del ciclón.

D_c : Diámetro de la parte cilíndrica del ciclón, [m].

v_i : Velocidad de ingreso al ciclón, [m/s].

Al establecer la relación de velocidades entre la velocidad de ingreso y la velocidad de saltación, se puede cuantificar si existe resuspensión de material, siempre y cuando cumpla la condición de que la relación de velocidades sea menor a 1,35.

Determinación del exponente del vórtice. Es la relación de la velocidad tangencial y el radio de giro de un movimiento en forma de vórtice, pudiendo variar de 0,5 a 0,7 de acuerdo con el tamaño del ciclón y la temperatura. (CASAL, y otros, 1989)

$$n = 1 - (1 - 0,67 * D_c^{0,14}) \left(\frac{T}{283} \right)^{0,3} \quad (50)$$

Donde:

n : Exponente del vórtice.

D_c : Diámetro de la parte cilíndrica del ciclón, [m].

T : Temperatura de trabajo, [K].

Determinación del tiempo de relajación. El tiempo de relajación, se considera como el tiempo necesario que requiere la partícula para que alcance la velocidad terminal de caída. (CASAL, y otros, 1989)

$$T_i = \frac{\rho_s * D_p^2}{18 * \mu} \quad (51)$$

Donde:

D_p : Diámetro de la partícula, maíz 10×10^{-6} [m].

ρ_s : Densidad de la partícula transportada, maíz molido que es igual a 625 [kg/m³].

μ : Viscosidad del gas transportador, aire que es igual a $1,81 \times 10^{-5}$ [N-s/m²].

Determinación de las caídas de presión en los ciclones

La caída de presión en los ciclones debe estar dispuesto bajo un rango determinado, esta caída de presión está en función de la velocidad del flujo de manera que entre mayor es la velocidad de flujo, mayor es la caída de presión, y está determinada por la ecuación 52, dispuesta en (BENITEZ, 2013).

$$\Delta P = \frac{Nh * \rho * Q^2}{2 * K_a^2 * K_b^2 * D_c^4} \quad (52)$$

Donde:

Nh : Es el número de cabezas de velocidad.

ρ : Densidad del gas, Aire [kg/m³].

Q : Es el caudal de la mezcla, [m³/s].

K_a : Relación de la altura de entrada respecto al diámetro del ciclón.

K_b : Relación del ancho de entrada respecto al diámetro del ciclón.

D_c : Diámetro del ciclón, [m].

Determinación de las eficiencias de los ciclones

La eficiencia del ciclón es dependiente del tamaño de partícula a ser separada, y está gobernada por la ecuación 53, dispuesta en (BRAVO ALMEIDA, y otros, 2013)

$$\eta = 1 - e[-2 * \left(\frac{G * T_i * Q * (n + 1)}{D_c^3}\right)^{\frac{0.5}{n+1}}] \quad (53)$$

Donde

G : Factor de configuración.

T_i : Tiempo de relajación, [s].

Q : Es el caudal de la mezcla, [m³/s].

n : Número de vórtices.

D_c : Diámetro del ciclón, [m].

Determinación del diámetro de corte. El diámetro de corte D_{50} se define como el diámetro de partícula para el cual se tiene un 50% de eficiencia de separación. (BARBOSA SALDAÑA, y otros, 2006)

$$D_{50} = \sqrt{\frac{4,5\mu K_b D_c}{N\pi(\psi)^2(\rho_s - \rho)}} \quad (54)$$

Donde:

μ : Viscosidad del gas transportador, aire que es igual a $1,81 \times 10^{-5}$ [N-s/m²].

ψ : Es un factor de proporcionalidad propio de la geometría de la partícula.

ρ : Densidad del gas, Aire [kg/m³].

N : Número de vueltas completas que da el gas a través del ciclón.

ρ_s : Densidad de la partícula transportada, maíz molido que es igual a 625 [kg/m³].

Para la determinación del número de vueltas completas que da el gas a través del ciclón se puede determinar por la ecuación 55, (BARBOSA SALDAÑA, y otros, 2006).

$$N = \frac{H + h}{2a} \quad (55)$$

El desarrollo de ambos modelos se basa en la suposición de equilibrio en la dirección radial de la partícula a separar de la corriente de gas dentro del ciclón en un instante

dado y considera que las fuerzas más importantes actuando sobre la partícula son la fuerza centrífuga y la fuerza de arrastre.

El parámetro ψ es la relación entre el diámetro equivalente y el diámetro de la partícula. El procedimiento para obtener este diámetro se muestra a continuación.

Asumiendo que el volumen de la esfera es igual al volumen de la partícula analizada ($V_{esferea} = V_p$), entonces:

$$V_p = \frac{\pi}{6} D_{eq}^3 \quad (56)$$

Por lo que es en el cálculo de ψ sería,

$$\psi = \frac{D_{eq}}{D_p} = \left(\frac{6V_p}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{1}{D_p} \right) \quad (57)$$

En este caso, D_p es el diámetro de la partícula (la mayor longitud de la misma, en el caso de partículas de geometría irregular), D_{eq} es el diámetro equivalente de una esfera con el mismo volumen que el de la partícula analizada, V_p es el volumen de la partícula.

2.2.7 Sistema recolector de polvos. Los equipos dispuestos para recolectar polvo son diseñados para controlar la contaminación del aire, mantener limpio el lugar de trabajo eliminando los polvos del ambiente para que no afecten la eficiencia de los trabajadores.

Las funciones principales de los colectores de polvo son:

- Para protección del personal
- Proteger el ambiente de trabajo
- Cumplir con la legislación.
- Ayudar a evitar la formación de atmósferas explosivas.
- Protegerse de futuras demandas de ex empleados.
- Para evitar daños a equipos a causa del polvo.

Contaminantes

Se define como contaminante en el aire, a todos los polvos, humos, nieblas, vapores o gases que se desprenden de una amplia gama de procesos industriales y de operaciones simples.

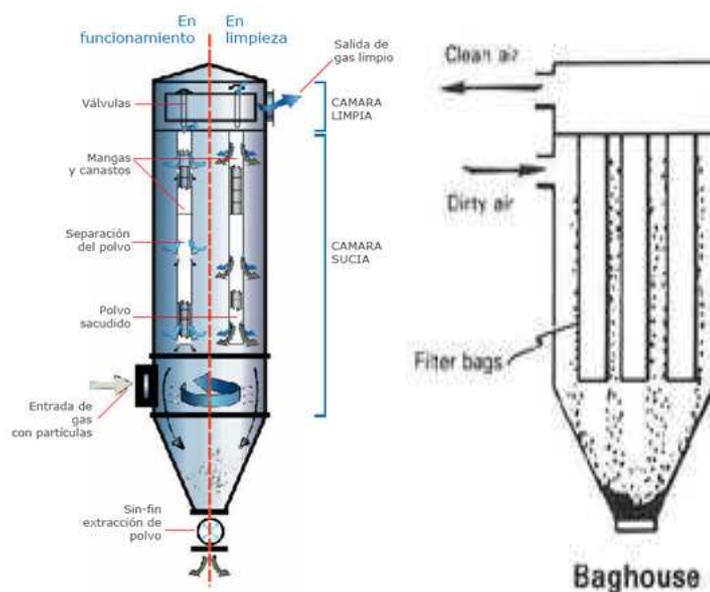
Dentro de los polvos contaminantes se tienen: pequeñas partículas sólidas, creadas por el rompimiento de partículas más grandes esto puede venir de máquinas por impacto, pulidoras, trituradoras, etc. La granulometría de estos polvos varía de 0,25 a 30 μm .

Los equipos más utilizados para una extracción de polvos eficiente son los filtros de mangas, llegando a tener una eficiencia del 99% o más.

Filtro de mangas

Los filtros de mangas son considerados como los equipos más representativos de la separación sólido – gas. Su función consiste en recoger partículas sólidas que arrastra una corriente de aire gaseosa haciéndola pasar a través de un tejido, en general el filtro tiene una estructura porosa compuesta de un material fibroso que tiende a retener las partículas según pasa el gas que las arrastra a través de los espacios vacíos del filtro. El filtro se construye con cualquier material compatible con el gas y las partículas. La Figura 31 presenta uno de los diseños que más se utilizan en filtros de mangas.

Figura 31. Disposición general del filtro de mangas



Fuente: http://www.itaire.com.ar/itaire_productos.php?pid=8

Funcionamiento

Los filtros de mangas constan de una serie de hileras de mangas de tela en la forma de tubos redondos, normalmente de fibra sintética o natural, colocadas en unos soportes para darles consistencia y encerrados en un compartimiento. La separación del sólido se efectúa haciendo pasar el aire con partículas en suspensión mediante un ventilador, a través de la tela que forma la manga. De esa manera, las partículas quedan retenidas entre los intersticios de la tela formando una torta filtrante. La torta se va engrosando y con esto se aumenta la eficiencia de remoción de partículas y la caída de presión del sistema, por lo cual se procede a efectuar una limpieza periódica de las mangas y evitar así una disminución en el caudal.

El gas cargado de partículas, al entrar al equipo, fluye por el espacio que está debajo de la placa a la que se encuentran sujetas las mangas, y hacia arriba para introducirse en las mangas. A continuación el gas fluye hacia afuera de las mangas dejando atrás los sólidos. El gas limpio fluye por el espacio exterior de los sacos y se lleva por una serie de conductos hacia el ducto de escape o chimenea.

Medios filtrantes

Los medios filtrantes pueden ser telas tejidas o de fieltro. Las telas tejidas presentan una estructura de trenzamiento según patrones establecidos. La permeabilidad está relacionada con la cantidad de aire que es filtrada para una determinada caída de presión.

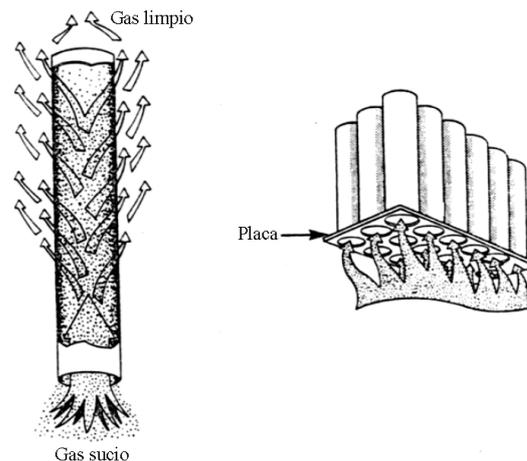
Las telas de fieltro presentan menor dependencia entre la eficiencia de remoción de partículas y la formación de la capa inicial de partículas sobre la superficie del filtro; presentan un espesor dos o tres veces mayor que las telas tejidas y un mejor desempeño en la captura de partículas pequeñas. La selección de las telas depende de la composición química, temperatura y humedad de la corriente gaseosa, así como de la composición química y física de las partículas.

La composición química, tanto de la corriente gaseosa como de las partículas, ejerce un efecto sobre el desgaste de la tela. En la selección del tipo de fibra dependiendo de las características del gas portador y las partículas transportadas.

Modo de filtración

Filtración interior. En los filtros de mangas que utilizan la filtración interior, las partículas son colectadas sobre la parte interna de las mangas. El caudal de gas a tratar normalmente entra por la parte inferior del sistema, distribuyendo el flujo a través de una placa en la cual se ajustan las mangas; el gas limpio sale por la parte superior del sistema. Cuando se utiliza filtración interior la manga se soporta con anillos colocados en la zona inferior de la manga.

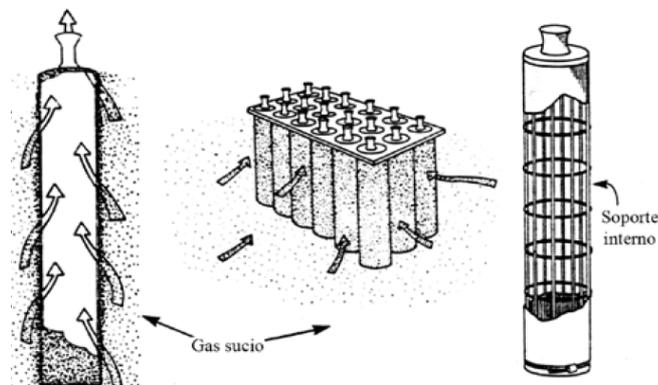
Figura 32. Filtración interior



Fuente: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75011517003>

Filtración exterior. La utilización de la filtración exterior implica la distribución del flujo de gas a tratar alrededor de las mangas, y el gas limpio se evacua a través de una placa superior. Para filtración exterior se utiliza normalmente una manga soportada por una estructura interior de alambre.

Figura 33. Filtración exterior



Fuente: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75011517003>

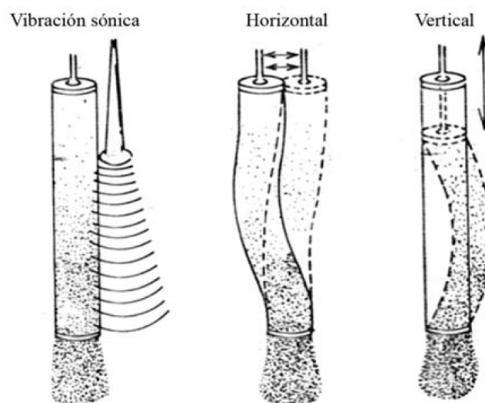
Mecanismos de limpieza

En el proceso de filtración, las partículas son retenidas por los hilos de la tela o medio filtrante. Una vez que los poros se llenan de partículas se crea un medio filtrante nuevo, aumentando con esto la eficiencia de filtración. Esta eficiencia aumenta hasta llegar a un punto en que la caída de presión es lo suficientemente grande para hacer necesaria la limpieza de éste. La limpieza puede hacerse de forma intermitentemente, por medios mecánicos o neumáticos. Se tienen tres tipos principales de filtros de mangas.

Limpieza por agitación mecánica. Se realiza cuando existe la posibilidad de suspender el servicio del filtro durante un corto período de tiempo. Por tanto, exige un funcionamiento discontinuo con un ciclo de filtración y otro de limpieza. Cuando la filtración es continua, debe disponerse de una unidad de relevo adicional o, de lo contrario, habrá necesidad de suspender el proceso de filtración. En la limpieza por agitación mecánica, usada con filtración interior, la transferencia de energía se logra suspendiendo la manga de un gancho o una estructura que oscilan accionados por un motor.

El movimiento puede ser impartido a la manga de varias formas (vertical u horizontalmente por medio de resortes o sistemas de vibración), pero el efecto general es de crear una onda sinusoidal a lo largo de la tela. A medida que la tela se mueve hacia afuera de la línea central de la bolsa durante porciones de la acción de onda, el polvo acumulado sobre la superficie se mueve con la tela. Cuando la tela alcanza el límite de su extensión, las partículas poseen la inercia suficiente para desprenderse de la tela y descender hacia la tolva.

Figura 34. Filtración interior



Fuente: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75011517003>

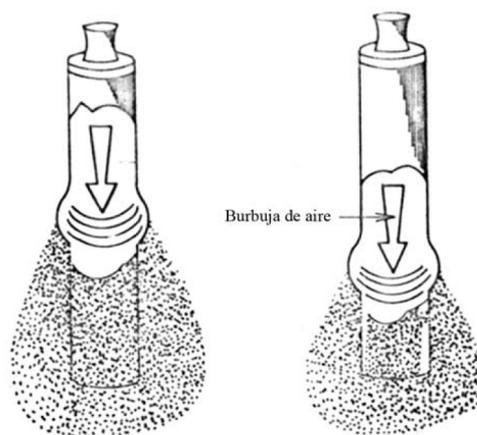
Limpieza con aire en contracorriente. En la limpieza con aire en contracorriente, el flujo de gas hacia las mangas es interrumpido en el compartimiento que está siendo limpiado y un flujo en contracorriente (de afuera hacia adentro) es dirigido a través de las mangas. Este flujo de gas pliega la manga suavemente hacia sus líneas centrales, lo que causa que la torta de partículas se desprenda de la tela. El desprendimiento es causado por fuerzas cortantes desarrolladas entre las partículas y la tela a medida que esta última cambia su forma.

Limpieza por aire a presión. En la actualidad es el mecanismo más utilizado. La limpieza se efectúa mediante un chorro de aire a alta presión, a través de un programador de ciclos con variación regulable de tiempo y pausa, que genera una onda que interrumpe momentáneamente el flujo de aire dentro de la manga, haciendo que una cantidad de aire a presión descienda a través de la manga y la expanda violentamente, fracturando la capa de partículas y haciéndola desprender de la misma.

Como el tiempo de limpieza de la manga es muy corto, y sólo una fracción de las mangas se limpia cada vez, se mantiene un flujo continuo a través del filtro de mangas. Tal como con los filtros de mangas con agitación mecánica, la tela alcanza su límite de extensión, y las partículas se separan de la manga.

El aire que escapa a través de la manga lleva las partículas lejos de la superficie de la manga.

Figura 35. Filtración interior



Fuente: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75011517003>

En los filtros de mangas con vibración mecánica y aire en contracorriente es esencial que el flujo de gas que pasa por el filtro se detenga durante la limpieza, para permitir

que la capa de partículas caiga. En la práctica, esto se logra sin interrumpir la operación, sacando de servicio una parte de los compartimientos en un momento dado.

2.2.7.1 Diseño del sistema recolector de polvos. Determinación de la velocidad de filtrado. Una filtración eficiente requiere que la velocidad de filtración esté en el intervalo de 0.005 a 0.050 m/s. La velocidad de filtración es difícil de estimar, sin embargo, ciertos métodos permiten una estimación rápida.

Para que el proceso de filtración sea continuo (la limpieza se realiza sin que cese el paso del aire por el filtro) en los filtros de mangas que utilizan limpieza por agitación o aire en contracorriente, el área de filtración (la cantidad de tela) deberá incrementarse para permitir sacar de funcionamiento uno o más compartimientos para limpieza o mantenimiento. Para estimar la velocidad de filtración se tiene la ecuación 58, dispuesta por (TURNER, 2013)

$$V_f = 2,878 * A * B * T^{-0,2335} * C^{-0,06021} * (0,7471 + 0,0853 * \ln(D_p)) \quad (58)$$

Donde

V_f : Velocidad de filtración, [ft/min].

A : Factor de material, Anexo F.

B : Factor de aplicación, Anexo F.

T : Temperatura, [°F].

C : Factor de concentración, [gr/ft³].

D_p : Diámetro medio de la partícula, [μm].

Recomendaciones para la utilización de la ecuación 58. Para temperaturas por debajo de 50 °F, utilice $T = 50$. Para temperaturas superiores a 275 F, utilice $T = 275$. Para los diámetros de las partículas menos de 3 mm, el valor de D es 0,8, y para diámetros mayores de 100 micras, D es 1,2.

Para la carga de polvo de menos de 0,05 gr/ft³, el uso $L = 0,05$; para la carga de polvo por encima de 100 gr/ft³, el uso $L = 100$.

También se puede estimar las velocidades de filtración mediante la Tabla 11.

Tabla11. Velocidades de filtración para algunas combinaciones de filtros de talegas y telas

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

Fuente: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75011517003>

Determinación del área neta

Área neta de tela es determinada dividiendo el caudal de entrada o capacidad de flujo filtrable en pies cúbicos reales por minuto para la relación gas – tela de diseño, establecida en (PERALTA CASTILLO, 2001 pág. 70)

$$A_n = \frac{Q}{V_f} \quad (59)$$

Donde:

A_n : Área Neta, [ft²].

Q : Caudal del gas con concentración de partículas. [ft³/m].

V_f : Velocidad de filtración, [ft/min].

Para el cálculo del área total, que incluyen los compartimientos que se están limpiando, se emplea el factor multiplicador de la Tabla12 (única- mente para filtros de talegas que utilizan limpieza por agitación o aire en contracorriente)

Tabla12. Guía para estimas el área total de la tela para filtros de mangas que utilizan limpieza por agitación o aire en contracorriente

ÁREA DE TELA NETA (m ²)	MULTIPLICAR EL ÁREA NETA POR
1 - 370	2
371 - 1,115	1.5
1,116 - 2,230	1.25
2,231 - 3,350	1.17
3,351 - 4,460	1.125
4,461 - 5,580	1.11
5,581 - 6,690	1.10
6,691 - 7,810	1.09
7,811 - 8,920	1.08
8,921 - 10,040	1.07
10,041 - 12,270	1.06
12,271 - 16,730	1.05
> 16,730	1.04

Fuente: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75011517003>

Área de la manga. El área de la manga está en función de las dimensiones de la misma, tales como diámetro y longitud.

$$A_i = \pi * D_m * L_m + \pi * \left(\frac{D_m}{2}\right)^2 \quad (60)$$

Donde:

A_i : Área de la Manga, [ft²]

D_m : Diámetro de la manga, [ft].

L_m : Longitud de la manga, [ft].

Cálculo del número total de mangas. El número de mangas se pueden determinar por la ecuación 74, extraída de (ECHEVERRI, 2008 pág. 56)

$$n_m = \frac{A_n}{A_i} \quad (61)$$

Determinación de la caída de presión. Dentro de la caída de presión total del filtro está la caída de presión a través del compartimiento. Dado que el filtro de mangas ya se encuentra en funcionamiento, es difícil diferenciar qué fracción de la caída de presión se debe al compartimiento y cuál se debe a la tela.

Por lo tanto, con este método la caída de presión a través del compartimiento se le atribuye a la caída de presión a través de la tela. Por lo tanto, la caída de presión total está establecida por la ecuación dada en (ECHEVERRI, 2008 pág. 54).

$$\Delta P_m = \Delta P_f + \Delta P_p \quad (62)$$

$$\Delta P_f = K_1 * V_f \quad (63)$$

$$\Delta P_p = K_2 * C * V_f^2 * \theta \quad (64)$$

Donde:

ΔP_p : Caída de presión a través de la capa de partículas. [mmH₂O].

K_2 : Factor de resistencia debido a la capa de partículas. $\left[\frac{\text{mmH}_2\text{O}-\text{m}^2\text{s}}{\text{g}}\right]$.

C : Concentración de partículas en la corriente gaseosa. $\left[\frac{\text{g}}{\text{m}^3}\right]$.

V_f : Velocidad de filtración. $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$.

θ : Tiempo de acumulación de partículas o de filtración. [s].

2.2.8 Válvulas rotatorias. Las válvulas rotatorias se emplean para introducir material en el sistema neumático, desde un lugar con una presión determinada, a otro con una presión distinta. Este medio es el más utilizado por su seguridad y efectividad para el manejo de polvos capturados en un equipo separador de polvos (Ciclón).

Estos consisten en un rotor con un número determinado de cavidades que giran en el interior de una carcasa cilíndrica, el mismo que envía un caudal determinado y constante sin alterar los parámetros de los sistemas antes y después del distribuidor rotatorio, ver Figura 36.

Aplicaciones de una Válvula Rotatoria:

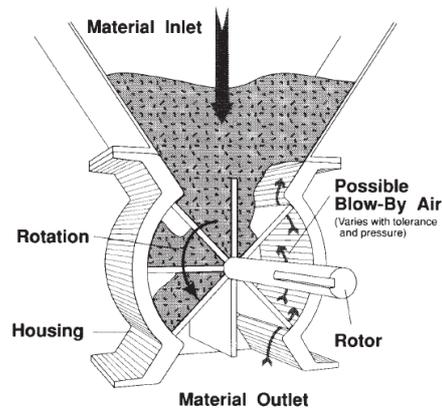
- Descarga de colectores de polvo
- Descarga de ciclones
- Descarga de silos, tolvas, etc.

Alimentación volumétrica a:

- Ensacadoras
- Mezcladoras
- Gusanos

- Tolvas

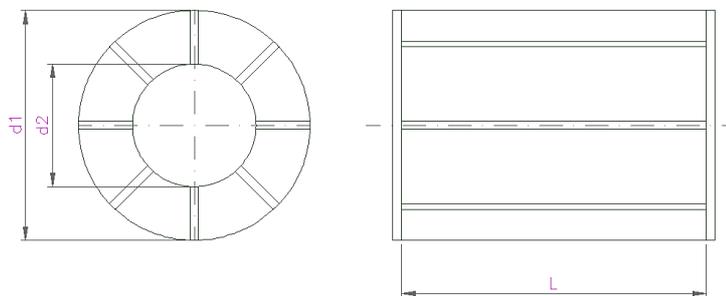
Figura 36. Funcionamiento de las válvulas rotatorias



Fuente: www.macprocessinc.com/pdf/Airlock%20Brochure%20Final.pdf

Para los parámetros que intervienen en el caudal que entrega la válvula rotatoria son los diámetros de las paletas, la longitud, el número de revoluciones y la densidad del material a dosificar, Ver Figura 37.

Figura 37. Dimensiones principales de la válvula rotatoria



Fuente: Autor

Para determinar el caudal proporcionado por la válvula rotatoria se tiene:

$$Q_r = 900 * \pi * (d_1^2 - d_2^2) * L * n * \rho_s \quad (65)$$

Donde:

Q_r : Caudal proporcionado por la válvula rotatoria. [kg/h]

d_1 : Diámetro mayor del rotor de la válvula rotatoria, [m].

d_2 : Diámetro menor del rotor de la válvula rotatoria, [m].

L: Longitud del Rotor, [m].

n : Número de revoluciones, [rad/s].

ρ_s : Densidad de la partícula transportada, [kg/m³].

2.2.9 Mezcladora. El objetivo de la mezcla es conseguir una uniformidad entre todos los compuestos a mezclar, debido que tienen diferentes características tales como la densidad, tamaño, etc. Logrando así que los animales consuman las cantidades correctas de cada nutriente o compuesto. Un mezclado inadecuado traerá como consecuencia una falta de uniformidad en la distribución de ingredientes importantes, tales como las vitaminas, minerales, aminoácidos, medicamentos, etc. Lo cual afectará negativamente el rendimiento de los animales, en especial en aquellos más jóvenes que consumen cantidades relativamente pequeñas de alimento.

Cada ingrediente, posee propiedades físicas que afectan su capacidad para ser mezclado con otros ingredientes; entre estas podemos mencionar tamaño de partícula, densidad, forma y características de superficie, higroscopicidad, adhesividad y susceptibilidad a cargas electrostáticas. Sin embargo, el tamaño de partícula es el factor que más influye sobre el mezclado uniforme del alimento. Teóricamente si todos los ingredientes tuvieran el mismo tamaño de partícula, sería muy fácil mezclarlos y no ocurriría segregación.

En diversos estudios se ha demostrado que conforme se incrementa el tamaño de las partículas, se requiere más tiempo para obtener un mezclado uniforme (con menos de un 10 % de coeficiente de variación entre muestras); sin embargo, en la práctica es necesario mezclar partículas con un amplio rango de tamaños.

