



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN
EQUIPO DE DESINFECCIÓN Y TRANSPORTE
PARA LA PLANTA PILOTO DE
PROCESAMIENTO Y BENEFICIO DE SEMILLAS
DE ALFALFA Y TRÉBOL**

**VILLACÍS RAMÓN MAYRA ELIZABETH
ORTIZ ALCOCER WILINTON BLADIMIR**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2013**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

24-07-2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

VILLACÍS RAMÓN MAYRA ELIZABETH

Titulada:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN EQUIPO DE
DESINFECCIÓN Y TRANSPORTE PARA LA PLANTA PILOTO DE
PROCESAMIENTO Y BENEFICIO DE SEMILLAS DE ALFALFA Y TRÉBOL”**

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

INGENIERA MECÁNICA

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Juan de Dios Silva
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Washington Ruales
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

24-07-2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

ORTIZ ALCOCER WILINTON BLADIMIR

Titulada:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN EQUIPO DE
DESINFECCIÓN Y TRANSPORTE PARA LA PLANTA PILOTO DE
PROCESAMIENTO Y BENEFICIO DE SEMILLAS DE ALFALFA Y TRÉBOL”**

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

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Juan de Dios Silva
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Washington Ruales
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: VILLACÍS RAMÓN MAYRA ELIZABETH

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN EQUIPO DE DESINFECCIÓN Y TRANSPORTE PARA LA PLANTA PILOTO DE PROCESAMIENTO Y BENEFICIO DE SEMILLAS DE ALFALFA Y TRÉBOL”

Fecha de Examinación: 30-07-2013

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Juan de Dios Silva DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Washington Ruales 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. Marco Santillán Gallegos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ORTIZ ALCOCER WILINTON BLADIMIR

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN EQUIPO DE DESINFECCIÓN Y TRANSPORTE PARA LA PLANTA PILOTO DE PROCESAMIENTO Y BENEFICIO DE SEMILLAS DE ALFALFA Y TRÉBOL”

Fecha de Examinación: 30-07-2013

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Juan de Dios Silva DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Washington Ruales 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. Marco Santillán Gallegos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que se presenta, 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 de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Mayra Elizabeth Villacís Ramón

f) Wilinton Bladimir Ortiz Alcocer

DEDICATORIA

Culminar este trabajo es de gran trascendencia en mi camino de superación, he terminado una etapa más de mi vida, sintiéndome realizada como mujer y profesional.

Todo el esfuerzo y empeño que he depositado en este trabajo se lo dedico a mis padres Pedro Villacís y Marina Ramón, quienes han sacrificado mucho para que yo pueda alcanzar mis sueños, ahora este es mi sacrificio por ustedes.

A mis hermanos Jim y Franklin porque siempre han sido un ejemplo a seguir.

Con gratitud a mi novio Dennis Tito quien siempre me ha apoyado en aquellos momentos más difíciles, con su cariño y sus buenos consejos.

Mayra Elizabeth Villacís Ramón

Dedico este proyecto y toda mi carrera universitaria a Dios por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante superando todos los obstáculos..

A mi madre Zoila Alcocer y mi padre Teófilo Ortiz y a mis hermanas quienes siempre me brindaron cariño, son los que han velado por mi salud, mis estudios, mi educación y a quien les debo todo.

Con mucho amor a mi novia Paola Barreno por su apoyo incondicional.

Wilinton Bladimir Ortiz Alcocer

AGRADECIMIENTO

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

Y en especial a nuestros padres y hermanos quienes nos brindaron su apoyo y confianza en todo momento.

A nuestros amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Y un especial agradecimiento a los ingenieros Washington Ruales, Juan de Dios Silva y Pablo Llumiquinga, quienes fueron los gestores para que el proyecto siga en marcha y se cristalice su construcción.

Mayra Elizabeth Villacís Ramón

Wilinton Bladimir Ortiz Alcocer

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	2
1.2.1 <i>Justificación técnica</i>	2
1.2.2 <i>Justificación económica</i>	2
1.2.3 <i>Justificación social</i>	3
1.2.4 <i>Justificación ambiental</i>	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO	4
2.1 Estado del arte	4
2.1.1 <i>Problemática</i>	4
2.1.2 <i>Equipos de desinfección</i>	4
2.1.2.1 Equipo de desinfección GUSTAFSON MODELO SS.LA	4
2.1.2.2 Equipo de desinfección CCentricoater.	5
2.1.2.3 <i>Equipo de desinfección K-Xuquer IV</i>	7
2.1.2.4 <i>Equipo de desinfección RH BASIC SERIES.8</i> ¡Error! Marcador no definido.	8
2.1.3 <i>Estudios experimentales</i>	9
2.1.4 <i>Aplicabilidad en el Ecuador</i>	11
2.1.5 <i>Sistema de transporte</i>	12
2.1.5.1 <i>Equipo de transporte por banda ROTRANS S.A.</i>	12
2.1.5.2 <i>Equipo de transporte por tornillo sin fin FLEXICON BEV-CON.</i>	13
2.1.5.3 <i>Equipo de transporte GUSTAFSON MODELO SS-LA</i>	13
2.1.5.4 <i>Equipo de transporte neumático LPD 2000 Concepto PresiónTM</i>	14
2.1.5.5 <i>Equipo de transporte neumático KONGSKILDE MULTIAIR 2200</i>	15
2.1.5.6 <i>Transporte por cangilones Tapco Inc.</i>	16
2.1.6 <i>Estudios experimentales</i>	17
2.1.7 <i>Aplicabilidad en el Ecuador</i>	19
2.2.1 <i>Tecnología de semillas de alfalfa y trébol</i>	19
2.2.1.1 <i>Semillas de alfalfa (Medicago Sativa)</i>	19
2.2.1.2 <i>Semillas de trébol (Trifolium Repens)</i>	20
2.2.2 <i>Recepción de semillas procesadas</i>	21
2.2.3 <i>Tratamientos químicos</i>	22
2.2.3.1 <i>Desinfecciones</i>	23
2.2.4 <i>Equipo de desinfección de semillas de alfalfa y trébol</i>	23
2.2.4.1 <i>Sistema de alimentación y dosificación</i>	24
2.2.4.2 <i>Sistema de aplicación y recubrimiento</i>	28
2.2.4.3 <i>Sistema de mezclado</i>	46
2.2.5 <i>Elevador de cangilones</i>	60
2.2.5.1 <i>Generalidades</i>	60

2.2.6	<i>Factores que entran en el diseño de los elevadores de cangilones</i>	62
2.2.6.1	<i>La capacidad y sus variables de consideración</i>	62
2.2.7	<i>La velocidad y su influencia en la carga y descarga</i>	66
2.2.8	<i>Cálculo de la velocidad angular ideal</i>	68
2.2.9	<i>Selección y cálculo volumétrico</i>	70
2.2.9.1	<i>Cálculo del espaciamiento entre cangilones</i>	71
2.2.9.2	<i>Material de fabricación de los cangilones</i>	71
2.2.10	<i>Cálculo de potencia</i>	72
2.2.11	<i>Reducción de velocidades y transmisión de potencia mecánica</i>	73
2.2.12	<i>Consideraciones para el diseño de transmisión</i>	75
2.2.13	<i>Control de tensión estática</i>	80
2.2.14	<i>Relación de tensiones y fuerzas sobre el eje</i>	80
2.2.15	<i>Especificaciones sobre bandas para cangilones</i>	82
2.2.16	<i>Características de los tambores</i>	83
2.2.17	<i>Selección de los rodamientos</i>	84
3.	METODOLOGÍA DE DISEÑO	86
3.1	Metodología del proyecto	86
3.2	Fases de diseño	86
3.2.1	<i>FASE 1. Especificaciones</i>	86
3.2.2	<i>FASE 2. Diseño conceptual</i>	86
3.2.3	<i>FASE 3. Diseño de ingeniería.</i>	86
3.2.4	<i>FASE 4. Diseño de detalle.</i>	86
3.3	Proceso de diseño.....	87
3.3.1	<i>Definición del problema</i>	87
3.3.2	<i>Declaración de la misión</i>	87
3.3.2.1	<i>Descripción de los equipos</i>	87
3.3.2.2	<i>Mercado primario</i>	87
3.3.2.3	<i>Postulados</i>	87
3.3.2.4	<i>Personas interesadas</i>	87
4.	ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO	88
4.1	Objetivo de la investigación	88
4.2	Necesidades del operario	88
4.3	Necesidades del cliente.....	89
4.4	Matriz de Necesidades-Medidas	89
5.	DISEÑO CONCEPTUAL	92
5.1	Establecimiento de funciones	92
5.1.1	<i>Caja negra</i>	92
5.1.1.1	<i>Equipo de desinfección y transporte</i>	92
5.1.2	<i>Estructura funcional</i>	93
5.2	Generación de alternativas.....	94
5.3	Metodología de evaluación de resultados	94

5.3.1	<i>Puntaje y criterio de evaluación para la matriz del proyecto</i>	¡Error! Marcador no definido.94
5.3.2	<i>Puntaje y criterio de evaluación para la matriz de puntuación</i>	9¡Error! Marcador no definido.6
5.3.3	<i>Descripción de los criterios</i>	97
5.3.4	<i>Conceptos de solución</i>	9¡Error! Marcador no definido.8
5.3.4.1	<i>Descripción ruta solución 1.</i>	101
5.3.4.2	<i>Descripción ruta solución 2.</i>	101
5.3.5	<i>Evaluación de las rutas de solución</i>	101
5.3.5.1	<i>Criterios de evaluación.</i>	101
5.3.5.2	<i>Evaluación del peso específico de cada criterio.</i>	101
5.3.5.3	<i>Evaluación del peso específico de las distintas soluciones para cada criterio.</i>	102
5.3.5.4	<i>Cálculo de tablas de conclusiones.</i>	103
5.3.5.5	<i>Evaluación económica y técnica.</i>	104
5.3.5.6	<i>Reflexionar sobre los resultados.</i>	106
6.	DISEÑO DE INGENIERÍA	108
6.1	<i>Diseño de elementos mecánicos</i>	108
6.1.1	<i>Datos de campo</i>	108
6.1.2	<i>Necesidades de uso de los equipos.</i>	108
6.2	<i>Equipo de desinfección</i>	108
6.2.1	<i>Sistema de alimentación y dosificación</i>	108
6.2.1.1	<i>Tolva receptora de semillas.</i>	108
6.2.1.2	<i>Bandeja reguladora (B) y vibrador electromagnético (V)</i>	110¡Error!
	Marcador no definido.	
6.2.2	<i>Sistema de aplicación y recubrimiento</i>	111
6.2.2.1	<i>Pistola pulverizadora</i>	112
6.2.2.2	<i>Cilindro neumático para accionar del gatillo</i>	113
6.2.2.3	<i>Válvula distribuidora</i>	115
6.2.2.4	<i>Unidad de mantenimiento (UTM)</i>	116
6.2.2.5	<i>Conector rápido</i>	117
6.2.2.6	<i>Conector rápido recto</i>	117
6.2.2.7	<i>Silenciadores</i>	117
6.2.2.8	<i>Cálculo de la capacidad real de aire</i>	117
6.2.2.9	<i>Tubería para el sistema</i>	118
6.2.2.10	<i>Dimensionamiento del depósito</i>	119
6.2.2.11	<i>Cálculo de la potencia real del compresor</i>	120
6.2.3	<i>Sistema de mezclado</i>	130
6.2.3.1	<i>Cilindro mezclador</i>	130
6.2.3.2	<i>Potencia para mover el conjunto cilindro producto</i>	133¡Error! Marcador no definido.
6.2.3.3	<i>Diseño del eje de transmisión</i>	138
6.2.3.4	<i>Selección de rodamientos</i>	143
6.2.3.5	<i>Ruedas motrices</i>	145
6.3	<i>Elevador de cangilones</i>	146
6.3.1	<i>Velocidad lineal y angular de los cangilones</i>	146

6.3.1.1	<i>Velocidad lineal</i>	147
6.3.1.2	<i>Velocidad angular</i>	149
6.3.2	<i>Velocidad de la banda del elevador</i>	149
6.3.3	<i>Longitud de la banda de cangilones</i>	149
6.3.4	<i>Paso entre cangilones</i>	150
6.3.5	<i>Número de cangilones</i>	150
6.3.6	<i>Determinación de la potencia requerida</i>	150
6.3.7	<i>Selección del motor</i>	153
6.3.8	<i>Selección de la banda de transmisión</i>	153
6.3.8.1	<i>Selección de la correa</i>	153
6.3.9	<i>Cálculo y selección de la banda de los cangilones</i> .. 160	Error! Marcador no definido.
6.4	<i>Diseño y cálculo del eje superior del sistema de elevación</i>	161
6.4.1	<i>Cálculo de β</i>	162
6.5	<i>Cálculo y selección de las chavetas y chaveteros del eje superior del sistema de elevación</i>	167
6.6	<i>Cálculo y selección de rodamientos y chumaceras del eje superior del sistema de elevación</i>	169
6.6.1	<i>Diseño a carga estática</i>	170
6.6.2	<i>Diseño a carga dinámica</i>	171
6.7	<i>Cálculo y selección del tensor de la banda de los cangilones</i>	171
6.8	<i>Cálculo y selección del tornillo</i>	172
6.9	<i>Sistema de automatización y de control</i>	172
6.9.1	<i>Elementos electrónicos</i>	172
6.9.1.1	<i>MicroPLC Zelio</i>	172
6.9.1.2	<i>Programación del microPLC Zelio</i>	174
6.9.1.3	<i>Elementos básicos de la caja de control</i>	176
6.10	<i>Costos</i>	178
6.10.1	<i>Costos directos</i>	179
6.10.2	<i>Costos indirectos</i>	179
6.11	<i>Equipo de desinfección</i>	179
6.11.1	<i>Materiales y accesorios</i>	179
6.12	<i>Elevador de cangilones</i>	186
6.12.1	<i>Materiales y accesorios</i>	186
6.13	<i>Viabilidad del proyecto</i>	193
6.14	<i>Análisis de costos por operación y mantenimiento</i>	193
6.15	<i>Salvamento</i>	195
6.16	<i>Depreciación de la máquina</i>	195
6.17	<i>Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR)</i>	196
6.18	<i>Análisis del punto de equilibrio</i>	199

7.	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO Y MANTENIMIENTO	201
	Marcador no definido.	
7.1	Tecnología de la construcción	201
7.1.1	Máquinas y herramientas	201
7.1.2	<i>Operaciones tecnológicas.</i>	202
7.1.3	<i>Cursograma de la construcción</i>	203
7.1.3.1	<i>Equipo de desinfección</i>	203
7.1.3.2	<i>Equipo de transporte</i>	207
7.1.4	Cronograma de actividades en la construcción	208
7.1.4.1	<i>Equipo de desinfección</i>	208
7.1.4.2	<i>Equipo de transporte</i>	209
7.2	Mantenimiento	210
7.2.1	<i>Mantenimiento del equipo de desinfección y transporte</i>	210
7.2.2	<i>Guía de montaje y operación</i>	210
7.2.2.1	<i>Características principales</i>	210
7.2.2.2	<i>Montaje</i>	211
7.2.2.3	<i>Operación</i>	211
7.2.3	<i>Guía de mantenimiento</i>	213
7.2.4	<i>Riesgos y medidas preventivas</i>	214
7.2.4.1	<i>Riesgos químicos</i>	215
7.2.4.2	<i>Riesgos ergonómicos</i>	216
8.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	217
8.1	Alcance	217
8.2	Condiciones de las semillas	217
8.3	Descripción del proceso	217
8.4	Equipos para la medición	218
8.4.1	<i>Tipo de desinfectante a utilizar</i>	218
8.4.2	<i>Medición de la dosis correcta</i>	218
8.4.3	<i>Ángulo de giro de la pistola pulverizadora y de la boquilla</i>	218
8.4.4	<i>Descarga</i>	218
8.4.5	<i>Humedad</i>	218
8.4.6	<i>Dureza</i>	218
8.5	Pruebas preliminares	219
8.6	Procedimiento de prueba	219
8.6.1	<i>Desinfectante a utilizar</i>	219
8.6.2	<i>Dosis correcta</i>	220
8.6.3	<i>Ángulo de giro de la boquilla pulverizadora</i>	223
8.6.4	<i>Pruebas de descarga</i>	223
8.6.5	<i>Humedad</i>	224
8.6.6	<i>Dureza</i>	224
8.6.7	<i>Especificaciones</i>	225
8.6.8	<i>Prueba de la boquilla</i>	226
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	228

9.1	Conclusiones.....	228
9.2	Recomendaciones.....	229

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTADE TABLAS

1	Clasificación de los equipos de pulverización	29
2	Tamaño de gota y caudal utilizado en pulverización neumática e hidráulica..	30
3	Tiempo de llenado en los depósitos.....	38
4	Estándares de cuñas y cuñeros.....	52
5	Factor de servicio	57
6	Manifestación de los clientes	88
7	Matriz de necesidades-medidas.....	90
8	Puntuación en la matriz de proyección	95
9	Criterios de evaluación para la matriz de proyección	95
10	Desempeño relativo para la matriz de puntuación	96
11	Criterios de evaluación para la matriz de puntuación.....	96
12	Matriz morfológica	99
13	Criterios de evaluación	101
14	Puntuación de conceptos	102
15	Evaluación del peso específico del criterio regulación y control.....	102
16	Evaluación del peso específico del criterio eficiencia.....	103
17	Evaluación del peso específico del criterio costo	103
18	Evaluación del peso específico del criterio facilidad de fabricación.....	103
19	Cálculo de tablas de conclusiones.....	104
20	Evaluación económica.....	104
21	Evaluación técnica.....	105
22	Dimensiones del vibrador electromagnético modelo F-T01.....	110

23	Datos para selección del cilindro neumático	114
24	Conector rápido T	117
25	Conector rápido recto	117
26	Silenciadores	117
27	Tubo de poliuretano.....	118
28	Pérdidas en los elementos y accesorios del sistema	119
29	Características del compresor seleccionado.....	121
30	Peso total del cilindro.....	133
31	Gráfico de selección del perfil de la correa	154
32	Longitudes primitivas de las correas.....	155
33	Secciones de bandas	156
34	Factor de corrección C2	157
35	Factor de corrección C3	157
36	Fuerza límite por fatiga	160
37	Dimensiones de chaveteros y chavetas.....	168
38	Características de corriente eléctrica.....	172
39	MicroPLCZelio SRI A101FU	176
40	Contactador LC1 D09.....	177
41	Fusible CAMSCO	177
42	Selector	177
43	Costos materiales y accesorios mecánicos	179
44	Costos materiales y accesorios eléctricos y electrónicos.....	182
45	Costos materiales neumáticos.....	183
46	Costo total por materiales.....	184
47	Costos por maquinaria y equipos utilizados.....	184
48	Costos por mano de obra	185
49	Costos por transporte	185
50	Valor total costos directos.....	185

51	Costos indirectos	186
52	Costo total del equipo de desinfección	186
53	Costos materiales y accesorios mecánicos elevador	186
54	Costos materiales y accesorios de elevación	189
55	Costos materiales y accesorios eléctricos y electrónicos	190
56	Costo total por materiales	191
57	Costos por maquinaria y equipos utilizados	191
58	Costos por mano de obra	191
59	Costos por transporte	192
60	Valor total costos directos	192
61	Costos indirectos	192
62	Costo total del elevador de cangilones	192
63	Costo total de la inversión	193
64	Consumo eléctrico	193
65	Costos por operación y mantenimiento	194
66	Depreciación anual de los equipos	196
67	Costos fijos y costos variables de funcionamiento	199
68	Lista de herramientas	201
69	Lista de máquinas herramientas y equipos	202
70	Designación de instrumentos de medición y verificación	202
71	Operaciones tecnológicas	202
72	Cursograma de construcción	203
73	Cursograma de actividades del equipo de desinfección de semilla	209
74	Cursograma de actividades del elevador de cangilones	209
75	Valores de tiempo respecto al flujo de semillas	212
76	Control de apertura de válvula de la pistola	213
77	Posición del selector de vibración	213
78	Frecuencia de revisión equipo de desinfección	214

79	Frecuencia de revisión elevador de cangilones	214
80	Equipos de protección personal.....	215
81	Descripción del proceso	217
82	Variables	219
83	Pruebas con desinfectante Celest 025 F	219
84	Pruebas con desinfectante Vitavax.....	220
85	Variables constantes y no constantes.....	221
86	Nivel de vibración respecto al flujo de semillas	221
87	Control de la válvula de flujo de aire	222
88	Pruebas para 3 kilogramos.....	222
89	Pruebas para 6 kilogramos.....	223
90	Pruebas para 8 kilogramos.....	223
91	Pruebas de descarga.....	224
92	Secado de semillas	224
93	Especificaciones del equipo de desinfección de semillas	225
94	Pruebas de la boquilla	226
95	Metodología de Taguchi	227

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Equipo Gustafson Modelo SS-LA y diagrama de componentes principales5
2	Diagrama de componentes principales de CCentricoater6
3	Diagrama de los componentes principales de K-Xuquer IV7
4	Equipo de desinfección RH BASIC SERIES9
5	Esquema del sistema de transporte por bandas de ROTRANS S.A 12
6	Sistema de transporte por tornillo sinfín flexible de FLEXICON 13
7	Componentes de un sistema de transporte por tornillo sinfín. Modelo Gustafson 14
8	Transporte neumático con soplante de baja presión..... 15
9	Transporte neumático con ventilador Multiair de KONGSKILDE..... 16
10	Cangilón tipo CC-HD 16
11	Partes principales de un elevador de cangilones 17
12	Semilla de alfalfa20
13	Semilla de trébol.....21
14	Sistema de alimentación y dosificación de producto.....24
15	Pirámide truncada25
16	Componentes principales de un alimentador electromagnético26
17	Syntron F-T0 Feeder 1.5 Libras por hora.....27
18	Syntron F-T0 Feeder 2 toneladas por hora27
19	Syntron F-T0 Feeder 10 toneladas por hora28
20	Syntron F-T0 Feeder 4 toneladas por hora28

21	Pulverización neumática.....	30
22	Pistola pulverizadora para pintar	32
23	Principales elementos de una instalación neumática	33
24	Válvula distribuidora 5 vías x 2 posiciones.....	35
25	Unidad de mantenimiento.....	36
26	Reservorio prisma rectangular.....	41
27	Placa porta pistola	42
28	Fuerzas sobre el cilindro en las diferentes posiciones	47
29	Diagrama de cuerpo libre del conjunto cilindro producto.....	49
30	Transmisión de potencia por cadena y catalinas	51
31	Tipos de identadores	59
32	Elevador de descarga centrífuga	60
33	Elevador de descarga positiva o por gravedad	61
34	Elevador de descarga continua	62
35	Esquema del paso entre cangilones	64
36	Características físicas en las áreas de carga y descarga	67
37	Equilibrio entre la fuerza centrífuga y el peso	68
38	Control de tensión estática	80
39	Relación de tensiones y fuerzas sobre el eje.....	80
40	Caja negra (Equipo de desinfección y transporte)	92
41	Caja transparente (análisis de funciones del equipo de desinfección y transporte).....	93
42	Evaluación económica.....	105
43	Evaluación técnica.....	106
44	Evaluación de propuestas	106
45	Equipo solución 1	107
46	Tolva receptora de semillas.....	109
47	Vibrador electromagnético modelo F-T01	110

48	Bandeja para vibrador F-T01	111
49	Red neumática	112
50	Pistola pulverizadora F75	113
51	Cilindro neumático AIRTAC MIX16X10-S-CA, rótula en U.....	115
52	Válvula distribuidora 4V110-06	115
53	Unidad de mantenimiento (UTM)	116
54	Reservorio de desinfectante	122
55	Diagrama de cuerpo libre de la placa porta pistola	123
56	Corte primario.....	126
57	Tracción secundaria del perno.....	127
58	Aletas mezcladoras	131
59	Cilindro mezclador	132
60	Diagrama de cuerpo libre del conjunto cilindro producto.....	133
61	Transmisión de potencia por cadena y catalinas	135
62	Candado, estribo o unión acodada	137
63	Diagrama del cuerpo libre del eje	138
64	Diagrama del cuerpo libre del eje, fuerza de corte y momento flector.....	139
65	Diagrama de cuerpo libre del eje, plano xz	140
66	Rueda motriz	146
67	Trayectoria de las semillas	146
68	Características de las icobandas ENL	147
69	Características de los cangilones TAPCO, tipo CC-HD	148
70	Posición de la banda en los tambores	149
71	Fuerzas en la elevación.....	151
72	Gráfico de selección del perfil de la correa	153
73	Valores de carga para correas.....	159
74	Análisis de fuerzas en el eje de transmisión	161
75	Representación de la transmisión.....	162

76	Diagrama de fuerzas en el plano xy.....	163
77	Diagrama de fuerzas en el plano xz.....	164
78	Chaveta de la polea.....	167
79	Fuerzas actuantes en la chaveta	169
80	PLC Zelio.....	173
81	Programación del microPLCZelio	175
82	Diagrama de potencia.....	176
83	Circuito Dimmer.....	178
84	Diagrama de evaluación financiera.....	197
85	Gráfica VAN-TIR.....	198
86	Cursograma sistema de alimentación	204
87	Cursograma sistema de aplicación y recubrimiento con el desinfectante.....	204
88	Cursograma sistema de mezclado.....	205
89	Cursograma estructura	206
90	Cursograma sistema de alimentación	207
91	Cursograma sistema de transmisión.....	207
92	Cursograma estructura	208
93	Posiciones adecuadas para levantar un objeto.....	216
94	Partes del equipo de desinfección construido	225