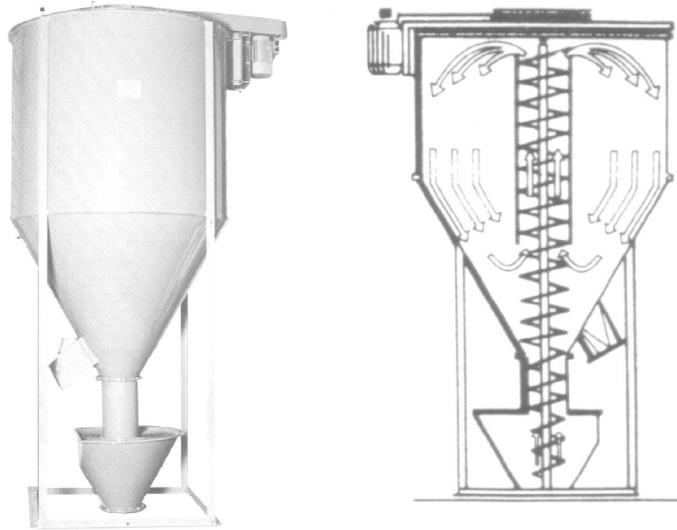
Existen tres tipos básicos de mezcladoras:

- Verticales
- Horizontales (listones o paletas)
- De tambor o tómbola

Mezcladoras Verticales

En algunos lugares son muy populares debido, principalmente, a su bajo costo y a la facilidad de poder adaptarse a equipos móviles de alimentación.

Figura 38. Mezcladora



Fuente. <http://patentados.com/invento/perfeccionamientos-en-maquinas-mezcladoras-de-piensos.html>

Una mezcladora vertical en buenas condiciones mecánicas usualmente tarda de 12 a 15 minutos para producir una mezcla uniforme, este tiempo puede reducirse a 8 ó 10 minutos si se utiliza un sistema de doble gusano. En las mezcladoras verticales solo un pequeño porcentaje (10 %) de alimento es movido a un mismo tiempo. La mayoría del mezclado se lleva a cabo mediante la recirculación de los ingredientes a través de un tubo elevador, y un gusano. Debido a que el alimento fuera del tubo no es movido activamente, el mezclado requiere más tiempo.

2.2.10 Sistemas de transporte neumático. Cuando surge la necesidad de transportar material neumáticamente se debe analizar varios parámetros tanto del material a transportar como del gas transportador, para garantizar que el transporte sea completo, en dependencia del tipo de transporte que se emplee.

Tipos de transporte neumático

Los principales tipos de transporte neumático son:

- Transporte en fase diluida.
- Transporte en fase densa.
- Transporte en fase densa por vacío y baches.
- Transporte por empuje de cartuchos.
- Transporte en fase densa con tubería auxiliar.
- Otros.

Para el análisis solo se enfatizará en el transporte en fase diluida ya es que el que esta aplicado en la Planta Procesadora de Granos actualmente.

Transporte en fase diluida. Es el método de transporte neumático más simple, tanto por presión como por vacío. Los materiales se mueven por vía aérea a través de la línea de transporte. Este tipo de transporte es recomendado para Harinas, cereales, sémola, pulverulentos recortes, polvo en general.

Los parámetros de funcionamiento recomendados por (LINDER, Hermann J, 2013), se muestran en la Tabla13.

Tabla13. Parámetros de funcionamiento en fase diluida

Parámetro	Valor	Unidad
Depresión hasta	0,5	bar(Abs)
Sobrepresión hasta	2,5	bar(Abs)
Granulometría	0,0005 - 20	mm
Velocidad del producto	dic-36	m/s
Velocidad del aire	15 - 45	m/s

Fuente:www.solids.es/fileadmin/content/pdf/Fachartikel__Fallstudien/Articulo_Sistemas_de_transporte_neumatico.pdf

Teoría y diseño de sistemas de transporte neumático en fase diluida.

Para el diseño de los sistemas de transporte neumático en fase diluida se ha tenido varios escritos, en los últimos años se han realizado varios estudios para hacer más fácil el diseño de este tipo de transporte. El artículo propuesto por (BAHIA BLANCA, 2013), basado en el trabajo de Dr. F.A. ZENZ y el Dr. D.F. OTHMER, de "Fluidization and Fluid-ParticleSystems", establecen fórmulas para un fácil y rápido diseño de sistemas de transporte.

Este método de cálculo se puede utilizar para realizar las siguientes funciones:

- Diseño de nuevos sistemas.
- Predicción de la tasa máxima de transferencia de sólidos mediante el suministro de gas existente y línea de transporte.
- Los cálculos de flujo de gas necesario para una velocidad de transferencia de sólidos específica, utilizando una línea de transporte existente.
- Dimensionamiento de la línea de transporte para una velocidad de transferencia de sólidos específica usando el suministro de gas existente.

- La modificación de cualquiera de los anteriores, aumentando el diámetro de la línea a lo largo de la línea de transporte.

Caídas de presión en el transporte neumático.

Para establecer la caída de presión producida en el transporte neumático en fase diluida hacemos uso del software CAE para determinar la caída de presión producida por los ciclones, y de (BAHIA BLANCA, 2013), estudio realizado para diseño de sistemas de transporte neumático en fase diluida.

Para la caída de presión del el sistema de transporte neumático se tiene la ecuación 59 que consiste en seis caídas de presión.

$$\Delta P_T = \Delta P_{acc} + \Delta P_g + \Delta P_s + \Delta P_g + \Delta H_s + \Delta P_{misc} \quad (66)$$

Donde:

ΔP_T : Caída de presión total en el sistema. [Psi]

ΔP_{acc} : Caída de presión debido a la aceleración de los sólidos desde su “reposo”. [Psi]

ΔP_g : Caída de presión del gas debido a las pérdidas por fricción entre el gas y las paredes del ducto. [Psi]

ΔP_s : Caída de presión debido al flujo de los sólidos en el ducto. [Psi]

ΔH_g : Caída de presión debido a la elevación del gas en un ducto vertical. [Psi]

ΔH_s : Caída de presión debido a la elevación de los sólidos en un ducto vertical. [Psi]

ΔP_{misc} : Caída de presión debido a equipos varios. [Psi]

Estos términos están en sistema internacional de unidades debido a que son los que se utilizan comúnmente en los sistemas de transporte neumático, y porque existen constantes dispuestas en el documento considerando esas unidades.

Caída de presión debido a la aceleración de los sólidos desde su “reposo”.

$$\Delta P_{acc} = \frac{W \cdot v_P}{4640} \quad (67)$$

Caída de presión del gas debido a las pérdidas por fricción entre el gas y las paredes del ducto.

$$\Delta P_g = \frac{4f \cdot L \cdot \rho_g \cdot v_g^2}{9266 \cdot D} \quad (68)$$

Caída de presión debido al flujo de los sólidos en el ducto.

$$\Delta P_s = \Delta P_g \cdot K \cdot R \quad (69)$$

Caída de presión debido a la elevación del gas en un ducto vertical.

$$\Delta H_g = \frac{\Delta Z \cdot \rho_g}{144 \cdot g_c} \quad (70)$$

Caída de presión debido a la elevación de los sólidos en un ducto vertical.

$$\Delta H_s = \frac{\Delta Z \cdot W \cdot g}{144 \cdot v_p \cdot g_c} \quad (71)$$

Caída de presión debido a equipos varios.

ΔP_{misc} = Perdida de presión debido al colector de polvo al final de la línea de transporte y otros.

Para resolver las ecuaciones anteriores se deben determinar el valor de términos que intervienen en el cálculo que se establece con las siguientes ecuaciones y factores multiplicadores.

Factor de fricción (f). Primero se debe calcular el número de Reynold's con la ecuación 72.

$$Re = \frac{D \cdot v_g \cdot \rho_g}{\mu_g} \quad (72)$$

Para el factor de fricción se tiene:

$$f = \frac{0,331}{\log \left[\frac{\epsilon}{3,7 \cdot D} + \left(\frac{7}{Re} \right) \right]^2} \quad (73)$$

Factor multiplicador (K). El valor del factor multiplicador (K) no es calculado pero puede ser determinado experimentalmente su valor es diferente para diferentes materiales. Su área de distribución es típicamente 0,4 a 4,0.

Longitud equivalente (L). Para los componentes tales como codos, válvulas, etc., se utiliza una longitud equivalente expresado en una longitud equivalente. Los valores típicos para longitud equivalente, se tiene:

Tabla 14. Longitud equivalente para codos, válvulas, y ductos flexibles

Component:	Equivalent Length
Bends 90° bend, long radius, (10 to 1 radius to diameter ratio):	40, or 20 ft whichever is more
Diverter Valves 45 degree divert angle: 30 degree divert angle:	20 10
Flexible Hoses Stainless steel, with lined interior: Rubber or vinyl hose:	3 x pipe length 5 x pipe length
For bends that are less than 90°, use equivalent length as: $= 40 \cdot \frac{\text{Degree of Bend}}{90}$	

Fuente: <http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/TN%20Agarwal%202005.pdf>

Velocidad de los sólidos (v_p). La velocidad de los sólidos siempre es menor que la velocidad del gas debido a las fuerzas de arrastre entre el gas y los sólidos.

Esta diferencia puede llamarse factor de deslizamiento. El factor del deslizamiento varía generalmente en el rango desde 0,7 a 0,95 en dependencia de la granulometría del material transportado.

Para este caso se considera la ecuación 74.

$$v_p = 0,85 * v_g \quad (74)$$

Relación del flujo de masa entre los sólidos y el gas (R)

Se debe calcular la carga debido a los sólidos:

$$W = \frac{\dot{m}_p}{A} \quad (75)$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (76)$$

R se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\dot{m}_p}{A * v_g * \rho_g} \quad (77)$$

Donde:

D : Diámetro interior del ducto. [ft]

f : Factor de fricción.

g : Aceleración de la gravedad. [ft/s²]

g_c : Constante, [ft-lb/lb-s²].

K : Factor multiplicador para sólidos transportados.

L : Longitud equivalente de tubería. [ft].

R : Relación del flujo másico de sólidos y gas. [lb/lb].

W : Carga debido a los sólidos. [lbs/s.ft²].

Z : Variación de elevación en la línea de transporte. [ft].

ρ_g : Densidad del gas. [lbs/ft³].

v_g : Velocidad de aire, [m/s].

ρ_a : Densidad del aire a 2800 msnm, $\left[\frac{lb}{ft^3}\right]$.

μ_a : Viscosidad dinámica del aire, $\left[\frac{lb-s}{ft^2}\right]$.

T : Temperatura ambiente. [°C].

h : Altura sobre el nivel del mar. [msnm].

ε : Factor de rugosidad de la tubería. [ft]

\dot{m}_p : Es el flujo másico de los sólidos. $\left[\frac{lb}{s}\right]$.

A : Área del ducto. [ft²].

2.2.11 PLC Siemens S7-200. El tipo de controlador lógico programable S7 200 simplifica en un gran porcentaje el trabajo: el micro PLC puede programarse de forma muy fácil, es el último dentro de una gama de controladores lógicos programable, muy utilizado para pequeños sistemas de automatización y control que requieran funciones simples o avanzadas para lógica, HMI (Interfaz Hombre Maquina) o redes.

Comunicación puerto estándar RS-485 con velocidad de transferencia de datos comprendida entre 1,2 y 187,5 kbits/s

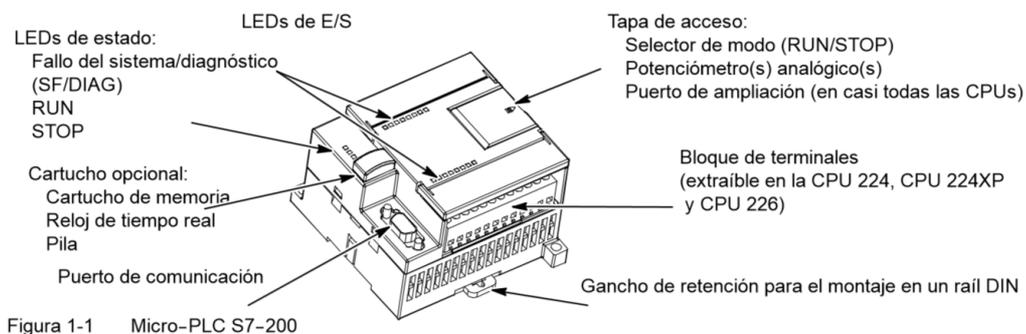
Mundialmente reconocido por:

- Formato compacto
- Extensa funcionalidad básica

- Ampliable modularmente Puerto RS 485 integrado para empleo en bus de sistema
- Excelente respuesta en tiempo real
- Control secuencial y de proceso extremadamente rápido y preciso
- Supervisión sin lagunas de procesos de tiempo crítico gracias a interrupciones temporizadas
- Simple y cómodo sistema de conexión mediante regletas desenchufables en CPU y módulos de ampliación, es decir, cableado independiente

Partes del PLC S7-200

Figura 31. Partes del PLC S7-200



Fuente: www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S7200ManualSistema.pdf

Opciones de comunicación

Siemens ofrece dos opciones de programación para conectar el PC al S7-200, a saber: una conexión directa vía un cable PPI multimaestro, o bien un procesador de comunicaciones (CP) con un cable MPI. El cable de programación PPI multimaestro es el método más usual y más económico de conectar el PC al S7-200. Este cable une el puerto de comunicación del S7-200 con el puerto serie del PC. El cable de programación PPI multimaestro también se puede utilizar para conectar otros dispositivos de comunicación al S7-200.

2.2.12 Potencia:

• Potencia activa

La potencia activa de un sistema trifásico es la suma de las potencias activas de lossubistemas que lo componen. Si se supone equilibrado, la potencia activa buscada es tres veces la de uno de sus sistemas monofásicos.

La potencia útil que se aprovecha de manera efectiva en el eje del motor; es decir, es la potencia que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se convierte en trabajo.

Para corriente alterna monofásica:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (78)$$

Para corriente alterna trifásica.

$$P = \sqrt{3} V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (79)$$

Donde:

P = Potencia útil o activa en watts (W)

V = Voltaje en voltios (V)

I = Intensidad de corriente en amperios (A)

ϕ = Ángulo de desfase entre V e I

- *Potencia reactiva o inductiva*

Es la encargada de generar el campo magnético que requieren para su funcionamiento los equipos inductivos como los motores y transformadores. La potencia reactiva, no proporciona ningún tipo de trabajo útil.

Para corriente alterna monofásica:

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \quad (80)$$

Para corriente alterna trifásica:

$$Q = \sqrt{3} V \cdot I \cdot \sin \phi \quad (81)$$

Donde: Q = potencia reactiva en volta amperios reactivos (VAR)

- *Potencia aparente o total*

Se define potencia aparente, al ser el sistema equilibrado

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (82)$$

Es el producto $V \cdot I$. Esta potencia, es la que realmente suministra una planta eléctrica cuando se encuentra funcionando sin ningún tipo de carga conectada.

Para corriente alterna monofásica:

$$S = V \cdot I \quad (83)$$

Para corriente alterna trifásica:

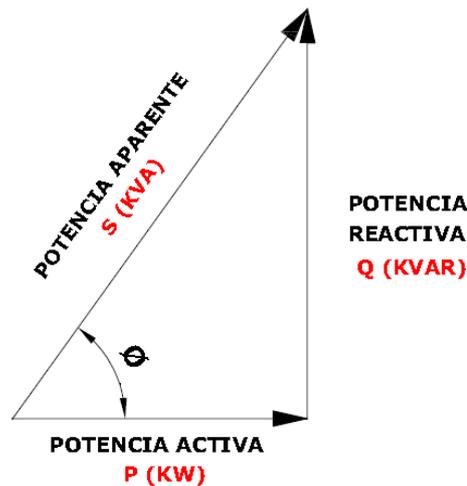
$$S = \sqrt{3} V \cdot I \quad (84)$$

Donde:

S = potencia aparente en volt amperios (VA)

Es la representación geométrica de las potencias activa, reactiva y aparente.

Figura 40. Triangulo de potencias



Fuente: FONSECA Byron. Repotenciación, construcción, montaje y pruebas de una planta de balanceado de la comunidad valle del Anzú provincia del Pastaza. 2009
Factor de potencias

Es la relación entre la potencia activa con respecto a la potencia aparente. El factor de potencia es un término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se convierte en trabajo.

Puede tomar valores entre 0 y 1, siendo aconsejable que en una instalación eléctrica el factor de potencia sea alto cercano a 1, ya que este indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo.

$$fp = \frac{P}{S} = \cos\phi \quad (85)$$

Donde: fp = factor de potencia (adimensional)

Potencia útil o activa total

La potencia total nominal útil de la planta de balanceados, es la adición de potencias útiles de los motores de cada máquina.

$$P_{\text{Total}} = \sum_{i=1}^n P_i \quad (86)$$

Potencia reactiva total

La potencia total nominal reactiva útil de la planta de balanceados, es la adición de potencias parciales de los motores de cada máquina.

$$Q_{\text{Total}} = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (87)$$

Potencia aparente

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (88)$$

CAPITULO III

3. MÉTODO DE DISEÑO

En el desarrollo de este proyecto se utilizará la método basado en el modelo de Pahl y Beitz, y la ingeniería del valor, en el que se estructuran etapas de diseño para facilitar el desarrollo del mismo, este método especifica los pasos para conseguir el diseño final al igual que la información necesaria para cada una de las fases.

3.1 Fases de diseño

Las fases de diseño según el modelo de Pahl y Beitz son las siguientes:

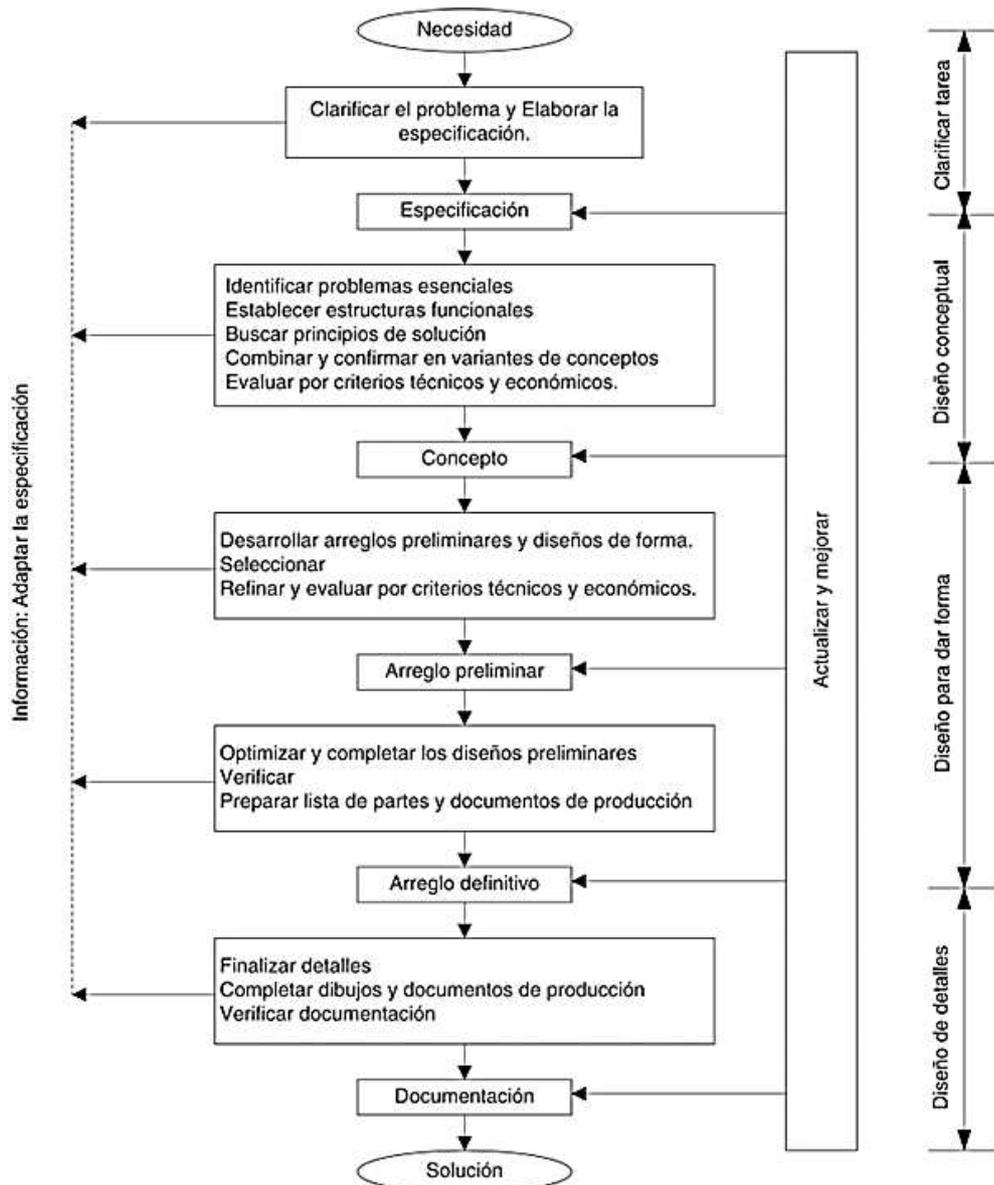
3.1.1 FASE 1. Especificaciones. En esta fase se recopila la información acerca de los requerimientos y restricciones que deben incorporarse en el producto.

3.1.2 FASE 2. Diseño conceptual. A se define como la fase del proceso de diseño que toma el planteamiento del problema (especificación de diseño) y genera soluciones amplias en forma de esquemas (conceptos). En esta fase se considera la Ingeniería de valor, para establecer una valoración de las funciones.

3.1.3 FASE 3. Diseño de ingeniería. Se parte del concepto, se desarrolla con mayor detalle y se hacen los cálculos básicos necesarios para asegurar la funcionalidad del sistema para así desarrollar un producto de acuerdo con las consideraciones técnicas, económicas y de producto. En esta etapa se genera un plano de conjunto que explique en su totalidad el funcionamiento del producto, sin hacer descripción de los detalles.

3.1.4 FASE 4. Diseño de detalle. En esta etapa del proceso de diseño se parte de una definición proporcionada por los planos de conjunto y la memoria anexa. El diseño de detalle se expresa a través de un plano, el cual tiene como objetivo precisar y plasmar toda la información necesaria sobre detalles de fabricación del producto. (ISAZA, 2009 p. 14)

Figura 41. Metodología de Phal y Beitz



Fuente: http://www.mpcorporacion.com/magazine/mp26/3_3.html

3.2 Procesos de diseño

3.2.1 Definición del problema. La planta procesadora de grano, no ha contado con un mantenimiento adecuado, ni con un personal técnico especializado, debido a que no cuenta con documentación técnica o manuales de usuario que faciliten su operación, lo cual ha originado un alto grado de deterioro de la planta en zonas específicas de todos los equipos tanto mecánicos como electrónicos debido a que no cumplen las condiciones de servicio apropiadas. El mantenimiento utilizado actualmente para realizar esta labor corresponde a un mal procedimiento que deteriora los equipos.

3.2.2 Declaración de la misión. Establecer un rediseño adecuado para cada equipo de la Planta procesadora de grano en la Facultad de Ciencias Pecuarias – ESPOCH, estableciendo parámetros de diseño de elementos de máquinas con un factor de seguridad confiable, y proporcionar la documentación respectiva para cada equipo que interviene en el proceso de producción de balanceado.

Maximizar. El rendimiento de equipos que se consideran en el análisis de Gestión de Valor lo que conlleva al aumento de producción interviniendo en ciertos equipos del proceso. Maximizar los tiempos de operación de los equipos, considerando parámetros de funcionamiento y sistemas electrónicos.

3.2.3 Mercado primario. En la industria de los alimentos balanceados, las Plantas Procesadoras de granos son el eje agroindustrial principal del sector pecuario, ya que contribuye a la alimentación del sector ganadero debido a que la principal fuente de alimentación proviene de balanceados para los animales esto genera una gran demanda del producto.

3.2.4 Postulados. Eficiente sistema, fácil manejo de equipos, con un índice mínimo de contaminación y bajos tiempos de operación.

3.2.5 Personas interesadas en el producto. El balanceado de emplea para el alimento del sector pecuario, esto conlleva alimentación de distintos tipos de animales, y un gran porcentaje de personas interesadas.

CAPITULO IV

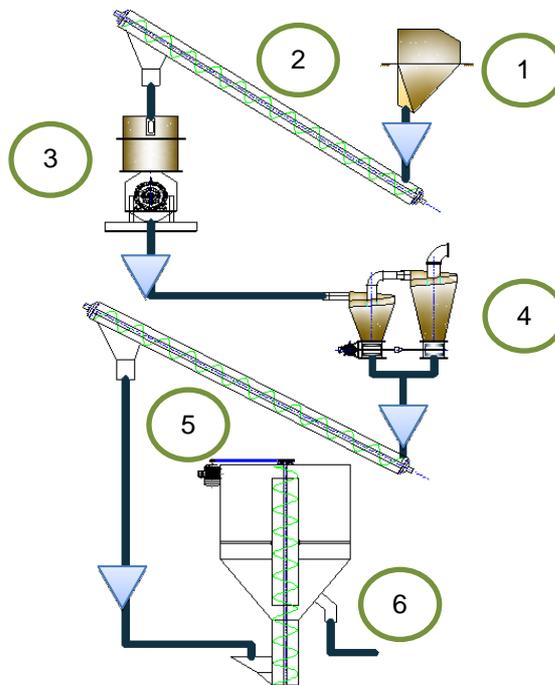
4. ANÁLISIS DE VALOR DE LA PLANTA PROCESADORA DE GRANOS

4.1 Descripción del proceso de producción de balanceado

Planta procesadora de grano. El convenio ESPOCH – ITALIA ha proporcionado unos equipos italianos para el procesamiento de granos en la elaboración de balanceados para consumo Pecuario.

Entre ellos constamos una sola línea de producción sin implementación de mecanismos o disposiciones en bypass de modo que al establecer un análisis VEIN (Áreas; Vitales, Esenciales, Importantes, Normales.) se considera que todos los equipos considerados en la planta procesadora son vitales para la producción de balanceado. El diagrama de la Figura 42 muestra el proceso que sigue una partícula desde su inicio en la tolva de alimentación en la ubicación 1 hasta la etapa de mezclado en 6, siendo las partes principales las siguientes:

Figura 42 Plata de procesamiento de Grano – ESPOCH



Fuente: Autor

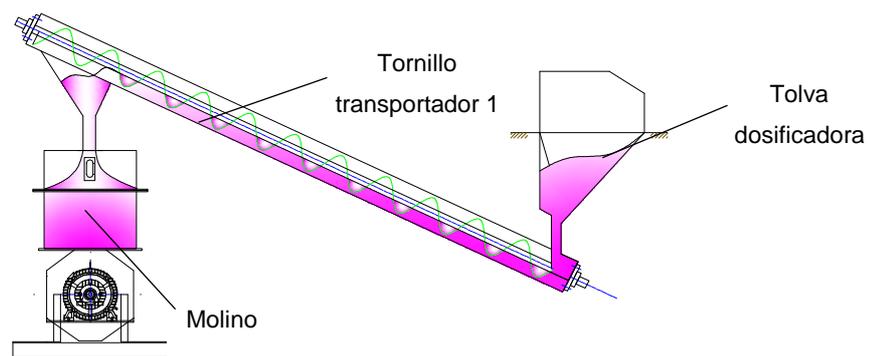
1. Tolva de Dosificación.
2. Tornillo transportador uno.
3. Molino de martillos.
 - a. Sistema de balanza para dosificación.
 - b. Ventilador para transporte neumático.
4. Balanza.
 - a. Ciclones.
 - b. Válvulas rotatorias.
 - c. Tolva de descarga.
5. Tornillo transportador dos.
6. Mezcladora.

4.1.1 Equipos en la línea de producción de balanceado. Tolva Dosificadora. Este elemento se encarga de entregar material de forma directa al tornillo transportador el mismo que cuenta con una compuerta de apertura regulable y consta de una rejilla que no permite el paso a materiales de tamaño considerable que puedan dañar la integridad de los equipos posteriores.

Su ciclo de funcionamiento básicamente es:

- Pre-carga el tornillo transportador que alimenta el molino de martillos.
- Carga la materia prima de forma controlada mediante una compuerta regulable.

Figura 43. Diagrama de proceso de alimentación y molienda



Fuente: Autor

Tornillo transportador. Después de que la tolva dosificadora alimenta el tornillo, este transporta material mediante la rotación de su helicoides forzándolo a subir por el mismo, lo que contribuye con una dosificación constante por consiguiente un caudal constante, en dependencia de la apertura de la compuerta de la tolva dosificadora.

Su ciclo de funcionamiento básicamente es:

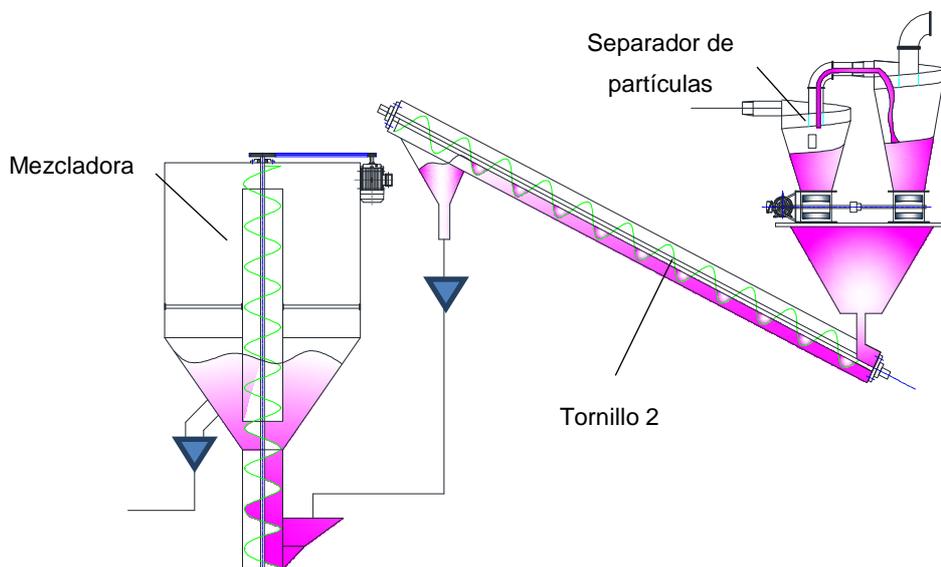
- Pre-carga el molino de martillos de manera continua.
- Caudal uniforme

Molino de Martillos. El molino de martillos se encarga de reducir el tamaño de las partículas a procesar, transformando la energía cinética en energía de ruptura, forzándolo a pasar por un tamiz de diámetro determinado, en el eventual caso que no pueda suplir este diámetro, este seguirá en la cámara de molienda hasta que pueda pasar por el tamiz.

Su ciclo de funcionamiento básicamente es:

- Moler partículas de determinado diámetro o volumen.
- Separador de partículas ferrosas mediante un electroimán.
- Actuación de una válvula actuada por muelle.
- Acoplamiento directo con un ventilador para transporte neumático.

Figura 44. Diagrama de proceso de separación y mezclado



Fuente. Autor

Ventilador. Este equipo está acoplado en el mismo eje que el molino de martillos, y se utiliza para el transporte de material de forma neumática con presión de aire positiva desde el molino hasta el separador de partículas (Ciclón).

Su ciclo de funcionamiento básicamente es:

- Genera depresión en la descarga del molino.

- Transporta neumáticamente el material molino expulsado por el molino de martillos hacia un Ciclón separador de partículas.

Mezcladora. Después de pasar por la etapa de molienda el mezclado es la etapa donde se homogenizan los compuestos a utilizarse en la mezcla para balanceado, logrando así que los animales consuman las cantidades correctas de cada nutriente o compuesto.

Su ciclo de funcionamiento básicamente es:

- Recibir el material que es transportado.
- Mezclar el material uniformemente alrededor de un tiempo determinado.
- Recibir aditamentos y vitaminas para la mezcla.

4.2 Calidad y ciclo de vida del producto

Al considerar la calidad de material con el que están elaborados los equipos de la planta procesadora de grano, se considera que están contruidos con elementos adecuados para una vida útil prolongada, pero con algunas fallas de diseño. El ciclo de vida del producto se encuentra en estado de madurez y obsolescencia en tal virtud se debe realizar un rediseño conceptual aplicando al mismo tiempo ingeniería del valor con el objetivo de revitalizar la planta procesadora.

4.3 Estado técnico actual de los equipos

Se torna indispensable realizar un análisis del grado de desgaste en las diferentes partes de la planta procesadora. Al establecer una inspección de campo a lo largo de todo el proceso, ayuda para la determinación de las condiciones técnicas y funcionales, que se muestran actualmente. Esta inspección ayudara a mejorar los servicios de mantenimiento, y reparación. La eficiencia de un equipo se traduce en la producción realizada; si se cuenta dicha eficiencia, el estado técnico se evalúa como:

BUENO	90 a 100%
REGULAR	75 a 89%
MALO	50 a 74%

4.3.1 Estado técnico del sistema de alimentación tolva – tornillo transportador uno

En la Tabla 15 se detalla su estado técnico como bueno con un 91.11 % de eficiencia en la producción.

Tabla 15. Análisis técnico del sistema de alimentación tolva – tornillos uno

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN TOLVA - TORNILLO UNO			
Marca:		Responsable del mantto:	
Código técnico:		Significado	
Código de activo fijo:		Significado	
Manuales:	Planos:	Repuestos:	
Si: No: X	Si: No: X	Si: No: X	No: X
DATOS TECNICOS			
Capacidad (T/h): Potencia: Diámetro de Canalón: Diámetro de tornillo: Peso: Voltaje: Frecuencia: Fase: Año de fabricación: Serie:			
ESTADO TÉCNICO	MALO	REGULAR	BUENO
Estado del anclaje y carcasa		x	
Funcionamientos de los mecanismos			x
Ubicación del equipo		x	
Sistema eléctrico, potencia y de control			x
Sistema de motoreductores			x
Sistema de seguridad			x
Estado de motores		x	
Consumo de energía			x
Tornillo del transportador		x	
Nivel de vibración		x	
CONCLUSIÓN DEL ESTADO TÉCNICO			
Bueno = 2 5x1 = 5 Regular = 1 4x0,80 = 3,2	Sumatoria $\Sigma = \text{bueno} + \text{regular}$ $\Sigma = 5+3,2 = 8,2$	Índice de estado técnico $IE = (\Sigma/3)*100\%$ $IE = (8,2/9)*100\%$ $IE = 91.11\%$	Estado técnico: BUENO

Fuente: Autor

Siguiendo el proceso de la Tabla 15 se tienen los resultados que se muestran en la Tabla 16, Ver estados técnicos en el Anexo B.

Tabla 16. Estado técnico de los sistemas de la planta procesadora de grano

SISTEMA	ESTADO TÉCNICO
Estado técnico de molienda con transporte neumático	Regular
Estado técnico del sistema de separación de partículas con válvula rotatoria	Bueno
Estado técnico de separación de la tolva y tornillo transportador dos.	Bueno
Estado técnico de separación de la tolva y tornillo transportador dos.	Bueno
Estado técnico del sistema de mezclado.	Bueno
Estado técnico del sistema de control.	Bueno

Fuente: Autor

4.4 Necesidades del operario

Tabla 17. Requerimientos de los equipos

MANIFESTACIÓN DE LOS OPERARIOS		
OPINIÓN OPERARIO		INTERPRETACIÓN DE LA NECESIDAD
PRODUCCIÓN	Que tenga larga vida útil.	Al realizar el mantenimiento preventivo, la vida útil de la planta será de 5 años.
	Que el balanceado sea homogéneo.	Tiempos adecuados en el mezclador y granulometría de grano del sistema de molienda.
	Que el balanceado no pierda propiedades alimenticias.	Los porcentajes de los compuestos son los propuestos por los operadores de la planta procesadora de grano.
	Que la planta sea operada por un número mínimo de personas y sea de fácil manejo.	El proceso de producción de la planta procesadora es controlado mediante un tablero de control.
	Que la planta tenga un corto tiempo de proceso	Al utilizar equipos electrónicos para el control se garantiza tiempo de operación y proceso sean mínimos.

Tabla 17. (Continuación)		
SEGURIDAD	Que no presente riesgo para el operario	Cada equipo contara con sistemas completamente cerrados o asegurados a su bancada.
MANTENIMIENTO	Que la planta tenga poco mantenimiento	En la implantación de un plan de mantenimiento preventivo, garantiza que no existan paradas prolongadas por daños.
	Que los equipos tengan fácil acceso a los componentes mecánicos y electrónicos	Los equipos tendrán puertas de inspección que ayudaran a un mantenimiento rápido en el interior de los equipos.
COSTOS	Que la planta sea económica	El costo de repotenciación es un costo mínimo, al utilizar materiales que se pueden adquirir en el mercado nacional y tecnología desarrollada en nuestro medio.

Fuente: Autor

Las encuestas que se han realizado, establecen las necesidades expuestas que los operarios manifiestan al intervenir en el manejo de los equipos, las mismas que han de ser atendidas en el rediseño de la planta.

4.5 Necesidades del cliente

El cliente requiere que el balanceado producido en la planta procesadora de grano, mantenga un índice nutricional bajo estándares de calidad.

4.6 Matriz de necesidades-medidas

La matriz de necesidades medidas se establece después de establecer las necesidades del operario, las necesidades de las máquinas y estas corresponden a las aspiraciones iniciales que se esperan obtener del producto. El Anexo C define las unidades de media que representan de mejor manera las necesidades planteadas.

CAPITULO V

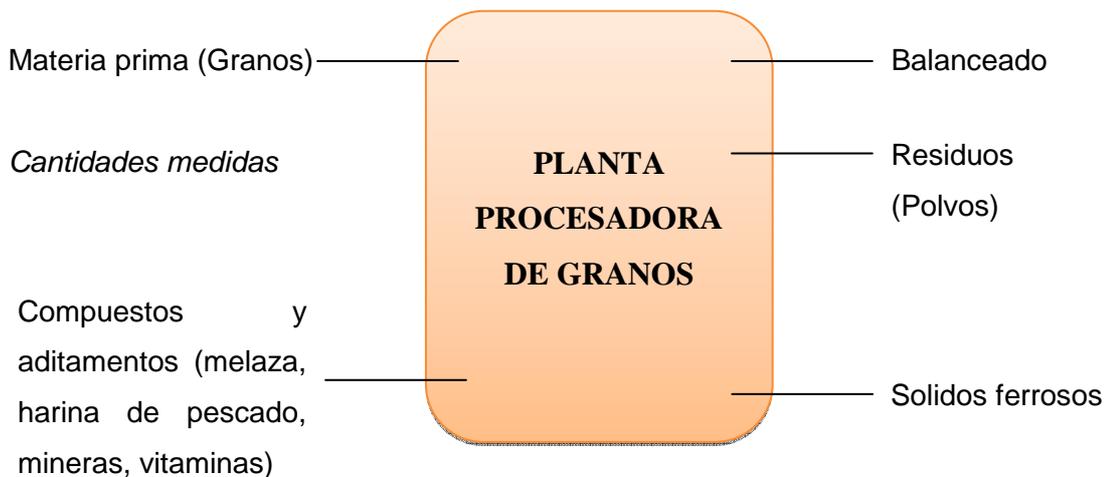
5. DISEÑO CONCEPTUAL

5.1 Diseño conceptual Planta procesadora de grano

5.1.1 Declaración de las funciones para la planta procesadora de grano. En el modelo de caja negra del análisis funcional del sistema se realizó en base a las entradas y salidas de la planta procesadora de granos, cuyos flujos se describen en el esquema de la Figura 45.

Este método se basa en el método de diseño propuesto por Nigel Cross.

Figura 45. Caja negra (Planta de procesamiento de granos)



Fuente: Autor

Los flujos que circulan por el sistema son:

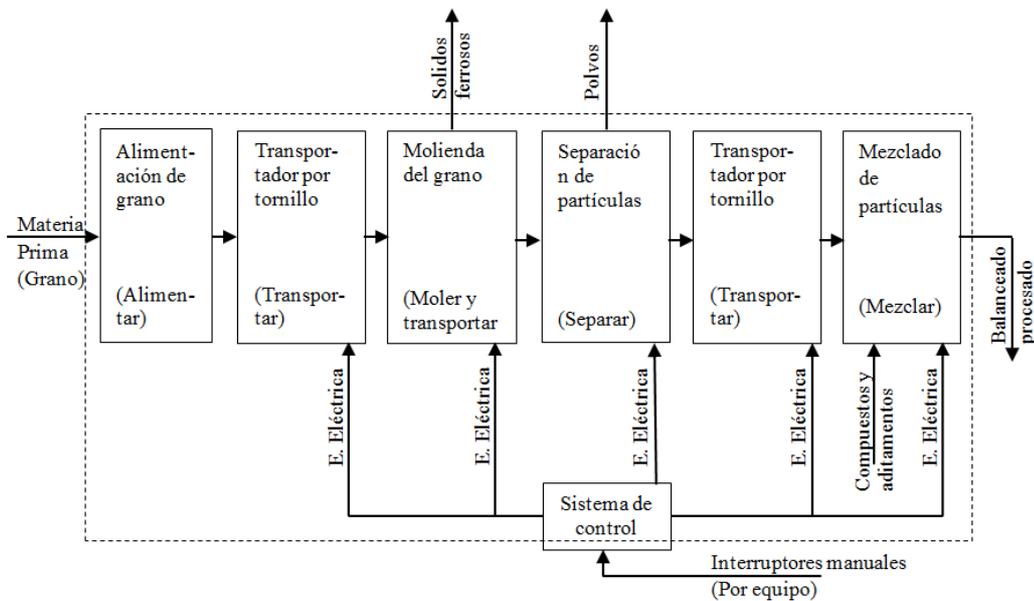
Flujos de entrada: Materia prima (Granos) y compuestos y aditamentos en cantidades medidas.

Flujos de salida: Balanceado, residuos (Polvos), y sólidos ferrosos.

Función principal: Procesamiento de grano ha Balanceado.

5.1.2 Estructura funcional. La estructura funcional se representa a través de un diagrama de bloques que muestre las interacciones dispuestas en la caja negra. La caja negra se hace transparente, de tal manera que se clarifiquen las funciones secundarias y sus interacciones.

Figura 46. Caja transparente (análisis de funciones principales de la planta procesadora de grano actual)



Fuente: Autor

Para detallar la Figura 46 se describen las funciones secundarias como sigue:

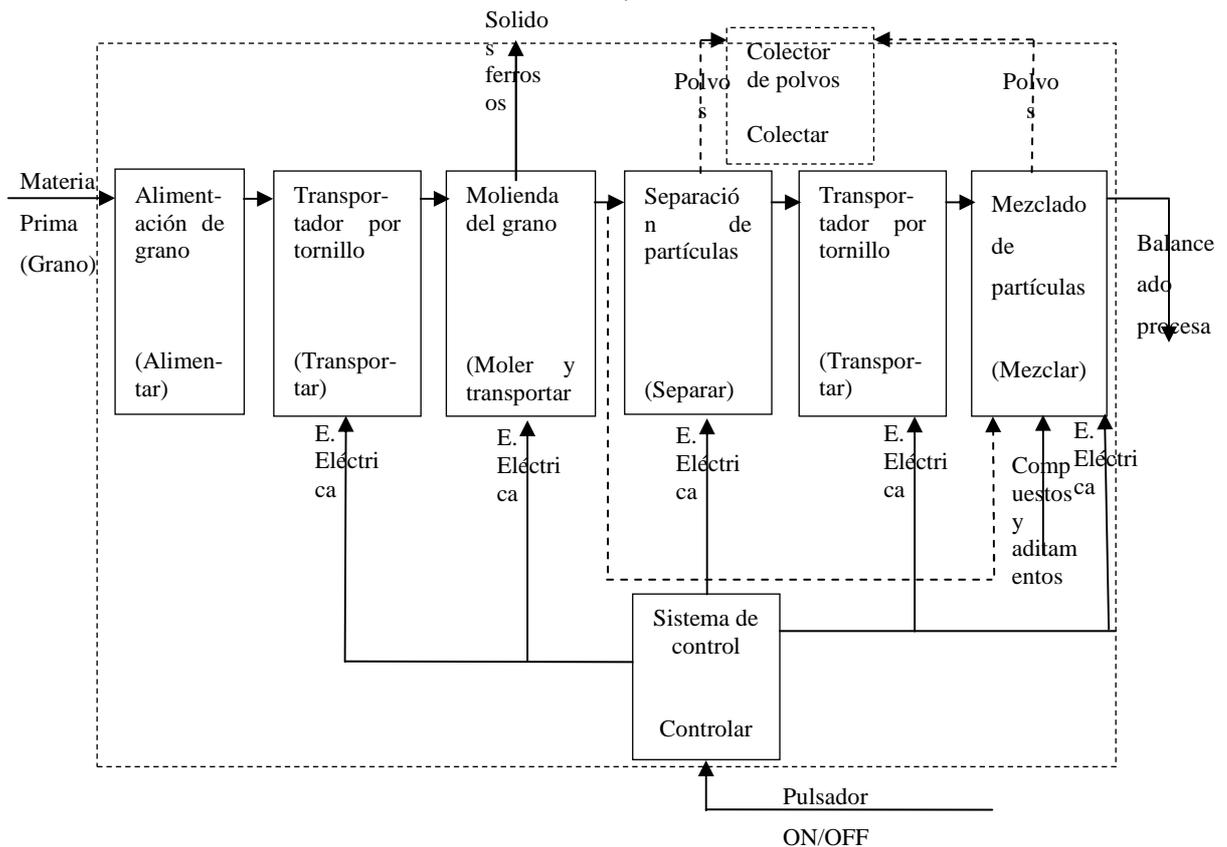
- Alimentar grano.* Esta función le corresponde a la tolva que se encarga de recibir la metra prima (granos) y despachar al tornillo transportador.
- Transportar grano.* Esta función le corresponde al sistema de transporte encargado de llevar los granos de la tolva de alimentación, hasta el molino de martillos.
- Moler y transportar grano.* Esta función se encarga de moler el grano suministrado por el transportador y drenarlo.
- Separar.* Et función se encarga de separar o extraer el polvo fino que se presenta después de la molienda, y al mismo tiempo dosificarlo uniformemente
- Transportar.* Esta función le corresponde al sistema de transporte encargado de llevar los granos molidos y separados del sistema de separación de partículas, hasta la mezcladora
- Mezclar.* Esta función se encarga de mezclar el material molido y separado con varios compuestos y aditamentos.

- g) *Controlar*. Esta función se encarga de controlar la planta procesadora de granos en base a comandos dispuestos por el operario.

Caja transparente proyectada

Para establecer el desarrollo del proyecto de rediseño de la Planta procesadora de grano el cual se inicia con la caja transparente de la Figura 47, se tiene que en base al análisis de la aplicación de las necesidades específicas a suplir, dispuesta en la matriz de necesidades del Anexo C, se obtiene una caja transparente proyectada en el que se consideraran ciertos parámetros como soluciones generales, después de esto se describen funciones auxiliares, por ejemplo la colección de polvos, el controlador de la planta, un sistema dispuesto en bypass. Las funciones son las mismas dispuestas en la caja transparente de la planta procesadora actual, de manera que se enfoca solo en las funciones auxiliares.

Figura 47. Caja transparente (análisis de funciones de la planta procesadora de grano actual)



Fuente: Autor

- a) *Alimentar grano*. Esta función le corresponde a la tolva que se encarga de recibir la materia prima (granos) y despachar al tornillo transportador.

- b) *Transportar grano.* Esta función le corresponde al sistema de transporte encargado de llevar los granos de la tolva de alimentación, hasta el molino de martillos.
- c) *Moler y transportar grano.* Esta función se encarga de moler el grano suministrado por el transportador y drenarlo, de tal forma que pueda bifurcar en una instalación en bypass.
- d) *Separar.* En función se encarga de separar o extraer el polvo fino que se presenta después de la molienda, y al mismo tiempo dosificarlo uniformemente
- e) *Colectar.* Esta función se encarga de filtrar todos los polvos generados en la planta procesadora de grano, tanto de los ciclones, como de la mezcladora.
- f) *Transportar.* Esta función le corresponde al sistema de transporte encargado de llevar los granos molidos y separados del sistema de separación de partículas, hasta la mezcladora
- g) *Mezclar.* Esta función se encarga de mezclar el material molido y separado con varios compuestos y aditamentos.
- h) *Controlar.* Esta función se encarga de controlar la planta procesadora de granos en base a comandos dispuestos por el operario.

5.1.3 *Generación de alternativas.* La generación de alternativas se fundamenta en base a la estructura funcional determinada anteriormente, en la que se asigna a cada función, diferentes alternativas de solución a lo que se le denomina matiz morfológica (Anexo C).

5.1.4 *Método de evaluación de soluciones.* Después de establecida la matriz morfológica se procede a evaluar las alternativas en el que se fundamente para la toma de decisiones. Ponderando distintos aspectos del sistema en base a criterios de valor.

Para evaluar las alternativas de solución, se utiliza el *Método original corregido de criterios ponderados*. (ROMEVA, 2002, págs. 59-61)

En este método se establece que sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos. Se basa en unas tablas donde cada criterio (o solución, para un determinado criterio) se confronta con s restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes:

- 1 Si el criterio (o solución) de las filas es superior que el de las columnas.
- 0 Si el criterio (o solución) de las filas es inferior que el de las columnas.
- 0,5 Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente que el de las columnas.

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución). Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio.

En las alternativas de solución se elige un concepto de referencia para cada función. Según las necesidades de las maquinas, operarios se generan criterios de evaluación, los criterios de evaluación que se implementaran son los que se muestran en el Anexo C.

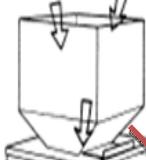
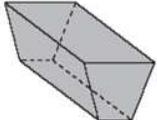
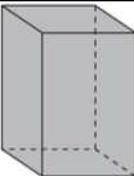
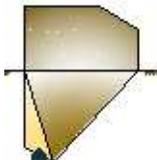
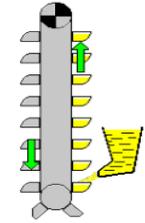
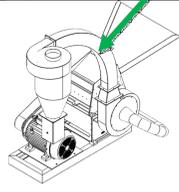
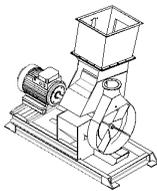
Conceptos solución. En función de las alternativas de solución y la caja transparente proyectada se generan las siguientes rutas de solución:

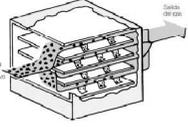
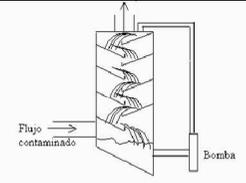
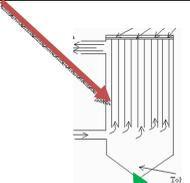
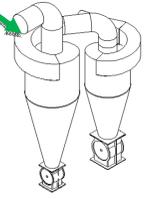
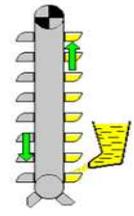
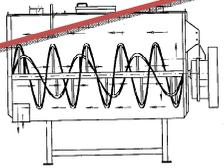
-  Ruta solución A
-  Ruta solución B

Las rutas de solución representan una combinación de alternativas que generan un concepto solución coherente. Del mismo modo, ninguna de las rutas posee la mejor alternativa parcial de cada función, sino diferentes alternativas que hacen al proceso funcional.

En la Tabla 18 se muestran las dos rutas de solución seleccionadas:

Tabla 18. Matriz Morfológica (Planta procesadora de grano)

Funciones principales	Alternativas			
	1	2	3	Actual
1. Alimentar grano	 Tolva rectangular	 Tolva prisma trapezoidal	 Tolva rectangular prisma	 Tolva Prismática irregular.
2. Transportar grano	 Tornillo de paletas inclinadas	 Elevador de cangilones	 Transporte neumático	 Tornillo sinfín
3. Moler y transportar grano	 Molino de martillos (Transporte por gravedad)	 Molino de martillos (Transporte por tornillo)	 Molino de martillos (Transporte neumático) V. RADIAL	 Molino de martillos (Transporte neumático) V. D. Central

4. Separar de polvos el grano	 Extracción por sedimentación	 Extracción por colectores húmedos	 Extracción mediante Filtro de mangas	 Ciclones con V. rotatoria
5. Transportar el grano molido	 Tornillo de paletas inclinadas	 Elevador de cangilones	 Transporte neumático	 Tornillo sinfín
6. Mezclar grano	 Mezcladora inclinada	 Mezcladora Horizontal		 Mezcladora vertical
7. Controlar proceso	Control Automático	Control semiautomático		 Control manual

Fuente: Autor

Descripción de la ruta solución A. Los granos se cargan en la tolva actual el cual dosifica uniformemente al tornillo transportador uno donde posteriormente cae en un molino de martillos con extracción neumática de material el cual dosifica a los ciclones, los mismos que regulan el flujo con una válvula rotatoria, luego se transporta por un tornillo transportador dos a la mezcladora. Considerando que existe una vía en bypass se escogen los polvos tanto de los ciclones como de la mezcladora, y donde se proyecta un sistema semiautomático

Descripción de la ruta solución B. Los granos se cargan en la tolva prismática rectangular, el cual dosifica uniformemente al elevador de cangilones donde posteriormente cae en un molino de martillos con extracción por tornillo de material el cual dosifica a un filtro de mangas que entrega el material uniformemente con una válvula rotatoria, luego se transporta por un tornillo transportador a la mezcladora inclinada. La planta se proyecta con un sistema automatizado.