SIMBOLOGÍA

$\bar{\rho}_a$	Densidad de la alfalfa	kg/m ³
$\bar{\rho}_t$	Densidad del trébol	kg/m ³
P_{semillaA}	Peso de una semilla de alfalfa	kg
P_{semillaT}	Peso de una semilla de trébol	kg
W_a	Humedad promedio de la semilla de alfalfa en cosecha	%
W_t	Humedad promedio de la semilla de trébol en cosecha	%
$F_{\text{extensión}}$	Fuerza de extensión	N
$F_{\text{retracción}}$	Fuerza de retracción	N
P_{sistema}	Presión del sistema	psi
A_{cilindro}	Área del cilindro	m ²
$A_{\text{vástago}}$	Área del vástago	m ²
Q_c	Caudal requerido por el cilindro	cm ³
L	Carrera del pistón	m
n	Número de ciclos por minuto	
z_a	Número de actuadores	
P_D	Presión de trabajo	psi
P_O	Presión atmosférica	psi
D_i	Diámetro interno del cilindro	m
D_v	Diámetro del vástago del cilindro	m
Q_c	Capacidad real de aire	cm ³ /min
Q_c	Capacidad de la boquilla	cm ³ /min
Q_c	Capacidad del cilindro	cm ³ /min

C_{MA}	Coeficiente de mayoración para futuras ampliaciones	
C_{MF}	Coeficiente de mayoración por fugas	
C_{00}	Coeficiente de ciclo de funcionamiento del compresor	
Q_{total}	Caudal consumido por el sistema	cm^3/min
Q'_{total}	Caudal total corregido	cm^3/min
P	Presión a la altura del lugar	kg/cm^2
T	Temperatura a la altura del lugar	$^{\circ}C$
P_o	Presión a nivel del mar	psi
T_o	Temperatura a la altura del lugar	$^{\circ}C$
P_C, P_{min}	Presión mínima del depósito del compresor	bar
P_{max}	Presión máxima del depósito del compresor	bar
$\Delta_p \text{ tanque}$	Variación de presión en el depósito	bar
$Q'_{consumotanq}$	Consumo del tanque	cm^3/min
$Q'_{compresor}$	Consumo del compresor	cm^3/min
K	Coeficiente de expansión adiabático	
R	Constante de los gases	
r_p	Relación de presiones	
m'	Flujo másico	kg/min
S_u	Resistencia a la tensión	MPa
S_y	Resistencia a la fluencia	MPa
δ_f	Esfuerzo por flexión	MPa
M_F	Momento flector	Nmm
I	Momento de inercia	$kg \text{ m}^2$
ζ	Esfuerzos por torsión	N/mm^2
S_e	Límite de resistencia a la fatiga	N/mm^2
K_a	Factor de superficie	
K_b	Factor de tamaño	
K_c	Factor de confiabilidad	

K_d	Factor de temperatura	
K_g	Factor para instrumentos especiales como quirúrgicos	
K_e	Factor de concentración de tensiones	
K_f	Coeficiente de mayoración de esfuerzos	
q	Coeficiente de sensibilidad de entalla	
K_t	Coeficiente geométrico	
E	Módulo elástico del material	N/mm^2
F_c	Fuerza centrífuga	N
F_T	Fuerza tangencial	N
F_S	Factor de servicio	
i	Relación de transmisión	
C_{pasos}	Distancia entre centros en pasos	m
C_{pulg}	Distancia entre centros en pulgadas	m
C	Distancia entre centros	m
V_0	Velocidad lineal del cangilón	m/s
ω	Velocidad angular del tambor motriz	rad/s
γ	Peso específico	kg/m^3
R'	Radio de curvatura	m
i_f	Ciclos de flexión por segundo	
y	Deflexión en la correa	m
T_1	Fuerza en el lado tirante	N
T_2	Fuerza en el lado flojo	N

LISTA DE ABREVIACIONES

INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
PLC	Programador Lógico Controlable
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
UHMW	Ultra Alta Peso Molecular
CITRAM	Centro de Investigación para el Transporte de Materiales
CFM	Coeficiente de Mayoración por Fugas
DIN	Deutsche Industrie Normen
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
UTM	Unidad Técnica de Mantenimiento
TECM	Teoría del Esfuerzo Cortante
TED	Teoría de Energía de Distorsión
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto
PE	Punto de Equilibrio

LISTA DE ANEXOS

- A Matrices de proyección
- B Matrices de puntuación
- C Vibrador electromagnético modelo F-TO1
- D Fuerzas teóricas en los cilindros neumáticos
- E Cilindros neumáticos serie MI
- F Montaje cilindros neumáticos serie MI
- G Diámetros de tuberías recomendadas de acuerdo al CFM de aire utilizado
- H Coeficiente dinámico de rozamiento frotamiento durante el movimiento
- I Eficiencia de ciertas máquinas
- J Factor de servicio
- K Selección de cadena
- L Selección de cadena REX
- M Características de las catalinas conductora y conducida
- N Valor del factor H_p
- O Vida L_h y durabilidad F_L para rodamientos de bolas
- P Valores F_n para rodamientos de bolas
- Q Chumaceras FAG
- R Comparación de materiales de caucho

RESUMEN

El diseño de equipos que faciliten el manejo pos cosecha de semillas de leguminosas, surge como una necesidad imperiosa de la comunidad de Pungal Grande, debido a la alta producción de estas semillas en el sector.

Se debe considerar que el tamaño de estas semillas son muy pequeñas por lo que el diseño tiene que regirse a este parámetro, para obtener el producto final con el menor daño posible.

Los equipos que se exponen en este trabajo son dos, diseñados para una capacidad de 150 kg/h. Estos son:

Un equipo de desinfección compuesto de tres sistemas principales que son: (1) Sistema de alimentación y dosificación, la semilla se acumula en la tolva de alimentación y se dosifica gradualmente con la ayuda de un vibrador electromagnético. (2) Sistema de aplicación y recubrimiento con el desinfectante, la semilla es dosificada sobre un cilindro giratorio accionado por un motorreductor trifásico, en el cual se aplica la dosis exacta de desinfectante por medio de una pistola pulverizadora accionada neumáticamente y controlada por un PLC y (3) Sistema de mezclado, el cilindro al girar además de transportar la semilla, permite un mezclado homogéneo sin producir daños ni alteraciones físicas a las semillas. El equipo es semiautomático, es decir el material se carga manualmente mientras que la descarga es automática.

Un elevador de cangilones que consta de cuatro sistemas que son: (1) Sistema de carga, la semilla se acumulada en un pulmón a la entrada del elevador en la parte inferior. (2) Sistema de elevación, la semilla se eleva en cangilones, llamados también buckets acoplados en una banda que es colocada sobre un tambor motriz y un tambor autolimpiante. El accionamiento se produce en el tambor motriz mediante un sistema de transmisión por banda y polea. (3) Sistema de transmisión, se usa un motor trifásico y un conjunto de banda y poleas para mover el tambor motriz. (4) Sistema de descarga, el producto es descargado de forma centrífuga por medio de un codo de descarga colocado en la parte superior del elevador.

ABSTRACT

The equipment design to facilitate the leguminous plant seed post-harvest management appeared as a need in the Pungal Grande community because of the high production of these seeds in the sector.

It is considered that the size of these seeds are small that is why the design has to be regulated to this parameter to get the final product without damages. The equipment exposed in this paper is designed for a 150kg/h capacity and is semi-automatic:

A disinfection equipment of three systems (1) feeding and dosing system: seed is accumulated in the hopper and it is measured out gradually with the support of an electromagnetic vibrator, (2) applying system and coating with the disinfecting: the seed is measured on a gyratory cylinder run by a three-phased reductive motor, where the accurate measure is applied by sprayer run pneumatically and controlled by a PLC (Programmable Logic Controller) program (3) mixing system: when the cylinder spins and carries the seed, it is mixed homogenously without producing physical alterations to be seeds.

A bucket elevator composed by four systems: (1) loading system: the seed is accumulated in a hopper to the entrance of the elevator at the bottom part, (2) elevation system: the seed is elevated in buckets attached in a band which is set on a motor drum and a self-cleaning drum; operation is produced in the motor drum by means of a transmission system by band and pulley, (3) transmission system: uses a three-phased engine and a pulley and band set to move the motor drum, (4) unloading system: the product is unloaded by using the force by a unloading cubit.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La región interandina del Ecuador es una zona eminentemente agrícola, destinada a la producción de forrajes, a nivel de la Provincia de Chimborazo, específicamente en el sector de Pungal Grande La Providencia, perteneciente al cantón Guano existen grandes y pequeños cultivos de alfalfa, en una superficie aproximada de 450 hectáreas de terreno, habitadas por 325 familias; quienes producen semillas de alfalfa sin emplear técnicas adecuadas, por lo cual es necesario implementar tecnología para mejorar la calidad de la semilla; mientras que en el cantón Riobamba en los sectores de San Luis, Tunshi y Guaslán se siembra y se cultiva trébol blanco debido a que las condiciones del terreno y clima son favorables.(AYABACA, 2012)

En países como Brasil, Chile, Argentina, Uruguay la alfalfa participa en un elevado porcentaje del área de cultivo y constituye una de las actividades económicas más importantes dentro del sector agropecuario. Estos países utilizan diversos métodos de tratamiento de semillas como: semillas tratadas con polímeros, tratadas con fungicidas, escarificadas químicamente con ácido sulfúrico, tratadas con insecticidas, entre otros.

Sus equipos de desinfección varían de acuerdo al sector y a la capacidad de producción. (ANÓNIMO, 2010)

Un método bastante común de desinfección de semillas es el uso de productos químicos. Estos se aplican directamente a las semillas, las cuales deben pasar por un proceso previo de secado, trillado, descascarado y limpieza que garanticen una condición óptima para la aplicación del desinfectante.

En la Estación Experimental Santa Catalina INIAP, ubicada al sur de la ciudad de Quito, existen dos equipos de tratamiento de semillas marca GUSTAFSON, Inc. DallasTexas USA, que funcionan con un sistema de balancín con un mismo eje para el ingreso de la semilla y aplicación de desinfectante, el transporte de la semilla tratada

es mediante un mecanismo de tornillo sin fin y en ellos se pueden tratar las semillas de raigrás, avena, maíz, entre otras.

El empleo de estas máquinas se torna necesario para grandes capacidades de producción; es decir para grandes empresas.

Otro tipo de equipo que se encuentra en estas instalaciones es un sistema de tambor rotatorio, la carga, descarga y movimiento en este sistema es manual.

Por lo tanto es de gran importancia, producir semillas de alta calidad, libre de patógenos, implementando tecnología en el proyecto de procesamiento de semillas de alfalfa y trébol.

Luego de observar y estudiar los mecanismos de trabajo así como la construcción de distintos equipos de desinfección que existen actualmente en el país, y a nivel internacional, antes de la fase de diseño se pudo aprovechar la experiencia obtenida en las distintas visitas.

El presente tema propuesto cumple con el perfil del Ingeniero Mecánico, en el tipo de Investigación Aplicada, en el Sector de Fomento Agropecuario y Desarrollo Productivo, proponiendo una solución a la necesidad social del sector Los Pungales, cantón Guano de la provincia de Chimborazo, realizado por la ESPOCH.

1.2 Justificación

1.2.1 *Justificación técnica.* Con la implementación de un equipo de desinfección y transporte de semillas, se reducirá el esfuerzo humano y el riesgo de contraer enfermedades producidas por el contacto directo con los diferentes productos químicos usados para el proceso de desinfección; ya que una gran parte de producción de semillas son obtenidas de manera artesanal poco eficiente.

1.2.2 *Justificación económica.* El proyecto a desarrollarse es rentable en función de la inversión que es accesible, ya que si hace una relación beneficio-costos, el capital se recupera con la venta de semillas de calidad que darán una óptima germinación, aumentando notablemente la producción de estas leguminosas. Otro aspecto importante es la venta y distribución de un producto nacional, evitando así las importaciones de semillas.

Además el ingrediente activo que se aplica es en dosis menores que si fuera un cultivo en crecimiento.

1.2.3 *Justificación social.* Este proyecto producirá un impacto positivo en el sector rural a implementarse, mejorando la calidad de producción de semillas y beneficiando a 1500 personas aproximadamente del Sector Los Pungales, Provincia de Chimborazo. Además servirá de incentivo para que sectores aledaños u otros gobiernos municipales adopten este proyecto y lo desarrollen en sus comunidades.

1.2.4 *Justificación ambiental.* Este sistema será diseñado para disminuir la contaminación del medio ambiente y proteger la salud de los productores, por cuanto no se utilizará pesticidas químicos que pueden contaminar el ambiente y producir la muerte de los polinizadores

Los subproductos rechazo del procesamiento de la semilla, se deberán utilizar en la elaboración de abonos orgánicos, para ser reciclados en la fertilización de los terrenos cultivables.

1.3 **Objetivos**

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar, construir y realizar las pruebas de un equipo de desinfección y transporte para la planta piloto de procesamiento y beneficio de semillas de alfalfa y trébol.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Diseñar un equipo mediante el Método de Pahl y Beitz para el tratamiento de desinfección y transporte de semillas de alfalfa y trébol, para una capacidad de 150 kg/h.

Construir un equipo para el tratamiento de desinfección y transporte de semillas de alfalfa y trébol, aplicando principios de ingeniería concurrente.

Realizar pruebas del equipo mediante principios de la metodología de diseño experimental estadístico.

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

En el mercado nacional e internacional se han desarrollado equipos y maquinaria que facilitan las labores de trillado, limpieza, desinfección, transporte y envasado de semillas de alfalfa y trébol, para obtener un producto que garantice una buena calidad de germinación orientado a una producción de semillas que cubra la demanda del mercado nacional.

2.1.1 Problemática. Los microorganismos patógenos que existen por la presencia de ciertos microorganismos en el suelo son llevados en la semilla produciendo en la misma, enfermedades que pueden estar asociados con acompañantes o ser portadores externa o internamente. En el caso de los acompañantes, los patógenos no están adheridos a la semilla sino que la acompañan en forma independiente. (ARRIAGADA, 2009 p. 8)

Las infecciones situadas profundamente también son un problema para una buena semilla ya que producen danos a los tejidos de la misma y, por lo tanto, afectan adversamente la germinación.

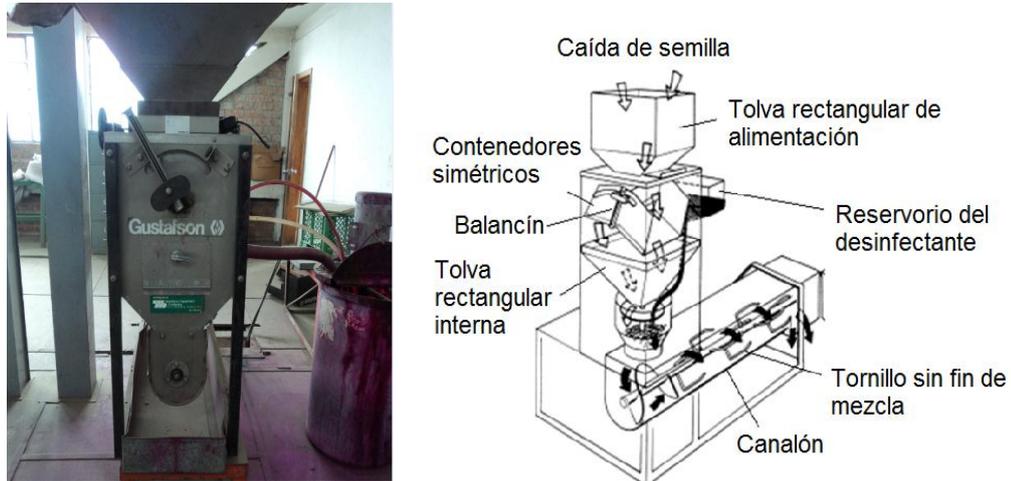
2.1.2 Equipos de desinfección

2.1.2.1 Equipo de desinfección GUSTAFSON MODELO SS-LA. La Compañía de Equipos Seedburo ubicada en la ciudad de Chicago, en los Estados Unidos en el año de 1999 desarrolló el equipo de desinfección de semillas GUSTAFSON, Inc. Dallas Texas USA; dos modelos de este tipo se encuentran en la Estación Experimental Santa Catalina "INIAP", ubicada al sur de la ciudad de Quito.

Estos equipos permiten realizar una mezcla entre la semilla y el desinfectante líquido, obteniéndose al final del proceso una semilla con una capa protectora de desinfectante. El proceso comienza con la alimentación de la semilla a tratar en una

tolva rectangular, esta semilla cae en un sistema de dos contenedores simétricos, que tienen sus tamaños de acuerdo a la cantidad de semilla y producto químico a utilizarse, estos contenedores funcionan alternadamente con la ayuda de un sistema de balancín que presenta un solo eje.

Figura 1. Equipo Gustafson Modelo SS-LA y diagrama de componentes principales



Fuente: INIAP. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias

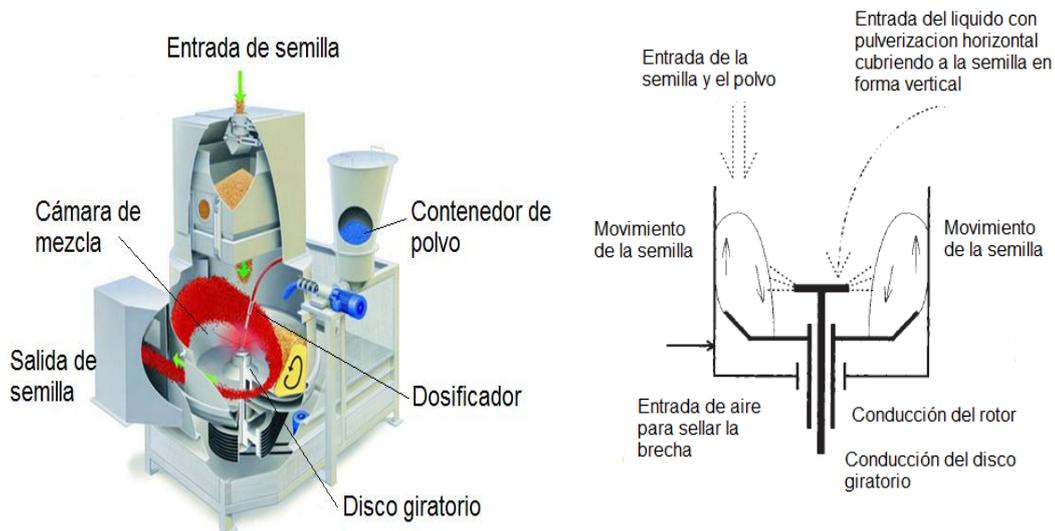
La unidad funciona con un motor de ½ HP para el canal de mezcla, un motor de 1/15 HP para el tanque de premezcla y un motor de 1/15 HP para la cabeza del tanque. Los motores son de 110V, 220V 60Hz. La capacidad mínima de funcionamiento es de 600 libras (272 kg) y un máximo de 3900 libras (1131kgs) por hora y en ellos se pueden tratar las semillas de alfalfa, raigrás, avena, trébol, entre otras leguminosas y semillas de pasto. El empleo de estas máquinas se torna necesario para grandes capacidades de producción; es decir para grandes empresas.

2.1.2.2 Equipo de desinfección CCentricoater. Un equipo bastante interesante es el llamado CCentricoater, el cual es fabricado por la mayoría de empresas Europeas, siendo su país de origen Austria. La empresa CIMBRIA HEIDdesarrolló un modelo automático;este equipo presenta una cámara de mezcla, que es una carcasa de acero inoxidable cilíndrico con un fondo de rotación o rotor interno. La semilla se deja caer suavemente a partir de una balanza electrónica en la cámara y sobre el rotor. Este rotor mueve suavemente la semilla impulsándola hasta la pared de la cámara. Esto causa un plegado de semilla de exterior a interior de la cámara. (CIMBRIA, 2010)

Un disco giratorio está ubicado en el centro de la cámara de mezcla, en la que los materiales de tratamiento se suministran desde el sistema de dosificación controlado

por PLC. El líquido atomizado en forma vertical cubre la semilla proporcionando una aplicación uniforme altamente intensiva de material de tratamiento en cada grano de semilla.

Figura 2. Diagrama de componentes principales de CCentricoater



Fuente: <http://www.cimbria.com/en-GB/Home/Solutions/Seed-Processing.aspx>

Todos los tipos de tratamientos de materiales, líquidos y polvos se pueden aplicar de manera efectiva en este sistema. La ventaja que presenta este tratador en comparación con otros es que la fuerza centrífuga desarrollada en la cámara de mezcla permite que se adhiera una muy delgada capa de materiales de revestimiento en la superficie de la semilla, por lo tanto se requiere de menos agua o líquido para lograr una completa cobertura.

La salida de la semilla, gracias a la fuerza centrífuga, es hacia una cámara de descarga, ubicada en la parte lateral del equipo, la puerta es accionada manualmente por el operario.

El equipo presenta una balanza electrónica y un medidor de flujo para los productos químicos para asegurar una muy alta precisión en su aplicación. La unidad completa es controlada por PLC, lo que da una indicación de errores en el proceso de solicitud. Esto también ayuda y facilita la operación por parte del operario.

Además este equipo presenta un disco giratorio horizontal, una correa V de transmisión con un Motor TEFC de 2 HP, dos puertos de entrada para la dosificación

de los agentes por medio de bombas opcionales y la tolva de entrada. Hay una puerta de descarga de accionamiento manual o automático y un convertidor de frecuencia para el accionamiento de velocidad variable.

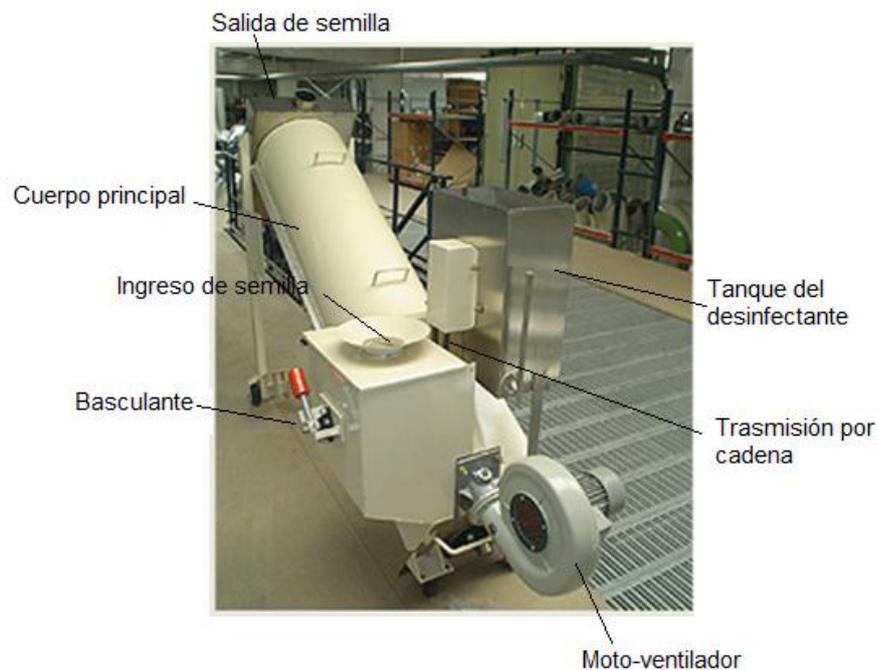
2.1.2.3 Equipo de desinfección K-Xuquer IV. EGINEERINGQUALITY and INNOVATION ILPERSA es una empresa Europea que en el año 2011 desarrolló el equipo de desinfección K-Xuquer IV. El equipo garantiza un tratamiento homogéneo de la semilla, con la aplicación del producto líquido predeterminado, con capacidad hasta 6 Ton/h. (ILPERSA, 2011)

La máquina consta de un cuerpo de entrada, donde la semilla cae en un balancín basculante, el cual dosifica la cantidad de producto químico de acuerdo a la cantidad de semillas.

El producto químico se atomiza por medio de un inyector con su moto-ventilador, en el cuerpo principal, donde se mezcla con la semilla por medio de paletas removedoras.

El cuerpo está construido en acero inoxidable y es de fácil apertura para su limpieza. Incorpora una bomba para la alimentación del líquido desinfectante en circuito cerrado.

Figura 3. Diagrama de los componentes principales de K-Xuquer IV



Fuente:<http://ilpersa.com/blog/limpieza-seleccion-clasificacion-y-tratamiento/limpieza-clasificacion-seleccion-y-tratamiento-desinfeccion-k-xuquer/>

El equipo basculante no es más que un eje que comparten dos contenedores simétricos, para diferentes medidas de semilla; este eje sale al extremo del cuerpo del contenedor de semillas y por medio de una transmisión por cadena mueve otro eje ubicado en el tanque del desinfectante el cual incorpora una especie de tazas medidoras que reparte el líquido, el mismo que se nebuliza con la ayuda del motor-ventilador formando una capa suave de desinfectante sobre las semillas.

Engineering Quality and Innovation asegura que este equipo es utilizado para diferentes tipos de semillas como por ejemplo forrajeras, leguminosas, soya, trigo, entre otras. Lo interesante que presenta el K-Xuquer IV es su cuerpo inclinado que permite una mayor distribución del desinfectante en la semilla, la misma que sale por el extremo superior del cuerpo.

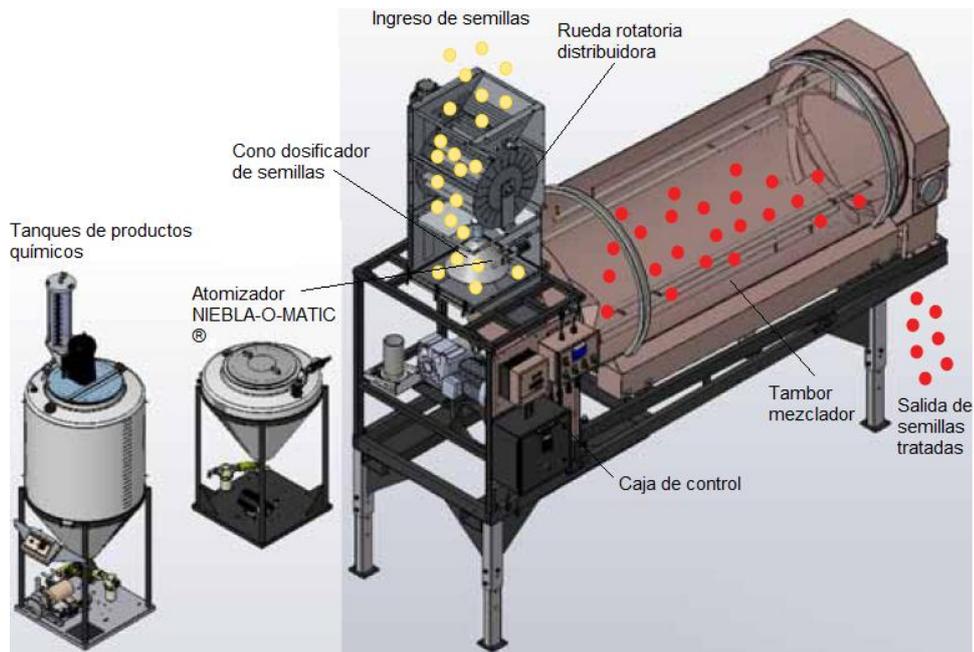
2.1.2.4 Equipo de desinfección *RH BASIC SERIES*. La empresa Alemana Bayer SeedGrowth en el año 2008 desarrolló el equipo tratador de semillas RH BASIC SERIES para una capacidad de 2 toneladas por hora que está diseñado para aplicar continuamente productos químicos únicos o múltiples, a la vez, a las cantidades predefinidas de semillas, que se establece a través de la calibración. (LP, 2012 p. 8)

La semilla entra en una rueda con compartimientos que tienen el mismo volumen o capacidad. La velocidad de la rueda multiplicada por el número de revoluciones define el volumen de semillas transportadas por minuto. Las bombas que suministran los productos químicos utilizan un atomizador llamado NIEBLA-O-MATIC®, este equipo atomiza el producto químico en una cantidad específica por minuto. Ver figura 4

La semilla pasa a través de una nube atomizada de producto líquido luego de circular sobre un cono de dispersión. La distribución uniforme de la semilla y el líquido asegura una mezcla verdaderamente homogénea, lo que resulta en un recubrimiento de alta calidad. Esto ayuda a asegurar semillas viables con altas tasas de eficacia.

El tambor de mezclado es impulsado por un motor de arranque suave de velocidad variable. El ángulo de inclinación del tambor se puede ajustar. El tipo de desinfectante se puede escoger de acuerdo al tipo de semilla, esto para asegurar un acabado totalmente encapsulado, lo suficientemente seco para ser ensacado inmediatamente, pero no tan seco como para crear problemas de formación de polvo. Es por eso que existe una relación de tres veces el diámetro la longitud del tambor.

Figura 4. Equipo de desinfección *RH BASIC SERIES*



Fuente: Catálogo Seed Treatment Machinery. p.8

El equipo presenta tres tanques de productos químicos para capacidades de 26 galones cada uno, las bombas que suministran estos líquidos son peristálticas. Además presenta una caja de control en el cual un PLC controla todos los mandos del sistema.

Una vez que haya salido todo el lote de semillas desinfectadas y no existan semillas en la rueda rotatoria distribuidora, las bombas se detienen, al igual que el tambor rotatorio.

2.1.3 Estudios experimentales. Velia Arriagada en el año 2009 en su investigación titulada “SEMILLAS, inspección, análisis, tratamiento y legislación” nos habla sobre la existencia de diversos tratamientos químicos para semilla las mismas que son directamente afectadas por el tipo de tratamiento, el producto usado y su dosificación. Esta investigación trata sobre el mecanismo de acción del agente desinfectante y el proceso de la mezcla con la semilla en el tratamiento. (ARRIAGADA, 2009)

Cuando la semilla se remoja en una solución diluida hay una distribución completa y uniforme del desinfectante y se obtiene un completo cubrimiento de la semilla, dado que esta permanece suficiente tiempo en la solución para asegurar el completo humedecimiento de la masa. La alfalfa y trébol son semillas que requieren de muy poca humedad y temperaturas de 2-3 °C para empezar su germinación siempre que

las demás condiciones ambientales lo permitan. A medida que se incrementa la temperatura la germinación es más rápida hasta alcanzar un óptimo a los 28-30 °C. Temperaturas superiores a los 38 °C son letales para la plántula. (ANÓNIMO, 2010)

Esta investigadora junto con el Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA-O.E.A) informa que uno de los mejores procesos de desinfección es por medio de la atomización o pulverización, en este tratamiento, una suspensión de desinfectante se quiebra en finas gotas durante el proceso, considerándose uno de los métodos más efectivos, ya que se logra que las semillas sean cubiertas uniformemente con el fungicida. (ANÓNIMO, 2005)

En la Estación Experimental Santa Catalina "INIAP", ubicada al sur de la ciudad de Quito existe un equipo de desinfección de la marca GUSTAFSON que solo se utiliza para granos gruesos y grandes como por ejemplo maíz, trigo, raigrás entre otros dando resultados muy favorables porque la semilla queda impregnada con una fina capa de desinfectante. Además el producto sembrado y cosechado presenta alto índice de calidad. Aunque en las especificaciones del equipo se diga que es apto para leguminosas no se han probado con semillas de alfalfa y trébol.

Los diferentes laboratorios de Cimbria Manufacturing A/Subicados en diferentes partes del mundo como por ejemplo Canadá, Alemania, Austria etc., desarrollan una variedad de equipos de laboratorio, cada ejemplar está diseñado de acuerdo al tipo del producto y la necesidad del cliente como pueden ser manuales, semiautomáticos y automáticos, cada uno presenta un rendimiento muy alto y su debida certificación de acuerdo a la norma QualityStandards ISO 9002.

Las investigaciones y pruebas de laboratorio del Cimbria Centricoater ubicados en Austria han determinado que una buena opción para la desinfección de semillas pequeñas es mediante la ayuda de la fuerza centrífuga para la mezcla semilla-producto químico. El desinfectante es aplicado en dosis muy pequeñas el mismo que cae libremente desde una tubería sobre un plato giratorio, de esta manera se reduce el excesivo consumo de agente químico, disminuyendo el impacto dañino sobre el medio ambiente. Los resultados son homogéneos, la semilla tiene una capacidad de crecimiento óptimo y cumple con las normas internacionales para las semillas certificadas.

La compañía Wintersteiger ubicada su sede principal en Austria presenta diversos laboratorios de acuerdo al tipo y tamaño de semilla, siendo el de nuestro interés el laboratorio LD 350 Laboratory Thresher, quienes analizan los equipos de desinfección de semillas de tamaños desde 1 mm hasta 20 mm, ellos afirman que el método más económico y limpio es por medio de la pulverización.

Los institutos BAYER Y BAYER en sus laboratorios preparan la semilla, la limpian y la desinfectan, en sus máquinas RH SERIES, después analizan los resultados enfocándose en el sistema de funcionamiento, demostrando que la fuerza centrífuga del tambor giratorio a un determinado número de revoluciones la semilla se cubre al 99.9 % del producto químico, dando un gran poder de germinación. (LP, 2012)

2.1.4 *Aplicabilidad en el Ecuador.* La experiencia ha mostrado que la utilización de productos químicos como desinfectantes de semillas, reducen los patógenos que dañan la semilla y su germinación. No obstante debe existir un método de aplicación del producto con un equipo adecuado que distribuya la dosis correcta de desinfectante de acuerdo a la cantidad y tipo de semilla.

De los equipos mencionados en esta revisión la mayoría tendrían el problema económico para ser introducidos ya que estos son construidos en países Europeos, en especial el equipo CCentricoater ya que es ser muy costoso debido a su origen y sofisticación. De este tipo de equipos vale resaltar el uso del PLC, el cual controla toda la automatización de la dosificación del líquido y polvo, la cantidad de semilla a desinfectar, el movimiento del disco y de la cámara mezcladora así como la descarga de la semilla tratada; este sistema automático también permite desinfectar todo tipo de semilla, gracias a su tamaño adecuado.

Los equipos utilizados en la Estación Experimental Santa Catalina "INIAP", de la marca Gustafson, parece mostrar algunas ventajas aparentes en costos de construcción, pero el inconveniente está en que estas máquinas nunca han sido utilizadas para el tratamiento de semillas de alfalfa y trébol debido a su tamaño, y además son utilizadas para grandes producciones de semilla. No obstante se debería evaluar primero algún prototipo a fin de cerciorarse de los posibles beneficios para nuestra semilla.

Una variedad de equipos RH SERIES insiste el uso de un atomizador y un tambor giratorio como principio de mezclado. Este equipo parece tener un alto costo de

construcción debido a sus componentes electrónicos para la automatización del mismo, pero puede resultar factible su construcción ya que su diseño no es tan complicado como los demás equipos.

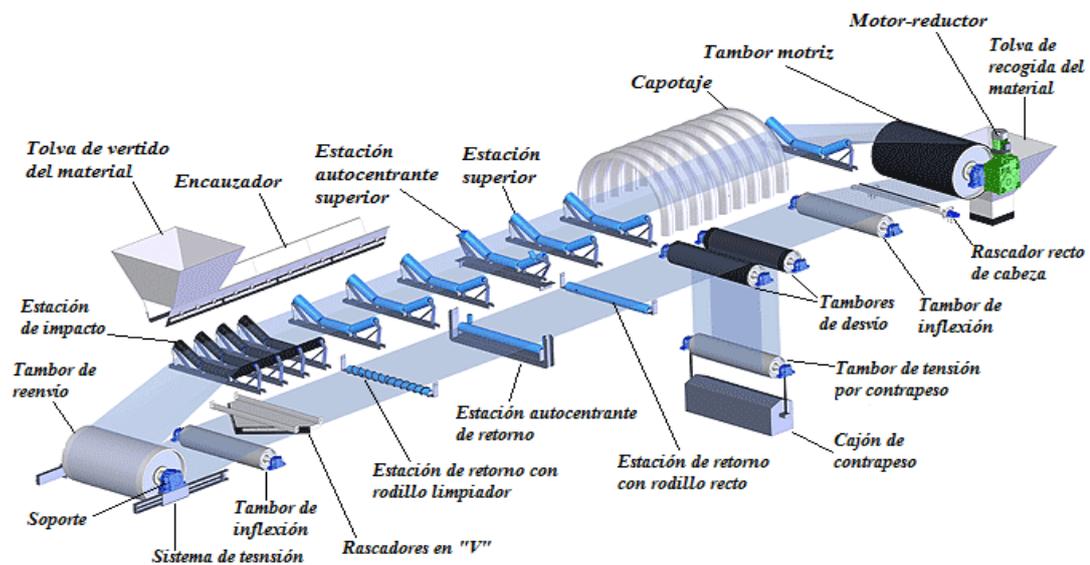
Además para introducir a nuestro país varias de estas máquinas mencionadas anteriormente es necesario que exista una gran producción de semilla lo cual no hay en tales cantidades, por lo que la mejor solución será diseñar y construir un equipo de acuerdo a la necesidad de producción.

2.1.5 Sistema de transporte. El sistema de transporte estará encargado de desplazar y elevar la semilla de alfalfa y trébol de manera longitudinal y transversal hacia la tolva de ingreso del equipo de envasado.

2.1.5.1 Equipo de transporte por banda ROTRANS S.A. El sistema de transporte por bandas que desarrolla ROTRANS S.A. está constituido por una tolva de vertido del material unido a un encauzador, el cual guía el material hacia la banda; esta banda se mueve accionada por dos tambores situados en sus extremos, el tambor motriz y el tambor de reenvío. (ROTRANS, 2011)

Un motor-reductor es colocado en el tambor motriz, el cual inicia el movimiento del sistema.

Figura 5. Esquema del sistema de transporte por bandas de ROTRANS S.A



Fuente: <http://rotranssa.com/cintas-transportadoras>

Tiene la ventaja de su bajo consumo energético y sencillo mantenimiento. Sin embargo, no son aptas en general para productos pulverulentos, ni pueden trabajar con pendientes superiores a 20-25°.

2.1.5.2 Equipo de transporte por tornillo sin fin FLEXICON BEV-CON. Flexicon desarrolló el Transportador BEV-CON, el cual está equipado con un sinfín flexible, el cual permite una mayor operatividad del sistema. Cuenta con un bastidor que contiene la tolva de alimentación del producto, el tubo de transportador en donde está alojado el tornillo sinfín, un motor eléctrico que dará movimiento al transportador y la tolva de descarga para la salida del producto. (FLEXICON, 2010 p. 6)

Está fabricado en acero inoxidable, resistente a la corrosión. Su diseño sencillo no requiere cables, cadenas, discos, cojinetes internos ni las numerosas piezas móviles encontradas en otros sistemas de transporte. En la parte superior, junto al motor posee soportes de conexión que sirven para fijar el sistema de acuerdo a las necesidades de la planta industrial.

Figura 6. Sistema de transporte por tornillo sinfín flexible de FLEXICON

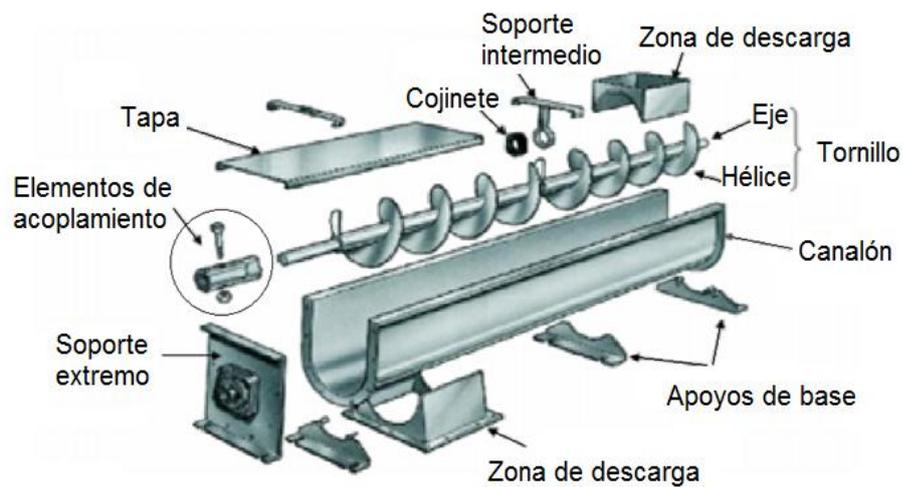


Fuente: FLEXICON. Equipos de manipulación de materiales a granel y sistemas de ingeniería

2.1.5.3 Equipo de transporte GUSTAFSON MODELO SS-LA. Este transportador de tornillo sinfín efectúa el desplazamiento del material por un canalón, valiéndose de un

tornillo giratorio. La semilla cae por la zona de carga, un motor eléctrico que va acoplado en el soporte extremo da movimiento al eje y mediante las hélices del tornillo transportan el material hacia la zona de descarga. (AGUINSACA, 2008 p. 27)

Figura 7. Componentes de un sistema de transporte por tornillo sinfín. Modelo Gustafson



Fuente: INIAP. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias

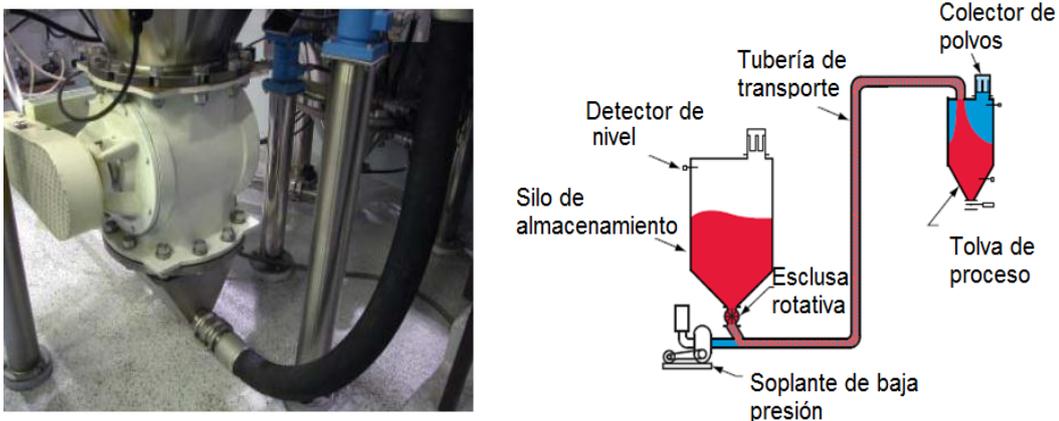
Cuenta además de un soporte intermedio, que sirve de guía al eje, cojinetes, elementos de acoplamiento, para conectar con el motor y apoyos de base para que quede estable el transportador.

El canalón del transportador de tornillo sin fin se suele fabricar de chapa de acero de 2 a 8 mm de espesor. El paso del tornillo depende de cuánto más ligero sea el material a transportar. La velocidad de rotación del tornillo depende de la naturaleza de la carga y del diámetro del tornillo. Para los materiales pesados, la velocidad de rotación suele ser cerca de 50 r.p.m. y para los ligeros, entre 150 a 400 r.p.m. El diámetro del tornillo D depende del tamaño de los pedazos de la carga a desplazar.

2.1.5.4 Equipo de transporte neumático LPD 2000 Concepto Presión™. Dynamic Air Inc. Es una empresa líder mundial en sistemas de transporte neumático, su sede central está en St. Paul, Minnesota, USA, quien ha desarrollado 16 conceptos diferentes de transporte neumático, utilizando la presión de aire o el vacío, para tratar una extensa variedad de sólidos y graneles con una gran variedad de aplicaciones.

Dentro de estos conceptos, Dynamic Air desarrolló el equipo LPD 2000 Concepto Presión™, el cual es un sistema de transporte continuo de presión baja. El sistema funciona con un soplante de baja presión que transportará el material por medio de la tubería de transporte, el aire saldrá del sistema mediante el colector de polvos y la semilla caerá hacia la tolva de proceso. Cuenta además con un silo de almacenamiento con un detector de nivel, donde estará depositado el material a transportar. (AIR, 2010 p. 12)

Figura 8. Transporte neumático con soplante de baja presión



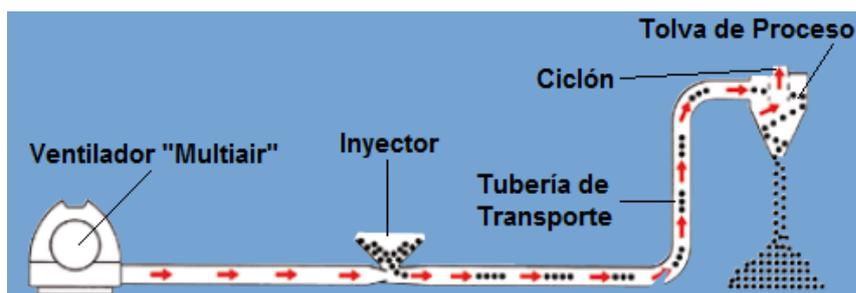
Fuente: DINAMIC AIR. 16 Conceptos de Transporte Neumático

2.1.5.5 Equipo de transporte neumático KONGSKILDE MULTIAIR 2200. Kongskilde es una empresa Española que se dedica al diseño y fabricación de sistemas de transporte neumático. Esta empresa desarrolló el equipo KONGSKILDE MULTIAIR 2200.

El producto es alimentado por medio de un inyector y mediante un ventilador de alta presión "Multiair" que está ubicado antes del sistema de alimentación del producto, impulsará dicho producto a lo largo de los conductos o tuberías de transporte. (KONGSKILDE, 2011)

El sistema consta de un Ciclón que separa la semilla y el aire, devolviendo a la atmósfera aire limpio y depositando la semilla en la tolva de proceso.

Figura 9. Transporte neumático con ventilador Multiair de KONGSKILDE



Fuente: KONGSKILDE. MulticutterSystem

2.1.5.6 Transporte por cangilones Tapco inc. TAPCO Inc. Es una empresa Norte Americana líder en la fabricación y distribución mundial de pernos especiales y cangilones para elevadores para todo tipo de agroindustria, paletas para transportadores de arrastre a cadena y láminas de polietileno UHMW y poliuretano; cuenta con varios modelos de cangilones en materiales diversos: metálicos y plásticos; polietileno, nylon o uretano con sus respectivos pernos, arandelas y tuercas.

Los cangilones Tapco reducen el desgaste prematuro de las carcasas de los elevadores y prolongan la vida de las bandas; a su vez estos permiten poner un mayor número de cangilones por metro de banda, lo que aumenta la capacidad de los elevadores y disminuye el consumo de potencia (kW / hr.)

TAPCO INC., ha desarrollado el cangilón para servicio pesado "Heavy Duty" tipo CC-HD, el cual es empleado para el uso con materiales como: granos, alimentos balanceados, fertilizantes, semillas, sal, arena, productos químicos y productos alimenticios.

Figura 10. Cangilón tipo CC-HD.



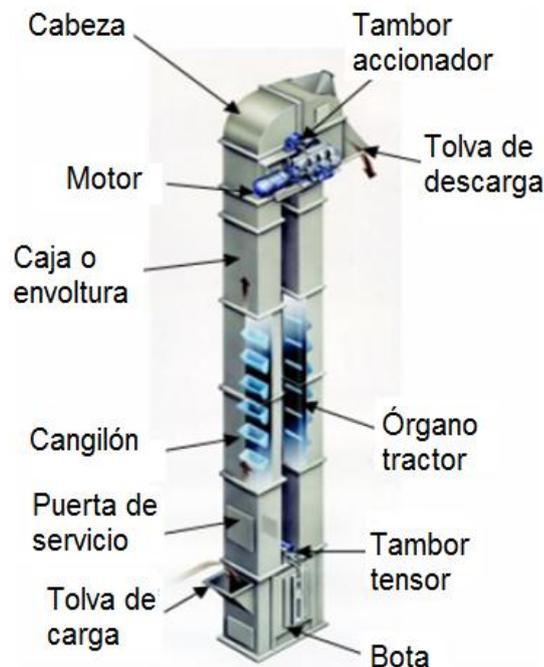
Fuente:TAPCO INC. Catálogo Mini Guía de Productos Tapco

Entre las principales características de este tipo de cangilón se tiene: larga durabilidad, fuerte y flexible, paredes gruesas, liviano, descarga directa, menor daño al producto, reduce el retorno en el ramal ascendente, no produce chispas y no es corrosivo.

El ciclo de funcionamiento comienza con la alimentación del material, este puede caer directamente desde la tolva hacia el cangilón o cargar el material por dragado.

Una vez llenos los cangilones son elevados gracias a un sistema de transmisión por poleas y bandas que son accionados por un motor eléctrico. La descarga se produce en la parte superior aprovechando la fuerza centrífuga que expulsa el material hacia la tolva de descarga. Los cangilones están sujetos a la banda mediante pernos, cuenta además con una puerta de servicio para realizar inspecciones. Todo el sistema está cubierto por la caja o envoltura.(TAPCO, 2006)

Figura 11. Partes principales de un elevador de cangilones



Fuente: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes/material-de-clase-1/elevadores_cangilones.pdf

2.1.6 Estudios experimentales. Dynamic Air proporciona a los clientes equipos que se adaptan completamente a sus necesidades, es así que, si existe un nuevo producto, Dynamic Air cuenta con un laboratorio de pruebas totalmente equipado, para que ese producto sea sometido a pruebas para determinar parámetros como transportabilidad, relaciones de producto/aire, velocidad del producto, efectos higroscópicos, dimensionamientos de filtros, tiempos en el llenado y el transporte, presión de transporte adecuada, aire necesario, densidad del producto y cualquier otro dato que pueda ser útil para un correcto diseño del equipo y sistema de transporte. (AIR, 2010)

De igual manera, FLEXICON cuenta con instalaciones de prueba que simulan equipos y sistemas de transporte, donde verifican el rendimiento antes de la fabricación. En estas instalaciones se demuestra el funcionamiento de los equipos recién fabricados para clientes que las visiten.

Por otra parte Gonzales Seabra Pedro, diseñó un sistema de transporte neumático con una capacidad de 1200 kg/h, para transportar quinua. De acuerdo con esta capacidad, se diseñó en base a un sistema de baja concentración que utilizan presiones relativamente bajas, lo que lleva a utilizar equipos menos costosos. Entonces, de acuerdo a las propiedades propias de la quinua, Gonzales decide usar un sistema de succión o sistema de presión indistintamente, ya que la quinua es un material fino y casi no presenta características abrasivas, corrosivas o tóxicas.

El Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María de Chile, formó el Centro de Investigación para el Transporte de Materiales (CITRAM) para estudiar experimentalmente el transporte neumático de materiales sólidos a granel, los diferentes tipos de flujo que se pueden generar dentro de una cañería, y para determinar los parámetros más importantes para el correcto diseño y operación de estos sistemas tales como la velocidad mínima de transporte y la caída de presión en la tubería de transporte.

También la Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina, realizó una investigación en sistemas de transporte neumático de semillas con distintas longitudes de tubo alimentador vertical hacia la máquina sembradora. El objetivo de esta investigación es la de evaluar la uniformidad en la llegada de semilla a cada cuerpo de siembra, y lo realizaron mediante simulaciones numéricas del flujo de aire en el sistema de distribución de semillas.

En la ciudad de Quito, por la gran experiencia en diseño y construcción de equipos para la industria y la agroindustria desarrollado por la empresa EMPAG, representado por el ingeniero Pablo Llumiyinga, nos menciona las ventajas de utilizar un sistema de transporte de cangilones por su facilidad de construcción así como su ventaja económica. Añade además que este tipo de transporte es el que más se utiliza en la industria agrícola, específicamente en el transporte de semillas.

2.1.7 Aplicabilidad en el Ecuador. En Ecuador, el uso de sistemas de transporte es muy común en agroindustrias e industrias en general. Por ejemplo, en la Empresa Tubasec C.A., ubicado en la ciudad de Riobamba, se puede apreciar el uso de dos sistemas de transporte, uno por bandas y otro por tornillo sin fin. Así también en los Molinos Fénix de la misma ciudad, se encuentra un sistema de transporte por cangilones y neumático.

También en el INIAP, Estación Santa Catalina ubicada al sur de la ciudad de Quito, se puede apreciar el uso de sistemas de transporte de cangilones para elevar semillas, además existen en esas instalaciones transportadores de tornillo sin-fin.