5.1.5 *Evaluación de la ruta de solución.* Los criterios de evaluación se determinaron en función de las necesidades expresadas por los operarios, las necesidades determinadas en las máquinas para el proyecto de rediseño de la planta procesadora de grano. Ver Tabla 19.

Tabla 19. Criterios de evaluación

CRITERIOS DE EVALUACIÓN
1. Producción
2. Costo
3. Facilidad de operación
4. Regulación y control

Fuente: Autor

5.1.6 *Evaluación del peso específico para cada criterio.* En esta evaluación se considera que:

- 1 Si el criterio (o solución) de las filas es superior que el de las columnas.
- 0 Si el criterio (o solución) de las filas es inferior que el de las columnas.
- 0,5 Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente que el de las columnas.

Tabla 20. Peso específico de criterios para la PPG

(Producción = costo) > Mantenibilidad > seguridad

Criterio	Producción	Mantenibilidad	Costos	Seguridad	$\Sigma+1$	Pondera
Producción		1	1	1	4	0,4
Mantenibilidad	0		0,5	1	2,5	0,25
Costos	0	0,5		1	2,5	0,25
Seguridad	0	0	0		1	0,1
				Suma	10	1

Fuente: Autor

La evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio se realiza mediante las Tablas 21, 22 y 23.

Tabla 21. Evaluación del peso específico del criterio **producción** para la PPG

Solución B > Solución A

Producción	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Pondera
Solución A		0	1	0,3
Solución B	1		2	0,7
		Suma	3	1,0

Fuente: Autor

Tabla 22. Evaluación del peso específico del criterio **mantenibilidad** para la PPG.

Solución A > Solución B

Mantenibilidad	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Pondera
Solución A		1	2	0,7
Solución B	0		1	0,3
		Suma	3	1,0

Fuente: Autor

Tabla 23. Evaluación del peso específico del criterio **costo** para la PPG.

Solución A > Solución B

Costos	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Pondera
Solución A		1	2	0,7
Solución B	0		1	0,3
		Suma	3	1,0

Fuente: Autor

Tabla 24. Evaluación del peso específico del criterio **seguridad** para la PPG.

Solución B > Solución A

Seguridad	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Pondera
Solución A		0	1	0,3
Solución B	1		2	0,7
		Suma	3	1,0

Fuente: Autor

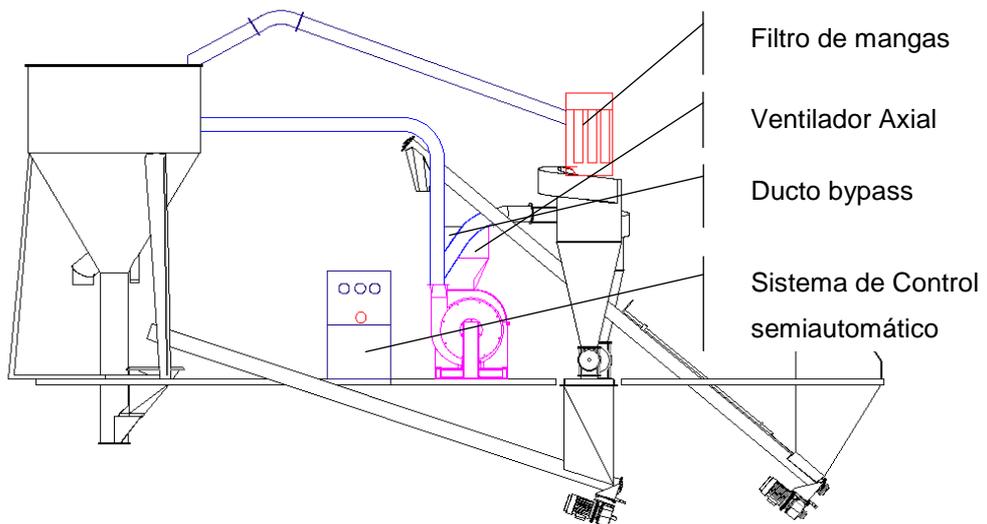
Tabla 25. Tabla de conclusiones – Planta procesadora de grano

Conclusión	Producción	Mantenibilidad	Costos	Seguridad	Σ	Prioridad
Solución A	0,12	0,13	0,23	0,03	0,52	1
Solución B	0,23	0,07	0,12	0,07	0,48	2

Fuente: Autor

Por tanto la solución escogida será la ruta A, de tal manera que la solución conceptual será.

Figura 48. Ruta de solución A



Fuente: Autor

Para el análisis de los equipos dispuestos a rediseño se sigue el mismo procedimiento y considerando los mismo criterios de evaluación.

5.2 Diseño conceptual del molino de martillos

5.2.1 Establecimiento de las funciones:

- Caja negra

- Caja transparente

Están dispuestas en el Anexo D

5.2.2 Criterios de sección (Ver Anexo E)

5.2.3 *Conceptos solución.* En función de las alternativas de solución y la caja transparente del molino se generan las siguientes rutas de solución:

Ruta solución A

Ruta solución B

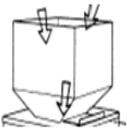
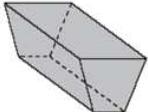
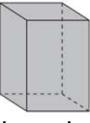
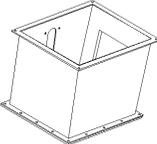
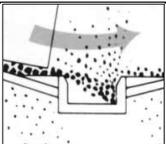
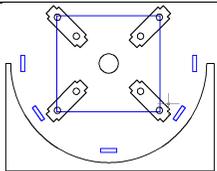
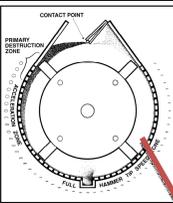
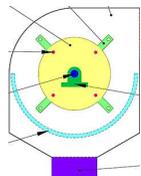
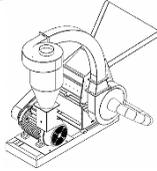
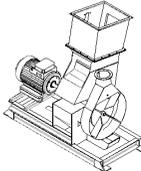
Las rutas de solución representan una combinación de alternativas que generan un concepto solución coherente.

Del mismo modo, ninguna de las rutas posee la mejor alternativa parcial de cada función, sino diferentes alternativas que hacen al proceso funcional. La Tabla 26 muestra las dos rutas de solución posible.

Descripción de la ruta solución A. Los granos se cargan en la tolva actual el cual dosifica uniformemente a la cámara de molienda donde son sometidos a impacto por los martillos, contramartillos, y la cámara de remolido, cayendo así por un tamiz de cambio manual donde se filtra en función de la granulometría, luego se transporta por un ventilador radial acoplado al eje del rotor.

Descripción de la ruta solución B. Los granos se cargan en la tolva rectangular de base reducida el cual dosifica uniformemente a la cámara de molienda donde son sometidos a impacto por los martillos, contramartillos, y la cámara de remolido, cayendo así por un tamiz en forma de gota donde se filtra en función de la granulometría, luego se transporta por un ventilador radial acoplado al eje del rotor.

Tabla 26. Matriz Morfológica (Molino de martillos)

Funciones principales	Alternativas			
	1	2	3	Actual
1. Alimentar grano	 <p>Tolva rectangular –base reducida</p>	 <p>Tolva prisma trapezoidal</p>	 <p>Tolva prisma rectangular</p>	 <p>Tolva rectangular</p>
2. Moler grano	 <p>Contra martillos con cámara de remolido</p>			 <p>Contra martillos</p>
3. Tamizar	 <p>Tamiz de cambio manual</p>	 <p>Tamiz en forma de gota</p>		 <p>Tamiz semicircular</p>
4. Expulsar	 <p>Caída por gravedad</p>	 <p>Caída a tonillo transportador</p>	 <p>(Transporte neumático) V. RADIAL</p>	 <p>(Transporte neumático) V. D. Central</p>

Fuente: Autor

5.2.4 Evaluación de peso específico para los criterios y solución del molino

Tabla 27. Peso específico de criterios para el molino de martillos

Producción > costo > Mantenibilidad > seguridad

Criterio	Producción	Mantenibilidad	Costos	Seguridad	$\Sigma+1$	Pondera
Producción		1	1	1	4	0,4
Mantenibilidad	0		0	1	2	0,2
Costos	0	1		1	3	0,3
Seguridad	0	0	0		1	0,1
				Suma	10	1

Fuente: Autor

Tabla 28. Evaluación del peso específico del criterio **producción** para el MM.

Solución A > Solución B

Producción	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Pondera
Solución A		1	2	0,7
Solución B	0		1	0,3
		Suma	3	1,0

Fuente: Autor

Tabla 29. Evaluación del peso específico del criterio **mantenibilidad** para el MM.

Solución B > Solución A

Mantenibilidad	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Pondera
Solución A		0	1	0,3
Solución B	1		2	0,7
		Suma	3	1,0

Fuente: Autor

Tabla 30. Evaluación del peso específico del criterio **costo** para el MM.

Solución B > Solución A

Costos	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Pondera
Solución A		0	1	0,3
Solución B	1		2	0,7
		Suma	3	1,0

Fuente: Autor

Tabla 31. Evaluación del peso específico del criterio **seguridad** para el MM.

Solución B > Solución A

Seguridad	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Pondera
Solución A		0	1	0,3
Solución B	1		2	0,7
		Suma	3	1,0

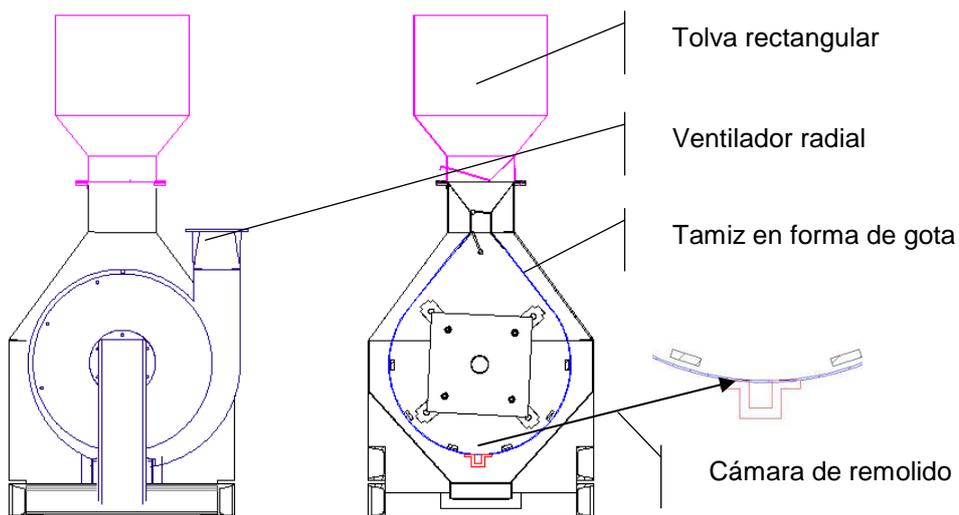
Fuente: Autor

Tabla 32. Tabla de conclusiones – molino de martillos

Conclusión	Producción	Mantenibilidad	Costos	Seguridad	Σ	Prioridad
Solución A	0,27	0,07	0,10	0,03	0,47	2
Solución B	0,13	0,13	0,20	0,07	0,53	1

Fuente: Autor

Figura 49. Ruta de solución B



Fuente: Autor

5.3 Diseño conceptual del filtro de mangas

5.3.1 Establecimiento de las funciones:

- Caja negra
- Caja transparente

Están dispuestas en el Anexo D

5.3.2 Criterios de sección (Anexo E)

5.3.3 Conceptos solución. En función de las alternativas de solución y la caja transparente del molino se generan las siguientes rutas de solución:

-  Ruta solución A
-  Ruta solución B

Las rutas de solución representan una combinación de alternativas que generan un concepto solución coherente.

Del mismo modo, ninguna de las rutas posee la mejor alternativa parcial de cada función, sino diferentes alternativas que hacen al proceso funcional.

En la Tabla 33 se muestran las dos rutas de solución seleccionadas.

Tabla 33. Matriz Morfológica (Filtro de mangas)

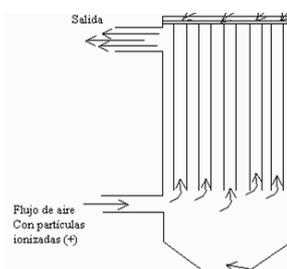
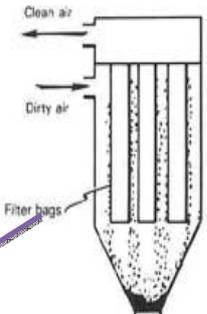
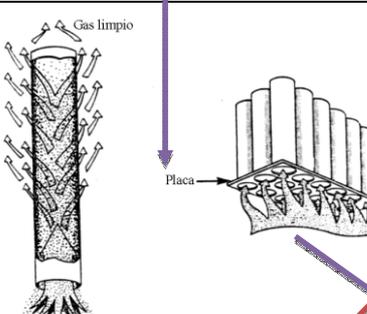
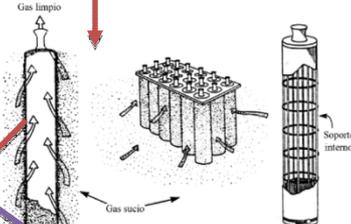
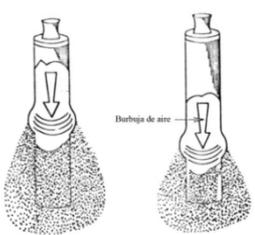
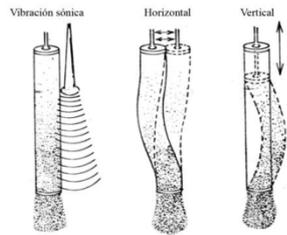
Funciones principales	Alternativas	
	1	2
1. Alimentar	 <p>Salida</p> <p>Flujo de aire Con partículas ionizadas (+)</p> <p>Entrada inferior</p>	 <p>Clean air</p> <p>Dirty air</p> <p>Filter bags</p> <p>Entrada superior</p>
2. Filtrar	 <p>Gas limpio</p> <p>Placa</p> <p>Filtración interior</p>	 <p>Gas limpio</p> <p>Gas sucio</p> <p>Soporte interno</p> <p>Filtración Exterior</p>

Tabla 33. (Continuación)		
3. Agitar	 <p style="text-align: center;">Limpieza con aire a presión</p>	 <p style="text-align: center;">Limpieza por agitación mecánica</p>

Fuente: Autor

Descripción de la ruta solución A. El aire que contiene una concentración de partículas livianas en su masa ingresan a una cámara de filtrado donde pasan al interior de las mangas en la que quedan filtradas, para que después de un ciclo de trabajo se someta a una limpieza por agitación mecánica.

Descripción de la ruta solución B. El aire que contiene una concentración de partículas livianas en su masa ingresa a una cámara de filtrado donde se produce la filtración exteriormente en las mangas, para que después de un ciclo de trabajo se someta a una limpieza por aire a presión.

5.3.4 Evaluación del peso específico para cada criterio para el filtro de mangas

Tabla 34. Peso específico de criterios para el filtro de mangas.

Producción > costo > mantenibilidad > seguridad

Criterio	Producción	Mantenibilidad	Costos	Seguridad	$\Sigma+1$	Pondera
Producción		0,5	0	0	1,5	0,15
Mantenibilidad	0,5		0	0	1,5	0,15
Costos	1	1		1	4	0,4
Seguridad	1	1	0		3	0,3
				Suma	10	1

Fuente: Autor

Tabla 35. Evaluación del peso específico del criterio **producción** para el FM.

Solución B > Solución A

Producción	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Pondera
Solución A		0	1	0,3
Solución B	1		2	0,7
		Suma	3	1,0

Fuente: Autor

Tabla 36. Evaluación del peso específico del criterio **mantenibilidad** para el FM.

Solución B > Solución A

Mantenibilidad	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Pondera
Solución A		0	1	0,3
Solución B	1		2	0,7
		Suma	3	1,0

Fuente: Autor

Tabla 37. Evaluación del peso específico del criterio **costo** para el FM.

Solución A > Solución B

Costos	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Pondera
Solución A		1	2	0,7
Solución B	0		1	0,3
		Suma	3	1,0

Fuente: Autor

Tabla 38. Evaluación del peso específico del criterio **seguridad** para el FM.

Solución A > Solución B

Seguridad	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Pondera
Solución A		1	2	0,7
Solución B	0		1	0,3
		Suma	3	1,0

Fuente: Autor

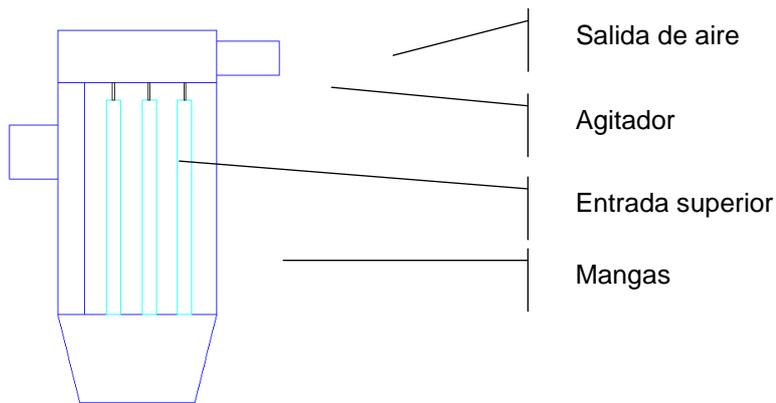
5.3.5 Determinación de tabla de conclusión-Filtro mangas

Tabla 39. Tabla de conclusiones

Conclusión	Producción	Mantenibilidad	Costos	Seguridad	Σ	Prioridad
Solución A	0,05	0,05	0,27	0,20	0,57	1
Solución B	0,10	0,10	0,13	0,10	0,43	2

Fuente: Autor

Figura 50. Ruta de solución A

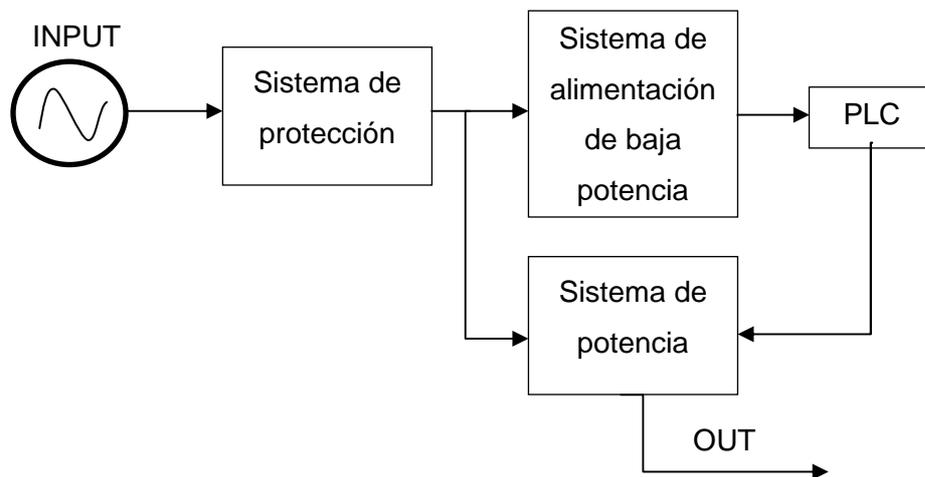


Fuente: Autor

5.4 Sistema electrónico de control

Para establecer el tipo de control de mando de la planta se establece el diagrama de funcionamiento en base a sistemas de control semiautomáticos reutilizando los equipos del sistema de potencia tales como; Contactores, guarda motores transformador. Adicionando un controlador lógico programable (PLC) para controle el proceso en base a tiempos y condiciones.

Figura 51. Diagrama funcional



Fuente: Autor

CAPÍTULO VI

6. DISEÑO DE INGENIERÍA

6.1 Datos de campo

En la provincia de Chimborazo, en la ciudad de Riobamba se encuentra ubicada a 2800 msnm disponiendo de una capacidad de producción de 900 kg/h, ver Anexo B.

Este lugar presenta una presión atmosférica de 746 mb, una temperatura ambiente promedio de 15.4 °C, con una humedad relativa del aire de 50%. La densidad del aire es de 0.846 kg/m³. La viscosidad $1,81 \times 10^{-5}$ [(N*s)/m²]

La área destinada para la planta procesadora de grano es 70 m² destinada para una futura implementación. En la misma que se considera nuevas disposiciones de posición de los equipos.

6.2 Necesidades de uso de los equipos

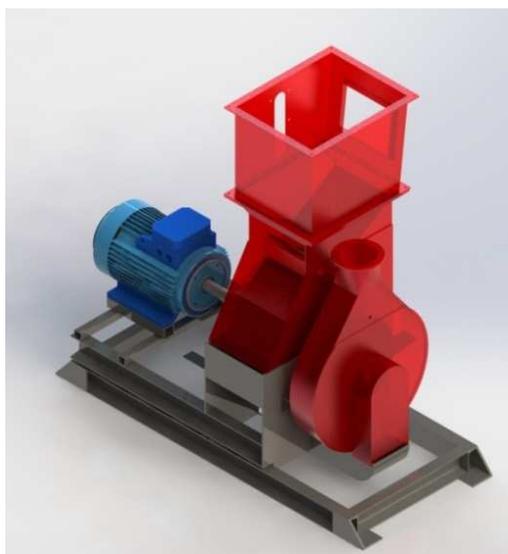
Se establece que todos los equipos de la planta procesadora de grano tendrán un régimen de trabajo de 6 horas diarias por 20 días al mes, dispuesta para una producción de 2000 [kg/h].

6.3 Rediseño del sistema de molienda y transporte neumático

Se considera que cada uno de los elementos que constituye el molino de martillos depende directamente del material a moler o de las condiciones del fabricante. Es importante mencionar que los parámetros de rediseño se basan en la matriz morfológica del molino de martillos, y la ruta de solución establecida en base al cálculo de las tablas de conclusiones.

De tal manera que los parámetros que se intervendrán en el rediseño están dispuestos en color rojo en la Figura 51.

Figura 52. Elementos del molino de martillos dispuestos para rediseño



Fuente: Autor

6.3.1 Ventilador. El ventilador es el elemento dispuesto para transportar el material después de ser molido, en tal virtud se analiza los parámetros de funcionamiento de manera que se puedan establecer los cambios necesarios.

6.3.1.1 Análisis de la velocidad dispuesta por el ventilador. En virtud que el ventilador transporta el material molido de la cámara de molienda neumáticamente a los ciclones con una velocidad de 60 m/s.

Se considera falla de diseño ya que los valores permisibles para transporte neumático este tipo de material radican en el rango de 15 a 45 [m/s] para el gas de transportación (aire), y de 12 a 36 [m/s] para el producto transportado, (LINDER, HERMANN J, 2013)

6.3.1.2 Análisis de la velocidad de saltación. La velocidad de saltación influye directamente en los ciclones de manera que se analizó la velocidad a 60 m/s (medida en campo), utilizando de la ecuación 48, se tiene primero la velocidad equivalente:

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 * g * \mu * (\rho_s - \rho)}{3 * \rho^2}}$$

Donde:

$$g = 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right].$$

$$\mu = 1,81 \times 10^{-5} \left[\frac{N \cdot s}{m^2} \right], \text{ Ver Anexo I}$$

$$\rho_s = 625 \left[\frac{kg}{m^3} \right].$$

$$\rho = 0,846 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Reemplazando valores se tiene:

$$W = 0.58267 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Velocidades de ingreso a los ciclones. Para el cálculo de la velocidad de ingreso al caudal se requiere del caudal suministrado en la boca de descarga del ventilador.

El caudal es igual a 1,06 [m³/s] para una v=60 [m/s] y un diámetro de ingreso igual a 0,150[m]:

Ciclón uno

$$v_{i1} = \frac{Q}{A_1}$$

$$v_{i1} = \frac{Q}{a_1 * b_1}$$

$$v_{i1} = 35,33 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Ciclón dos

$$v_{i2} = \frac{Q}{A_2}$$

$$v_{i2} = \frac{Q}{a_2 * b_2}$$

$$v_{i2} = 26,044 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Donde:

$$a_1 = 0,20[m].$$

$$b_1 = 0,15[m].$$

$$a_2 = 0,22[m].$$

$$b_2 = 0,0,185[m]. \text{ Anexo G}$$

6.3.1.3 Para la velocidad de saltación. Velocidad de saltación para el ciclón uno a la entrada del aire. Se utiliza la ecuación 49.

$$v_s = \frac{4,913 * W * K_b^{0,4} * D_c^{0,067} * \sqrt[3]{v_i^2}}{\sqrt[3]{1 - K_b}}$$

Análisis para el ciclón uno.

$$v_{s1} = 20,46 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Análisis para el ciclón dos.

$$v_{s2} = 16,7 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Donde:

$$K_{b1} = 0,30.$$

$$K_{b2} = 0,31.$$

Ver Anexo G

6.3.1.4 Análisis de la Relación de velocidades. El análisis establece que la relación de velocidades para ambos ciclones es mayor a 1,35 lo que fundamenta que el material en el fondo del cono del ciclón vuelve a ser resuspendido con el aire lo que reduce la eficiencia y se drena por la salida del ciclón materia prima. En base a que se requiere la presión estática del sistema se realiza el estudio de la caída de presión en el trayecto del ducto y los ciclones.

Ciclón uno

$$\frac{v_{i1}}{v_{s1}} = 1,73 > 1,35$$

Ciclón

dos

$$\frac{v_{i2}}{v_{s2}} = 1,55 > 1,35$$

6.3.1.5 Análisis de caída de presión. El parámetro de diseño para el transporte neumático es la velocidad establecida en $v_g = 35 \left[\frac{m}{s} \right]$ y un flujo másico de los sólidos de $\dot{m}_p = 2200 \left[\frac{kg}{h} \right] = 1,3475 \left[\frac{lb}{s} \right]$.