Entonces no habría ningún problema en implementar cualquier tipo de sistemas de transporte descritos anteriormente, pero para el caso de transporte de semillas de alfalfa y trébol sería aconsejable el uso de transporte neumático o el transporte de cangilones, ya que presentan mayores ventajas tanto en costos como en seguridad y fiabilidad.

El equipo ROTRANS, transporte por bandas, no resultaría práctico ni económico emplearlo para transportar semillas de alfalfa y trébol, porque se necesitaría mayor longitud del sistema para cubrir una altura deseada, debido a que el ángulo recomendable de diseño es 20°. También se necesitarían más accesorios y elementos que harían más costosa su aplicabilidad.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Tecnología de semillas de alfalfa y trébol

2.2.1.1 Semillas de alfalfa (*Medicago Sativa*). La alfalfa (*Medicago Sativa*) es una especie perenne, de raíces profundas con muchos tallos usualmente erectos que parten de yemas en la corona. En condiciones adecuadas es la leguminosa forrajera más productiva.

En nuestro país la alfalfa ocupa el primer lugar entre los cultivos forrajeros de los valles interandinos, ya que se adapta bien a varios tipos de clima y suelo, produce excelentes cosechas, enriquece las tierras con nitrógeno, materia orgánica; produce alimento de elevada riqueza proteínica, por lo que es muy apetecido por el ganado; no

debe olvidarse que se obtienen cosechas durante varios años con una sola siembra y reducidos costos de cultivo. (ANÓNIMO, 2005 p. 8)

En la Figura 12 se puede apreciar la semilla de alfalfa.

Figura 12. Semilla de Alfalfa



Fuente: Autores

Características de la semilla de alfalfa:

Nombre común: Alfalfa

Nombre científico: Medicago Sativa

Forma de la vaina: Espiral

Forma de la semilla: Elíptica

Longitud promedio de la vaina $L = 0.005$ m

Espesor de la semilla $e = 5.00E-04$ m

Espiras promedio: 5

Densidad de la alfalfa $\delta_a = 785.7$ kg/m³

Peso de una semilla de alfalfa $P_{\text{semillaA}} = 0.0022$ gr

Humedad promedio de la semilla de alfalfa en cosecha $W_a = 20$ %

Porcentaje de impurezas presentes = 70%

Fuerza de descascarar $F = 0.150$ N

Alto de la semilla = 0.0025 m

Ancho de la semilla = 0.0010 m

Espesor de la semilla = 0.0005 m

2.2.1.2 Semillas de trébol (*Trifolium repens*). El trébol (*Trifolium repens* L.) es una especie de trébol nativa de Europa, norte de África, y Asia occidental. Es cosmopolita, al aparecer en distintos ambientes dentro del clima templado húmedo. Es muy importante como forrajera.

Se trata de una especie herbácea perenne. De porte rastrero, alcanza una altura de 10 cm. Su hábito estolonífero hace de ella una leguminosa de excelente adaptación al pastoreo en zonas templadas de todo el mundo. Se propaga por estolones y semillas. (WIKIPEDIA, 2012)

En la Figura 13 se puede apreciar la semilla de trébol blanco.

Figura 13. Semilla de trébol



Fuente: Autores

Características de la semilla de trébol blanco:

Nombre común: Trébol Blanco

Nombre científico: *Trifolium repens*

Forma de la vaina: Plana

Longitud promedio de la vaina $L = 5 \text{ mm}$

Número de semillas por vaina = 5

Forma de la semilla: Redondeada

Número de semillas por vaina = 5

Densidad de la alfalfa $\delta_t = 770.000 \text{ kg/m}^3$

Peso de una semilla del trébol $P_{\text{semillaT}} = 0.000575 \text{ gr}$

Humedad promedio de la semilla de trébol en cosecha $W_t = 22,63\%$

Porcentaje de impurezas presentes = 59.089%

Fuerza de descascaro $F = 0.150 \text{ N}$

Alto de la semilla = 0.0010 m

Ancho de la semilla = 0.0010 m

Espesor de la semilla = 0.00025 m

2.2.2 Recepción de semillas procesadas. Las semillas de alfalfa y trébol deben cumplir un proceso antes de ingresar al equipo de desinfección, dicho transcurso empieza con la cosecha de la semilla; esta debe poseer un porcentaje muy bajo de residuos de hojas y tallos de especie de malezas acompañantes, en otras palabras, es

notablemente ventajoso cosechar el máximo de semilla limpia con lo que se conseguirá que el siguiente paso que es el secado sea rápido ya que se elimina todo el material vegetal que interfiera en dicho proceso.

Normalmente, la semilla proveniente de la cosecha directa contiene una humedad muy alta superior al 20% lo cual atenta contra su buena conservación y basta que se encuentre pocas horas embolsado o a granel para que el poder germinativo y el vigor de las plántulas se vean seriamente afectados por ello.

Si bien la mayoría de las semillas alcanzan la madurez fisiológica con contenidos de humedad variables entre 35 y 45%, su conservación es segura siempre y cuando estos porcentajes desciendan a 10-12%. De lo contrario, se producirá una serie de procesos desfavorables entre los que deben destacarse elevación de la temperatura, aumento en el ritmo respiratorio, apelmazamiento y predisposición al ataque de plagas y enfermedades fúngicas.

De ahí que el proceso de secado debe ser llevado a cabo forzosamente después del proceso de cosecha. A continuación la semilla pasa al proceso de trillado y limpieza final, para obtener una semilla libre de impurezas y cualquier otra semilla de plantas acompañantes. Esta es la semilla que ingresara al equipo de desinfección, que posteriormente será transportada hacia la empaquetadora, quedando un producto listo para la comercialización.

2.2.3 Tratamientos químicos. Los métodos para prevenir o disminuir la transmisión de patógenos por semilla son clasificados según la naturaleza del agente usado y pueden ser: físicos, químicos, biológicos y bioquímicos. En nuestro caso se realizara un tratamiento químico

En la actualidad, la aplicación de productos químicos para el control de patógenos transmitidos por semilla es el método más seguro, barato y efectivo.

La ventaja principal de los tratamientos químicos de semillas consiste en que, cuando se logra fijar el producto con exactitud, uniformidad y seguridad, éste queda ubicado en el sitio donde su acción es más eficaz. Son, además, económicos, pues el ingrediente activo se aplica en dosis menores que si fuera un cultivo en crecimiento.

Es más, las cantidades reducidas de productos químicos en los tratamientos de semillas producen menor impacto ecológico en comparación con las aplicaciones de pos emergencia. (ARRIAGADA, 2009 pp. 71-76)

Los tratamientos químicos pueden clasificarse en dos grandes grupos, las desinfecciones y las fumigaciones, estas últimas se tratan en los tratamientos insecticidas.

2.2.3.1 Desinfecciones. La aplicación de desinfectantes no está limitada, como otro tipo de tratamientos, por el tamaño de la semilla o su cantidad y es factible usarlo como rutina comercial.

Un proceso de desinfección química de semilla sigue brevemente la siguiente secuencia: la semilla se mezcla con el producto químico, el cual es mecánicamente distribuido en forma de polvo, pasta (slurry) o líquido, cubriendo la superficie de la semilla y adhiriéndose a ella. Después de un tiempo de la aplicación mecánica, el producto difunde en la masa de las semillas, penetrando entre y dentro de las mismas.

Esta difusión y penetración puede ocurrir en estado líquido o gaseoso y durante ella, parte del producto es absorbido por el tejido de la semilla y por los organismos patógenos transmitidos por ella, los que responden por reacción específica.

Esta reacción puede continuar por algún tiempo, dependiendo de los componentes del producto químico, de la clase de organismo involucrado y de las condiciones de almacenamiento de la semilla.

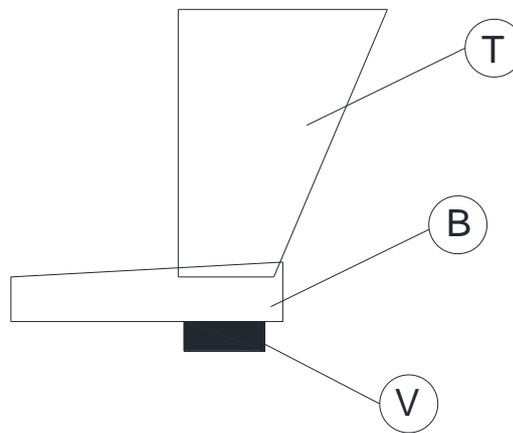
En el tratamiento químico de pulverización, una suspensión desinfectante se quiebra en finas gotas durante el proceso, considerándose uno de los métodos más efectivos, ya que se logra que las semillas sean cubiertas uniformemente con el producto químico. (ARRIAGADA, 2009 p. 78)

2.2.4 Equipo de desinfección de semillas de alfalfa y trébol. Son equipos destinados para prevenir o disminuir la transmisión de enfermedades a una escala local, nacional o internacional, mejorando la uniformidad de la población del cultivo, cuando se siembra directamente en el campo, destruyendo los microorganismos patógenos llevados en la semilla y evitando que las plántulas se enfermen por la

presencia de ciertos microorganismos en el suelo. Consta, generalmente de tres partes: sistema de alimentación y dosificación, sistema de aplicación y recubrimiento con el desinfectante y sistema de mezclado.

2.2.4.1 Sistema de alimentación y dosificación. Existen varias formas de alimentar y dosificar un producto granulado pero una buena opción para la alimentación de la semilla es con la ayuda de una tolva receptora, seguida de una bandeja reguladora de flujo, ambas de acero inoxidable AISI 304; esta bandeja es accionada por un vibrador electromagnético, en la Figura 14, se observa la disposición de los elementos de este sistema:

Figura 14. Sistema de alimentación y dosificación de producto



Fuente: Autores

Donde:

T: Tolva receptora de semillas

B: Bandeja reguladora de flujo

V: Vibrador electromagnético

De acuerdo a la capacidad de la planta procesadora de semillas y la disposición de la misma, el producto se coloca en forma manual en la tolva receptora de semillas, provenientes del separador neumático, éstas pueden ser también alimentadas por medio de bandas transportadoras.

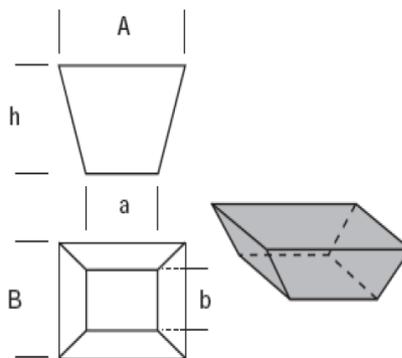
De esta manera las semillas llegan a la bandeja reguladora de flujo B, en cuya parte inferior se encuentra el vibrador electromagnético V que permite que el producto tome un flujo constante y circule rápidamente para evitar amontonamientos al momento de ingresar al tambor de recubrimiento y homogenización.

Tolva receptora de semillas. Se denomina tolva a un dispositivo destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados permitiendo que su contenido pase poco a poco a otro lugar o recipiente de boca más estrecha; suele tener forma de pirámide o cono invertido, ancho por la parte superior, estrecho y abierto por la inferior.

Pirámide truncada. El volumen de este tipo de tolva permite dar diferentes valores a sus lados, y obtener una tolva de diferente forma a la original como se observan en la Figura 15. (TOAPANTA, 2010 p. 28)

$$V = \frac{h}{6}(2AB + Ab + aB + 2ab) \quad (1)$$

Figura 15. Pirámide truncada



Fuente: TOAPANTA Emilio, Diseño y construcción de un dosificador y empacador de producto alimenticio molido y seco de 50 gr

Teoría de vibradores electromagnéticos. Existen vibradores para grandes y pequeñas aplicaciones. Los alimentadores electromagnéticos para pequeñas capacidades son idóneos para dosificar materiales a granel.

El diseño de los alimentadores electromagnéticos se basa en un sistema de dos masas unidas mediante un componente elástico formado por láminas flexibles. Una corriente rectificada produce la excitación del núcleo magnético, atrayendo hacia éste a la masa móvil, que se encuentra unida a la bandeja. La energía acumulada en las láminas elásticas se emplea para restaurar el sistema a su posición de equilibrio.

Este movimiento vibrante, casi senoidal, de descenso y ascenso de la bandeja, se transmite al material produciendo su desplazamiento. Dicho movimiento se repite 3.000 veces por minuto a 50 Hz o 60 Hz, según el modelo del alimentador.

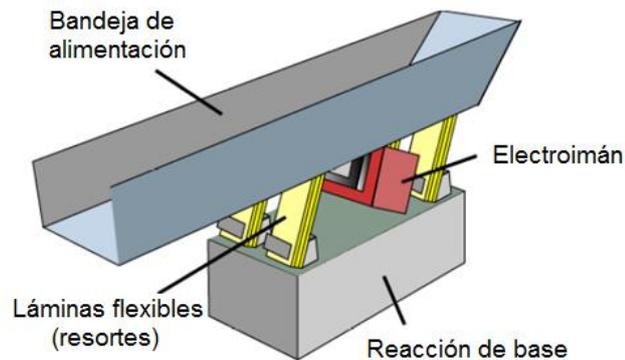
La unidad se ajusta mecánicamente para limitar el recorrido de la armadura por lo que no golpea la cara del núcleo. El espacio entre la armadura y el núcleo se llama el espacio de aire. El tamaño del espacio de aire es fundamental para una buena operación del alimentador. (FMC, 2005 p. 3)

Existen seis modelos menores, FT0, F-T01 y BF-01, funcionan a 110 ó 220 Voltios, 50 Hz. o 60 Hz, monofásico. Los otros tres modelos, BF-2, F- 152, y F-212, pueden funcionar a 110, 220 ó 380 Voltios, 50 Hz., monofásico.

Principales componentes mecánicos

Las partes más importantes son:

Figura 16. Componentes principales de un alimentador electromagnético



Fuente: REO ElektronikAga, Alimentación de piezas y manipulación de materiales

Tipos de alimentadores electromagnéticos para bajas capacidades

Entre los tipos más usados para una alimentación versátil y eficiente para una amplia gama de aplicaciones de procesamiento para productos a granel de bajas capacidades son los vibradores SyntronVibradriveUnits que a continuación se presentan:

Modelo F-T0. Presenta una bandeja calibrada estándar de 1-1/2x12 pulgadas como se puede observar en la Figura 17, tiene una capacidad máxima de 1.50 libras por hora. Las aplicaciones comunes incluyen dosificar pequeñas cantidades de materiales secos o transmitir piezas pequeñas. Pueden soportar el peso de una tolva de alimentación de 15 Kg, si no hay alimentación continua. (Syntron, 2010)

Figura 17. Syntron F-T0 Feeder 1.5 Libras por hora



Fuente:FMC Technologies, SyntronFeeders

Modelo F-T01. Presenta una bandeja calibrada estándar de 3x18 pulgadas, tiene una capacidad máxima de 2 toneladas por hora. Las aplicaciones comunes incluyen dosificar cualquier tipo de materiales a granel secos. Pueden soportar el peso de una tolva de alimentación de 15 kg a 100 kg, si no hay alimentación continua. (Syntron, 2010)

Figura 18. Syntron F-T0 Feeder 2 toneladas por hora



Fuente: FMC Syntron Light-DurtyVibratingFeedersCatalog

Modelo F-T02. Presenta una bandeja calibrada estándar de 6 x 18 pulgadas que a través de una cazuela plana tiene una capacidad máxima de diez toneladas por horas. Ideal para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la alimentación de alta escala de tiempos para la alimentación a granel de tolvas. (SYNTRON, 2010)

Figura 19. Syntron F-T0 Feeder 10 toneladas por hora



Fuente: FMC Syntron Light-DurtyVibratingFeedersCatalog

Modelo F-010. Presenta una bandeja calibrada estándar de 5 x 20 pulgadas tiene una capacidad máxima de cuatro toneladas por hora. Canales más anchos para manejar mayores capacidades. (SYNTRON, 2010)

Figura 20. Syntron F-T0 Feeder 4 toneladas por hora



Fuente: FMC Syntron Light-Durty Vibrating Feeders Catalog

Selección de alimentadores electromagnéticos

Para seleccionar un adecuado vibrador es necesario observar los requerimientos de cada catálogo como por ejemplo para el catálogo FMC Syntron Light-DurtyVibratingFeeders es necesario conocer el peso que va a soportar la tolva de alimentación si es que no existe una alimentación continua, la capacidad y la velocidad de flujo de la bandeja reguladora de flujo, las dimensiones de la misma. (SYNTRON, 2010)

2.2.4.2 Sistema de aplicación y recubrimiento. El desinfectante es un producto químico utilizado para ser añadido sobre la semilla en dosis recomendadas según el tipo de la misma. En nuestro país, los institutos INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias) utilizan el desinfectante CELEST® 025 FS en cantidades específicas de acuerdo al tipo de semillas.

El mejor método para dar un recubrimiento homogéneo a las semillas pequeñas es el método por pulverización ya sea hidráulica o neumática que es un proceso mecánico de fragmentación de un líquido en forma de gotas.

Pulverización. Para pulverizar un líquido en gotas de tamaño apropiado se pueden utilizar diferentes técnicas: someter el líquido a presión, haciéndolo salir por un orificio calibrado o boquilla, lo que se conoce como pulverización hidráulica; situando el líquido en una corriente de aire de alta velocidad, lo que se denomina pulverización neumática; o bien vertiendo el líquido en un dispositivo de sección circular que gira a gran velocidad, para que la fuerza centrífuga generada en el movimiento se encargue de la pulverización.

También se puede utilizar otras técnicas, como una combinación de aire con calor, la pulverización termoneumática, así como el movimiento del producto por un tubo capilar impulsado por un campo electromagnético, dando lugar a la pulverización electrodinámica, que no ha pasado en su desarrollo de un nivel experimental.

Uniendo el proceso de formación de la gota a la técnica utilizada para transportarla hasta el objetivo, se puede establecer una clasificación de los equipos de pulverización en la Tabla 1. (FUNDACIÓN, 2010 p. 2)

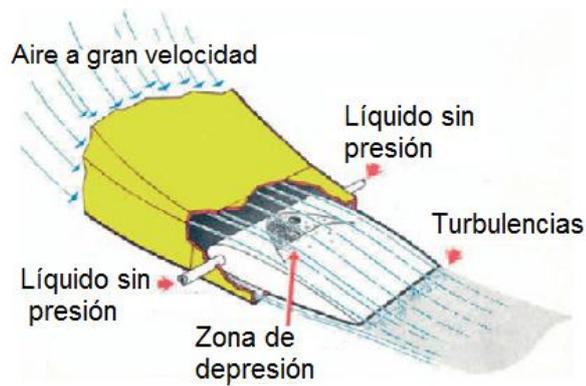
Tabla 1. Clasificación de los equipos de pulverización

Formación de la gota	Transporte de la gota	Denominación
Presión de líquido	Energía cinética	Pulverizador hidráulico
	Corriente de aire	Pulverizador hidroneumático
Corriente de aire	Corriente de aire	Pulverizador neumático
Fuerza centrífuga	Viento atmosférico	Pulverizador centrífugo
	Corriente de aire	
Gases de escape	Condensación	Termo-nebulización
Campo electromagnético	Campo electromagnético	Pulverizador electrodinámico

Fuente: FUNDACIÓN Argentina, Tecnología de aplicación de fitosanitarios

Pulverización Neumática. Se produce por el choque de una corriente de aire a gran velocidad con el líquido colocado ante esta, en forma de lámina o vena desplegada, que fluye desde una tubería por la que circula con muy poca presión, como se observa en la Figura 21. (MÁRQUEZ, 2007 p. 3)

Figura 21. Pulverización neumática



Fuente: MÁRQUEZ Luis, Pulverización y pulverizadores neumáticos. p.3

Para variar el diámetro de las gotas se recurre a modificar la relación entre los flujos de aire y líquido. Si se quiere aumentar el tamaño de gotas se puede disminuir el caudal de aire o aumentar el caudal de líquido.

La población de gotas resulta de menor diámetro y más uniforme que la pulverización hidráulica y tienen dificultades para mantener la dosis constante si se producen variaciones en el volumen de líquido.

Usos de la pulverización neumática

Siendo de vital importancia en diversos campos, los más importantes son:

- Agricultura. Para la aplicación de diversos productos fitosanitarios sobre diferentes cultivos, desinfección de ciertas semillas, granos en varias zonas agrícolas del mundo.
- Medicina. Para la fumigación, desinfección y esterilización de hospitales, casa de salud, clínicas.
- Industria. Con la ayuda del aire comprimido, se pueden realizar trabajos de pintura, accionamiento de actuadores neumáticos, entre otras aplicaciones.

Tipos de boquillas para la pulverización. El tamaño de gota más pequeño se logra con las boquillas de atomización con aire mientras que las gotas más grandes se producen por boquillas de aspersion hidráulicas, además con la pulverización neumática se utilizan caudales más pequeños de líquido, en comparación de la hidráulica, como se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2. Tamaño de gota y caudal utilizados en pulverización neumática e hidráulica

TAMAÑO DE GOTA									
por Patrón de Aspersión a Diversas Presiones y Capacidades									
Tipo de Patrón de Aspersión	10 psi (0.7 bar)			40 psi (2.8 bar)			100 psi (7 bar)		
	Capacidad gpm	Capacidad l/min	DMV micrones	Capacidad gpm	Capacidad l/min	DMV micrones	Capacidad gpm	Capacidad l/min	DMV micrones
Aspersión con Aire	.005 .02	.02 .08	20 100	.008 8	.03 30	15 200	12	45	400
Aspersión Fina	.22	.83	375	.03 .43	.1 1.6	110 330	.05 .69	.2 2.6	110 290
Cono Hueco	.05 12	.19 45	360 3400	.10 24	.38 91	300 1900	.16 38	.61 144	200 1260
Aspersión Plana	.05 5	.19 18.9	260 4300	.10 10	.38 38	220 2500	.16 15.8	.61 60	190 1400
Cono Lleno	.10 12	.38 45	1140 4300	.19 23	.72 87	850 2800	.30 35	1.1 132	500 1720

Basado en una muestra de boquillas seleccionadas para mostrar la amplia gama de posibles tamaños de gota.

Fuente: Spraying System Co, Pulp and Paper Industry Catalog

Una importante boquilla de pulverización neumática es una pistola pulverizadora para pintar.

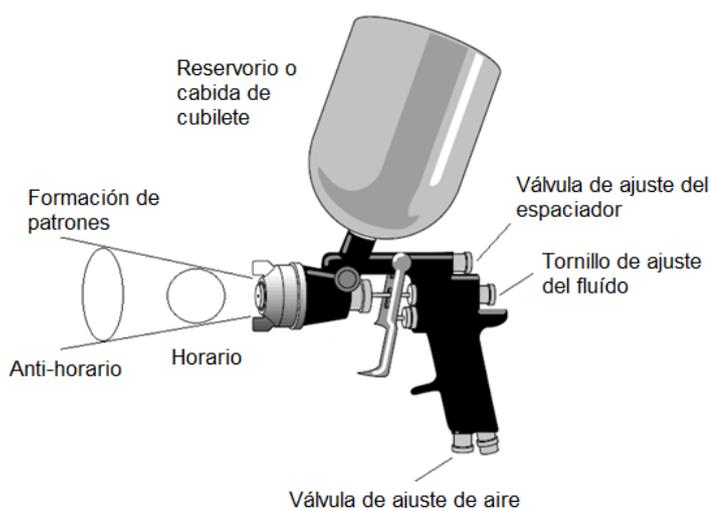
Estas pistolas pulverizadoras presentan varias ventajas principales en relación a una boquilla neumática ordinaria, en especial en el aspecto económico, ya que al utilizar una boquilla neumática será necesario utilizar varios equipos de control electrónico para regular los diversos parámetros como cantidad de aire, líquido desinfectante, entre otros.

Las principales ventajas de una pistola neumática son:

1. Control de fluido (desinfectante)
2. Control del patrón de rocío
3. Control de aire
4. Reservorio o cabida
5. Apta para fluidos de baja y mediana viscosidad
6. Resistente a fluidos corrosivos.
7. Económica

En la Figura 22 se puede apreciar una típica pistola pulverizadora para pintar.

Figura 22. Pistola pulverizadora para pintar



Fuente:SPRAY GUN Instruction Manual

Equipos para la pulverización neumática

La pulverización neumática se puede realizar con la ayuda de ventiladores o compresores. Los ventiladores a utilizarse son los centrífugos y radiales. Encambio los compresores pueden ser de cualquier tipo, su selección depende principalmente del caudal de aire a suministrar, la potencia, entre otros factores.

Compresores. Los compresores son máquinas cuya finalidad es aportar energía a los fluidos compresibles, para hacerlos fluir aumentando al mismo tiempo su presión. Esta característica los distingue de los ventiladores, que manejan grandes cantidades de fluidos compresibles sin modificar sensiblemente su presión, de forma similar a las bombas. (GIL MOYA, 2003)

Para realizar una pulverización neumática es necesaria la ayuda de una instalación neumática con cada uno de los componentes que conforman una red de aire comprimido, desde la generación hasta el consumo.