Determinación del número de Reynolds, ecuación 72.

$$Re = \frac{D * v_g * \rho_g}{\mu_g}$$

Donde:

$$D = 0,5 [ft].$$

$$v_g = 114,8 \left[\frac{m}{s} \right].$$

$$\rho_g = 0,05392762 \left[\frac{lbs}{ft^3} \right].$$

$$\mu_g = 3,81 \times 10^{-7} \left[\frac{lbs-s}{ft^2} \right].$$

$$Re = 8124528,58$$

Para el factor de fricción se tiene la ecuación 73:

$$f = \frac{0,331}{\log \left[\frac{\varepsilon}{3,7 * D} + \left(\frac{7}{Re} \right) \right]^2}$$

Donde:

ε : 0,00016 [ft], Anexo H

$$f = 0,020092969$$

Factor multiplicador (K). Para nuestro caso se asume K = 1.5

Para determinar la Velocidad de los solidos (v_p) se utiliza la ecuación 74:

$$v_p = 0,85 * v_g$$

$$v_p = 97,58 \left[\frac{ft}{s} \right]$$

Relación del flujo de masa entre los sólidos y el gas (R)

Se debe calcular la carga debido a los sólidos con las ecuaciones 75 y 76:

$$W = \frac{\dot{m}_p}{A}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

$$\dot{m}_p = 1,3475 \left[\frac{lbs}{s} \right].$$

$$A = 0,19635 [ft^2]$$

$$W = 6,86275 \left[\frac{lb}{ft^2 - s} \right]$$

El factor de relación R se puede determinar mediante la ecuación 77:

$$R = \frac{\dot{m}_p}{A * v_g * \rho_g}$$

Donde:

$$v_g = 114,8 \left[\frac{ft}{s} \right].$$

$$\rho_g = 0,05392762 \left[\frac{lbs}{ft^3} \right].$$

$$R = 1,108523$$

Caída de presión debido a la aceleración de los sólidos desde su “reposo” se calculan con la ecuación 67.

$$\Delta P_{acc} = \frac{W \cdot v_p}{4640}$$

Donde:

$$v_p = 97.58 \left[\frac{ft}{s} \right].$$

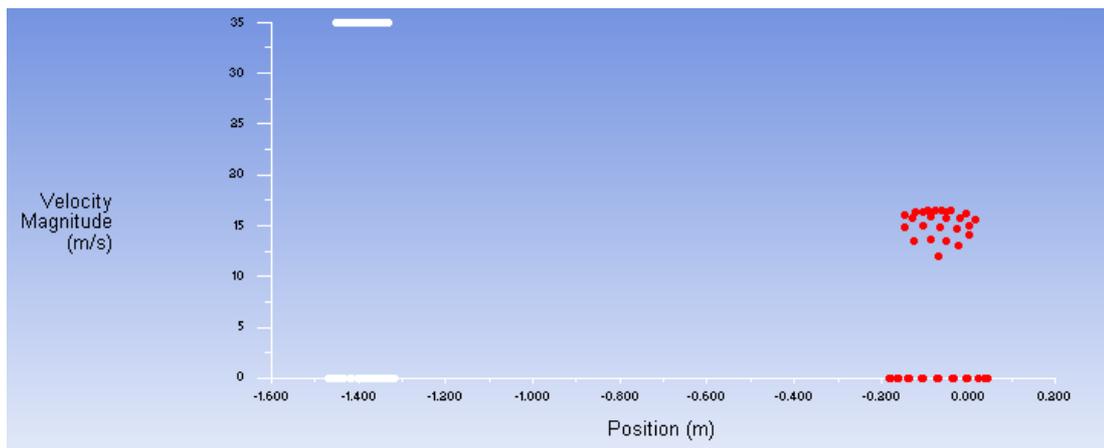
$$W = 6,86275 \left[\frac{lb}{ft^2-s} \right].$$

$$\Delta P_{acc} = 0,169794 [Psi]$$

Caída de presión del gas debido a las pérdidas por fricción entre el gas y las paredes del ducto se calculan mediante un software CAE.

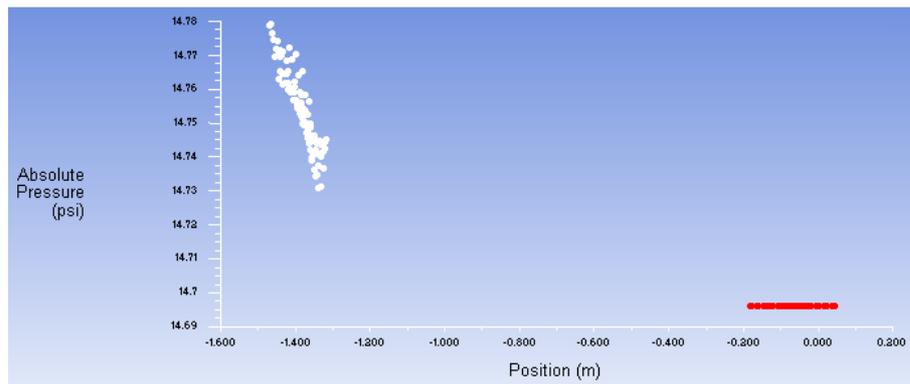
Los datos obtenidos al ingreso y a la descarga de los ciclones se pueden obtener mediante herramientas del software.

Figura 53. Velocidad del aire: (a) ducto de ingreso y (b) ducto de descarga



Fuente: Software CAE

Figura 54. Presión del aire: (a) ducto de ingreso y (b) ducto de descarga



Fuente: Software CAE

En base a las figuras dispuestas para la presión dinámica y la velocidad en el ducto de ingreso y de descarga se tiene:

$$\Delta P_C = P_{DI} - P_{DS} \quad (89)$$

Donde:

ΔP_C : Caída de presión por los ciclones. [Psi]

P_{DI} : Presión del ducto máximo al ingreso. [Psi]

P_{DS} : Presión del ducto máximo a la descarga. [Psi]

Reemplazando valores se tiene:

$$\begin{aligned} \Delta P_C &= P_{DI} - P_{DS} \\ \Delta P_C &= 14.695 [Psi] - 14,755 [Psi] \\ \Delta P_C &= 0,085 [Psi] \end{aligned}$$

La caída de presión producida por los ciclones y el ducto de conexión a una velocidad $v_g = 35 \left[\frac{m}{s} \right] = 114,8 \left[\frac{ft}{s} \right]$ por tanto se tiene:

$$\Delta P_g = 0,085 [Psi]$$

La caída de presión debido al flujo de los sólidos en el ducto, se puede calcular por la ecuación 69.

$$\Delta P_s = \Delta P_g \cdot K \cdot R$$

Donde:

$$R = 1,108523.$$

$$\Delta P_s = 0.141337 [Psi]$$

La caída de presión debido a la elevación del gas en un ducto vertical, se puede calcular por la ecuación 70.

$$\Delta H_g = \frac{\Delta Z \cdot \rho_g}{144 \cdot g_c}$$

Donde:

$Z = 3,28$ [ft]. Obtenido por medición Directa.

$g_c = 32,174$ [ft-lb/lb-s²]

$$\Delta H_g = 3,8178 \times 10^{-5} [\text{Psi}]$$

La caída de presión debido a la elevación de los sólidos en un ducto vertical por la ecuación 71.

$$\Delta H_s = \frac{\Delta Z \cdot W \cdot g}{144 \cdot v_p \cdot g_c}$$

Donde:

$g = 9,8$ $\left[\frac{m}{s^2}\right]$.

$W = 6,86275$ $\left[\frac{lb}{ft^2-s}\right]$.

$v_p = 97,58$ $\left[\frac{ft}{s}\right]$.

$$\Delta H_s = 1,3627 \times 10^{-3} [\text{Psi}]$$

Caída de presión debido a equipos varios.

$\Delta P_{misc} = 0.1$ Psi, [Asumido para filtro al final de la línea]

Para determinar la caída de presión total en el sistema neumático se determina con la ecuación 66.

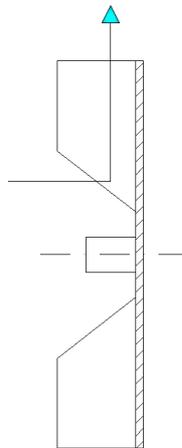
$$\Delta P_T = \Delta P_{acc} + \Delta P_g + \Delta P_s + \Delta P_g + \Delta H_s + \Delta P_{misc}$$

$$\Delta P_T = 0,4975 [\text{Psi}] = 3430,362 [\text{Pa}]$$

6.3.1.6 Diseño del ventilador. Al cambiarse uno de los parámetros de diseño del ventilador, como es la velocidad del flujo de aire se decidió por un rediseño del mismo considerando esos parámetros.

Generalidades. El dimensionamiento de los álabes del ventilador varía de acuerdo al material a transportar, altura, caudal y las consideraciones que el fabricante plantee. Los ventiladores centrífugos provocan el movimiento del gas y genera una presión producida por la rotación del rotor.

Figura 55. Flujo en un rodete centrifugo de ancho constante



Fuente: Autor

6.3.1.7 Parámetros funcionales:

Producción requerida. La capacidad de transporte es el primer parámetro que se requiere para el diseño del ventilador. Este valor (establecido por la Facultad de Ciencias Pecuarias), es de 2000 por hora.

Tomando en cuenta la necesidad de la Facultad se ha pensado para el diseño del equipo una mayor capacidad de producción como factor de seguridad. En el diseño se considerará una capacidad de 2200 por hora para cubrir factores varios, a una velocidad de transporte de 35 [m/s].

Material a transportar. Este parámetro es muy importante ya que interviene en muchos factores de diseño del ventilador.

El material dispuesto es maíz molido, por tanto se tiene una densidad de 625 —

El Cálculo de la densidad de la mezcla se puede obtener en base a las ecuaciones 19, 20, 21 y 22.

Para este análisis se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

: Flujo másico de los sólidos. Que es igual a 2200 [kg/h] = 0,6111 [kg/s]

: Flujo volumétrico de la mezcla. Que es igual a 2226,61 — = 0,618503 —

Densidad del gas - aire. Que es igual a —

ρ_s : Densidad de los sólidos – maíz molido. Que es igual a $625 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

Para calcular la masa de aire partimos del flujo volumétrico con la ecuación 20.

$$\dot{V}_s = \frac{\dot{m}_s}{\rho_s}$$
$$\dot{V}_s = 9,778 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Reemplazando en la ecuación 19 se tiene:

$$\dot{V}_a = \dot{V}_m + \dot{V}_s$$
$$\dot{V}_a = 0,61753 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Para el flujo másico del aire se tiene la ecuación 21:

$$\dot{m}_a = \rho_a * \dot{V}_a$$
$$\dot{m}_a = 0,53344 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Por tanto para la densidad de la mezcla se tiene la ecuación 22

$$\rho_m = \frac{\dot{m}_a + \dot{m}_s}{\dot{V}_m}$$
$$\rho_m = 1,8505 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Donde:

$$\dot{m}_s = 2200 \text{ [kg/h]} = 0,6111 \text{ [kg/s]}.$$

$$\dot{V}_m = 2226,61 \left[\frac{m^3}{h} \right] = 0,618503 \left[\frac{m^3}{s} \right].$$

$$\rho_a = 0,8638376 \left[\frac{kg}{m^3} \right].$$

$$\rho_s = 625 \left[\frac{kg}{m^3} \right].$$

Cálculo de la presión total.

Para el incremento de presión dinámica se tiene la ecuación 24.

$$\Delta P_d = \rho_m * \frac{(v_s^2 - v_e^2)}{2}$$

Donde:

$$\rho_m = 1,8505 \left[\frac{kg}{m^3} \right].$$

$$v_s = 35 \left[\frac{m}{s} \right].$$

$$v_e = 0 \left[\frac{m}{s} \right].$$

$$\Delta P_d = 1133,476 [Pa]$$

La presión total es el resultado de la suma de la presión Estática más la presión dinámica a la salida del ventilador.

Entonces, la presión total sería el resultado de la ecuación 23.

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_e + \Delta P_d$$

Donde:

$$\Delta P_e = \Delta P_T = 3430,362 [Pa]$$

$$\Delta P_{tot} = 4563,838 [Pa]$$

Para el cálculo de la altura efectiva se tiene la ecuación 25.

$$H = \frac{\Delta P_{tot}}{\rho_m * g}$$

$$H = 251,66 [m_{col_aire}]$$

Para el salto energético se tiene por la ecuación 26.

$$Y = \frac{\Delta P_{tot}}{\rho_m}$$

$$Y = 2466,273 \left[\frac{J}{Kg} \right]$$

Para el número específico de revoluciones se tiene la ecuación 27.

$$nq = \frac{n * Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

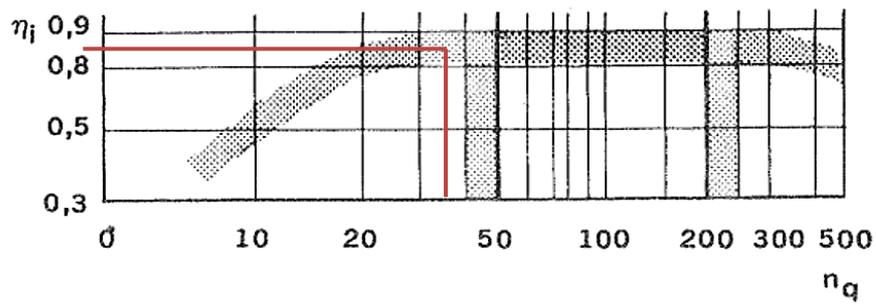
Donde:

$$n = 2900 [r.p.m]$$

$$nq = 36,1$$

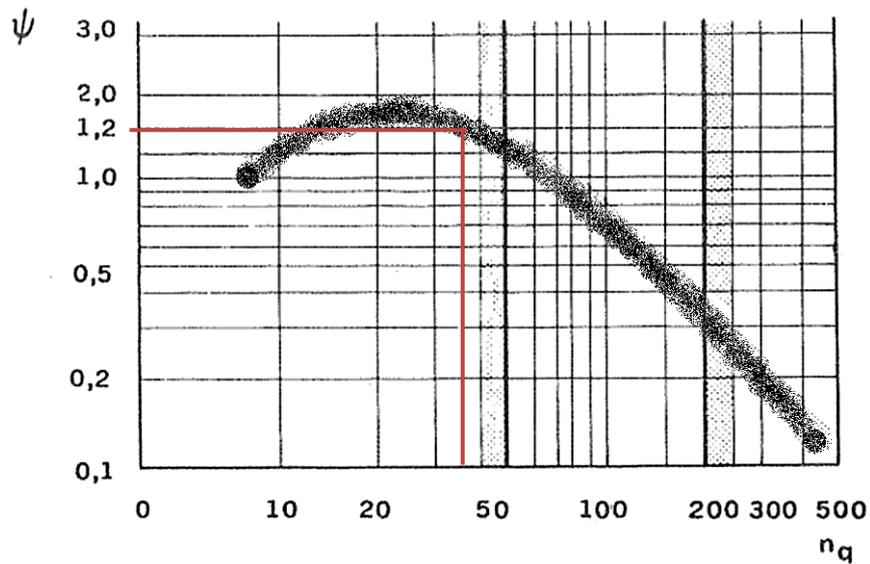
El número específico de revoluciones permite establecer mediante la Figura 56 y 57, el rendimiento interno y el coeficiente de presión, respectivamente.

Figura 56. Rendimiento interno de un ventilador



Fuente: (CLAUDIO Mataix. Turbomaquinas Hidráulicas. 1975, pág. 804)

Figura 57. Coeficiente de presión



Fuente: (CLAUDIO Mataix. Turbomaquinas Hidráulicas. 1975, pág. 804)

Donde se obtiene:

$$\eta_i = 0,88$$

$$\psi = 1,2$$

La velocidad absoluta del rodete a la salida se puede obtener a partir de la ecuación 28.

$$u_2 = \sqrt{\frac{2 * g * H}{\psi}}$$

$$u_2 = 64,113 \left[\frac{m}{s} \right]$$

El diámetro externo del rodete se puede calcular mediante la ecuación 29.

$$d_2 = \frac{60 * u_2}{\pi * n}$$

$$d_2 = 0,42 \text{ [m]}$$

La determinación del coeficiente de velocidad en la boca de aspiración se puede determinar por la ecuación 30.

$$K_{ca} = 0,55 * \left(\frac{nq}{100}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$K_{ca} = 0,3916$$

La determinación de la velocidad de la mezcla en la boca de aspiración se obtiene por la ecuación 31.

$$Ca = K_{ca} * \sqrt{2 * g * H}$$

$$Ca = 27,50 \left[\frac{m}{s}\right]$$

El diámetro de la boca de aspiración se puede obtener por la ecuación 32.

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 * Q}{\eta_v * \pi * Ca}}$$

Donde

$$\eta_v = 0,92$$

$$d_1 = 0,1764 \text{ [m]}$$

Se considera un diámetro de 0,175 [m].

Para el cálculo de la velocidad absoluta del rodete a la entrada se puede obtener por la ecuación 33.

$$u_1 = \frac{u_2}{d_2/d_1}$$

$$u_1 = 26,8 \left[\frac{m}{s}\right]$$

La velocidad absoluta del aire antes de los álabes sin circulación se puede determinar por la ecuación 34.

$$m = 0,5 * \left(\frac{100}{nq}\right)^{\frac{1}{6}}$$

$$m = 0,5925$$

$$C_o = C_{om} = m * C_a$$

$$C_{om} = 16,29 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Para el ancho del rodete en la entrada se calcula por la ecuación 35.

$$b_1 = \frac{Q}{\eta_v * \pi * d_1 * C_{om}}$$

Donde:

$$\eta_v = 0,92$$

$$b_1 = 0,0745[m]$$

Para la determinación del componente meridional de la velocidad del flujo a la entrada se puede calcular por la ecuación 36.

$$c_{1m} = \tau_1 * C_{om}$$

$$\tau_1 = 1,05, \text{ (CLAUDIO , 1975 pág. 806)}$$

$$c_{1m} = 17,1 \left[\frac{m}{s} \right]$$

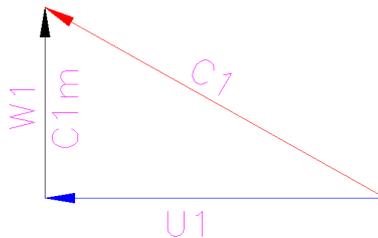
Para la determinación de la velocidad absoluta de la mezcla a la entrada del rodete se utiliza la ecuación 37.

$$C_1 = \sqrt{c_{1m}^2 + u_1^2}$$

$$C_1 = 31,793 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Por lo que el triángulo de velocidades se tiene la Figura 58.

Figura 58. Triangulo de velocidades a la entrada del rodete



Fuente: Autor

La velocidad relativa con respecto al álabe W1 y el ángulo α_1 , se obtiene por relaciones trigonométricas del triángulo de velocidades.

$$W_1 = c_{1m} = 17,1 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left(\frac{W_1}{u_1} \right)$$

$$\alpha_1 = 32,54^\circ$$

Para la determinación de número de álabes de rotor se tiene la ecuación 38, considerando que se trata de un ventilador de salida radial sin curvatura, se tiene la siguiente relación.

$$z = k * \left(\frac{d_2 + d_1}{d_2 - d_1} \right) * \text{sen} \left(\frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \right)$$

Donde:

$$\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ$$

$$k = 3$$

$$z = 7,3$$

Por lo que se aproxima a 8 álabes para el ventilador.

Debido a que el espesor de los álabes radica en el valor de 4 a 10 mm, se considera un espesor de 4 mm, para el diseño propuesto. (CLAUDIO , 1975 pág. 441)

Para el cálculo del rendimiento hidráulico se tiene la ecuación 40.

$$\eta_h = \frac{\eta_i}{\eta_v * \eta_r}$$

Donde:

$$\eta_v = 0,92$$

$$\eta_r = 0,98$$

$$\eta_i = 0,84$$

$$\eta_h = 0,93$$

Determinación del coeficiente de presión a la salida, Ecuación 42.

$$\Psi = 0,6 * (1 + \text{sen}\beta)$$

$$\Psi = 1,2$$

Para la determinación del momento estático de la línea medida de un álabe en su representación meridional se realiza con la ecuación 43.

$$S = \frac{1}{2} * (r_2^2 - r_1^2)$$

$$S = \frac{1}{2} * \left(\frac{d_2^2}{4} - \frac{d_1^2}{4} \right)$$

Donde:

$$d_1 = 0,175 [m]$$

$$d_2 = 0,42 [m]$$

$$S = 0,018371 m^2$$

Reemplazando en la ecuación 41 del coeficiente de trabajo, se tiene:

$$e_z = \frac{1}{1 + \frac{\Psi * d_2^2}{4 * Z * S}}$$

$$e_z = 0,73339$$

Por tanto para el cálculo de la altura efectiva para un número finito de álabes se considera la ecuación 39.

$$H_\infty = \frac{H}{\eta_v * e_z}$$

:

$$H_z = 368,98 m - ca$$

Al imponerse un ancho del álabe a la descarga del ventilador, se tiene:

$$b_2 = 0,125$$

Utilizado en la ecuación 44 para el cálculo de la componente meridional de la velocidad del flujo a la salida del rodete.

$$c_{2m} = \frac{Q}{b_2 * \eta_v * \pi * d_2}$$

$$c_{2m} = 4,06 \left[\frac{m}{s} \right] = W_2$$

Para el cálculo de la velocidad absoluta de la mezcla a la salida del rodete.

$$C_2 = \sqrt{c_{2m}^2 + u_2^2}$$

$$C_2 = 64,24 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Para determinar el grado de reacción se tiene la ecuación 46.

$$R = \frac{(u_2^2 - u_1^2) - (W_1^2 - W_2^2)}{2 * g * H}$$

$$R = 0,63$$

Este resultado significa que se tiene $\Delta P_e = 63\% \Delta P_{tot}$, por tanto se tendrá un 37% de presión dinámica.

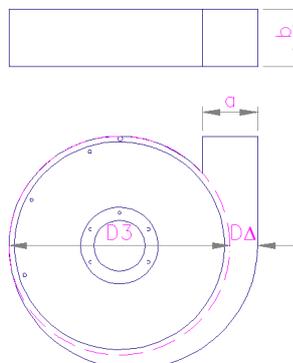
Finalmente la potencia consumida por el ventilador a plena carga es dada por la ecuación 47.

$$P_a = \frac{Q * \Delta P_{tot}}{\eta_v * \eta_h}$$

$$P_a = 3300 [W] = 3,3 [Kw] = 4,4 [Hp]$$

6.3.1.8 Configuración de la voluta. En la Figura 59 se muestra las principales dimensiones a considerar en la conformación de la voluta.

Figura 59. Dimeciones de la voluta



Fuente: autor

Para el diámetro externo de la voluta se tiene la ecuación:

$$D_3 = 1,15 * D_2(90)$$

Siendo:

$$D_2 = 0,42 \text{ [m]}$$

$$D_3 = 0,483 \text{ [m]} = 19,02 \text{ [in}^2\text{]}$$

Para el diámetro en función de ángulo se tiene:

$$D_{\Delta} = \left(\frac{4 * A_{\Delta}}{\pi} \right)^{0,5} \quad (91)$$

$$A_{\Delta} = A * \frac{\Delta}{360} \quad (92)$$

Donde reemplazando la ecuación 79 en la ecuación 78 se tiene:

$$D_{\Delta} = \left(\frac{A * \Delta}{\pi * 90} \right)^{0,5}$$

Donde:

A: Área de la sección de descarga [in²].

Δ : Variación angular [rad].

D_{Δ} : Variación direccional del diámetro D_3 .

Donde para determinar la periferia de la voluta se tiene la ecuación 80:

$$R_{voluta} = R_3 + D_{\Delta}(93)$$

El área se establece en función del ancho de los álabes.

Por tanto se tiene:

$$A = a * b$$

Donde:

$$a = 5,5 \text{ [in].}$$

$$b = 5,5 \text{ [in].}$$

$$A = 30,25 \text{ [in}^2\text{]}$$

Por tanto estableciendo una tabla de datos propuestos para esta ecuación se tiene:

Tabla 40. Diámetro en función del ángulo de la voluta

Δ [rad]	D Δ [in]	Dtotal [in]	Δ [rad]	D Δ [in]	Dtotal [in]
0	0	9,51	190	4,51	14,02
10	1,03	10,54	200	4,63	14,14
20	1,46	10,97	210	4,74	14,25
30	1,79	11,3	220	4,85	14,36
40	2,07	11,58	230	4,96	14,47
50	2,31	11,82	240	5,07	14,58
60	2,53	12,04	250	5,17	14,68
70	2,74	12,25	260	5,27	14,78
80	2,93	12,44	270	5,37	14,88
90	3,1	12,61	280	5,47	14,98
100	3,27	12,78	290	5,57	15,08
110	3,43	12,94	300	5,67	15,18
120	3,58	13,09	310	5,76	15,27
130	3,73	13,24	320	5,85	15,36
140	3,87	13,38	330	5,94	15,45
150	4,01	13,52	340	6,03	15,54
160	4,14	13,65	350	6,12	15,63
170	4,26	13,77	360	6,21	15,72
180	4,39	13,9			

Fuente: Autor

Para los datos obtenidos del diseño se muestran en la Tabla 41.

Tabla 41. Ventilador de álabes rectos

Tipo	Vs (m/s)	Z (Álabes)	D1 (m)	D2 (m)	b1 (m)	b2 (m)	H(mca)	P (kW)
Radial (Álabes rectos)	35	8	0,175	0,42	0,075	0,125	369	3,3

Fuente autor

6.3.2 *Análisis del molino de martillos.* El cálculo del caudal suministrado se realiza a partir de la ecuación 6.

$$P_m = (0.1 \text{ a } 0.15) * i_d * Q$$

Donde se obtiene en primer lugar el grado de desmenuzamiento mediante la ecuación 5.

$$i_d = \frac{D_{max}}{d_{max}}$$

Donde:

$$D_{max} = 11[\text{mm}].$$

$$d_{max} = 0,55[\text{mm}].(\text{Considerado como diámetro promedio})$$

Constante = 0,15

$$i_d = 20$$

Para una potencia de 11 [kW]:

$$Q = \frac{P_m}{(0.1 \text{ a } 0.15) \cdot i_d}$$

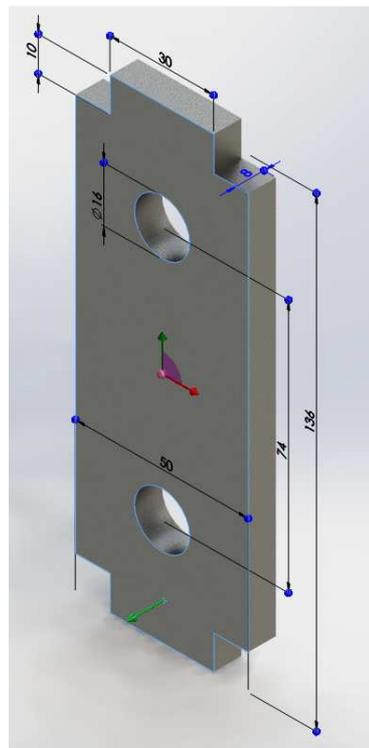
$$Q = 3667 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

Caudal máximo que puede entregar el molino de martillos.