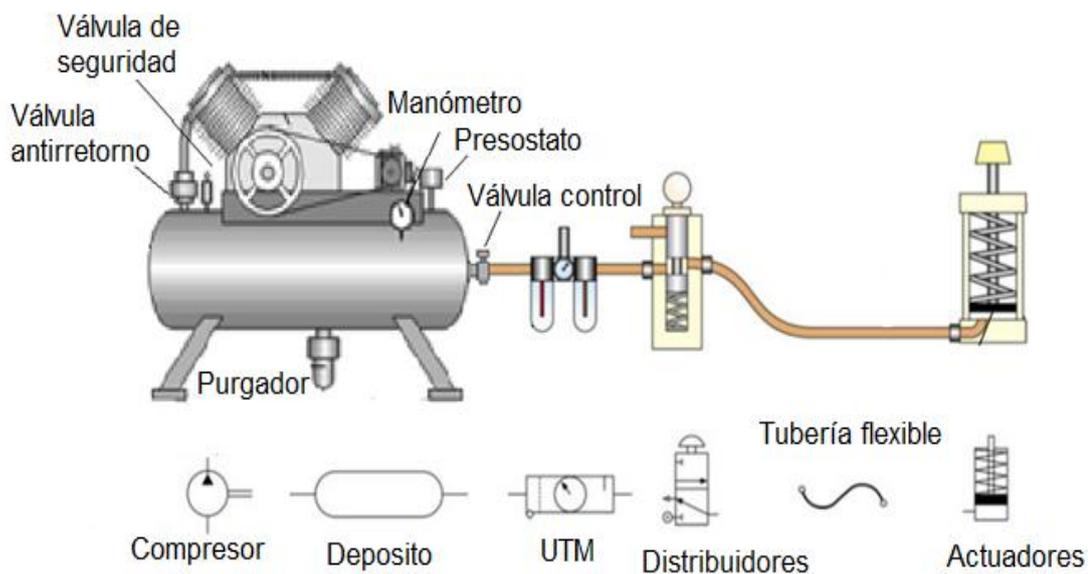
Partes de una instalación neumática. La instalación neumática consta de tres partes muy importantes que son las siguientes:

1. Central de aire comprimido. Está compuesto por los elementos principales que son el compresor, depósito o tanque y todos los accesorios secundarios (válvula de seguridad, válvula antirretorno, purgador, manómetro, presostato, entre otros)

2. Unidad técnica de mantenimiento. Consta de un filtro, Regulador, Manómetro, Lubricador. Este regulador es el que provee al sistema una presión constante, para que puedan trabajar todos los actuadores con una presión fija, y no le falte aire comprimido.
3. Sistema. Se refiere a todos las válvulas distribuidoras, elementos de control y actuadores de toda clase como pueden ser cilindros, motores neumáticos, boquillas, que accionan máquinas herramientas, entre otros.

A continuación se detallan las partes de una red neumática.

Figura 23. Principales elementos de una instalación neumática



Fuente: Autores

Requisitos de presión y caudal de un cilindro neumático de doble efecto. El cilindro realiza trabajo tanto al extender como al retraer su vástago, la presión de trabajo de extensión cuando el cilindro hace salir a su vástago, y la presión de retracción cuando el cilindro retrae su vástago, estas fuerzas teóricas vienen tabuladas en los catálogos de cilindros.

El cliente calcula estas fuerzas de acuerdo a su necesidad y luego compara con las del catálogo, esto para seleccionar el cilindro adecuado.

La fuerza de extensión viene dada por la siguiente ecuación:

$$F_{\text{extensión}} = \frac{P_{\text{sistema}}}{A_{\text{cilindro}}} \quad (2)$$

La presión de retracción viene dada por la siguiente ecuación:

$$F_{\text{retracción}} = \frac{P_{\text{sistema}}}{A_{\text{cilindro}} - A_{\text{vástago}}} \quad (3)$$

El caudal que consume un cilindro neumático viene dado con la siguiente ecuación:

$$Q_c = \frac{\pi}{4} L * n * z * \frac{p_D}{p_0} [D_i^2 + (D_i^2 - D_v^2)] \quad (4)$$

Donde:

Q_c = Caudal requerido por el cilindro.

L = Carrera del pistón

n = Número de ciclos por minuto

z_a = Número de actuadores

p_D = Presión de trabajo (presión del sistema)

p_0 = Presión atmosférica

D_i = Diámetro interno del cilindro

D_v = Diámetro del vástago del cilindro

Para seleccionar un cilindro neumático se parte de los datos conocidos como son: la fuerza necesaria para realizar un trabajo, presión de trabajo y la carrera del cilindro.

Tubería para el sistema. Para cálculos de sistemas grandes con caudales de aire y presiones elevadas es necesario determinar la longitud equivalente desde el compresor al punto más alejado de la instalación.

Para ello, a la longitud real se le ha de sumar la longitud equivalente que aportan las pérdidas singulares. Con este procedimiento, el grado de obstrucción al flujo se ha convertido en una longitud lineal equivalente para facilitar los cálculos. Una vez conocida la longitud equivalente, se procede a determinar la pérdida de carga asociada a esa longitud. Para ello se emplea la conocida fórmula de Darcy- Weisbach.

Otra forma de calcular es utilizando tablas que ya incorporan los cálculos que se derivan de la ecuación de Darcy- Weisbach para tuberías de diversos diámetros, longitudes y presiones. Ver Anexo G

Válvula distribuidora. De acuerdo al tipo de cilindro neumático si es de simple o doble efecto y al accionamiento de la válvula se selecciona la válvula distribuidora. Existen varias válvulas distribuidoras utilizadas para cilindros de doble efecto como por ejemplo la válvula 5 vías x 2 posiciones monoestable con accionamiento por solenoide simple con resorte de reposición. Ver Figura 24

Figura 24. Válvula distribuidora 5 vías x 2 posiciones



Fuente: Catálogo AIRTAC

Unidad de mantenimiento (UTM). Es también conocido como FRL porque está compuesto por un Filtro, una válvula reguladora (regulador), y un lubricador. Los filtros se encargan de purificar el aire hasta una calidad adecuada para el promedio de aplicaciones conectadas a la red.

La energía disponible está directamente relacionada con la presión del sistema. Los componentes que permiten este control son los reguladores de presión. Gracias a ellos podemos conseguir una presión menor a la que genera el compresor, y adaptarla a las necesidades de trabajo del sistema.

Podemos distinguir dos presiones (o niveles de energía) diferentes: la que entrega la fuente compresora y la que usamos para trabajar. Observemos que la primera puede ser variable, obedeciendo en sus cambios a las posibilidades y regulación del compresor, mientras que la segunda siempre deberá ser constante, pues para un aprovechamiento racional de la energía neumática, necesitamos que esta se mantenga al mismo nivel, esto se logra con la ayuda de la válvula reguladora de presión.

La función del lubricador es incorporar al aire tratado una determinada cantidad de aceite, para lubricar los actuadores neumáticos que, al fin y al cabo, son elementos mecánicos.

En todos los casos, las unidades de lubricación cuentan con un dispositivo que eleva el aceite y lo incorpora pulverizado en la vena de aire. Esta elección puede controlarse externamente y la energía para hacerlo, así como también la necesaria para su pulverización, se toma de la energía del aire en circulación.

En la Figura 25 se puede apreciar un FRL o UTM básico de una red neumática.

Figura 25. Unidad de mantenimiento



Fuente:

<http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual021IntroduccionalaNeumatica.pdf>

Accesorios de la red neumática

De acuerdo al diámetro de tubería, el caudal de aire y la presión se seleccionan los diversos accesorios como pueden ser codos, tees, conectores rápidos, racores, entre otros.

Las pérdidas de presión que generan los mismos, vienen tabuladas en tablas que el mismo fabricante brinda para realizar los cálculos para seleccionar de tuberías y el compresor.

Cálculo de la capacidad real de aire que debe erogarse el compresor para el funcionamiento de las unidades consumidoras

El caudal de aire que el depósito debe entregar al sistema se obtiene sumando los caudales de todos los actuadores del mismo, en el caso de un cilindro y una pistola pulverizadora se tiene la siguiente ecuación:

$$Q_0 = Q_{\text{boquilla}} + Q_{\text{Cilindro}} \quad (5)$$

A la hora de calcular el caudal real se aplican tres coeficientes adicionales que son:

Coeficiente de mayoración para futuras ampliaciones (C_{MA})

Normalmente se suele prever que el consumo puede aumentar hasta 25% en el futuro al añadir nuevas máquinas a la instalación. En este caso el coeficiente de mayoración será igual a 1.25.

Coeficiente de mayoración por fugas (C_{MF})

Las fugas de aire son inherentes en toda instalación neumática. Se va a tratar de que el montaje de la instalación lo realice personal calificado y con material de calidad, por lo general en la práctica es recomendado estimar un 5 % en pérdidas por fugas. Por lo que este coeficiente toma el valor de 1.5.

Coeficiente de ciclo de funcionamiento del compresor (C_{00})

Es el cociente entre la duración total del ciclo de funcionamiento (tiempo entre arranques) y el tiempo en el que el compresor produce aire comprimido (compresor funcionando). La Tabla 3 da valores de acuerdo a la presión del sistema el tiempo en que el compresor llena el depósito o tanque. (TECNUN, 2008 p. 10)

La presión del sistema varía proporcionalmente con el incremento del tiempo de llenado, es decir; a mayor tiempo de llenado mayor será la presión del sistema.

Estos valores permiten determinar el tiempo de funcionamiento del compresor y su adecuada selección.

Con estos coeficientes el caudal consumido por el sistema será igual a:

$$Q_{\text{total}} = C_{MA} * C_{MF} * C_{00} * Q_0 \quad (6)$$

Tabla 3. Tiempo de llenado en los depósitos

Tiempo (min)	Presión (psi)
1	21.55
2	44.77
3	71.58
4	97.06
5	122.02
6	146.2
7	170.11
8	193.46
9	216
10	238.6
11	260.5
12	271.6
13	284.5
14	294
15	305.4
16	318

Fuente: www.laboratorioneumatica.com

Caudal total de aire corregido por altitud o capacidad teórica

Este caudal es corregido de acuerdo a la altura sobre el nivel del mar, para esto se utiliza la siguiente ecuación: (CHERREZ, 2010 p. 96)

$$Q'_{\text{total}} = \frac{Q_{\text{total}}}{\left[\frac{p}{p_0}\right] \sqrt{\frac{T_0}{T}}} \quad (7)$$

Donde:

Q'_{total} = Caudal total corregido cm^3/min

Q_{total} = Caudal consumido por el sistema cm^3/min

p = Presión a la altura del lugar kg/cm^2

T = Temperatura a la altura del lugar $^{\circ}\text{C}$

p_0 = Presión a nivel del mar kg/cm^2

T_0 = Temperatura a la altura del lugar $^{\circ}\text{C}$

Condiciones normales a nivel del mar $T_0 = 15^{\circ}\text{C}$, $p_0 = 1.033 \text{ kg}/\text{cm}^2$

Dimensionamiento del depósito. Para determinar el tamaño del depósito se determinan los valores de caídas de presión en cada uno de los elementos y accesorios del sistema, estos generalmente se los toma de los mismos catálogos.

Para un óptimo funcionamiento del compresor se necesitan dos presiones en su depósito: una máxima y una mínima; La presión mínima se calcula sumando la presión máxima de trabajo del sistema más las caídas de presión que se produce en toda la instalación neumática, como se puede apreciar en la ecuación (8), la presión máxima es aquella a la que queremos que nuestro depósito tenga como límite de trabajo, está la asume el diseñador. La presión mínima también es aquella a la que el depósito llega cuando en el mismo la cantidad de aire es mínima y necesita que el compresor nuevamente lo llene. Estas presiones son controladas por el presostato.

$$p_c = p_D + \Delta_{p \text{ sist}} \quad (8)$$

Donde:

$p_c = p_{\min}$ = Presión mínima del depósito del compresor

p_{\max} = Presión máxima del depósito del compresor

p_D = Presión del sistema

$\Delta_{p \text{ sist}}$ = Pérdidas del sistema

El volumen real del depósito o tanque de aire comprimido se obtiene a partir de la siguiente ecuación, se tiene:

$$V_0 = \frac{15 * Q'_0 * p}{z * \Delta_{p \text{ tanque}}} \quad (9)$$

Donde:

V_0 = Volumen real del depósito

Q'_{total} = Caudal total de aire

z = Frecuencia de conexión del compresor

$\Delta_{p \text{ tanque}}$ = Variación de presión en el depósito

p = Presión a la altura del lugar

Cálculo de la capacidad del compresor en función del depósito

El consumo del tanque se encuentra según la ecuación:

$$Q'_{\text{consumo tanque}} = \frac{V_0 * \Delta p}{p_0 * t} \quad (10)$$

Para encontrar la capacidad del compresor se aplica la siguiente ecuación:

$$Q'_{\text{compresor}} = \frac{Q'_{\text{consumo tanque}}}{0.25} \quad (11)$$

Cálculo de la potencia real del compresor

El trabajo real del compresor se calcula con la siguiente ecuación.

$$W_{tco} = \frac{k}{k-1} RT_1 \left[(rp)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (12)$$

Donde:

$n = 1.45$ Coeficiente politrópico

$K = 1.4$ Coeficiente de expansión adiabático

$R = 29.26 \frac{kgm}{kg^{\circ}K}$ Constante de los gases

$T_1 =$ Temperatura del lugar

$p_1 =$ Presión del lugar $\frac{kg}{cm^2}$

$r_p =$ Relación de presiones $\frac{kg}{cm^2}$

Con la siguiente ecuación se calcula el flujo másico de aire.

$$m' = \frac{Q'_{\text{compresor}} * P_1}{R * T_1} \quad (13)$$

De esta manera se encuentra la potencia del compresor, se tiene:

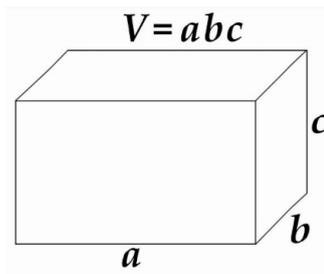
$$P_{Co} = m' * W_{tco} \left(\frac{60}{860} \right) \quad (14)$$

$$P_{\text{efectiva}} = \frac{P_{Co}}{\eta_{mec}} \quad (15)$$

Reservorio para el desinfectante

El reservorio presenta la forma de un prisma rectangular como se puede ver en la Figura 26.

Figura 26. Reservorio prisma rectangular



Fuente: Autores

El volumen de este prisma rectangular se identifica con la siguiente ecuación:

$$V = a * b * c \quad (16)$$

Donde:

a = largo del prisma rectangular

b = ancho del prisma rectangular

c = altura del prisma rectangular

Diseño de la placa porta pistola pulverizadora.

Se diseña una placa de altura b y espesor t, para que sujete el cilindro neumático y la pistola pulverizadora, El peso del cilindro y la placa se desprecia para efectos de cálculo. El cilindro realiza una fuerza fluctuante sobre la placa una de retracción y otra de extensión.

Se debe utilizar un material adecuado para la placa, del cual se obtendrá las siguientes propiedades

S_u = Resistencia a la tensión (KSI/ MPa)

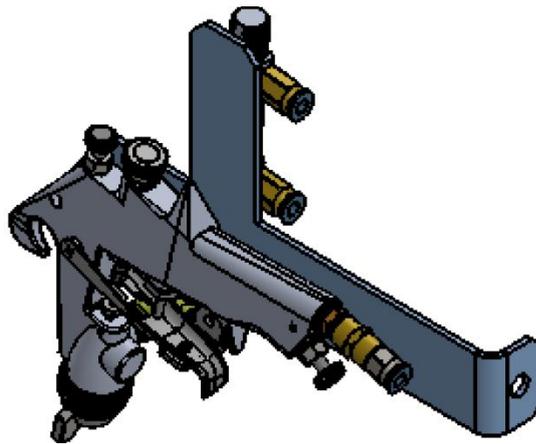
S_y = Resistencia a la fluencia (KSI/ MPa)

En la Figura 27 se puede apreciar la forma de la placa porta pistola.

Es necesario encontrar el centro de gravedad de la placa, esto se puede hacer con la ayuda del programa SolidWorks 2012.

Llamando como punto A, a un punto crítico entonces ahí se enfocará el análisis de esfuerzos.

Figura 27. Placa porta pistola



Fuente: Autores

Esfuerzos por flexión

$$\sigma_f = \frac{M_f * C}{I} \quad (17)$$

Donde:

M_F = Momento flector

C = Distancia máxima a la fibra neutra.

$$I = \frac{b * t^3}{12} = \text{Momento de inercia del área transversal}$$

Esfuerzos por torsión

$$\tau = \frac{T}{b * t} \left(3 + 1.8 \frac{t}{b} \right) \quad (18)$$

A continuación se realiza un análisis de esfuerzos combinados con la ayuda de la Teoría de Energía de Distorsión TED (DET) VON MISSEE HENCKY.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{fmax} - \sigma_{fmin}}{2} \quad (19)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{fmax} + \sigma_{fmin}}{2} \quad (20)$$

$$\tau_a = \frac{\tau_{fmax} - \tau_{fmin}}{2} \quad (21)$$

$$\tau_m = \frac{\tau_{fmax} + \tau_{fmin}}{2} \quad (22)$$

Como la placa no presenta esfuerzos de corte ni esfuerzos axiales, la ecuación de VON MISSEE HENCKY, es la siguiente:

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{fa})^2 + 3(\tau_{ta})^2} \quad (23)$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{fm})^2 + 3(\tau_{tm})^2} \quad (24)$$

A continuación se utiliza la Teoría de esfuerzos dinámicos de Soderberg.

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} + \frac{\sigma_{eqm}}{Sy} = \frac{1}{n} \quad (25)$$

Es necesario conocer el Límite de resistencia a la fatiga Se .

$$Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Kg * Ke * Se' \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right) \quad (26)$$

Donde:

$Se' = 0.5 Su$ El esfuerzo gobernante es el de flexión.

Ka = Factor de superficie

Kb = Factor de tamaño

Kc = Factor de confiabilidad

Kd = Factor de temperatura

Kg = Factor para instrumentos especiales como quirúrgicos

$Ke = \frac{1}{Kf}$ Factor de concentración de tensiones, donde:

$Kf = q(Kt - 1) + 1$ Coeficiente de mayoración de esfuerzos

$q = 1$ Coeficiente de sensibilidad de entalla, porque la placa no tiene entalla

Kt = Coeficiente geométrico

Este factor de seguridad n debe estar dentro de lo aceptable, para que el espesor seleccionado de la placa sea el correcto. (SHIGLEY, 1990)

Teoría de diseño de placas. La placa tiene la característica de girar para dar el ángulo de inclinación deseada a la pistola pulverizadora, por tal motivo se utiliza un sólo perno con su respectiva tuerca.

Se toma decisiones entre ellas qué tipo de perno se va a poner, para determinar la resistencia a la tensión S_u , la resistencia a la fluencia S_y , la resistencia de prueba S_p , área de tensión del perno A_t , el diámetro de cresta d_c y la carga de prueba. (SHIGLEY, 1990)

$$F_i = 0.9 F_p \quad (27)$$

$$F_p = S_p * A_t \quad (28)$$

Análisis de esfuerzos

Las fuerzas de Corte primario se originan debido a la fuerzas de cizalladora directa V_{max} y V_{min}

Las fuerzas de tracción secundaria resultan de una carga excéntrica que produce un momento flector. Estas fuerzas se denotan por P.

$$P_{max} = \frac{M_{f max}}{r_1} \quad (29)$$

$$M_{f max} = F_{max} * x \quad (30)$$

$$P_{min} = \frac{M_{f min}}{r_1} \quad (31)$$

$$M_{f min} = F_{min} * x \quad (32)$$

Donde:

x = Distancia desde el empotramiento hasta la línea perpendicular de aplicación de la fuerza

r_1 = Distancia desde la base de la placa hasta el eje neutro del perno

Estos esfuerzos se pueden apreciar en la siguiente figura.

Rigidez del perno. Es un parámetro adimensional.

$$k_b = \frac{A_b * E}{L_b} \quad (33)$$

Donde:

A_b = Área del perno basado en el diámetro de cresta

$E = 2 \times 10^{11} N/mm^2$ Módulo elástico del material del perno (acero)

$L_b = \text{espesor placa 1} + \text{espesor placa 2}$ Longitud de agarre del perno

Rigidez de la junta. Es un parámetro adimensional se utiliza tanto para la junta como para la placa porta pistola pulverizadora.

$$k_m = \frac{A_m * E_m}{L_{m1}} \quad (34)$$

$A_m = 1.25 \frac{\pi}{4} d_c^2$ Área de agarre

$E_m = 2 \times 10^{11} \text{ N/mm}^2$ Módulo elástico del material de la junta (acero)

$L_m =$ Espesor del material

La rigidez resultante de la junta es:

$$\frac{1}{k_{mt}} = \frac{1}{k_{m1}} + \frac{1}{k_{m2}} \quad (35)$$

Rigidez. Es la rigidez total de la junta y del perno y se denota con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_{mt}} \quad (36)$$

Realizando un análisis de esfuerzos combinados con la ayuda de la Teoría de Energía de Distorsión TED (DET) VON MISSEE HENCKY.

Esfuerzos de tracción secundaria

$$\sigma_a = \frac{C * n(P_{\max} - P_{\min})}{2N_b * A_t} \quad (37)$$

$$\sigma_m = \frac{F_i}{A_t} + \frac{C * n(P_{\max} - P_{\min})}{2N_t * A_t} \quad (38)$$

El valor N_b se refiere al número de pernos a utilizar.

Esfuerzos de corte primario

$$\tau_a = \frac{n(V_{\max} - V_{\min})}{2 * A_t} \quad (39)$$

$$\tau_m = \frac{n(V_{\max} + V_{\min})}{2 * A_t} \quad (40)$$

$$\sigma_{eq a} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} \quad (41)$$

$$\sigma_{eq m} = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2} \quad (42)$$

Utilizando la Teoría de esfuerzos dinámicos de Soderberg

$$\frac{\sigma_{eq a}}{S_e} + \frac{\sigma_{eq m}}{S_y} = 1 \quad (43)$$

Es necesario conocer el límite de resistencia a la fatiga Se .

$$Se = Kc * \frac{1}{Kf} * Se' \quad (44)$$

Donde:

$$Se' = 0.45 Su$$

Kc = Factor de confiabilidad

Kf = Factor de concentración de esfuerzos

Si el factor de seguridad está dentro de lo aceptable se selecciona ese perno caso contrario se vuelve a realizar el mismo procedimiento con otro grado SAE u otro diámetro. (SHIGLEY, 1990)

2.2.4.3 Sistema de mezclado.

Cilindro mezclador. Los cilindros mezcladores por lo general se diseñan con una porción cónica, para mejor ingreso por deslizamiento de la semilla. A la cantidad de producto a procesar se aumenta una cantidad extra del 33%, este porcentaje abarcan un exceso de semillas existentes debido a la calibración del vibrador y ampliación de producción agrícola.

Con estos datos se encuentra el volumen del cilindro que debe contener todo el material a mezclar y homogeneizar, se tiene:

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{m}{\gamma_{\text{semilla mas grande}}} \quad (45)$$

Según la empresa EMPAG, este valor es apenas el 25% de llenado de un cilindro mezclador de sal para hojuelas de papas fritas y snacks, cuyo principio de funcionamiento es semejante a nuestro cilindro que también es un mezclador, entonces un volumen al 100% será:

$$V_{\text{cilindro}} = 4 \frac{m}{\gamma_{\text{semilla mas grande}}} \quad (46)$$

SEED GROWTH EQUIPMENT de BAYER & BAYER, en todos sus equipos de tratamiento utiliza la relación: "longitud del cilindro mezclador es igual a tres veces su diámetro", esto para obtener una semilla seca y sin grumos.

El volumen de un cilindro ordinario de diámetro d y altura l se tiene la siguiente ecuación:

$$V_{\text{cilindro}} = \pi r^2 l \quad (47)$$

Condición de relación

$$l_{\text{cilindro}} = 3d_{\text{cilindro}} = 6r$$

Si se reemplaza el valor de la longitud del cilindro en la ecuación 17 se tiene:

$$r_{\text{cilindro}} = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{cilindro}}}{6\pi}} \quad (48)$$

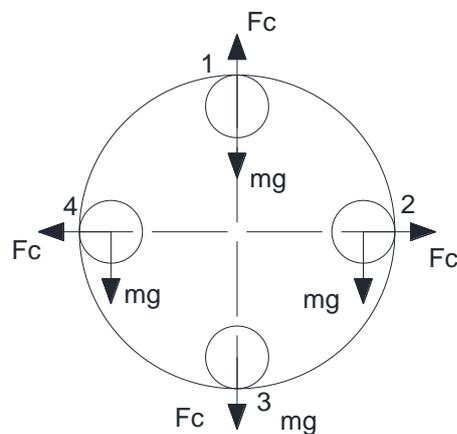
Es necesario que el cilindro tenga mayor tamaño para que exista mayor espacio de mezcla, y mejor distribución del desinfectante por lo que es necesario doblar estas medidas.

Velocidad de rotación del cilindro. La velocidad angular en el cilindro es un parámetro muy importante para la operación de mezclado, para garantizar un producto homogéneo.

El análisis óptimo se realiza basándose en la velocidad crítica, se toma como referencia la Figura 28. El objetivo principal de este parámetro consiste en que la semilla recorra la superficie interna, sin que cada grano quede suspendido a la pared interna, ni tampoco que este recorra muy lentamente.

Tomando en cuenta estas condiciones se tiene:

Figura 28. Fuerzas sobre el cilindro en las diferentes posiciones.



Fuente: Autores

Realizando los análisis de fuerzas en la posición 1

$$\Sigma F_y = 0 \quad (49)$$

$$F_c = mg \quad (50)$$

Se sabe que la fuerza F_c que se genera entre la semilla y el cilindro tiene relación con la aceleración centrípeta a_c , de acuerdo al movimiento circular uniforme (MCU) se tiene:

$$F_c = ma_c \quad (51)$$

Igualando la ecuación 50 a la ecuación 51 se tiene la velocidad crítica con la cual va a girar el cilindro mezclador:

$$N_r = \sqrt{\frac{g}{4\pi^2 r}} * 60 \quad (52)$$

Donde:

N = Velocidad a la que va a girar el cilindro mezclador (rpm)

r = Radio del cilindro mezclador (m)

g = Aceleración por gravedad (m/s^2)

Velocidad ideal de rotación del cilindro. Para obtener un excelente mezclado es necesario incorporar en el interior del cilindro unas aletas mezcladoras, el número de ellas ya es en base al criterio de cada diseñador. Un número de 3 aletas distribuidas equidistantemente una de la otra, producen un efecto cascada, con lo cual se puede reducir a velocidad crítica de mezclado.