Análisis de los martillos

Geometría del martillo dispuesto actualmente.

Figura 60. Martillo del molino de martillos

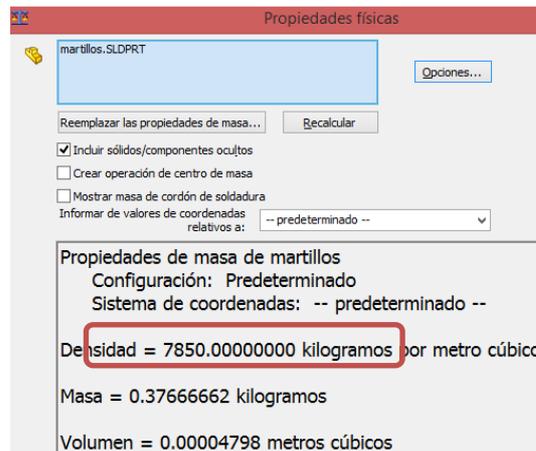


Fuente: Autor

Propiedades físicas del martillo

La masa del martillo se calcula con una herramienta CAE considerando el que el peso específico del acero igual a $7850 [Kg/m^3]$, teniéndose como resultado la Figura 61.

Figura 61. Propiedades físicas del martillo

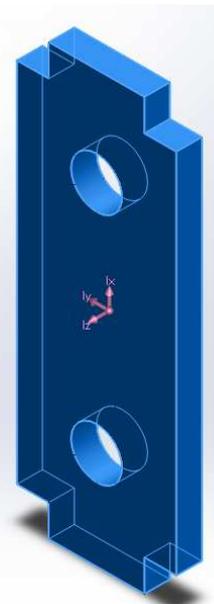
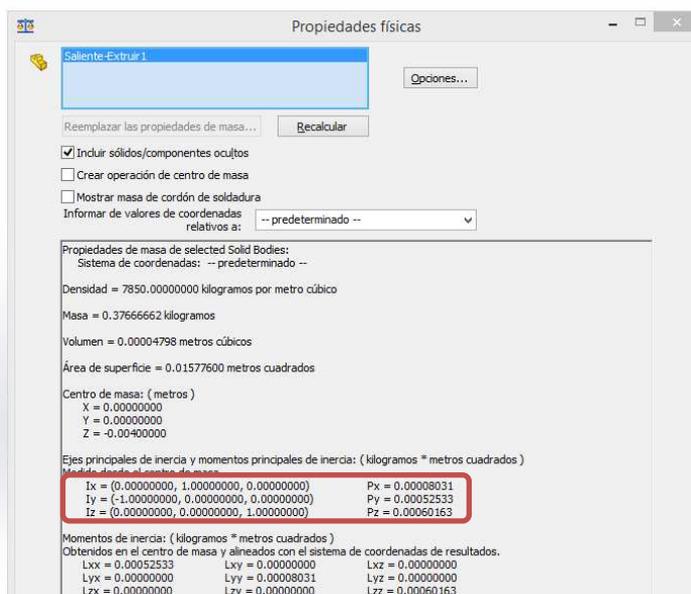


Fuente: Autor

Donde masa es igual a: $m_m = 0,377 Kg$

De igual forma se calcula el momento de inercia del martillo al centro de gravedad con respecto a eje "y" (ver Figura 62).

Figura 62. Momento de inercia de masa del martillo



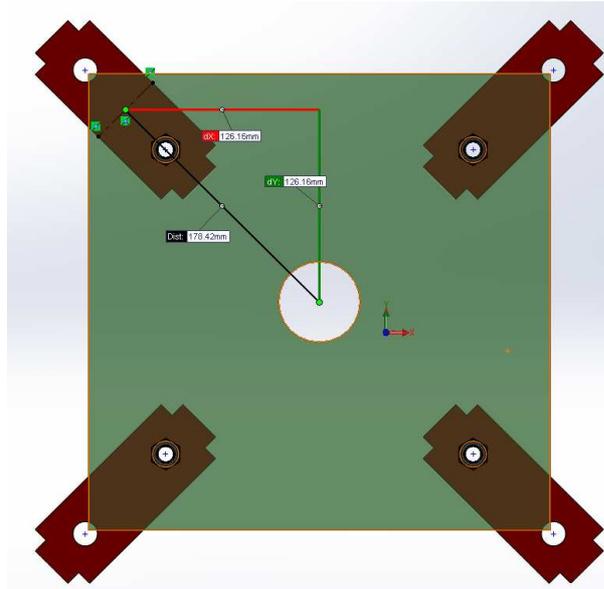
Fuente: Autores

Donde el momento de inercia respecto del eje Z es:

$$I_z = 0.00060163 \text{ [Kg.m}^2\text{]}$$

Para el radio de giro del molino se puede observar en la Figura 63.

Figura 63. Disposición de los martillos del molino en el volante



Fuente: Autor

En la Figura 63 muestra la longitud de $d = 178,42 \text{ mm}$.

Para la determinación del momento de inercia del martillo se lo realiza mediante la ecuación 7:

$$I_o = I_G + m_m * d^2$$

Donde:

$$I_G = 0.00060163 \text{ [Kg.m}^2\text{]}.$$

$$d = 178,42 \text{ [mm]}.$$

$$m_m = 0,377 \text{ [kg]}.$$

$$I_o = 0,0126 \text{ [Kg.m}^2\text{]}$$

Para determinar el torque que transmite el motor se tiene la ecuación 10.

$$T = \frac{P_m}{\omega_2}$$

Donde $n = 2900 [rpm] = 303,69 [rad/s]$, valor dispuesto en el molino de martillos ya que esta acoplado directamente por una junta elástica.

$$T = \frac{11000[W]}{303,69 \left[\frac{rad}{s} \right]}$$
$$T = 36,221 [N.m]$$

Por tanto la ecuación 9, permite determinar la aceleración angular en el martillo.

$$\alpha = \frac{T}{I_o}$$

Donde:

$$I_o = 0,0126 [Kg.m^2].$$

$$\alpha = 2874,68 [rad/s^2]$$

Para la determinación de las aceleraciones normal y tangencial producida por los martillos.

Se tienen las ecuaciones 11 y 12.

$$a^t = \alpha * r_g$$
$$a^n = \omega_2^2 * r_g$$

Donde:

$$\alpha = 2874,68 [rad/s^2].$$

$$n = 2900 [rpm] = 303,69 [rad/s].$$

$$r_g = 0,1784[m].$$

Donde se tiene:

Para la aceleración tangencial:

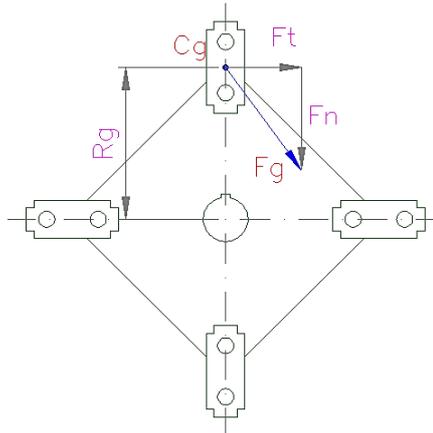
$$a^t = 512,84 [m/s^2]$$

Y para la aceleración normal:

$$a^n = 16453,4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Conocido el comportamiento del sistema, es posible determinar las fuerzas que actúan en el centro de gravedad de los martillos. En la Figura 64, se representan las fuerzas que se actúan sobre el martillo.

Figura 64. Representación de las fuerzas tangencial y normal en el martillo



Fuente: Autor

Para determinar la fuerza tangencial se tiene la ecuación 13 evaluado para una masa de 0,377[kg].

$$F^t = a^t * m_m$$

$$F^t = 193,34 \text{ [N]}$$

De la misma manera para determinar la fuerza normal se tiene la ecuación 14.

$$F^n = a^n * m_m$$

$$F^n = 6202,93 \text{ [N]}$$

La fuerza de inercia resultante en el centro de gravedad se evalúa con la siguiente ecuación:

Por tanto para la fuerza generada se tiene:

$$F_G = \sqrt{(F^n)^2 + (F^t)^2}$$

Donde:

$$F_G = 6205,94 \text{ [N]}$$

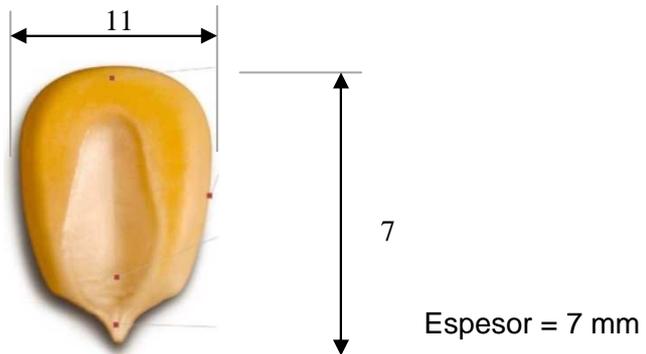
La fuerza determinada se debe comparar con la fuerza necesaria para moler maíz para garantizar el funcionamiento de la máquina.

6.3.2.1 Análisis del comportamiento de la materia prima. Es necesario realizar un ensayo de compresión para determinar la resistencia del material a moler. Aunque para la molienda se utilizan varios compuestos tales como maíz, trigo, etc. Se considera el análisis para maíz, como materia prima para el proceso.

La resistencia que presenta el maíz es un parámetro fundamental del diseño de máquinas la misma que se realiza de la siguiente manera:

Figura 65. Maíz para ensayo de compresión

Equipo utilizado:
Maquina Universal.



Fuente: Autor

Obteniéndose los siguientes valores tabulados en la Tabla 42.

Tabla 42. Comportamiento del maíz a ensayo de compresión

# PROBETA	ÁREA	FUERZA[kg]	RESISTENCIA
1	0,77	138	179,22
2	0,77	165	214,29
3	0,77	130	168,83
4	0,77	21	27,27
5	0,77	240	311,69
6	0,77	124	161,04
7	0,77	240	311,69
8	0,77	80	103,9
9	0,77	160	207,79
10	0,77	160	207,79

Fuente: Autor

Se tiene que el máximo valor es 311,69 $[Kg/cm^2]$, debido a que el maíz no es un sólido rígido ni uniforme y por la lentitud de la prueba, tomando en cuenta estas

características mencionadas, el valor considerado y utilizado de la carga es el 50% (RIOFRÍO, y otros, 1987 pág. 33), por tanto se tiene que $\sigma_c = 155,84 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$.

La longitud de trabajo en cada martillo de impacto es igual a 1/3 de la longitud total. (ESTRELLA, y otros, 2009 pág. 94). Por tanto la longitud de trabajo es $\frac{1}{3}(136mm) = 45,3mm$ y un espesor de 8mm.

El área expuesta del martillo al trabajo es:

$$A_t = 0,8 [cm] * 4,53 [cm] = 3,624 [cm^2]$$

Para determinar la fuerza necesaria para moler el carbón se debe tomar en cuenta la resistencia que presenta el maíz y el área, por tanto se tiene:

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$
$$F_i = \sigma_c * A_i$$

Donde:

$$\sigma_c = 155,84 [Kg/cm^2].$$

$$A_i = 3,624 [cm^2].$$

$$F_i = 564,76 [Kg] = 5534,7 [N]$$

Si se compara el valor de la fuerza necesaria con el valor de la fuerza inercial total generada por el martillo garantizamos el funcionamiento de maquina

$$Fuerza\ requerida \leq Fuerza\ generada$$

$$F_i \leq F_G$$

$$5534,7 [N] \leq 6205,9 [N] \quad \mathbf{OK!!}$$

El centro de percusión de las fuerzas iniciales de martillo se aproxima al centro geométrico del martillo debido a su forma geométrica y la elevada aceleración a_G .

Es conveniente tabular los principales parámetros de diseño de los martillos, los que se muestran en la Tabla 43.

6.3.2.2 Determinación de número de martillos. El número de martillos necesarios primero se determina la velocidad en la punta del martillo mediante la ecuación 18.

$$V = \frac{2 * \pi * R * n}{60}$$

$$V = 75 \left[\frac{m}{s} \right].$$

En consideración que el valor máximo de la velocidad es 40 [m/s], dispuesta en la Tabla 9, se considera el factor para la velocidad máxima por tanto $f = 0,0015$

Por tato considerando la ecuación 17 se tiene:

$$e_m = \frac{P_m * 8 * 100000 * \eta}{G * R^2 * n^3 * f}$$

Donde:

$$P_m = 11 [Kw] = 14,956CV$$

$$\eta = 0,94$$

$$G = 0,377[kg].$$

$$R = 0,2464[m]$$

$$n = 2900[rpm]$$

$$f = 0,0015$$

$$e_m = 13,43 [martillos]$$

El cálculo establece un número menor al número de martillos existentes en la planta procesadora de grano.

Tabla 43. Parámetros de diseño de los martillos

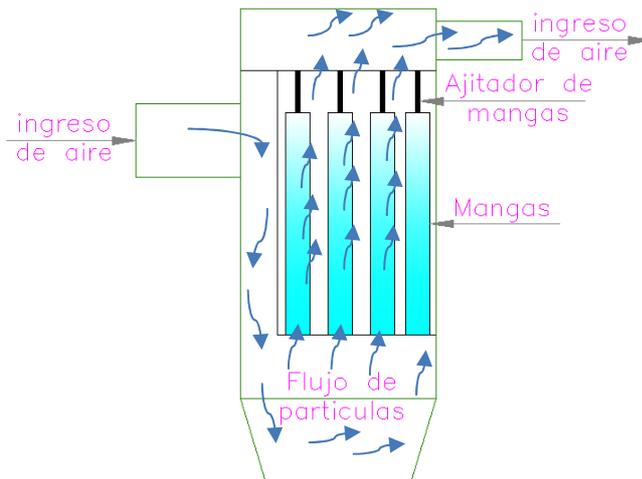
	Masa	Inercia	Aceleración	Velocidad angular	Fuerza tangencial	Fuerza normal	Diámetro del centro de gravedad
	m_m	I_o	α	n	F^t	F^n	C_G
Unidad	[kg]	[kg.m ²]	$\left[\frac{rad}{s^2} \right]$	$\left[\frac{rad}{s} \right]$	[N]	[N]	[m]
Valor	0,377	0,0126	2874,68	303,69	193,34	6202,93	0.357

Fuente: Autor

6.4 Diseño del sistema recolector de polvos

Debido a que el ciclón tiene una eficiencia del 99,9%, lo que indica que el 0,1 % del material, no es separado del aire que lo transporta por tanto es la concentración de polvo a filtrar.

Figura 66. Filtro de mangas



Fuente: Autor

Determinación del flujo de masa de partículas a extraer

Para una eficiencia del ciclón del 99,9%, y un porcentaje de pérdidas de 15% se tiene:

$$\dot{m}_{pf} = \frac{(100 - \eta_2)}{100} * m_p * 1,15 \quad (94)$$

$$\dot{m}_{pf} = \frac{(100 - 99,9)}{100} * 2200 \left[\frac{kg}{h} \right] * 1,15$$

$$\dot{m}_{pf} = 2,53 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Factor de concentración a la entrada del filtro

$$C = \frac{\dot{m}_{mp}}{Q}$$

Flujo de masa promedio para el tiempo de 10 min, por tanto se tiene:

$$2,53 kg \quad 60 \text{ min}$$

$$x \quad 10 \text{ min}$$

$$x = \frac{10 * 2,53}{60}$$

$$x = 0,4217 [kg]$$

Reemplazando en la ecuación de la concentración se tiene

$$C = \frac{0,4217 \left[\frac{kg}{min} \right]}{0,618501 \left[\frac{m^3}{min} \right]}$$

$$C = 0,0113634 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$C = 0,322 \left[\frac{gr}{ft^3} \right]$$

Para la determinación de la velocidad de filtrado se puede determinar mediante la ecuación 58.

$$Vf = 2,878 * A * B * T^{-0,2335} * C^{-0,06021} * (0,7471 + 0,0853 * \ln(D_p))$$

Donde:

$$A = 15$$

$$B = 0,9$$

$$C = 0,322 \left[\frac{gr}{ft^3} \right].$$

$$T = 60^\circ F.$$

$$D_p = 40 \mu m.$$

Por tanto se tiene

$$Vf = 17 \left[\frac{ft}{min} \right]$$

$$Vf = 0,086 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Área neta

Se considera que el caudal suministrado al filtro de mangas es el 75% del caudal total suministrado, por tanto se tiene $830 \left[\frac{ft^3}{min} \right]$, se tiene la ecuación 59.

$$A_n = \frac{Q}{V_f}$$

$$A_n = \frac{830 \left[\frac{ft^3}{min} \right]}{17 \left[\frac{ft}{min} \right]}$$

$$A_n = 48,8 [ft^2]$$

$$A_n = 4,54 [m^2]$$

El factor multiplicador para el área neta $f_n = 1,125$, ver Tabla 12.

Por tanto el área es:

$$A_n = 48,8 [m^2] * 1,125$$

$$A_n = 54,9 [ft^2]$$

Si se considera

$$D_m = 1,5 ft$$

$$L_m = 5 ft$$

El área de la manga se puede determinar por la ecuación 60.

$$A_i = \pi * D_m * L_m + \pi * \left(\frac{D_m}{2}\right)^2$$

$$A_i = 23,6 [ft^2]$$

Cálculo del número de mangas se calcula mediante la ecuación 61.

$$n_m = \frac{A_n}{A_i}$$

$$n_m = \frac{54,9 [ft^2]}{26,6 [ft^2]}$$

$$n_m = 2,3 [unidades]$$

Considerándose dos mangas para el sistema.

Determinación de la caída de presión

$$\Delta P_m = \Delta P_f + \Delta P_p$$

Para la caída de presión dada por la tela se obtiene mediante la ecuación 63.

$$\Delta P_f = K_1 * V_f$$

Donde:

$$K_1 = 45,5 \left[\frac{mmH_2O * s}{m} \right]. \text{ (Anexo K)}$$

$$V_f = 0,086 \left[\frac{m}{s} \right].$$

$$\Delta P_f = 3,9 [mmH_2O]$$

$$\Delta P_f = 38 [Pa]$$

La caída de presión debido a la acumulación de las partículas se puede obtener mediante la ecuación 64.

$$\Delta P_p = K_2 * C * V_f^2 * \theta$$

$$\Delta P_p = 3,871 * 11,36 * 0,086^2 * 300$$

$$\Delta P_p = 97 [mmH_2O]$$

$$\Delta P_p = 951 [Pa]$$

La caída de presión total es igual a:

$$\Delta P_m = 38[\text{Pa}] + 951[\text{Pa}]$$

$$\Delta P_m = 989[\text{Pa}]$$

6.5 Determinación de los parámetros de funcionamiento de los ciclones

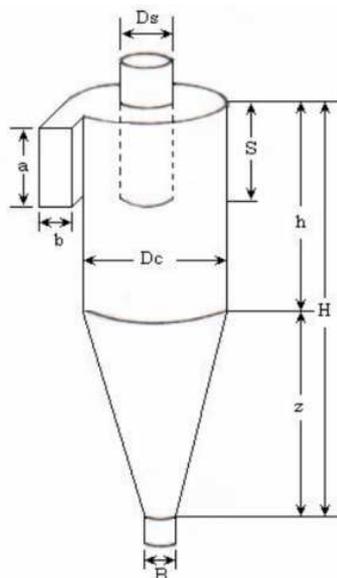
Existen dos ciclones en serie dispuestos en la planta procesadora de grano para el cual determinaremos los parámetros principales de funcionamiento considerando la velocidad de ingreso al ducto de 35 m/s lo que contribuye al aumento de eficiencia del mismo.

Tabla 44. Características de los ciclones de alta eficiencia

Dimensión	Relación dimensional	Stairmand HE	Storch 4	Tengbergen C
Diámetro del ciclón	D_c/D_c	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/D_c	0.5	1.0	0.3
Ancho de entrada	b/D_c	0.2	0.15	0.3
Altura de salida	S/D_c	0.5	0.68	0.43
Diámetro de salida	D_s/D_c	0.5	0.45	0.33
Altura de la parte cilíndrica	h/D_c	1.5	3.5	0.55
Altura de la parte cónica	z/D_c	2.5	2.7	2.2
Altura total del ciclón	H/D_c	4.0	6.2	2.75
Diámetro de salida de polvo	B/D_c	0.375	0.35	0.33
Factor de configuración	G	551.22	229.64	533.12
Número de cabezas de velocidad	NH	6.4	11.8	13.2
Número de vórtices	N	5.5	4.85	5.5

Fuente: dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4051836.pdf

Figura 67. Dimensiones del ciclón



Fuente: www.redalyc.org/articulo.oa?id=75050911. ISSN 1692-3324

Las dimensiones tomadas en campo del primer y segundo ciclón al ingreso y a la descarga del material a separar se muestran en el Anexo G.

Para el cálculo de la velocidad equivalente se tiene la ecuación 48.

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 * g * \mu * (\rho_s - \rho)}{3 * \rho^2}}$$

Donde:

$$\mu = 1,81 \times 10^{-5} \left[\frac{\text{N-s}}{\text{m}^2} \right].$$

$$g = 9,8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right].$$

$$\rho_s = 625 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right].$$

$$\rho = 0,846 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$W = 0.58267 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Velocidades a la entrada de los ciclones.

Al considerar el caudal $Q = 0,618501 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$, para un diámetro de 150 [mm] y una velocidad de 35 [m/s], proporcionado por el ventilador previamente calculado.

Ciclón uno

$$v_{i1} = \frac{Q}{A_1}$$

$$v_{i1} = \frac{Q}{a_1 * b_1}$$

$$v_{i1} = 20,62 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Ciclón dos

$$v_{i2} = \frac{Q}{A_2}$$

$$v_{i2} = \frac{Q}{a_2 * b_2}$$

$$v_{i2} = 15,2 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Para determinar la velocidad de saltación se tiene la ecuación 49.

Ciclón uno

$$v_{s1} = \frac{4,913 * W * Kb_1^{0,4} * D_{c1}^{0,067} * \sqrt[3]{v_{i1}^2}}{\sqrt[3]{1 - Kb_1}}$$

$$v_{s1} = 14,3 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Ciclón dos

$$v_{s2} = \frac{4,913 * W * Kb_2^{0,4} * D_{c2}^{0,067} * \sqrt[3]{v_{i2}^2}}{\sqrt[3]{1 - Kb_2}}$$

$$v_{s2} = 12,02 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Para la relación de velocidades se tiene:

$$\frac{v_{i1}}{v_{s1}} = \frac{20,62 \left[\frac{m}{s} \right]}{14,3 \left[\frac{m}{s} \right]}$$

$$\frac{v_{i1}}{v_{s1}} = 1,44 > 1,35$$

$$\frac{v_{i2}}{v_{s2}} = \frac{15,2 \left[\frac{m}{s} \right]}{12,02 \left[\frac{m}{s} \right]}$$

$$\frac{v_{i2}}{v_{s2}} = 1,26 < 1,35$$

Estos resultados indican que para el ciclón uno, existe la velocidad suficiente como para levantar el material ya suspendido, pero como esta en serie con el ciclón dos el material suspendido en el uno, cae en el ciclón dos y se mantiene suspendido en el fondo del cono debido a que la relación de velocidades menor que 1,35.

Para la determinación del exponente del vórtice se considera la ecuación 50.

Ciclón uno

$$n_1 = 1 - (1 - 0,67 * D_{c1}^{0,14}) \left(\frac{T}{283} \right)^{0,3}$$

Donde:

$$D_{c1} = 0,5.$$

$$T = 15,4^{\circ}\text{C} = 288,4^{\circ}\text{K}$$

$$n_1 = 0,6058$$

Ciclón dos

$$n_2 = 1 - (1 - 0,67 * D_{c2}^{0,14}) \left(\frac{T}{283} \right)^{0,3}$$

Donde:

$$D_{c1} = 0,6.$$

$$T = 15,4^{\circ}\text{C} = 288,4^{\circ}\text{K}$$

$$n_2 = 0,6216$$

Para la determinación de las caídas de presión en los ciclones se tiene la ecuación 52.

Ciclón uno

$$\Delta P_1 = \frac{Nh_1 * \rho * Q^2}{2 * K_{a1}^2 * K_{b1}^2 * D_{c1}^4}$$

Donde:

$$Nh_1 = 6,4.$$

$$\rho = 0,864 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right].$$

$$Q = 0,61850 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right].$$

$$K_{a1} = 0,40.$$

$$K_{b1} = 0,30.$$

$$D_{c1} = 0,5.$$

$$\Delta P_1 = 1175 \text{ [Pa]}$$

Ciclón uno

$$\Delta P_2 = \frac{Nh_2 * \rho_f * Q^2}{2 * K_{a2}^2 * K_{b2}^2 * D_{c2}^4}$$

Donde:

$$Nh_1 = 6,4.$$

$$\rho = 0,864 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right].$$

$$Q = 0,61850 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right].$$

$$K_{a2} = 0,37.$$

$$K_{b2} = 0,31.$$

$$D_{c2} = 0,6. \text{ (Anexo G)}$$

$$\Delta P_2 = 620 \text{ [Pa]}$$

Para determinar el tiempo de relajación se utiliza la ecuación 51.

Ciclón uno

$$T_i = \frac{\rho_p * D_p^2}{18 * \mu}$$

Donde:

$$\rho_p = 625 \left[\frac{kg}{m^3} \right].$$

$$D_p = 1 \times 10^{-3} [m].$$

$$\mu = 1,81 \times 10^{-5} \left[\frac{N*s}{m^2} \right].$$

$$T_i = 1,92 \text{ [s]}$$

La determinación de las eficiencias de los ciclones se realiza en base a 51.