Esta velocidad crítica de funcionamiento para este tipo de máquinas rotativas varía en el siguiente rango: (RON, 2011)

$$0.33 * N_{11} \leq N_r \leq 0.45 * N_{12} \quad (53)$$

Para calcular la velocidad de la rueda que impone el movimiento al cilindro, realizamos una relación de transmisión:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (54)$$

Donde:

D_1 = Diámetro del cilindro mezclador (m)

D_2 = Diámetro de la rueda motriz (m)

N_1 = Número de revoluciones por minuto del cilindro mezclador (rpm)

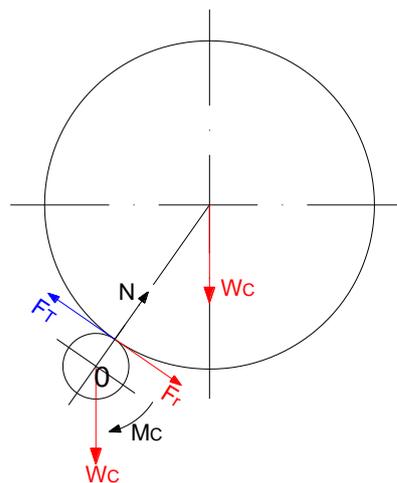
N_2 = Número de revoluciones por minuto de la rueda motriz (rpm)

Potencia para mover el conjunto cilindro producto. Es necesario conocer el material a utilizar para la construcción del cilindro, para saber su peso específico.

Con el dato del peso específico, el volumen de cada componente, y el peso de la mezcla se puede calcular el peso del conjunto cilindro producto

En la Figura 29 se puede apreciar el diagrama de cuerpo libre de la rueda motriz sobre el eje de transmisión de potencia.

Figura 29. Diagrama de cuerpo libre del conjunto cilindro producto



Fuente: Autores

Tomaremos como referencia el centro de la rueda, el punto "o".

El cilindro va estar funcionando con movimiento circular uniforme, ya que esperamos tener una mezcla homogénea.

Realizando sumatoria de fuerzas en el eje y se tiene:

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ N_y - W_C &= 0\end{aligned}\tag{55}$$

El valor de la Normal N es igual a:

$$N = \frac{W_C}{\cos \theta} \quad (56)$$

Realizando sumatoria de fuerzas en el eje x se tiene:

$$\begin{aligned} \Sigma M_O &= 0 \\ M_C + F_r * R_{rueda} + F_T * R_{rueda} &= 0 \end{aligned} \quad (57)$$

El valor de la Fuerza tangencial F_T que se produce entre la unión del cilindro y la rueda

$$F_T = 25M_C + F_r \quad (58)$$

Donde la Fuerza de rozamiento F_r es igual a:

$$F_r = N * \mu_c \quad (59)$$

En el que se tiene:

μ_c = Coeficiente cinético de rozamiento caucho - metal

La potencia P_T necesaria en KW para vencer el rozamiento cilindro ruedas está dada por:

$$P_T = T * N_2 \quad (60)$$

El valor de N_2 es la velocidad angular en rpm a la que gira la rueda motriz.

En el que el Torque producido por la fuerza tangencial viene dado por la siguiente ecuación.

$$T = F_T * R_{rueda} \quad (61)$$

La potencia real para la selección del motor viene dado por:

$$P_m = \frac{P_T}{n_c * n_r} \quad (62)$$

De esta manera se tiene:

n_c = Rendimiento por transmisión

n_r = Rendimiento del motor

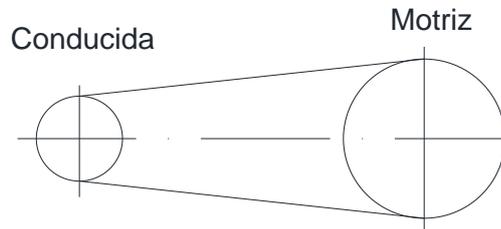
P_T = Potencia total para mover el conjunto cilindro carga (kW)

P_m = Potencia del motorreductor (kW)

Diseño de la transmisión de potencia.

Una transmisión de ampliación se puede apreciar en la Figura 30.

Figura 30. Transmisión de potencia por cadena y catalinas.



Fuente: Autores

Potencia de diseño corregida. Para la corrección de potencia, se analiza las diferentes tablas que brindan los fabricantes, en estas se pueden apreciar el factor de servicio de acuerdo al trabajo que realiza la máquina con el motor. De esta manera la potencia de diseño corregida viene dada por la siguiente ecuación.

$$P_D = P_m * F_s \quad (63)$$

Donde:

P_D = Potencia de diseño corregida (kW/HP)

P_m = Potencia a la salida del motoreductor (kW/HP)

F_s = Factor de servicio

Determinación del número de cadena y tamaño de las catalinas conductora (motriz) y conducida. Con la potencia corregida P_D y las rpm de la catalina motriz (N_3), se determina el número de cadena, tamaño recomendado de la catalina motriz, el tipo de lubricación que se debe emplear y también el máximo diámetro del agujero, que puede tener la catalina. Ver Anexos K – M(AQUINO, 2012)

En un caso particular donde la catalina motriz es más grande que la catalina conducida en las tablas se ingresa con el dato de N_2 , que es la catalina pequeña.

En una transmisión de ampliación el número de dientes recomendado de la catalina motriz se convierte en el número de dientes de la catalina conducida.

Con la relación de transmisión i determinamos los números de dientes de la catalina motriz.

$$i = \frac{N_2}{N_3} = \frac{Z_3}{Z_2} \quad (64)$$

La relación de transmisión i corregida será:

$$i = \frac{Z_3}{Z_2} \quad (65)$$

Para la fijación de las catalinas a sus respectivos ejes se utilizan cuñeros, cuñas y prisioneros de acuerdo a la Tabla 4.

Tabla 4. Estándares de cuñas y cuñeros

ESTANDARES DE CUÑAS Y CUÑEROS (CHAVETAS Y CHAVETEROS)

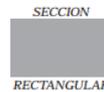
TABLA DE LOS CUÑEROS Y CUÑAS ESTANDAR
EN PULGADAS - SECCIÓN CUADRADA



Proporcionados según el diámetro del eje. Diámetro de los correspondientes prisioneros.

DIÁMETRO DEL EJE	ANCHURA Y PROFUNDIDAD DEL CUÑERO	CUÑA DE SECCIÓN CUADRADA.	DIÁMETRO DEL PRISIONERO
1/2 a 5/8	1/8 x 1/16	1/8 x 1/8	3/16
5/8 a 7/8	3/16 x 3/32	3/16 x 3/16	3/16
7/8 a 1 1/4	1/4 x 1/8	1/4 x 1/4	1/4
1 1/4 a 1 3/8	5/16 x 5/32	5/16 x 5/16	5/16
1 3/8 a 1 3/4	3/8 x 3/16	3/8 x 3/8	3/8
1 3/4 a 2 1/4	1/2 x 1/4	1/2 x 1/2	1/2
2 1/4 a 2 3/4	5/8 x 5/16	5/8 x 5/8	5/8
2 3/4 a 3 1/4	3/4 x 3/8	3/4 x 3/4	5/8
3 1/4 a 3 3/4	7/8 x 7/16	7/8 x 7/8	3/4
3 3/4 a 4 1/2	1" x 1/2	1" x 1"	3/4
4 1/2 a 5 1/2	1 1/4 x 5/8	1 1/4 x 1 1/4	7/8
5 1/2 a 6 1/2	1 1/2 x 3/4	1 1/2 x 1 1/2	1"
6 1/2 a 7 1/2	1 3/4 x 7/8	1 3/4 x 1 3/4	1 1/4
7 1/2 a 9"	2" x 1"	2" x 2"	1 1/4
9" a 11"	2 1/2 x 1 1/4	2 1/2 x 2 1/2	1 1/4

TABLA DE LOS CUÑEROS Y CUÑAS ESTANDAR
EN PULGADAS - SECCIÓN RECTANGULAR



Proporcionados según el diámetro del eje. Diámetro de los correspondientes prisioneros.

DIÁMETRO DEL EJE	ANCHURA Y PROFUNDIDAD DEL CUÑERO	CUÑA DE SECCIÓN RECTANGULAR	DIÁMETRO DEL PRISIONERO
7/8	3/16 x 1/16	3/16 x 1/8	1/4
7/8 a 1 1/4	1/4 x 3/32	1/4 x 3/16	3/8
1 1/4 a 1 3/8	5/16 x 1/8	5/16 x 1/4	3/8
1 3/8 a 1 3/4	3/8 x 1/8	3/8 x 1/4	3/8
1 3/4 a 2 1/4	1/2 x 3/16	1/2 x 3/8	1/2
2 1/4 a 2 3/4	5/8 x 7/32	5/8 x 7/16	5/8
2 3/4 a 3 1/4	3/4 x 1/4	3/4 x 1/2	5/8
3 1/4 a 3 3/4	7/8 x 5/16	7/8 x 5/8	3/4
3 3/4 a 4 1/2	1" x 3/8	1" x 3/4	3/4
4 1/2 a 5 1/2	1 1/4 x 7/16	1 1/4 x 7/8	7/8
5 1/2 a 6 1/2	1 1/2 x 1/2	1 1/2 x 1"	1"
6 1/2 a 7 1/2	1 3/4 x 3/4	1 3/4 x 1 1/2	1 1/4
7 1/2 a 9"	2" x 3/4	2" x 1 1/2	1 1/4
9" a 11"	2 1/2 x 7/8	2 1/2 x 1 3/4	1 1/4

Fuente: Catálogo de cadenas y catalinas REX

Cálculo de la longitud de la cadena.

Observando el espacio disponible para la transmisión se deduce una longitud entre centros C_{plg} , esta cantidad la convertimos en distancia entre centros en paso.

$$C_{pasos} = \frac{C_{plg}}{p} \quad (66)$$

Donde:

C_{pasos} = Distancia entre centros en pasos

C_{plg} = Distancia entre centros en pulgadas

p = Paso en pulgadas

La longitud de la cadena es:

$$L = 2 * C + \frac{Z_3 + Z_2}{2} + \frac{(Z_2 - Z_3)^2}{4 * \pi^2 * C} \quad (67)$$

Donde:

L = Longitud de la cadena en pasos

C = Distancia entre centros en pasos

Z₂ = Número de dientes de la catalina conducida

Z₃ = Número de dientes de la catalina conductora (motriz)

Cálculo de la fuerza que ejerce la cadena

La fuerza que ejerce la cadena sobre las catalinas se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_c = \frac{H_p * 33000}{V} \quad (68)$$

Donde:

F_c = Fuerza que ejerce la cadena sobre las catalinas

H_p = Potencia a la salida de motor

V = Velocidad lineal de la cadena

Cálculo del valor H_p

Con el valor del número de dientes de la catalina conductora y el número de revoluciones de la misma, encontramos el valor de H_p. Ver Anexo N, en ocasiones hay que interpolar dos veces para encontrar el valor deseado. (AQUINO, 2012)

Cálculo de la velocidad lineal de la cadena

$$V = \frac{Z * p * N}{12} \quad (69)$$

Donde:

V = Velocidad lineal de cadena (ft/min)

Z = Número de dientes de la catalina conductora (motriz)

p = Paso en función del número de cadena (pulgadas)

N₂ = Número de revoluciones de la catalina motriz (rpm)

Diseño del eje de transmisión. Se debe analizar todas las fuerzas, momentos y reacciones en el diámetro. A continuación se realiza los diagramas de la fuerza

cortante, y momento flector respectivamente. Se debe analizar los puntos más críticos tanto para el plano xy y xz.

Si es que existen dos puntos críticos, se deberá comparar cual es el mayor Momento flector Máximo, y con este valor se procederá a calcular el diámetro.(AQUINO, 2012)

$$M_{fmax1} = \sqrt{M_{fmax}^2 + M_{fmax}^2} \quad (70)$$

Cálculo del diámetro del eje a carga estática. Las fuerzas que actúan sobre el eje generan esfuerzos normales y tangenciales; además de acuerdo a las condiciones en donde va a trabajar el eje se debe seleccionar el material para obtener las propiedades:

S_u = Resistencia a la tensión (KSI/ MPa)

S_y = Resistencia a la fluencia (KSI/ MPa)

Esfuerzo Normal

$$\sigma_x = \frac{32M_{fmax}}{\pi\phi^3} \quad (71)$$

Esfuerzo tangencial

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi\phi^3} \quad (72)$$

Según la Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo TECM (MSST) TRESCA:

$$\sigma_{TRESCA} = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} = \frac{S_y}{n} \quad (73)$$

El valor del diámetro:

$$\phi = \sqrt[6]{\frac{1024M_{fmax}^2 + 16T^2}{\pi^2} \left(\frac{n}{S_y}\right)^2} \quad (74)$$

Cálculo del diámetro del eje a carga dinámica

Las fuerzas que actúan sobre el eje generan esfuerzos fluctuantes, Por ejemplo en la catalina se genera un torque, dando un Momento Torsor.

Esfuerzo de flexión

$$\sigma_f = \frac{32M_{fmax}}{\pi\phi^3} \quad (75)$$

Esfuerzo por torsión

$$\tau = \frac{16T}{\pi\phi^3} \quad (76)$$

A continuación se realiza un análisis de esfuerzos combinados con la ayuda de la Teoría de Energía de Distorsión TED (DET) VON MISSEE HENCKY.

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(\sigma_{fa} + \sigma_{axa})^2 + 3(\tau_{ta} + \tau_{ca})^2} \quad (77)$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(\sigma_{fm} + \sigma_{axm})^2 + 3(\tau_{tm} + \tau_{cm})^2} \quad (78)$$

Si un eje solo presenta esfuerzo por flexión fluctuante y el esfuerzo por torsión es constante las ecuaciones anteriores se reducen a:

$$\sigma_{eqa} = \sigma_{fa} \quad (79)$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{3}\tau_{tm} \quad (80)$$

Reemplazando el valor de la ecuación 45 en la ecuación 49 y el valor la ecuación 46 en la ecuación 50 se tiene:

$$\sigma_{eqa} = \frac{32M_{fmax}}{\pi\phi^3} \left(\frac{N}{mm^2} \right) \quad (81)$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{3} \frac{16T}{\pi\phi^3} \left(\frac{N}{mm^2} \right) \quad (82)$$

A continuación se utiliza la Teoría de Esfuerzos Dinámicos de Soderberg.

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} + \frac{\sigma_{eqm}}{Sy} = \frac{1}{n} \quad (83)$$

Es necesario conocer el Limite de resistencia a la fatiga Se

$$Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Kg * Ke * Se' \left(\frac{N}{mm^2} \right) \quad (84)$$

Donde:

$Se' = 0.557 Su$ El esfuerzo gobernante es el de flexión.

Ka = Factor de superficie.

$Kb = 1.189d^{-0.097}$ = Factor de tamaño.

Kc = Factor de Confiabilidad

K_d = Factor de temperatura

K_g = Factor para instrumentos especiales como quirúrgicos

$K_e = \frac{1}{K_f}$ Factor de concentración de tensiones, donde:

$K_f = q(K_t - 1) + 1$ Coeficiente de mayoración de esfuerzos

q = Coeficiente de sensibilidad de entalla

K_t = Coeficiente geométrico (MORÁN, 2011)

Una vez encontrado un diámetro se itera hasta conseguir un factor de seguridad n aceptable.

Selección de rodamientos. Para seleccionar los rodamientos con soportes, es necesario conocer las fuerzas resultantes de las reacciones radial y axial que actúan sobre el eje, en los puntos donde se van a estacionar las mismas, además se debe conocer el diámetro del eje, con este dato se busca la chumacera adecuada en cualquier catálogo, que se desee.

Se realiza el análisis en los dos puntos por separado.

Análisis en el punto A. Las reacciones equivalentes en el punto A se calculan de acuerdo a las ecuaciones:

$$F_{rA} = \sqrt{R_{Ay}^2 + R_{Az}^2} \quad (85)$$

$$F_{axA} = R_{Ax} \quad (86)$$

Si el eje no presenta carga axial y gira a bajas revoluciones por minuto se selecciona un rodamiento de una sola hilera de bolas; además se decide que el eje va a trabajar a ciertas horas diarias durante determinados años, para obtener la duración o vida L_h .

Con el valor de la duración L_h en la tabla "Vida L_h y Duración f_L para rodamientos de bolas", encontramos el factor f_L , es necesario interpolar. Ver Anexo O

Con el valor del número de revoluciones en la tabla "Valores f_n para rodamientos de bolas", encontramos el factor de velocidad f_n . Ver Anexo P

El factor de servicio f_s se debe seleccionar tomando en cuenta si las exigencias del equipo son elevadas, normales o reducidas de acuerdo a la Tabla 5:

Tabla 5. Factor de servicio

fs = 1,5 ... 2,5	Para exigencias elevadas
fs = 1,0 ... 1,5	Para exigencias normales
fs = 0,7 ... 1,0	Para exigencias reducidas

Fuente: Catálogo Programa Estándar FAG

Diseño a carga estática

Con el valor del diámetro del eje en el catálogo se obtiene el valor C_0 que es la Capacidad de carga estática tabulada.

Para el diseño a carga estática es necesario cumplir con la relación:

$$\frac{F_a}{F_r} \leq 0.8 \quad (87)$$

Como F_a es igual a cero entonces se cumple con la relación anterior, por lo tanto la ecuación para calcular la carga estática equivalente es la siguiente:

$$P_0 = F_r \quad (88)$$

A continuación se calcula la capacidad de carga estática calculada.

$$C_{0 \text{ calculada}} = f_s * P_0 \quad (89)$$

Un rodamiento seleccionado correctamente cumple con la relación:

$$C_{0 \text{ tabulado}} > C_{0 \text{ calculado}} \quad (90)$$

Diseño a carga dinámica

Con el valor del diámetro del eje en el catálogo se obtiene el valor C que es la Capacidad de carga dinámica tabulada.

Si la chumacera no presenta fuerzas radiales y axiales elevadas se utiliza rodamientos rígidos con una hilera de bolas, la ecuación para calcular la carga dinámica equivalente es la siguiente:

$$P = XF_r + YF_a \quad (91)$$

Donde:

P = Carga dinámica equivalente

F_r = Resultante de las reacciones radiales

F_a = Resultante de las reacciones axiales

X = Factor radial

Y = Factor axial

Los valores de X y de Y dependen, de la razón F_a/C_0 , con lo cual se va a la tabla “Factores radiales y axiales de los rodamientos rígidos de bolas” (FAG, 2000)

Si no existiera la carga axial Y es igual a cero y X es igual a 1 y la ecuación se reduce a:

$$P = XF_r \quad (92)$$

A continuación se encuentra la capacidad dinámica de carga C calculada, con la siguiente expresión:

$$C = \frac{f_L P}{f_n} \quad (93)$$

Donde:

Cd = Capacidad dinámica de carga calculada

f_L = Duración

f_n = Factor de velocidad

Un rodamiento seleccionado correctamente cumple con la relación:

$$C_{\text{tabulado}} > C_{\text{calculado}} \quad (94)$$

De la misma manera se realiza para el punto B

Ruedas motrices

El cilindro requiere montarse sobre 4 ruedas que están acopladas en dos ejes paralelos. Las características principales de estas ruedas son que al aplicar carga sobre ellas a una velocidad determinada no se produzca un rebote de la carga, que presenten una dureza adecuada, que tenga una muy buena resistencia al desgarro, a la compresión, resistencia química entre otros.

La dureza es una de las propiedades más útiles y frecuentes del caucho ya que es la oposición que presenta un material a ser rayado o penetrado por otro cuerpo sólido.

Normalmente, se utilizan 3 escalas para medir la dureza:

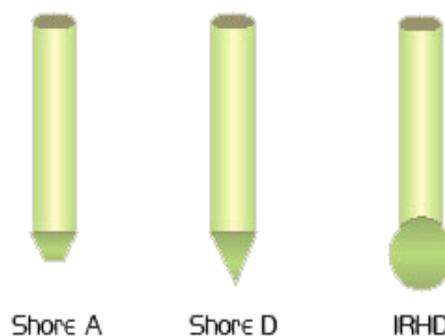
- RHD (grado internacional de dureza del caucho).
- SHORE A (desde 20 a 90° Sh A) se aplica a elastómeros blandos, por ejemplo PVC plastificado, dureza del caucho natural, polietilenos.

- SHORE D (para materiales con dureza $> 90^{\circ}$ Sh A). Para los termoplásticos como cauchos duros, plásticos, ebotina y otros.

El instrumento de medición es el durómetro. El cuerpo de penetración se carga con característica predefinida mediante un muelle. Cuanto más grande la dureza del material a ensayar, menor la profundidad de penetración y mayor la carga aplicada.

En la Figura 31 se puede apreciar los diferentes tipos de indentadores de acuerdo a la dureza IRHD, Shore A y D. (CASTRO, 2010)

Figura 31. Tipos de indentadores



Fuente: Control de calidad en la industria del caucho

Dureza Shore

La dureza Shore es un valor característico de los materiales definido por los estándares DIN 53505 y DIN EN ISO 868, y son propios de los termoplásticos y elastómeros. El durómetro presenta una aguja que presiona el material a ensayar. La profundidad de penetración define la dureza del material.

Cuando los valores que da el durómetro Shore A se obtiene lecturas superiores a 90, se recomienda el empleo del durómetro Shore D, que dispone de una punta cónica y de un resorte más rígido.

Es un ensayo no destructivo, que muy frecuentemente se puede realizar directamente sobre el artículo terminado.

Si el material es blando absorbe la energía del peso o un choque sobre él, en este caso presenta una dureza shore A, si el material es duro produce un rebote, en este caso el material presenta una dureza Shore D.

De acuerdo a la tabla comparación de los materiales de cauchos, el caucho adecuado para fabricar neumáticos es el neopreno (CR) debido a sus buenas propiedades que se pueden observar en el AnexoR.

2.2.5 Elevador de cangilones

2.2.5.1 Generalidades. Los elevadores de este tipo se consideran un sistema de transporte casi siempre vertical que consta de los cangilones que transportan el material y una banda o cadena que los lleva fijos en su avance vertical cíclico.

Los primeros elevadores de cangilones se emplearon para la elevación de cereales, pero su uso se ha extendido a muchos otros materiales como carbón, cemento, harina, etc.

Tipos

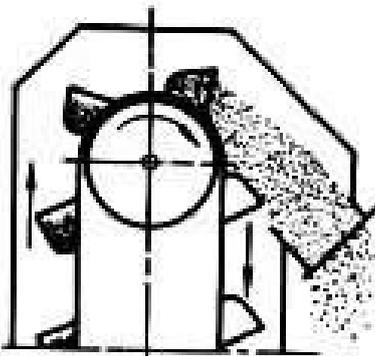
A consecuencia del tipo de descarga se utilizan los siguientes tipos:

- a) Los de descarga centrífuga
- b) Los de descarga por gravedad
- c) Los de descarga continua

Descarga centrífuga

Este es el tipo más frecuentemente utilizado; el espaciamiento entre cangilones evita la interferencia entre la carga y descarga.

Figura 32. Elevador de descarga centrífuga



Fuente: BARCIA Kléber, Diseño y construcción de prototipo para sistema de recirculación de granallas para máquina limpiadora de metales

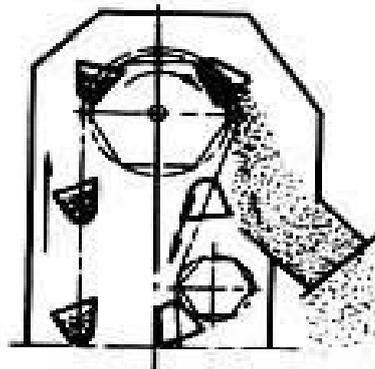
Ligeramente son verticales, y manejan prácticamente cualquier tipo de material como granos, carbón arena, azúcar, semillas y químicos secos. Los cangilones son llenados de dos maneras, la una es la alimentación propiamente dicha y la otra por el sobrante del material en la parte baja del elevador; para ciertos materiales la velocidad gobernada por el tambor motriz suele ser alta, generalmente están entre 1,2 y 1,4 m/s.

Descarga positiva o por gravedad

Este tipo de elevadores de cangilones espaciados, a diferencia del de descarga centrífuga, tiene la particularidad de llevar una polea inmediatamente después de la descarga que obliga al cangilón a voltearse completamente.

Las velocidades son bajas y se usa preferiblemente en materiales como polvos o materiales con cierta adherencia, que por descarga centrífuga no serían vaciados eficientemente. Puesto que la velocidad es baja, el cangilón debe tener mayor capacidad para acarrear volúmenes de material considerables.

Figura 33. Elevador de descarga positiva o por gravedad



Fuente: BARCIA Kléber, Diseño y construcción de prototipo para sistema de recirculación de granallas para máquina limpiadora de metales

Descarga continua

Como su nombre lo indica este tipo de elevadores tiene los cangilones muy juntos, no hay separación entre uno y otro cangilón.

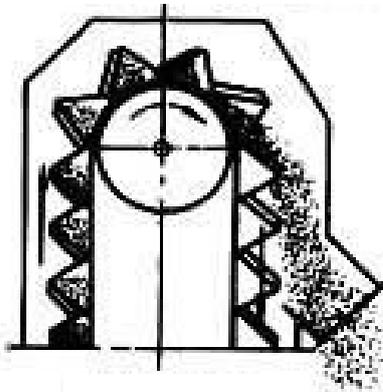
Su alimentación debe ser siempre a la carga, puesto que en este tipo nunca va a caer material a la parte baja del elevador. Su baja velocidad y la manera uniforme de carga y descarga permiten utilizar este tipo de elevadores en materiales quebradizos. Estos elevadores son de gran capacidad y son muy utilizados en minas, fábricas de cemento, etc.

En algunos casos operan con cierta inclinación y se estima que la velocidad comparada con los cangilones espaciados es baja.

Estas velocidades y el método suave de carga y descarga minimizan los golpes del material transportado, siendo por esta razón muy usados en materiales frágiles y para materiales pulverulentos como cemento o químicos secos.

Debido a su baja velocidad y para mantener capacidades aceptables, el contenido volumétrico de los cangilones es mucho mayor que los de descarga centrífuga.(BARCIA, 1989)

Figura 34. Elevador de descarga continua



Fuente: BARCIA Kléber, Diseño y construcción de prototipo para sistema de recirculación de granallas para máquina limpiadora de metales

2.2.6 Factores que entran en el diseño de los elevadores de cangilones

2.2.6.1 *La capacidad y sus variables de consideración.* Entre las principales variables para un adecuado diseño son:

- Capacidad total del elevador
- Capacidad volumétrica del cangilón
- Paso entre cangilones
- Características del material a transportar
- Velocidad lineal en el elevador
- Análisis de la ecuación de la capacidad

Capacidad total del elevador

Es el volumen total que multiplicado por el peso específico del material a transportar nos dará el peso total que puede un elevador de cangilones transportar.