Ciclón uno

$$\eta_1 = 1 - e \left[-2 * \left(\frac{G_1 * T_i * Q * (n_1 + 1)}{D_{c1}^3} \right)^{\frac{0,5}{n_1 + 1}} \right]$$

Donde:

$$G_1 = 551,22.$$

$$n_1 = 0,6058.$$

$$D_{c1} = 0,5 [m].$$

$$T_i = 1,92 [s].$$

$$\eta_1 = 0,999$$

Ciclón dos

$$\eta_1 = 1 - e \left[-2 * \left(\frac{G_2 * T_i * Q * (n_2 + 1)}{D_{c2}^3} \right)^{\frac{0,5}{n_2 + 1}} \right]$$

Donde:

$$G_1 = 551,22.$$

$$n_1 = 0,6216.$$

$$D_{c1} = 0,6 [m].$$

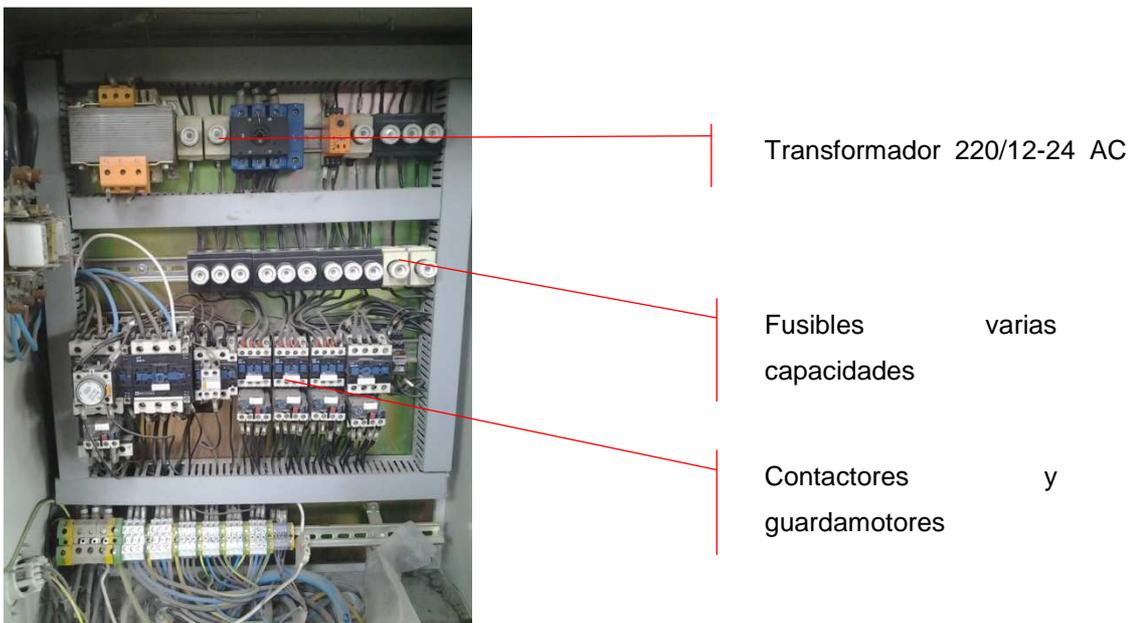
$$T_i = 1,92[s].$$

$$\eta_2 = 0,999$$

6.6 Rediseño del sistema de control

En base que los elementos de potencia tales como: contactores, guarda motores, transformador están dispuesto en buenas condiciones, ver Figura 68, se hace hincapié en un sistema de control con PLC, reutilizando estos equipos.

Figura 68. Elementos eléctricos dispuestos en la planta procesadora de grano



Fuente: autor

6.6.1 Análisis energético de la planta procesadora de grano:

Potencia activa.

a) Molino de martillos

$$P = \sqrt{3}V \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3}(220V) \cdot (48A) \cdot (0.89)$$

$$P_{\text{molino}} = 16,278\text{kW}.$$

b) Mezcladora

$$P = \sqrt{3}V \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3}(220V) \cdot (15.2A) \cdot (0.8)$$

$$P_{\text{mezcladora}} = 4.633\text{kW}$$

c) Motor de la balanza.

$$P = \sqrt{3}V \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3}(220V) \cdot (3.6A) \cdot (0.72)$$

$$P_{\text{balanza}} = 0.987\text{kW}$$

d) Motor del tornillo 1

$$P = \sqrt{3}V \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3}(220V) \cdot (6.4) \cdot (0.75)$$

$$P_{\text{tornillo 1}} = 1.829\text{kW}$$

e) Motor del tornillo 2

$$P = \sqrt{3}V \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3}(220V) \cdot (8A) \cdot (0.75)$$

$$P_{\text{tornillo 2}} = 2,286\text{kW}$$

Potencia útil o activa total

La potencia total nominal útil de la planta de balanceados, es la adición de potencias útiles de los motores de cada máquina.

$$P_{\text{Total}} = P_{\text{molino}} + P_{\text{mezcladora}} + P_{\text{balanza}} + P_{\text{tornillo 1}} + P_{\text{tornillo 2}}$$

$$P_{\text{Total}} = 26,015 \text{ kW}$$

Potencia reactiva o inductiva

a) Molino de martillos

$$Q = \sqrt{3}V \cdot I \cdot \sin \phi$$

$$Q = \sqrt{3}(220V) \cdot (48A) \cdot (0.456)$$

$$Q_{\text{molino}} = 16.2785 \text{ KVAR}$$

b) Mezcladora

$$Q = \sqrt{3}V \cdot I \cdot \sin \phi$$

—

c) Motor de la balanza.

—

—

d) Motor del tornillo 1

—

—

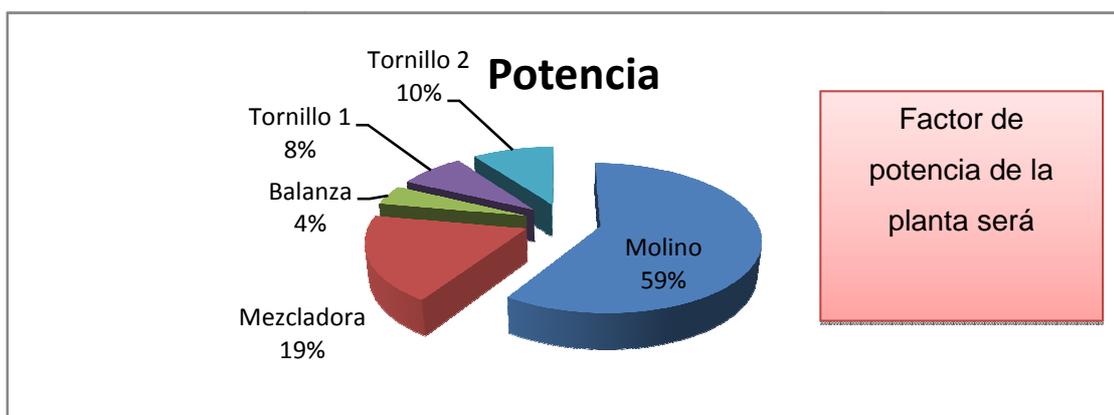
e) Motor del tornillo 2

—

—

Donde la potencia reactiva se tiene:

Figura 69: Potencia aparente de la planta procesadora de grano



Fuente: Autor

6.6.2 Sistema de control. Al reutilizar los contactores y guardamotores, se utiliza el PLC SIEMENS S7-200 como el controlador principal, al igual que 2 sensores de nivel POINTEK CLS100 SIEMENS, para el molino de martillos y la mezcladora. Los demás componentes se encuentran en los planos eléctricos.

En el rediseño se considera el ducto en bypass, anulando el funcionamiento de la válvula rotatoria y el tornillo transportador 2, enviando el material directamente a la mezcladora este proceso se realiza mediante un selector de circuito y un final de carrera (que verifique el sentido de flujo) de tal manera que el funcionamiento será el siguiente:

Vía uno- Separado (Ciclo: Tornillo 1 → Molino de martillos → Válvula rotatoria → Tornillo 2 → Mezcladora)

Esta secuencia inicia seleccionando el circuito *Separado* que arranca del molino de martillos (tiempo =15s), posteriormente se ponen en marcha el tornillo 1, el tornillo 2, la válvula rotatoria, y la Mezcladora. Con las condicionales siguientes:

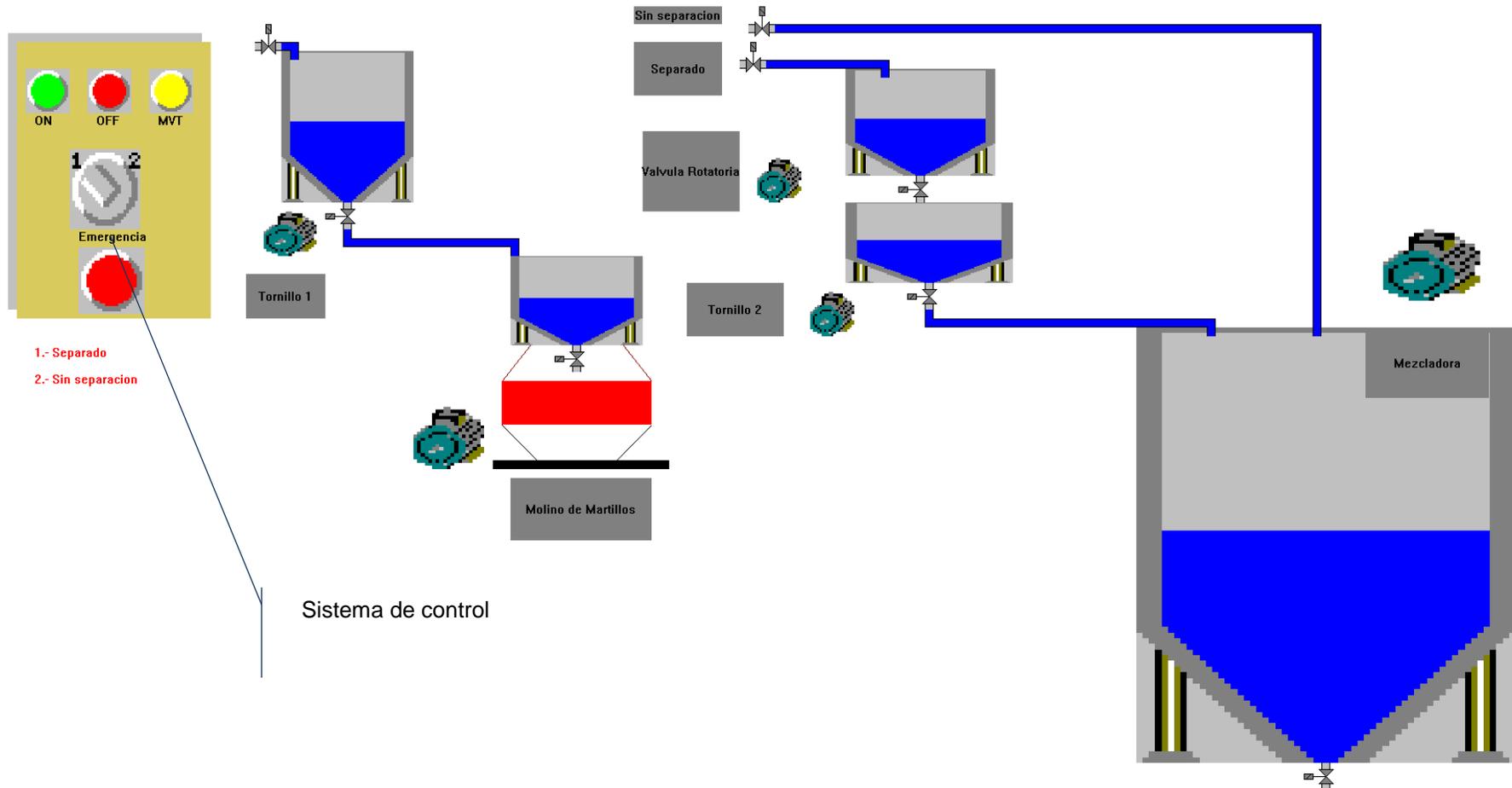
- El tornillo transportador 1 funciona luego del molino arranque.
- La válvula rotatoria funciona siempre y cuando esté en funcionamiento el tornillo 2 para drenar el material.
- Al actuar el sensor de nivel del molino, el tornillo transportador 1 deja de funcionar por un periodo de tiempo de 5s.
- Al actuar el sensor de nivel de la mezcladora, el tornillo transportador 1 deja de funcionar por un periodo de tiempo de 15s (Tiempo de drenado de material en los ductos)

Vía dos- Sin separación (Ciclo: Tornillo 1 → Molino de martillos → Mezcladora)

Esta secuencia inicia seleccionando el circuito *Sin Separación* que arranca molino de martillos (tiempo =15s), posteriormente se ponen en marcha el tornillo 1 y la Mezcladora. Con las condicionales siguientes:

- El tornillo transportador 1 funciona luego del arranque del molino.
- Luego de actuar el molino, transportador 1 inicia se pone en marcha la mezcladora.
- Al actuar el sensor de nivel del molino, el tornillo transportador 1 deja de funcionar por un periodo de tiempo de 5s, de la misma manera para la mezcladora con la variante del tiempo igual a 10 s.

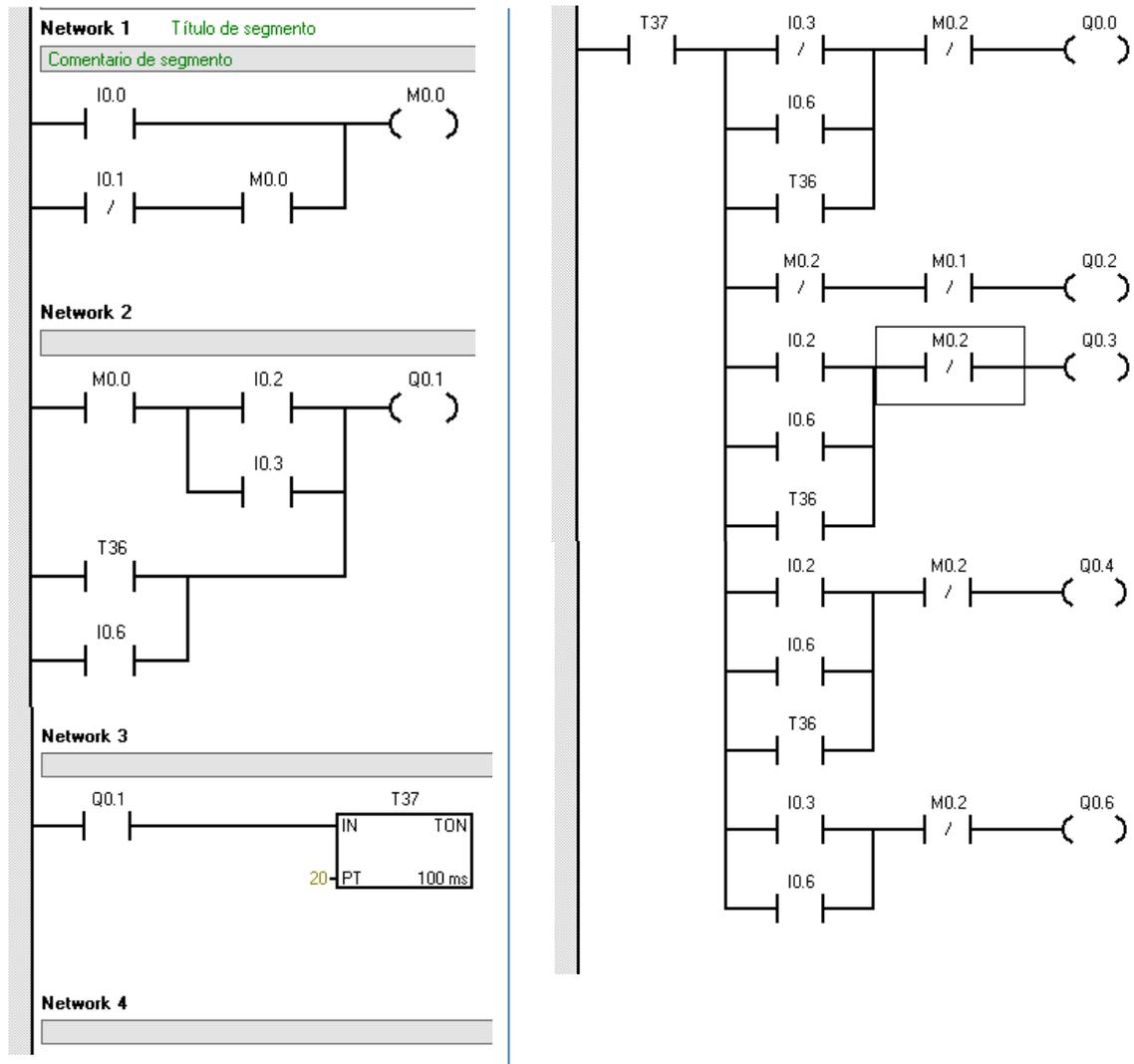
Figura 70. Simulación de proceso

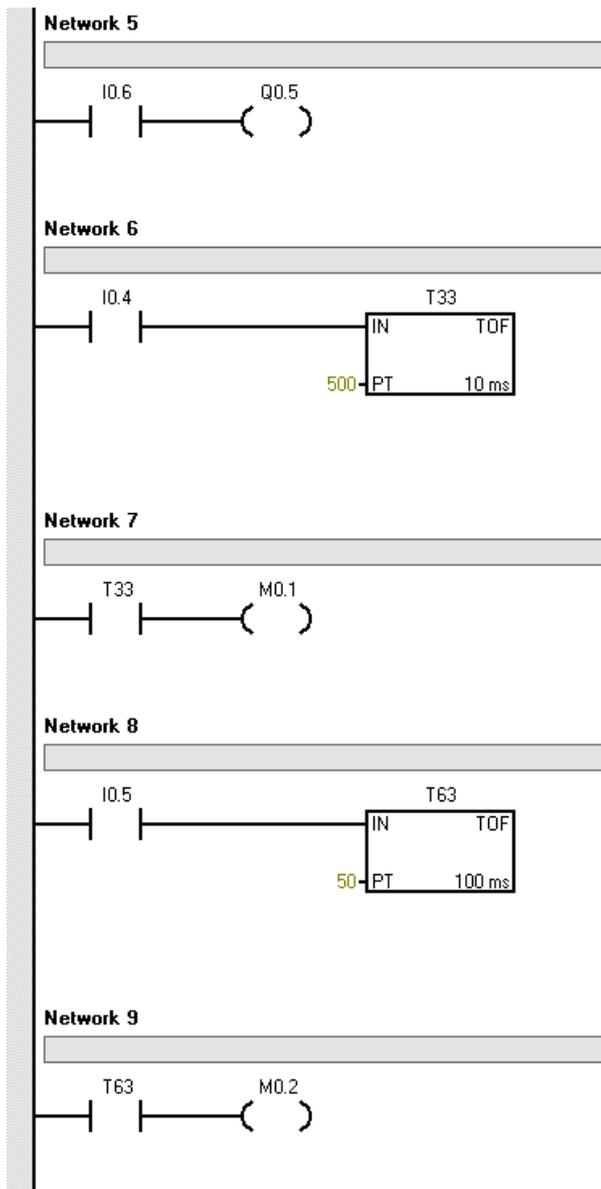


Considerando estos parámetros se considera un tablero de control con 3 pulsadores: ON, OFF, MVT para marcha, paro, marcha de Mezcladora-válvula rotatoria-tornillo 2 respectivamente. Un selector de circuito, y un botón de emergencia.

La programación que actúa en el PLC S7-200 está dispuesta en la Figura 71.

Figura 71. Programación PLC





Fuente: Autor

CAPÍTULO VII

7. SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS

7.1 Análisis molino de martillos

7.1.1 Martillo. En base al cálculo de ingeniería se tiene que la fuerza generada en el martillo es igual a $F_G = 6205.9[N]$, por tanto para el análisis CAE se tiene la Tabla 45.

Tabla 45. CAE – Martillos

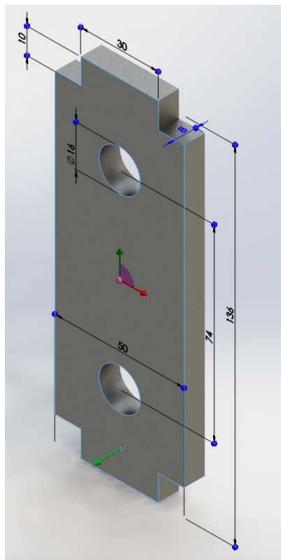
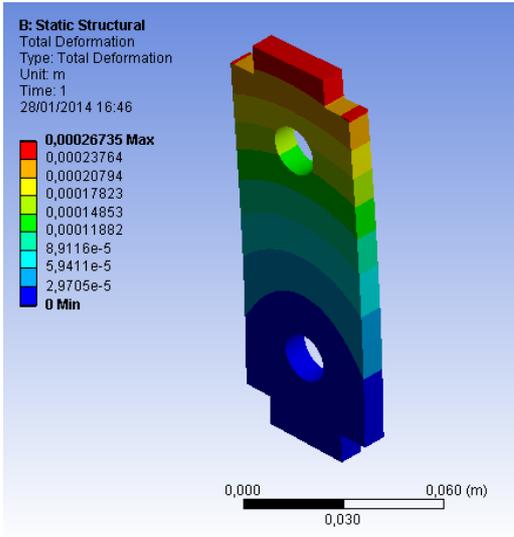
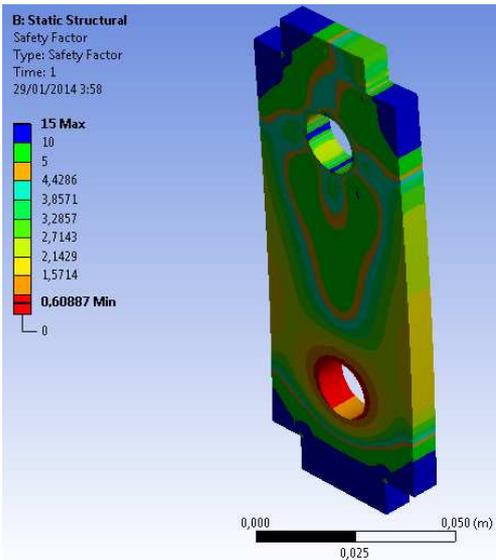
Ilustración	Detalle
	<p><i>Modelado</i></p> <p>Las medidas del martillo son las que están dispuestas actualmente en la planta procesadora de grano.</p> <p>Y están establecidas de tal manera que se puedan utilizar los cuatro lados del martillo (L=136 mm)</p>
	<p><i>Análisis de deformación</i></p> <p>Se tiene que la deformación máxima del martillo es 0,00026 m = 0.26 mm.</p> <p>Para la deformación máxima permisible se tiene la ecuación.</p> $y = \left(\frac{1}{500}\right) * L = 0,272[mm]$ <p>Por tanto se tiene que la deformación máxima es menor que la deformación máxima permisible.</p>

Tabla 45. (Continuación)

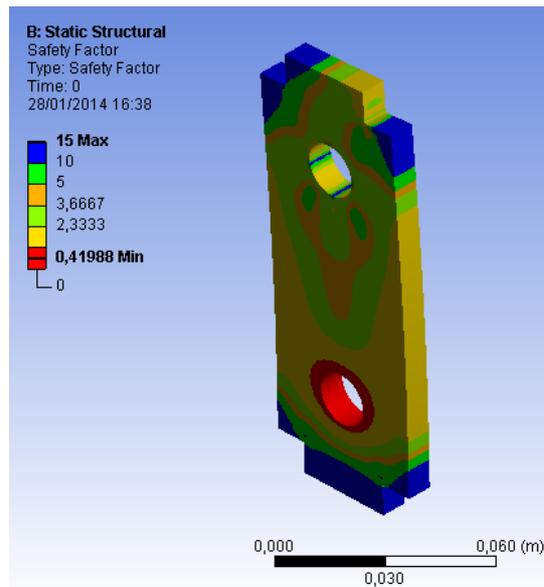


Factor de seguridad – Análisis estático

Carga: 6206 [N]

El factor de seguridad en el martillo radica en el rango de 2 – 5 lo que se considera aceptable.

Pero existe una zona en el que el factor de seguridad es <1 , de tal manera que el martillo no debe tener apoyo fijo, sino ser implementado como móvil.



Factor de seguridad – Análisis de Fatiga

Carga: de 0 a 6206 [N]

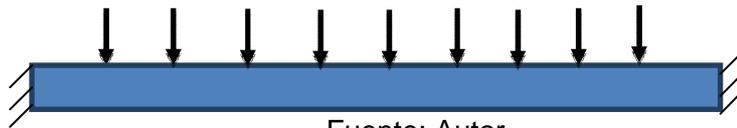
El factor de seguridad en el martillo radica en el rango de 2 – 5 lo que se considera aceptable.

Pero existe una zona en el que el factor de seguridad es <1 , de tal manera que el martillo no debe tener apoyo fijo, sino ser implementado como móvil.

Fuente Autor

7.1.2 Cámara de remolienda. En la cámara de remolienda actúan al mismo tiempo 9 martillos del molino de modo en que el elemento está sometido a 9 fuerzas de $F=6206$ [N] distribuidos a lo largo del mismo, ver Figura 72.