Esta capacidad total en general es, muy utilizada en definir al elevador; así un elevador cuya capacidad de transporte es de 10 toneladas por hora se lo conoce como un elevador de 10 toneladas.

Es importante anotar que en realidad este mismo elevador podría transportar más o menos que esas 10 toneladas, cambiando simplemente el material que se va a transportar, pues si varía el peso específico del material también cambiará el peso total transportado. Esto nos da a notar que los elevadores de cangilones en realidad son transportadores de volúmenes; el mismo que no varía, tomando en cuenta esto, no se debería nombrar al elevador por su capacidad en peso sino por su capacidad en volumen y así el elevador de 10 toneladas por hora que antes mencionábamos debería ser el elevador de X metros cúbicos por hora.

Capacidad volumétrica del cangilón

Este factor evidentemente depende de la configuración geométrica del cangilón y tiene relación con la capacidad total, pues a mayor capacidad de cada cangilón, mayor capacidad tendrá el elevador. Si llamamos:

Q= capacidad total en toneladas métricas/hr, y

C = capacidad individual en litros/cangilón,

Tenemos la siguiente relación:

$$Q \propto C \quad (95)$$

Esta capacidad individual geométrica del cangilón debemos anotar que es teórica, puesto que en la práctica es bastante difícil que el cangilón este siempre completamente lleno, esto nos introduce a lo que se denomina coeficiente de llenado que lo representamos por ϕ , el mismo que es siempre menor a la unidad, entonces la relación anterior nos queda:

$$Q \propto \phi * C \quad (96)$$

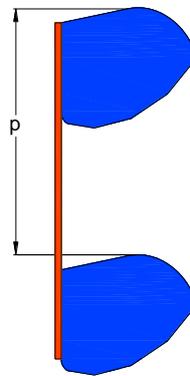
Paso entre cangilones

Asumiendo que tenemos determinada la capacidad de cada cangilón debemos ahora calcular cuan espaciados van estos en su recorrido; si están muy separados se obtiene menos capacidad, si están muy unidos se obtiene mayor capacidad; por consiguiente tenemos una relación inversa entre el paso de los cangilones, (distancia entre cada uno de ellos, ver Figura 35) y la capacidad, es decir:

Si PASO = p; entonces:

$$Q \propto 1/p \quad (97)$$

Figura 35. Esquema del paso entre cangilones



Fuente: Autores

Características del material a transportar

Entre las características de consideración con respecto al material que se va a transportar se encuentran las características físicas, dentro de las cuales la más importante es la densidad. Los transportadores en general son diseñados para transportar volúmenes y de allí la importancia de conocer la densidad.

Esta densidad depende de factores adicionales tales como la humedad de la semilla, el estado original de la semilla (por ejemplo, el trigo tiene una densidad de 48 lb/ft³ en su estado final, pero su densidad es de 28 lb/ft³ cuando esta como semilla). Lo mismo podemos anotar del arroz cuya densidad varía si este se encuentra en cáscara, pilado o húmedo variando entre 40 y 50 lb/ft³; pudiéndose considerar una densidad promedio de 45 lb/ft³ para efectos de cálculos.

De aquí la importancia de conocer el peso específico del material, que en nuestro caso son semillas de alfalfa y trébol, cuyas densidades son determinadas en la sección

2.2.1.1 y 2.2.1.2, respectivamente para conocer la capacidad en unidades de peso por tiempo.

Si un cangilón tiene como volumen de transporte 1 litro este siempre se mantendrá constante pero dependiendo del peso específico del material su capacidad será diferente. Por consiguiente, existe una relación directa entre el peso específico y la capacidad total del elevador:

$$Q \propto \gamma \quad (98)$$

Velocidad lineal en el elevador

Debemos identificar 2 tipos de velocidades; ambas relacionadas entre sí; estas son:

1. Velocidad lineal del cangilón (V_0), y
2. Velocidad angular del tambor motriz (ω)

La velocidad lineal del cangilón influye directamente sobre la capacidad del cangilón, puesto que si hacemos pasar rápidamente por la descarga cada cangilón, obtendremos más capacidad en peso y si va despacio, obtendremos lo contrario.

Llamando V_0 a la velocidad lineal tenemos:

$$Q \propto V_0 \quad (99)$$

Como es conocido la velocidad lineal V_0 y la velocidad angular ω tienen relación entre sí ($V_0 = 2 * \pi * R * \omega$), por lo que esta velocidad angular se la analizará más adelante.

Análisis de la ecuación de la capacidad

Ahora podemos resumir todos estos parámetros y concluir con la siguiente fórmula:

$$Q = K \gamma C \emptyset V_0 / p \quad (100)$$

Donde:

Q = Toneladas métricas/hora)

K = Constante

C = Volumen del cangilón en litros

p = Paso entre cangilones en metros

γ = Peso específico en toneladas/ m^3

\emptyset = Coeficiente de llenado

V_0 = Velocidad lineal en m/s

De lo expuesto anteriormente se observa que para determinar la capacidad del elevador hay algunos valores que son predeterminados como el peso específico del material a transportar, el coeficiente de llenado de los cangilones y la constante K la cual sirve para mantener las unidades consistentes.

Por otro lado se debe seleccionar y calcular el volumen del cangilón en litros; el paso o espaciamiento entre ellos en metros y la velocidad lineal del elevador en m/s, la cual a su vez tiene dependencia directa con la velocidad angular en el tambor motriz..

Con respecto a las variables del cangilón, es decir volumen del mismo y espaciamiento entre ellos, hoy en día existe una amplia gama de cangilones que nos proporcionan datos de volumen y espaciamiento mínimo recomendado.

2.2.7 *La velocidad y su influencia en la carga y descarga.* Es importante al hablar de la velocidad del cangilón, observar que pasa si la misma es mayor o menor que la apropiada.

Cuando se excede la velocidad del cangilón aumenta la tendencia del material a salir desprendido por una fuerza centrífuga mayor, chocando contra la carcasa del elevador, creando nubes de polvo, suciedad, ruido y principalmente desviando su dirección uniforme hacia la descarga; esto produce que parte del material caiga al fondo perdiéndose eficiencia y a la vez capacidad.

En cambio, si la velocidad es menor que la apropiada el material sale despedido pero después de haber pasado por el conducto de descarga, lo cual produce pérdidas de capacidad.

Es por todas estas razones que es importante tener una velocidad de descarga apropiada de tal manera que contribuya a solucionar parte de estos problemas y que cumpla con su objetivo básico el mismo que es una entrega limpia y completa del material al siguiente ciclo, cualquiera que este sea en el proceso.

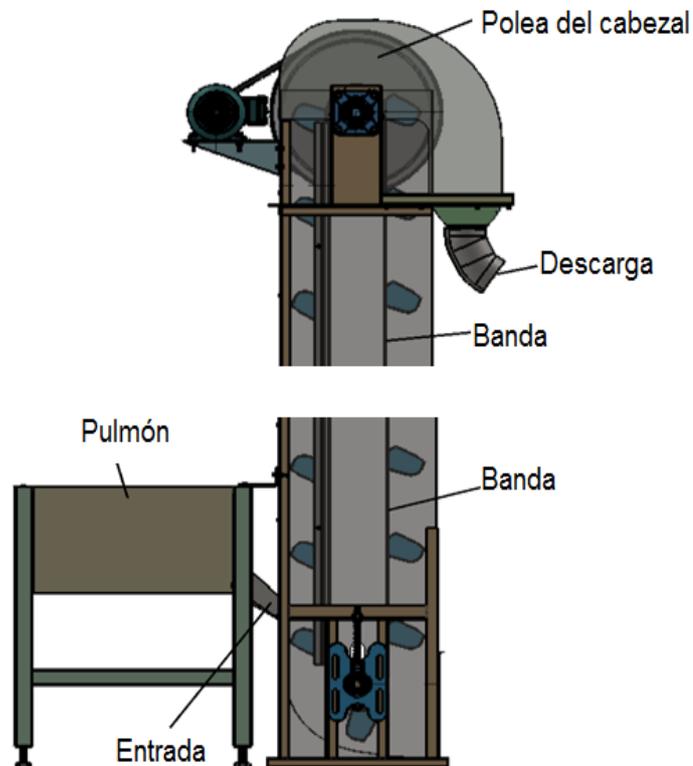
Para el proceso de carga lo que se busca es una transición suavizada para evitar atascamientos en la entrada del elevador, pero normalmente este es un dato ya analizado antes del problema; así, si se conoce que el elevador va a estar diseñado para X toneladas/hora, deberá ser alimentado para las X toneladas/hora. Esto se logra acoplado un “pulmón” de carga.

Como vemos es entonces importante para una buena carga y descarga, determinar la velocidad ideal del cangilón y por otro lado es importante también el espaciamiento entre los cangilones, factores que veremos posteriormente.

Adicionalmente a la determinación teórica de la velocidad ideal es también necesario cumplir con ciertas características físicas en las áreas de carga y descarga las cuales quedan ilustradas a continuación en la Figura 36.

En la Figura 36 se puede notar el pulmón que está colocado a la entrada del elevador, en la zona de carga, mientras que en la parte superior tiene un codo de descarga.

Figura 36. Características físicas en las áreas de carga y descarga



Fuente: Autores

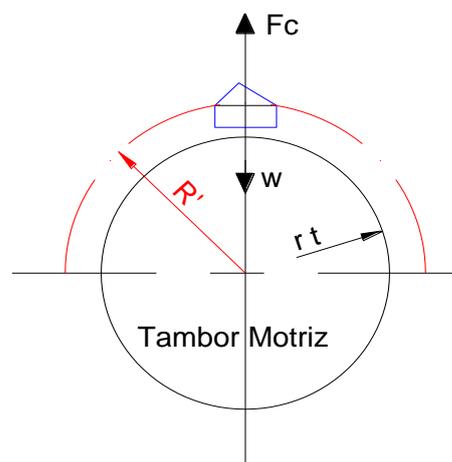
En la mayoría de los elevadores de cangilones, al comenzar el codo de descarga se ha colocado un labio de caucho que debe ser duro, el cual ayuda muchas veces a reducir la cantidad de material que podría caer, este codo de descarga debe ser localizado siempre abajo con respecto al eje del cabezal para que la descarga sea completa.

2.2.8 Cálculo de la velocidad angular ideal. Anteriormente se analizó el efecto que tiene el parámetro de la velocidad en la capacidad del elevador, pero este no es más que un efecto teórico, puesto que velocidades en exceso podrían traer consigo algunos problemas de carácter práctico, por consiguiente debemos determinar una velocidad ideal que deberá llevar el cangilón en su recorrido.

Como nuestro estudio se refiere al transporte de semillas que en definitiva son granos podemos hacer la siguiente asunción:

En el momento en el cual el cangilón está justo en la parte superior central de su recorrido no se derramará nada debido al equilibrio entre la fuerza centrífuga y su peso.

Figura 37. Equilibrio entre la fuerza centrífuga y el peso



Fuente: Autores

Si asumimos que:

$$F_c = w \quad (101)$$

Y sabemos que la fuerza centrífuga F_c es igual a:

$$F_c = \frac{mV^2}{R} \quad (102)$$

Y sabemos que $m = w/g$; entonces:

$$F_c = \left(\frac{w}{g}\right) \left(\frac{V^2}{R}\right) \quad (103)$$

Donde:

m = masa

g = gravedad

V = velocidad en ft/s

R' = radio del tambor motriz + espesor de la banda

+ distancia de la banda al centroide del cangilón (estimado)

Entonces:

Igualando las ecuaciones 101 y 103 obtengo:

$$w = \frac{w * V^2}{g * R'}$$
$$g * R' = V^2 \quad (104)$$

Si:

V = velocidad en $\frac{\text{ft}}{\text{s}}$, y

V = velocidad en $\frac{\text{ft}}{\text{min}} = \frac{V}{60}$

Y sabiendo que:

Velocidad lineal = $\frac{2 * \pi * R' * \omega}{60}$ (ft/min)

es decir:

$$V = \frac{2 * \pi * R' * \omega}{60} \quad (105)$$

Donde:

ω = revoluciones por minuto

Igualando las ecuaciones 104 y 105 nos queda:

$$\omega = \frac{54,2}{(R')^{1/2}} \quad (106)$$

De donde concluimos que la velocidad en R.P.M. mínima que deberá llevar el cangilón que transporta granos o semillas será dada por la ecuación anterior.

Si utilizamos el sistema MKS tenemos:

$$\omega = \frac{30}{(R')^{1/2}} \quad (107)$$

Esta relación establece el número de revoluciones por minuto en función del radio R' expresado en metros y nos indica que la descarga ideal depende del radio del tambor más que del material que se esté transportando.

Dependiendo de las unidades que usemos utilizaremos las ecuaciones 106 o 107 en cualquiera de las dos formas presentadas.

Debe tomarse en cuenta que:

$$R' = r_t + \text{espesor de la banda} + d_t \quad (108)$$

Donde:

r_t = radio del tambor motriz

d_t = distancia de la banda al centroide del cangilón

2.2.9 Selección y cálculo volumétrico. El estudio del cangilón al que también se lo conoce como balde, jarra, carapacha, bucket o canasto, tiene como propósito conocer las diferentes alternativas que se pueden presentar.

Dependiendo de la capacidad volumétrica, del material a transportarse y del espaciamiento entre cangilones se puede seleccionar el cangilón adecuado.

La forma de los cangilones tiene influencia directa con el tipo de material que transporta y sus dimensiones con la capacidad que se espera obtener.

Para calcular la capacidad volumétrica del cangilón debemos primeramente exponer las diferentes formas y dimensiones estandarizadas; en cambio para la selección interviene la cantidad de material a transportar y la forma de descarga.

Cuando hablábamos de los elevadores de cangilones y su clasificación, se mencionaba los diferentes tipos, como son: de gravedad, continuos y de descarga centrífuga; también se anotaba entre las aplicaciones que era el tipo de material a transportar el que influye en el tipo de descarga; como en nuestro caso son semillas, la descarga debía ser centrífuga.

Ahora bien, para materiales como granos, alimentos balanceados, fertilizantes, semillas, sal, arena entre otros, los tipos CC-HD de polietileno para servicio agrícola,

brindan las mejores condiciones para una descarga centrífuga. Es por esto que seleccionamos los cangilones TAPCO CC-HD.

El siguiente factor a considerar será las dimensiones y en esto interviene la capacidad volumétrica.

El tipo CC-HD ofrece varios tamaños de cangilones. Estas diferentes dimensiones son para el alto, ancho y profundidad del cangilón. Lo cual nos permite tener cangilones de una capacidad mínima de 6 pulgadas cúbicas y un máximo de 433,3 pulgadas cúbicas.(TAPCO, 2006)

Se debe anotar que este volumen o capacidad estará influenciado por el coeficiente de llenado para granos secos, y varía de acuerdo al tipo de material y que siempre es menor que la unidad.

2.2.9.1 *Cálculo del espaciamento entre cangilones.* Cuando tocábamos el tema de la capacidad total del elevador anotábamos que mientras más juntos estén los cangilones más capacidad se obtiene; por otro lado, mientras más separados estén menos capacidad habrá, pero la pregunta es: Cuán espaciados deberán estar los cangilones para un transporte adecuado?.

Esta es una pregunta en la cual la capacidad en sí, ya no interviene, y que tiene una alta incidencia en una apropiada carga y descarga.

El espaciado mínimo entre cangilones ha sido históricamente la proyección nominal más 2". Sin embargo, se están utilizando muchos cangilones tipo CC con un espaciado de proyección nominal más 1", y algunos incluso con menos espaciado.

Para fines de diseño Tapco recomienda usar un espaciado mínimo para cada tamaño de cangilón.(TAPCO, 2006)

2.2.9.2 *Material de fabricación de los cangilones.* Tradicionalmente se construían los cangilones de hierro, y aún hoy un alto porcentaje de los cangilones que se encuentran en elevadores son hechos de planchas de hierro negro, esto tiene su explicación por cuanto el hierro es un material de múltiples usos y lo encontramos en todas partes.

Actualmente para el uso de elevadores en la industria alimenticia y de manera específica en el transporte de semillas en los últimos años se ha intentado utilizar materiales no corrosivos y limpios, para cumplir regulaciones de salud.

Como una posible solución a este problema está el cangilón de Polietileno lineal de alta densidad, este cangilón presenta ciertas ventajas que describimos a continuación: larga durabilidad, fuerte y flexible, paredes gruesas, liviano, descarga directa, menor daño al producto, reduce el retorno en el ramal ascendente, no produce chispas y no es corrosivo.(TAPCO, 2006)

El rango de temperatura es de -60°F a + 200°F / -51°C a + 93°C.

La capacidad neta o utilizable podría variar entre el 10% y 20% por encima de la capacidad al nivel de agua. Para fines de diseño, se recomienda usar la capacidad al nivel de agua (NA) + 10% para calcular la capacidad utilizable.

Como desventaja de este tipo de cangilones es la limitación a ciertos materiales como: (1) Materiales con una temperatura superior a 200°F/93°C; (2) Materiales con bordes filosos, tales como vidrio molido o conchas de ostras; (3) Materiales rugosos de alta densidad, tales como grava y minerales con un diámetro superior a 3/8". (4) Unos pocos materiales extremadamente abrasivos y de escurrimiento lento, tales como suero lácteo en polvo, algunos pellets y alimentos balanceados extruidos; (5) Algunas aplicaciones severas, tales como porotos de soja y arroz.

2.2.10 Cálculo de potencia. La potencia del motor usado para el movimiento del elevador de cangilones es un cálculo de mucha importancia para nuestro estudio.

Sabemos que:

$$P = W * 1/t \quad (109)$$

Siendo:

W = trabajo = Fuerza por distancia

t = tiempo

Entonces:

$$P = F * d/t \quad (110)$$

Para el caso de elevadores de cangilones, lo que nos interesa es la potencia necesaria para lograr mover el elevador una altura h .

Nos queda entonces que la potencia es:

$$P = F/t * h \quad (111)$$

F/tes la fuerza necesaria para vencer el peso del material en un tiempo determinado, y h es la distancia que se deberá mover ese peso.

Para convertirla en HP se dividirá por 33000.

Es decir:

$$HP = \frac{F * h}{33000 t} \quad (112)$$

La potencia calculada por la ecuación 112 es la potencia ideal del motor y deberá multiplicarse por un factor de seguridad para obtener la potencia real, este factor varía entre 1.2 y 1.5.

La ecuación 112 quedará así:

$$HP = \frac{F * h * Fs}{33000 t} \quad (113)$$

2.2.11 Reducción de velocidades y transmisión de potencia mecánica. A través del desarrollo de temas como capacidad del elevador, velocidad ideal de descarga y cálculo de la potencia del motor, se ha mencionado la variable velocidad sin exagerar la importancia que tiene.

Decimos entonces que siempre habrá necesidad de cambio de velocidades y que dependiendo del caso puede ser un aumento o una reducción a partir de la velocidad de salida del motor o motor-reductor para poder cubrir las necesidades de diseño.

Luego de notar la necesidad de la reducción o aumento de velocidades nos queda por conocer cómo hacerlo.

Varios son los sistemas de reducción de velocidades que se conocen; por un lado tenemos rodillos de diferente diámetro en contacto, piñones con dientes de sección recta en contacto, piñones y catalinas unidos por cadenas, poleas y bandas, poleas de velocidad variable, reóstatos actuando directamente en el motor y algún aparato especial electrónico complejo; puestos en su orden de aparición histórica.

Cada uno de estos sistemas tienen sus rangos de aplicación y sus limitaciones; por ejemplo sabemos que en el caso de rodillos en contacto y de dientes rectos en contacto se requieren de grandes masas aumentando los pesos y además hay un cambio de dirección, sabemos también que las poleas y las bandas de transmisión tienen su aplicación a altas R.P.M.; sabemos que para el caso de poleas de velocidad variable, reóstatos y aparatos electrónicos especiales, estamos hablando de motovariadores con el gran problema que implica el mantenimiento de estos y sus elevados costos.

Es por esto que la solución más completa tanto por su aplicación como por su simpleza lo son las poleas y las bandas de transmisión.

Los fabricantes de estos elementos mecánicos se reportan a las normas ANSI (Americanas) y a las normas ISO (Internacionales), habiendo una gama amplia de tipos, tamaños y formas.

Para la selección de bandas, se necesitan como dato la potencia a transmitir, las revoluciones por minuto a las cuales el eje más rápido gira y el tipo de trabajo que se va a realizar para tomar los diferentes factores de servicio.

La utilidad de estas tablas es grande, a cambio nos da el tipo de banda que debemos usar, el número de banda, el diámetro de la polea más rápida a la que trabajaría en el eje del motor, la distancia mínima entre centros de ejes y la longitud mínima de la banda de transmisión necesaria.

Además se conoce la tensión en la banda, número de bandas necesarias, control de la tensión estática, torque necesario y durabilidad.

Es decir se asegura un diseño de reducción de velocidades y además datos importantes de instalación.

Dependiendo de la potencia, posición de los ejes, relación de transmisión, sincronía, distancia entre ejes y costo; se seleccionará el método a utilizar.

Los pasos siguientes lo guiarán en la selección de una transmisión utilizando correas de sección trapezoidal y poleas acanaladas para conectar dos ejes. Al comienzo se requieren los siguientes datos:

- Potencia requerida en la máquina conducida [HP]
- Tipo de máquina motora y máquina conducida
- Velocidad de la máquina motora [rpm]
- Velocidad de la máquina conducida [rpm]
- Distancia tentativa entre ejes

2.2.12 Consideraciones para el diseño de transmisión. Cualquiera que sea la aplicación a darse a las bandas existen ciertas condiciones a tomar en cuenta.

- El sistema debe instalarse siempre con previsión para que la distancia entre centros sea ajustable, debido a que las bandas se estiran, caso contrario deben utilizarse tensores.
- La distancia entre centros no debe exceder 2,5 a 3 veces la suma de los diámetros de las poleas ni ser menor que el diámetro de la polea más grande.
- El arco de contacto de la polea más pequeña no ser menor que 120°
- La relación de transmisión no debe exceder 6:1
- La velocidad periférica de la banda no debe ser mayor de 5000 pies/min (25 m/s), ni ser menor de 1000 pies/min (5m/s)
- Las poleas deben balancearse dinámicamente para velocidades que excedan 5000 pies/min.
- Las temperaturas de operación no deben exceder de 160 °F en trabajos continuos, ni sobrepasar 170 °F en periodos cortos. Debe existir circulación de aire alrededor de sistema de transmisión.(AQUINO, 2012)

Pasos para el diseño

1. *Cálculo de la relación de transmisión*

Conociendo la sección a utilizar se procede a obtener la relación de transmisión entre ejes “i”. Se define como relación “1:i” a la razón entre las velocidades del eje rápido dividido por el eje lento.

Esta relación debe darse entre los diámetros de las poleas a utilizar:

$$i = \frac{D_p}{d_p} \quad (114)$$

Donde:

D_p = diámetro primitivo de la polea lenta

d_p = diámetro primitivo de la polea rápida

$$i = \frac{N_1}{N_2} \quad (115)$$

Donde:

N_1 = número de revoluciones por minuto del eje del motor

N_2 = número de revoluciones por minuto del eje conducido

Se recomienda que "i" para un funcionamiento adecuado sea entre 1 a 6

2. *Cálculo de la potencia de diseño*

Debido a que las máquinas conducidas tienen formas particulares de funcionamiento, se deben prevenir fallas debidas a los golpes, vibraciones o tirones. De forma similar, las máquinas motoras tienen formas particulares de funcionamiento, algunas son más suaves que otras, o tienen un impulso inicial o un giro a tirones. Estas situaciones se consideran a través de un factor de servicio (C_1) que aumenta la potencia a transmitir para obtener la potencia de diseño que considera las características de la máquina y el motor utilizado.

Con la ayuda de catálogos se escoge el motor utilizado y la máquina que más se asemeja a su diseño. Se obtiene así el factor C_1 , el cual se multiplica por la potencia a transmitir, para obtener la *potencia de diseño*.

$$P_D = P * C_1 \quad (116)$$

3. *Escoger la sección de correa más adecuada*

Con la potencia de diseño y la velocidad del eje más rápido se consulta el siguiente gráfico (ver Figura72) en el cual se aprecia las 5 secciones más típicas de las correas.

Cada sección aparece como una zona de un color particular.

Con los datos ya indicados se observa en que zona se encuentra. Esto determina la sección de correa que se recomienda usar.

4. *Identificar la correa y las poleas a utilizar*

Conociendo la sección de correa a utilizar y la relación de transmisión "i" se procede a calcular los diámetros D_p y d_p . Se recomienda usar como mínimo los valores que se indican en la Tabla 31.

Se procede dándose un valor para d_p y se calcula D_p de la forma siguiente:

$$D_p = i * d_p \quad (117)$$

5. *Determinar la distancia entre ejes*

La distancia entre ejes debe cumplir que debe ser mayor o igual que D_p pero no menor o igual a $3(d_p + D_p)$.

En caso de no estar dicha distancia determinada por exigencias de instalación se debe tomar en cuenta.

- Para i entre 1 a 3

$$C \geq \frac{(i + 1)d_p}{2} + d_p \quad (118)$$

- Para i mayor que 3

$$C \geq D_p \quad (119)$$

6. *Determinar la longitud primitiva de la banda*

Con estos valores se puede calcular el largo L aproximado de la correa que se necesita.

$$L = (2 * C) + (1.57 * (D_p + d_p)) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4 * C} \quad (120)$$

Donde:

L = Longitud de la correa

C = Distancia tentativa entre ejes

D_p, d_p = Diámetros primitivos de las poleas

Para el caso de una correa cruzada:

$$L = (2 * C) + (1.57 * (D_p + d_p)) + \frac{(D_p + d_p)^2}{4 * C} \quad (121)$$

Conociendo este valor y la sección utilizada, se consulta en la tabla correspondiente (ver Tabla 32), que entrega la identificación de la correa adecuada.