Figura 72. Cargas distribuidas en la cámara de remolienda



Fuente: Autor

Tabla 46. CAE – Cámara de remolienda

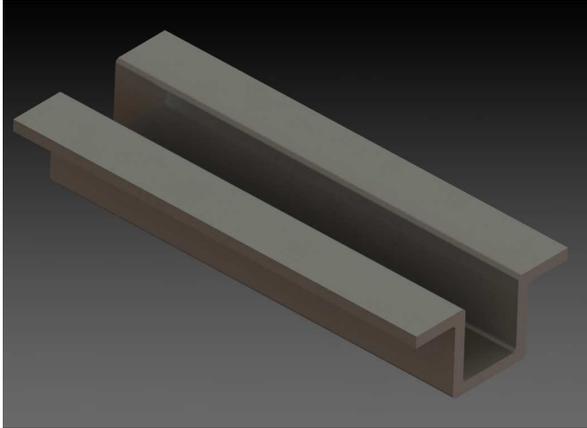
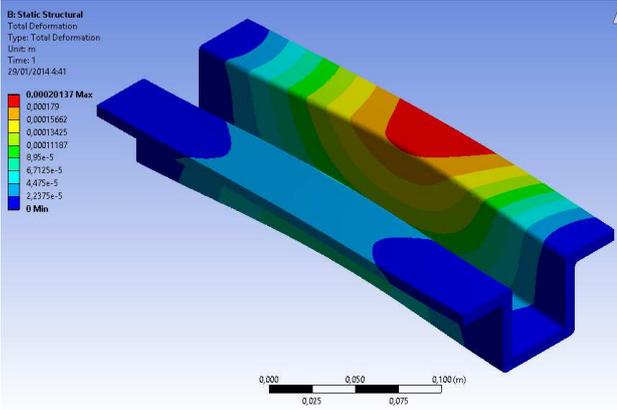
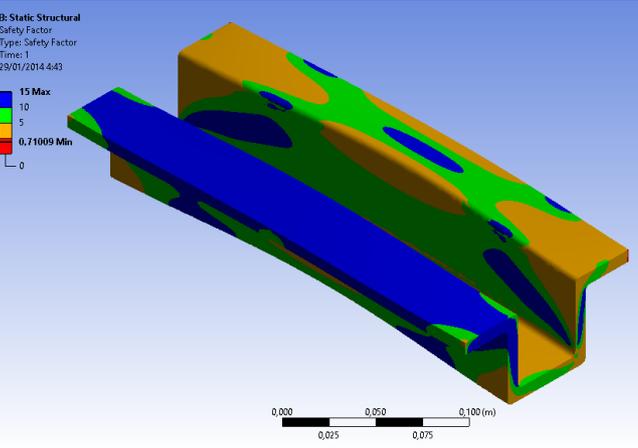
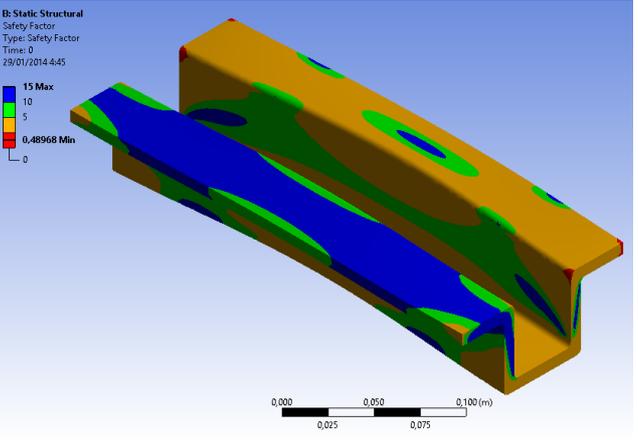
Ilustración	Detalle
	<p><i>Modelado</i></p> <p>Las medidas del contramartillo son 40 mm para cada lado con espesor de 8 mm y una luz de 300mm.</p> <p>La distribución de fuerzas está dispuesta uniformemente de tal manera que actúen los 9 martillos.</p>
	<p><i>Análisis de deformación</i></p> <p>Se tiene que la deformación máxima del martillo es 0,000201 m = 0.201 mm</p> <p>Para la deformación máxima permisible se tiene la ecuación.</p> $y = \left(\frac{1}{500}\right) * L = 0,6[mm]$ <p>Por tanto se tiene que la deformación máxima es menor que la deformación máxima permisible.</p>

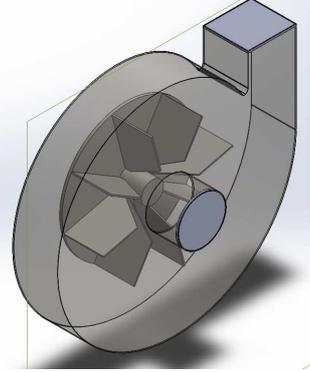
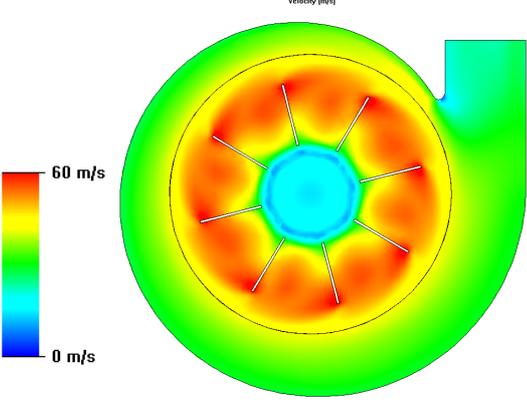
Tabla 46. (Continuación)

	<p><i>Factor de seguridad – Análisis estático</i></p> <p><i>Carga: 6206 [N]</i></p> <p>El factor de seguridad en el martillo radica en el rango de 2 – 10 lo que se considera aceptable.</p> <p>En al análisis estático no existe ninguna sección crítica con bajo factor de seguridad.</p>
	<p><i>Factor de seguridad – Análisis de Fatiga</i></p> <p><i>9 Cargas: de 0 a 6206 [N]</i></p> <p>El factor de seguridad en el martillo radica en el rango de 2 – 5 lo que se considera aceptable.</p> <p>En al análisis dinámico no existe ninguna sección crítica con bajo factor de seguridad.</p>

Fuente: Autor

7.1.3 Análisis de flujo del ventilador. El diseño del ventilador establecido en el capítulo VI concluyó con un ventilador radial con 8 álabes y voluta en espiral, en el que se comprueba con un análisis de flujo mediante software CAE el gradiente de velocidades.

Tabla 47. Análisis de flujo del ventilador radial

	<p><i>Modelado</i></p> <p>El modelado se basa en función de los datos obtenidos del diseño del ventilador, de tal forma que se pueda corroborar el diseño</p>
	<p><i>Análisis de velocidad</i></p> <p>Velocidad de diseño =35 m/s</p> <p>En base al diseño establecido se muestra la utilización de paquetes CAE para la comprobación de los datos obtenidos, manteniéndose la velocidad de salida del ventilador de 30 a 35 m/s</p>

Fuente: Autor

7.2 Análisis de ducto Bypass (Molino – Mezcladora)

Se establece un análisis de flujo del ducto bypass (alimenta a la mezcladora desde el molino de martillos), para determinar la caídas de presión, velocidades y flujo.

Tabla 48. Análisis de flujo del ducto bypass del ventilador a la mezcladora.

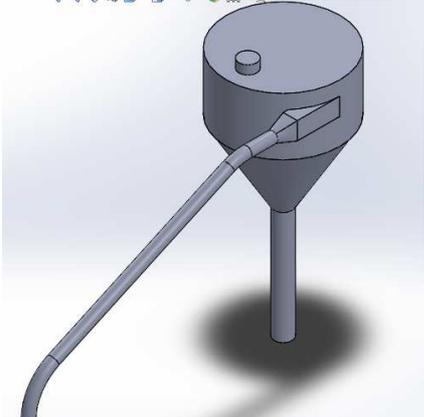
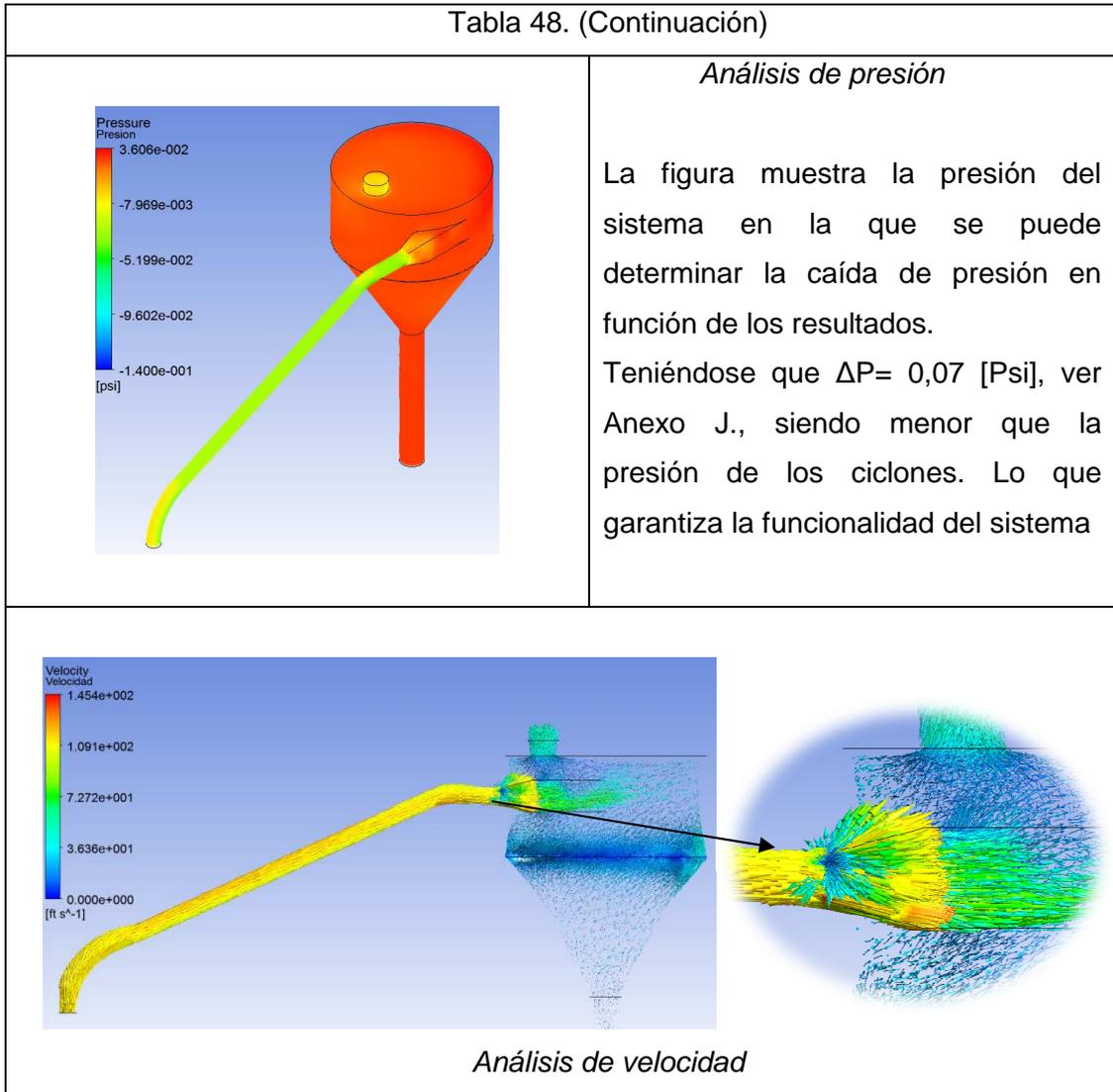
	<p><i>Modelado</i></p> <p>Las medidas de la mezcladora son las mismas que están dispuestas en la plata procesadora. Para el análisis de flujo se debe modelar solo los elementos que intervienen en el transporte de material, no es necesario modelar soportes estructurales, bridas.</p>
---	--

Tabla 48. (Continuación)



Fuente: Autor

La Tabla 48 muestra el análisis de velocidad para el ducto Bypass, se puede visualizar los puntos de concentración de flujo, esto influirá en el mezclado de los compuestos, haciéndolos más homogéneos, también se muestra los puntos en los que se debe tener cuidado al momento de montar los equipos, donde se debe bridar y hermetizar el sistema de extracción.

CAPITULO VIII

8. ANÁLISIS ECONÓMICO

El presente capítulo comprende la revisión detallada de cada actividad relacionada con el rediseño de la Planta procesadora de grano, dispuesta para 2000 [kg/h].

Los rubros los cuales tienen una relación directa con de rediseño de la Planta.

8.1 Materiales directos

Pertencen todos los materiales que forman el recipiente, por ejemplo las planchas de acero, tuberías, bridas, perfiles, etc.

8.2 Materiales indirectos

Pertencen a todos los materiales fungibles necesarios para la ejecución del rediseño, por ejemplo; oxígeno, gases, electrodo, soldadura, pintura, discos de corte y destaje.

8.3 Mano de obra

Son todos los costos del personal e implementos de seguridad personal necesarios para la ejecución de la obra.

8.4 Uso de equipo y herramientas

Son los costos de utilización de equipos y herramientas.

8.5 Transporte

En este grupo pertenecen todos los costos del traslado de los materiales

8.6 Dirección técnica

Corresponden todos los costos destinados a pagar los servicios profesionales, por ejemplo: Ingeniero residente de obra, Ingeniero calculista, etc.

Los costos están basados en proformas cotizadas en el mercado nacional, y de fácil adquisición, ver Anexo L. En estos rubros no se han considerados los costos por mano de obra ya que se pretende que sea implementado por los talleres de la ESPOCH.

Tabla 49. Costos

CONCEPTO	Parcial	Sub total	Total
Costo de rediseño			
Costo de mano de obra	6250	6250	6250
Costos directos	4968.31	4968,61	4968,61
Costos indirectos	450	450	450
Mantenimiento	450	450	450
		Suma	12118,31

Fuente: Autor

CAPITULO IX

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultados del estudio realizado para el rediseño de la Planta Procesadora de Grano en la Facultad de Ciencias Pecuarias ESPOCH, se ha llegado a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

9.1 Conclusiones

Con la utilización de la metodología de Pahl y Beitz y la gestión del valor en los rediseños de los equipos de la Planta Procesadora se logra satisfacer la necesidad del aumento de producción, partiendo de 900 Kg/h a una producción a plena carga de 2000 Kg/h, garantizando tiempos de operación, bajo costo de implementación del rediseño y con un mínimo de operarios.

La investigación de las propiedades físicas del maíz seco, contribuye a la verificación de la producción del molino de martillos, corroborando que si satisface la producción de 2000 Kg/h con pequeñas modificaciones en el mismo.

El rediseño del ventilador condiciona su funcionamiento a un solo sentido de giro ya que es un ventilador axial de 8 alabes y de voluta en espiral, el mismo que está diseñado para una capacidad de máximo 2200 kg/h.

La propuesta de un sistema de control semiautomático con un PLC, garantiza la el funcionamiento adecuado con tiempos recomendados para su puesta en marcha.

La alternativa de ductos en Bypass, contribuyen la reducción de tiempos de proceso, siempre y cuando no se requiera una separación refinada entre el grano y el polvo.

La implementación de filtros de mangas garantiza la seguridad de los operarios ya que los polvos residuales expulsados, son recolectados en su totalidad. Siendo estos reutilizados en otros procesos.

Al simular los elementos de los equipos de la planta procesadora de grano mediante software CAE se han obtenido buenos resultados al ser comparados con los cálculos, tanto del molino de martillos, ventilador y el ducto en bypass.

El rediseño se basa en el estado del arte de los equipos de la planta procesadora de grano y de la matriz de necesidades que debe cumplir, teniendo como resultado rediseños y diseños confiables y con facilidad de operación.

En el rediseño se consideraron materiales de fácil adquisición en el mercado nacional, favoreciendo la adquisición de repuestos en caso de ser necesario.

La implementación del rediseño es económicamente rentable además de numerosas ventajas en tamaño y peso frente a los que existen en el mercado.

En la mezcladora se han adecuado ciertos complementos que están dispuestos en los planos, ya que no necesitan previo cálculo y muchos son recambios de mantenimiento.

En los tornillos transportadores se interviene en la reconstrucción parcial de secciones corroídas, y en refuerzos, los cuales se muestran en los planos.

En la válvula rotatoria suple la producción requerida con un mantenimiento previo a su puesta en marcha.

9.2 Recomendaciones

Utilizar la misma dosificadora regulada por muelle del molino actual al implementar el rediseño del molino de martillos.

Verificar que cuando actúe el flujo sin refinación estén selladas todas las compuertas en la base de la mezcladora para que la presión se libere por el filtro de mangas.

Realizar un análisis experimental de los equipos de manera que se obtengan tiempos necesarios para coordinar los tiempos del PLC, con los tiempos de operación.

Proyectar una ampliación de almacenamiento con un silo tipo B/C/D/E/F3, para una densidad de 600 – 650 (Kg/m³) según los tipos de silos utilizados por VINTHER JENSEN.

Utilizar los componentes dispuestos en la tesis seleccionados, ya que si se interviene con otro tipo, alteraría el circuito por tanto no se tendrá resultados satisfactorios.

Operar el tornillo alimentador, solo cuando el molino alcance su velocidad máxima.

Realizar un plan de mantenimiento diario para todos los equipos.

Realizar un análisis de viabilidad para establecer una conexión entre el molino de martillos y el tornillo dos evitando el ducto bypass, y evitando así la conexión de la mezcladora al filtro de mangas.

BIBLIOGRAFÍA

ACS. 2013. Captación de Partículas en Emisiones Atmosféricas y depuración de aire. [En línea] 14 de Noviembre de 2013. [Citado el: 14 de Noviembre de 2013.] <http://www.pricast.es/pdf/v2/ACS.pdf>.

AFRICA Group. 2013. Hippo 69 Hammer Mill. *An ABC Africa Group company*. [En línea] 17 de Noviembre de 2013. [Citado el: 17 de Noviembre de 2013.] http://www.hippomills.co.za/hammer_mills/hippo-69.php.

Asociacion nacional de empresarios de Colombia. 2013. Cámara industria alimentos balanceados. [En línea] ANDI, 16 de Noviembre de 2013. [Citado el: 18 de Noviembre de 2013.] <http://www.andi.com.co/pages/comun/infogeneral.aspx?Id=14&Tipo=2>.

BAHIA BLANCA. 2013. Theory and Design of Dilute Phase Pneumatic Conveying Systems. [En línea] 25 de Noviembre de 2013. [Citado el: 26 de Noviembre de 2013.] <http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/TN%20Agarwal%202005.pdf>.

BARBOSA SALDAÑA, Juan, JIMENEZ BERNAL , Jose y GUITIERRES TORRES, Claudia. 2006. PARAMETROS QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DEL CICLON. *Estudio de los parámetros que afectan la eficiencia de separación de los separadores tipo ciclón*. MEXICO : s.n., 2006. Vol. X, 2 pp.59-63. ISSN 1665-0654.

BENITEZ. 2013. Cyclonic Devices. [En línea] 15 de Noviembre de 2013. [Citado el: 16 de Noviembre de 2013.] <http://158.110.32.35/CLASS/IMP-CHIM/Benitez-cap8.PDF>.

BRAVO ALMEIDA, Carlos Daniel y VAZQUEZ FARFAN, Santiago Andres. 2013. Diseño y construcción del sistema óptimo para micropulverización de Bentonita sódica. [En línea] 5 de Noviembre de 2013. [Citado el: 5 de Noviembre de 2013.] <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/821/4/CAPITULO%202.pdf>.

CASAL, J. y MARTINEZ, BENET. 1989. *Calculo y Diseño de ciclones*. MADRID : s.n., 1989.

CEFIC. 1995. Molienda en frabrica de piensos. [En línea] 1995. [:www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_MG/MG_1995_11_95_63_70.pdf](http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_MG/MG_1995_11_95_63_70.pdf).

CINCINNATI FAN. 2013. Cincinnati Fan and Ventilador Company Inc. [En línea] 14 de Noviembre de 2013. [Citado el: 14 de Noviembre de 2013.] <http://www.cincinnati-fan.com/catalogs/PBSCatalog.pdf>. PBS-1111.

CONVEYOR. 2012. Screw Conveyor Components & Design. *Catálogo*. [En línea] 2012. <http://www.conveyoreng.com/wp-content/uploads/downloads/2013/02/CEMC-Screw-Conveyor-Manual-2.20.pdf>.

CUADRADO MOYANO, Ivan Rafael y RUEDA CASTILLO , Jose Luis . 2009. *Diseño y construcción de un molino de martillos*. Quito : USQ, 2009.

CUTTERMAN. 2013. Mezcladora. *Mezcladora*. [En línea] CUTTERMAN, 15 de NOVIEMBRE de 2013. [Citado el: 16 de NOVIEMBRE de 2013.] <http://cutterman.com/mezcladora%20C4010.html>.

DESMET BALLESTRA. 2013. Molienda. [En línea] 18 de Noviembre de 2013. [Citado el: 18 de Noviembre de 2013.] http://www.stolzsa.com/sites/default/files/catalogos/es/procesos/es_molienda.pdf.

DUDA H., Walter. 2007. *Manual Tecnológico del Cemento 3*. Espana : Spain Parninfo, 2007.

ECHEVERRI , CARLOS. 2013. Ingeniero Ambiental. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v7n12/v7n12a04.pdf>. [En línea] 20 de Diciembre de 2013. [Citado el: 20 de Diciembre de 2013.] 2013.

ECHEVERRI, Carlos. 2008. Diseño óptimo de ciclones. [En línea] 20 de Diciembre de 2008. [Citado el: 2013 de Diciembre de 2013.] <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75050911>. ISSN 1692-3324.

ESTRELLA FLORES, Jimmy Leonardo y FONSECA CUENCA, Byron Emilio . 2009. *Repotenciación, construcción, montaje y pruebas de una planta de balanceado de la comunidad valle del anzú provincia del Pastaza*. Riobamba : ESPOCH, 2009.

FERDINAND, B. 2007. *Mecánica Vectorial para Ingenieros*. Mexico : Mc GRAW HILL, 2007.

FIUBA. 2013. *Transportadores a tornillo sin fin Helicoidal*. Buenos Aires : FIUBA (Facultad de Ingeniería / Universidad de Buenos Aires), 2013.

GUERRA GUAMANI , Milton y AGUIRRE. 2013. Diseño y construcción de un molino para pulverizar carbón con un sistema dosificador, para la industria Pirotécnica G&G FUEGOS ARTIFICIALES. [En línea] ESPOCH, 10 de Enero de 2013. [Citado el: 10 de Enero de 2013.]

IEP . 2013. Cyclone Separators. [En línea] IEPTECHNOLOGIES, 13 de Noviembre de 2013. [Citado el: 13 de Noviembre de 2013.] <http://www.ieptechnologies.com/wp-content/uploads/2013/07/MC-543-Cyclone-Separators-Rev-AF.pdf>.

INNOVA. 2013. Ventiladores. [En línea] 15 de NOVIEMBRE de 2013. [Citado el: 15 de NOVIEMBRE de 2013.] <http://www.innova-ing.com/pdf/ventiladores.pdf>.

ITA. 2013. Filtros de Mangas ITA PUL. [En línea] ITA, 26 de Noviembre de 2013. [Citado el: 26 de Noviembre de 2013.] http://www.itaire.com.ar/itaire_productos.php?pid=8.

JORDAN, A. 2013. Análisis de granulometría de maíz como ingrediente para uso en raciones de pollos parrilleros (Santa Cruz – Bolivia). [En línea] 20 de Diciembre de 2013. [Citado el: 20 de Diciembre de 2013.] http://www.fcv.uagrm.edu.bo/sistemabibliotecario/doc_tesis/TESIS%20JORDAN-20101028-164029.pdf.

KORUM, Henry E. 1942. *HAMMER MILL. 2,291,815* United States, 4 de Agosto de 1942. Office.

LINDER, Hernann J. 2013. Sistemas de Transporte neumático - Una recapitulación de soluciones acreditadas, incluso para productos difíciles y problemáticas complejas. [En línea] 26 de Noviembre de 2013. [Citado el: 29 de Noviembre de 2013.] http://www.solids.es/fileadmin/content/pdf/Fachartikel__Fallstudien/Articulo_Sistemas_de_transporte_neumatico.pdf.

MAC. 2013. AirLocks and Diverters . [En línea] 17 de Noviembre de 2013. [Citado el: 17 de Noviembre de 2013.] <http://www.macprocessinc.com/pdf/Airlock%20Brochure%20Final.pdf>.

MAGAP/SC/DETC. 2013. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. [En línea] 16 de Noviembre de 2013. [Citado el: 16 de Noviembre de 2013.] <http://servicios.agricultura.gob.ec/sinagap/index.php/2012-12-13-15-11-25/produccion-de-productos-procesados-del-maiz>.

MATAIX, Caudio. 1986. *Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas*. Madrid : Castillos S.A., 1986. ISBN 84-219-0175-3.

MATAIX, Claudio. 1975. *Turbomaquinas Hidráulicas*. Madrid : ICAI, 1975. pág. 804.

MIRAVETE, Antonio. 1994. *Maquinas de elevación y transporte*. 1994.

MONTAGUT ORÓ, Jesus. 1958. *MEZCLADORAS DE PIENSOS*. 239049 España, 20 de Marzo de 1958. Documento.

ORTHMAN. 2004. *SCREW CONVEYOR CATALOG & ENGINEERING MANUAL*. [En línea] 2004. <http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>.

ORTIZ, Cañavate. 2012. *Maquinas agrícolas y su aplicación*. Madrid : Mundi-Prensa, 2012. pág. 406.

OWEN, Philip. 2009. *Screw Conveyor Performance: Comparison of discrete element modelling with laboratory experiments*. Melbourne - Australia : s.n., 2009.

PELLETMILL. 2013. Hammer Mills. [En línea] 12 de Noviembre de 2013. [Citado el: 12 de Noviembre de 2013.] <http://www.pelletmill.nl/Hammermill.pdf>.

PERALTA CASTILLO, German Petronius. 2001. *Calculo y diseño fluidodinámico de un filtro de mangas (Tipo pulse jet) para partículas minerales de origen Industrial*. Guayaquil : ESPOL, 2001.

PICO , Leonel; PETIT, Horacio; BARBOSA , Mirta. 2011. Influencia de la longitud de cono de un ciclo sobre las variables de flujo. [En línea] 2011. dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4051836.pdf.

SANCHEZ, Mayorga y ALVARADO, Mauricio. 2008. *Montaje de una fábrica de producción de alimento balanceado para Avícola Santa Lucía utilizando un sistema*

HMI. Latacunga : ESPE, 2008.

SIEMENS. 2008. Manual del sistema de automatización S7-200. [En línea] 23 de Agosto de 2008. [Citado el: 26 de Noviembre de 2013.] <https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S7200ManualSistema.pdf>. A5E00307989-04.

STEMM . 2013. Tabla de densidades. [En línea] 23 de Septiembre de 2013. [Citado el: 23 de Septiembre de 2013.] http://www.stemm.com/espanol/pdf/tabla_densidades.pdf.

STOLZ S.A. 2012. Molienda. [En línea] 2012. http://www.stolza.com/sites/default/files/catalogos/es/procesos/es_molienda.pdf.

TECNOFER. 2013. Macchine / miscelatore verticale. [En línea] 16 de NOVIEMBRE de 2013. [Citado el: 17 de NOVIEMBRE de 2013.] <http://www.tecnofer.biz/?it/miscelatore-verticale-2>.

TURNER, James H. 2013. Particulate Matter Controls. [En línea] 28 de Noviembre de 2013. [Citado el: 28 de Noviembre de 2013.] <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/cs6ch1.pdf>. EPA/452/B-02-001.

UPC. 2013. Reducción de tamaño- Molienda. [En línea] Universidad Politecnica de Cartagena, 18 de Diciembre de 2013. [Citado el: 18 de Diciembre de 2013.] http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5547/mod_resource/content/1/Tema_4_-_Molienda_I_.pdf.

VARGAS ALAYO, Julio. 2013. *Estudio teórico-experimental de un ventilador centrifugo de alabes rectos radiales del laboratorio de energía-PUCP*. Lima : s.n., 2013.

VINTHER, Jensen. 2006. Introducción a la producción de alimentos balanceados. [En línea] 20 de Diciembre de 2006. [Citado el: 20 de Diciembre de 2013.] <http://www.los-seibos.com/teoria/intrprodbal.pdf>.

WORDPRESS . 2013. Química y alimentos. <http://lolazar.wordpress.com/>. [En línea] QUÍMICA HOY, 20 de Agosto de 2013. [Citado el: 20 de Agosto de 2013.] <http://lolazar.wordpress.com/about/>.