Esta identificación es una letra y un número, la letra indica el tamaño de la sección transversal de la correa (A, B, C, D, E) y el número representa el largo de la correa cuyo largo se aproxima lo más posible al largo L calculado. Como es muy probable que la correa seleccionada tenga un largo diferente de L se debe ajustar la distancia entre centros C acercado o alejando los ejes.

Una vez calculada la longitud L de la correa y ser seleccionada L_n (longitud normalizada) se debe recalcular definitivamente la distancia entre centros de poleas con la siguiente fórmula:

$$C_c = C \pm \left| \frac{L - L_n}{2} \right| \quad (122)$$

Signo (+) cuando $L < L_n$

Signo (-) cuando $L > L_n$

7. *Determinar el arco de contacto menor*

Para una transmisión con correa abierta se determina con:

$$\alpha_1 = 2 * \cos^{-1} \left(\frac{D_p - d_p}{2 * C_c} \right) = 180 - 57 * \left(\frac{D_p - d_p}{C_c} \right) > 120 \quad (123)$$

8. *Determinar la potencia que transmite una correa (P_1) y el factor de corrección C_2*

Conociendo la velocidad del eje rápido, la relación de transmisión "i" y la sección usada, se consulta la tabla correspondiente (ver Figura 72) a la sección de correa utilizada. Se obtiene de ella la potencia que es capaz de conducir una sola correa P_1 en HP, este valor se comparará con la potencia de diseño para calcular cuántas correas serán necesarias en su transmisión.

Para realizar el cálculo final se necesitan dos factores de corrección. El primero es el factor C_2 que considera la longitud de la correa. Se obtiene de una tabla pequeña ubicada en la parte baja de la tabla correspondiente a la sección, se ingresa a ella por el número de correa o por la longitud.

9. *Cálculo de la cantidad de correas necesarias*

El último factor de corrección C_3 considera el arco de contacto entre la correa y las poleas que en definitiva limita la capacidad de transmisión ya que este es un sistema que trabaja por roce. Con los valores de D_p y d_p se consulta la tabla correspondiente (ver Tabla 4) y se obtiene C_3 .

Se calcula:

$$z = \frac{P_D}{C_2 C_3 P_1} \quad (124)$$

Donde z se aproxima al entero superior.

10. *Velocidad de la banda trapezoidal*

La velocidad debe ser lo mayor posible para disminuir la cantidad de correas necesarias en la transmisión pero nunca debe superar la velocidad máxima para que el efecto de la fuerza centrífuga no disminuya la capacidad tractiva de la correa.

$$v = N * r \quad (125)$$

11. *Verificación de los ciclos de flexión por segundo y duración*

La experiencia ha confirmado que las flexiones sufridas por la correa al doblarse sobre las poleas pueden tener una influencia significativa en el calentamiento de la correa y por ende en la vida útil. Por ello es aconsejable que las correas no superen ciertos valores admisibles de flexiones por segundo.

$$i_f = 1000 * n_p * \frac{v}{L_n} \quad (126)$$

Siendo:

i_f = flexiones por segundo de un segmento de correa (seg^{-1})

n_p = cantidad de poleas en contacto con la correa = 2

v = velocidad de la correa (m/s)

L_n = longitud normalizada de la correa (mm)

Donde:

$i_f = 30 \text{ seg}^{-1}$ perfil normal

$i_f = 60 \text{ seg}^{-1}$ perfil estrecho

$i_f = 100 \text{ seg}^{-1}$ perfil estrecho de flancos abiertos

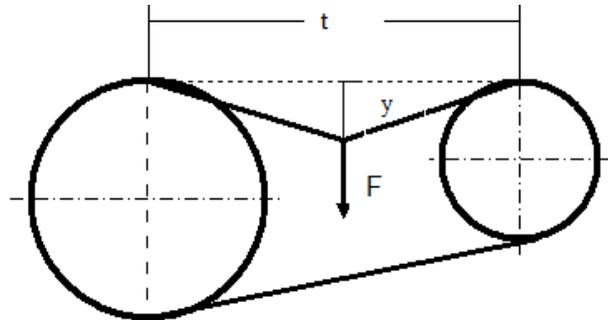
Se admite un 15% con mantenimiento adecuado y periodos de trabajo que no sean de 24 horas.

12. *Selección de poleas*

Las poleas pueden fabricarse según la necesidad para lo cual deben realizarse los planos correspondientes. En caso de seleccionarse se deben utilizar los catálogos disponibles, tomando en cuenta el diámetro primitivo, el tipo de banda y número de canales.(AQUINO, 2012)

2.2.13 Control de tensión estática. Una vez calculada la tensión estática debe ser recomendada esta tensión a partir de un control de la deformación de la correa bajo carga. Para ello se usa el método de flecha constante.

Figura 38. Control de tensión estática



Fuente:Autores

Método de flecha constante

Este es el método de control preferible cuando se dispone de un dinamómetro que permite conocer la fuerza F que se requiere aplicar, perpendicular a la correa montada en la transmisión, para producir una deflexión determinada y generalmente se recomienda un valor de deflexión de 16 mm por metro de longitud donde es realizado el control:

$$y = t * \frac{16}{1000} \text{ (mm)} \quad (127)$$

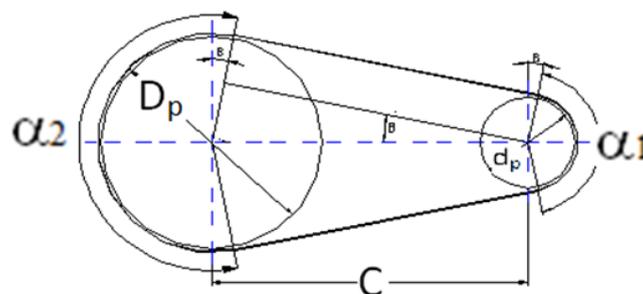
Donde:

y = deflexión en la correa (mm)

t = longitud del ramal (mm)

2.2.14 Relación de tensiones y fuerzas sobre el eje

Figura 39. Relación de tensiones y fuerzas sobre el eje



Fuente:Autores

$$\frac{T_1 - T_C}{T_2 - T_C} = e^{\frac{f \cdot \theta}{\sin(\alpha/2)}} \quad (128)$$

Donde:

T_1 = fuerza en el lado tirante

T_2 = fuerza en el lado flojo

f = coeficiente de rozamiento

θ = ángulo de contacto en el lado conductor en rad.

$$T_C = \rho * v^2 \quad (129)$$

Los valores de densidad se las encuentran en la Figura 73, en la cual se tiene valores para los distintos perfiles de correa.

Torque

$$\tau = (T_1 - T_2) \frac{D_P}{2} \quad (130)$$

Potencia

$$P = (T_1 - T_2) * v \quad (131)$$

En esta ecuación la potencia P está en WATTS cuando la tensión está en NEWTONS y la velocidad de la banda en m/s.

Cálculo de la durabilidad

El cálculo de duración de la correa depende de muchos factores, de manera que realizar un cálculo real y objetivo de las horas que trabajará la correa sin deteriorarse no es posible. Son varios los factores que influyen es la duración de las correas, como pueden ser las condiciones de almacenamiento y de trabajo, la contaminación con grasa y agua, la rugosidad superficial de las ranuras y alineación de las poleas, vibraciones, tensiones y temperaturas entre otros.

Para abordar el cálculo de duración se toma como referencia los esfuerzos en las correas. Los mayores cambios en los valores de los esfuerzos se producen durante la flexión de la correa al abrazar las poleas y en el paso por el ramal de carga, por lo que durante un ciclo completo los esfuerzos varían en la correa tantas veces como poleas y rodillos tenga la transmisión. En la correa que pasa por varias poleas se acumulan los deterioros por fatiga, que en definitiva está muy vinculado con su rotura, para

calcular su duración se parte de los esfuerzos máximos que surgen en la correa al abrazar la polea más pequeña en el ramal de carga.

Los fabricantes, a partir de ensayos que realizan a las correas que producen, se acercan un poco más a la realidad.

La expresión que se muestra nos dan valores que serán de mucha utilidad para la planificación de mantenimientos.

$$H = 1477 * \frac{L_n^{1.25}}{v} \left(\frac{T_F^m}{T_1^m + T_2^m} \right) \quad (132)$$

Donde:

T_F = Fuerza límite por fatiga (N)

T_1, T_2 = Fuerzas en la correa (N)

La duración de la transmisión se toma sólo como un valor de referencia y siempre que supere la duración mínima recomendada ($H_{min} = 400 - 1500$ horas) será aceptable.

2.2.15 Especificaciones sobre las bandas para cangilones. Existe una gran diversidad de tipos de bandas y cada una de ellas tienen ciertas características que las hace diferentes de las otras, en la Figura 68 podemos observar ciertas características especiales de las bandas usadas en general en la elevación de semillas, en secadores, graneros, almacenes, fábricas de aceites vegetales, industria y puertos, específicamente en elevación de cereales de cualquier tipo (soya, trigo, arroz, cebada, porotos, semillas, etc.).

Las bandas disponibles en el mercado encontramos las icobandas ENL ® de caucho y lona que ofrecen las siguientes ventajas en el servicio de transporte de materiales:

- Alta velocidad, alta capacidad para el manejo de materiales.
- Operación silenciosa y liviana.
- Alta resistencia a la abrasión.
- Resistencia a diferentes agentes químicos y de temperatura.

Las icobandas ENL ® se fabrican sin caucho en las cubiertas superior e inferior, porque normalmente no se requieren en elevadores de cangilones; al eliminarlo se reduce el peso y el costo de la banda. Presenta una excelente resistencia a la tensión

y al desgarrar, lo mismo que a las inclemencias del tiempo, gracias a la gran calidad de sus compuestos de caucho y al tratamiento químico de sus lonas de nylon y poliéster.

2.2.16 Características de los tambores. El tambor plano que transmite inicialmente el movimiento es el que determina la velocidad lineal que la banda elevadora tendrá, a ésta la llamaremos tambor motriz.

El tambor que guía la banda, que ayuda a tensionarla se conoce como tambor autolimpiante.

El diseño de estas está definido por factores tales como ancho de la banda o del cangilón, diámetros, velocidad recomendada por el fabricante de bandas y diámetro de los ejes de transmisión.

Tambor motriz. Necesitamos diseñar o seleccionar un tambor capaz de:

1. Mover una banda que tiene un ancho determinado.
2. Que entre tambor y banda no haya deslizamiento.
3. Servir de guía para el recorrido de la banda.
4. Debe tener un diámetro tal que no excede la velocidad lineal recomendada por el fabricante de la banda.
5. Capaz de transmitir la potencia requerida, pero que no sea pesada.
6. Estáticamente balanceada.

Para cumplir estas necesidades, el ancho del tambor motriz debe ser por lo menos una pulgada más ancha de tal manera que la banda tenga suficiente superficie de contacto, entonces si llamamos Z al ancho del tambor y z al ancho de la banda tenemos:

$$Z = z + 25 \quad (\text{mm}) \quad (133)$$

Además no debe haber deslizamiento entre tambor y banda, esto lo conseguimos aumentando el coeficiente de fricción entre ambos, aumentando la rugosidad del tambor y en definitiva aumentando el agarre entre el tambor y la banda. Un buen coeficiente de fricción obtenemos entre el hierro fundido (por su rugosidad) y la banda de caucho; entonces el material del cual será hecha o seleccionada es hierro fundido.

Otra característica es que no sólo agarra a la banda sino que también le sirve de guía; esto nos indica que esta superficie no debe ser completamente plana, por consiguiente el tambor debe tener una pendiente a ambos lados de sus centros.

Al tener relación directa con la velocidad lineal el diámetro del tambor debe ser limitado. Además debemos tener un tambor que no sea pesado para propósitos de aliviar cargas pero a la vez ser capaz de tener un núcleo que aloje el diámetro del eje que lo va a mover. Por consiguiente sería preferible diseñar o seleccionar un tambor con un núcleo sólido y brazos radiales para aliviar pesos.

Por último el tambor debe ser estáticamente balanceado y esto se lo puede conseguir con una configuración geométrica adecuada. (BARCIA, 1989)

Tambor autolimpiante (tambor de tensión). Llamamos tambor autolimpiante a aquel tambor que va a servir para templar la banda, no solo al momento de la instalación sino también cuando en operación y por desgaste o elasticidad la banda comience a estirarse, por tal motivo es conveniente ir separando poco a poco la distancia entre centros. (BARCIA, 1989)

En cuanto a las características del tambor autolimpiante tenemos que:

1. Debe ser del mismo ancho que el tambor motriz, puesto que por esta correrá la misma banda.
2. Tampoco debe haber deslizamiento entre la banda y el tambor autolimpiante.
3. Debe servir de guía para la banda.
4. No hay ninguna relación entre el diámetro de este tambor y la capacidad del elevador.
5. Debe ser liviana pero rígida.
6. También debe estar estáticamente balanceado.

Además el tambor autolimpiante debe estar montado sobre un eje capaz de tener diferentes posiciones verticales para poder templar la banda cuando esto se requiera.

Esto se consigue instalando el eje sobre chumaceras templadoras que tengan guías y espacio para este movimiento vertical.

2.2.17 Selección de los rodamientos. En los elevadores de cangilones tenemos rodamientos en el eje del cabezal y en el eje de tensión y puesto que los elevadores

deben ser simples y compactos se debe instalar dos rodamientos con cajera de pared para el eje superior y dos rodamientos con cajera de templador para el eje inferior.

La forma más elemental de seleccionar un rodamiento es el de considerar el diámetro del eje como única variable de importancia. Debemos tener presente que hay muchos tipos de rodamientos, estos pueden ser de bolas, agujas, rodillos cónicos, rodillos cóncavos, rodillos cilíndricos y combinaciones especiales de cada uno con su respectiva aplicación.

Analizando nuestro problema, el tipo de carga a que van a estar sometidos tanto el eje superior como el eje inferior es una carga eminentemente radial.

La mejor alternativa para cargas radiales ligeras y medias es el rodamiento de bolas.

Otra variable importante de considerar es la duración del rodamiento o la vida del mismo, la cual se define como el número total de revoluciones o el número de horas a una velocidad constante sin que el rodamiento presente signos de falla. Los fabricantes de rodamientos unidos bajo la Asociación de Fabricantes de Rodamientos Antifricción (AFBMA) definen el término "vida mínima" ó "vida L10" como el número de revoluciones en horas a una velocidad constante que el 90% de un grupo de rodamientos completarán o excederán antes de que estos fallen.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE DISEÑO

3.1 Metodología del proyecto

Para el desarrollo de este proyecto se empleará la metodología basada en el modelo de Pahl y Beitz, la cual podrá ser modificada durante el proceso de diseño para adaptarla a una situación particular.

3.2 Fases de diseño

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

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

3.2.2 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).

3.2.3 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.

3.2.4 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)

3.3 Proceso de diseño

3.3.1 Definición del problema. En el sector de Pungal Grande, cantón Guano, provincia de Chimborazo, se procesan semillas de alfalfa y trébol, estas semillas no cuentan con un tratamiento de desinfección adecuado, lo cual hace necesario que en esta zona se realicen estudios y caracterizaciones de las semillas, para diseñar y construir un equipo de desinfección que esté acorde a las necesidades de producción y requerimientos de la comunidad.

Cuando las semillas se siembran sin tratamientos, o con tratamientos inefectivos, las plantas resultantes pueden requerir de costosos programas posteriores de control. Otro problema que afecta a la semilla son los daños mecánicos por cosecha, trilla y maquinación y pueden ser solucionados con tratamientos químicos específicos.

Con la implantación de este equipo se conseguiría un mayor poder de germinación de las semillas anteriormente mencionadas, mejorando así la producción y comercialización de semillas.

3.3.2 Declaración de la misión

3.3.2.1 Descripción de los equipos. Los equipos involucrados en la desinfección y transporte de semillas son:

- a) Equipo de desinfección. Equipo destinado al tratamiento químico de las semillas de alfalfa y trébol, mediante la aplicación de desinfectante líquido en dosis variables de acuerdo al tipo de semilla.
- b) Sistema de transporte. Equipo cuya finalidad es la de transportar la semilla tratada o desinfectada.

3.3.2.2 Mercado primario. Sector rural de la provincia de Chimborazo y sectores a nivel nacional dedicados al procesamiento de este tipo de semillas leguminosas.

3.3.2.3 Postulados. Efectivo, eficiente, de fácil manipulación y que no contaminen el medio ambiente.

3.3.2.4 Personas interesadas. Comunidad "Pungal Grande", Facultad de Recursos Naturales ESPOCH.

CAPÍTULO IV

4. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO

4.1 Objetivo de la investigación

Obtener parámetros que guíen la producción del equipo y aseguren que el producto final cuente con todos los requerimientos que lo hagan competitivo.

4.2 Necesidades del operario

Tabla 6. Manifestación de los clientes

MANIFESTACIÓN DE LOS OPERARIOS		
OPINIÓN OPERARIO		INTERPRETACIÓN DE LA NECESIDAD
DESEMPEÑO	Que tenga larga vida útil	El equipo presenta partes que durarán aproximadamente 5 años de vida útil.
	Que la semilla y el desinfectante no formen grumos.	El desinfectante tiene la propiedad de adherirse a la semilla y secarse inmediatamente.
	Que la semilla no sufra daños.	Fácil mezcla y transporte del producto con el menor daño posible
	Que el equipo se opere por una persona y sea de fácil manejo.	El montaje es sencillo y se opera desde un tablero de control semiautomático.
	Que el desinfectante se inyecte en la dosis adecuada de acuerdo a la cantidad de semilla.	El equipo tiene un control semiautomático que distribuye la dosis correcta.
	Que el ingreso y salida de la semilla sea rápido.	El sistema cuenta con mecanismos sencillos y automatizados.

Tabla 6. (Continuación)

	Cantidad de semilla que se va desinfectar	El sistema está diseñado para 150 kg/h
SEGURIDAD	Que no presente ningún riesgo al operario.	El sistema es completamente cerrado, además cuenta con un reservorio para el desinfectante que no permite contaminar el lugar.
MANTENIMIENTO	Que se limpie fácil.	No es muy complicada su limpieza.
	Que se consiga fácilmente los repuestos.	Son de fácil consecución y fácil fabricación.
COSTOS	Que sea económico.	Casi todas las piezas se pueden fabricar en un taller mecánico, mientras otras se seleccionaron y se adquirieron según los cálculos de diseño.

Fuente:Autores

La encuesta realizada tiene como objetivo identificar las necesidades latentes y explícitas de los operarios y conseguir información que justifique los requerimientos del producto.

4.3 Necesidades del cliente

El cliente requiere que la cantidad de semillas que se procesan en la planta piloto se encuentren en buen estado para asegurar condiciones óptimas de germinación en la siembra.

4.4 Matriz de Necesidades-Medidas

La matriz de necesidades-medidas se establece después de definir las necesidades del operario, estas corresponden a las aspiraciones iniciales que se esperan obtener

del producto. En la Tabla 7 se definen las unidades de medida que representan de mejor manera las necesidades planteadas.

Tabla 7.Matriz de necesidades-medidas

MEDIDA NECESIDAD	Años	Si/No o	Si/No	Si/No o	MI	%	kg/h	Si/No	Si/No o	Si/No	\$
	Durabilidad	Mezclado homogéneo	Daños a la semilla	Fácil manejo	Dosis adecuada de producto químico	Eficiencia	Capacidad	Riesgos al operario	Fácil limpieza	Fácil consecución de repuestos	Económico
El equipo presenta partes que duraran aproximadamente 5 años de vida útil.	0										
El desinfectante tiene la propiedad de adherirse a la semilla y secarse inmediatamente.		0									
Fácil mezcla y transporte del producto con el menor daño posible			0								
El montaje es sencillo y se opera desde un tablero de control semiautomático.				0							
Dosis correcta de desinfectante de acuerdo a la cantidad de semilla.					0						
El sistema cuenta con mecanismos sencillos y automatizados.						0					
El sistema está diseñado para 150 kg/ hora.							0				
Sistema es completamente cerrado, no contamina el lugar.								0			

Tabla 7. (Continuación)

No es muy complicada su limpieza.									0		
Son de fácil consecución y fácil fabricación.										0	
Casi todas las piezas se pueden fabricar en un taller mecánico, mientras otras se seleccionaron y se adquirieron según los cálculos de diseño.											0

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5 DISEÑO CONCEPTUAL

5.1 Establecimiento de funciones

5.1.1 Caja negra. El análisis funcional del sistema se realizó de una forma deductiva, es decir, se partió de analizar lo general para llegar finalmente a lo particular. La caja negra se basa en el método de diseño propuesto por Nigel Cross.

Figura 40.Caja Negra (Equipo de desinfección y transporte)



Fuente: Autores

Los flujos que regirán la representación del sistema a través de su estructura funcional son:

Materiales →

5.1.1.1 Equipo de desinfección y transporte. Los flujos que circulan por el sistema son:

Flujos de entrada: Energía, Semillas sin tratar, Producto químico, Señal ON/OFF (Accionar/ parar), entrada de material.

Flujos de salida: Energía, semilla tratada, residuos, salida de material.

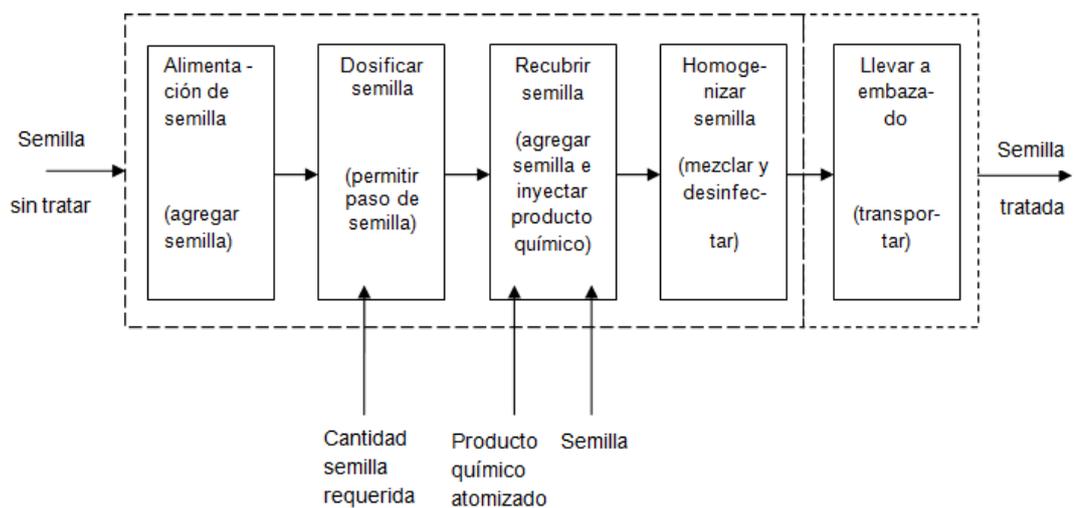
Función principal: Desinfectar y transportar.

Flujo principal: Continuo

Retroalimentación: Sistema de control Semiautomático.

5.1.2 Estructura funcional. Para el desarrollo de la estructura funcional se investigó y analizó a profundidad el sistema por medio de la determinación de las secuencias y/o procesos. Esto a través de un diagrama de bloques que muestre las interacciones entre las funciones secundarias. La caja negra se hace transparente, de tal manera que se clarifiquen las funciones secundarias y sus interacciones. (CROSS, 2003)

Figura 41. Caja transparente (análisis de funciones del equipo de desinfección y transporte)



Fuente: Autores

a. Almacenar semilla

Esta función le corresponde a una tolva encargada de recibir la semilla proveniente del separador neumático.

b. Dosificar semilla

Esta función le corresponde al dosificador encargado de enviar la cantidad adecuada de semilla que debe ingresar a la cámara de desinfección.

c. Recubrir semilla

Esta función le corresponde al dispositivo de tratamiento (atomización, pulverización, chorro directo) encargado de suministrar el producto químico a la semilla.

d. *Homogenizar semilla*

Esta función le corresponde al mezclador encargado de homogenizar la semilla y el producto químico y desplazar hacia el sistema de transporte.

e. *Transportar semilla*

Esta función le corresponde al sistema de transporte encargado de llevar la mezcla homogénea hacia la envasadora.

f. *Generar movimiento*

Esta función le corresponde al sistema de transmisión de movimiento en contacto con la fuente de energía.

5.2 Generación de alternativas

A partir de la estructura funcional explicada anteriormente, se asigna a cada función diferentes alternativas de solución, a esto se le denomina matriz morfológica (ver Tabla 12).

5.3 Metodología de evaluación de resultados

Generada la matriz morfológica, se procede a evaluar las alternativas de solución planteadas con el fin de reducir las opciones de solución a uno o dos conceptos más completos del producto, los cuales posteriormente se evaluarán para llegar al concepto solución.

Para evaluar las alternativas de solución el método que se implementará es la *selección de dos etapas* que consta de una primera etapa denominada *proyección del concepto* y de una segunda etapa conocida como *puntuación del concepto*.

La primera etapa es una evaluación rápida y aproximada, la cual pretende generar algunas alternativas viables, la segunda etapa es más precisa y tiene como objetivo definir cuáles son las opciones que darán como resultado un producto deseable. (ISAZA, 2009)

5.3.1 Puntaje y criterio de evaluación para la matriz de proyección. La puntuación otorgada en la matriz de proyección es:

Tabla 8. Puntuación en la matriz de proyección.

Mejor que	+
Igual que	0
Peor que	-

Fuente:ULRICH, Karl. Diseño y desarrollo de productos

Entre las alternativas de solución se elige un concepto de referencia para cada función, el cual es el punto de partida para decidir que puntuación otorgarle a una alternativa.

Según las necesidades de operarios y clientes, se generan diversos criterios de evaluación, los cuales en el caso de la matriz de proyección tienen el mismo peso sobre la puntuación final de una alternativa. Para obtener la puntuación neta de una alternativa, se suman todos los criterios que arrojaron positivo y se resta la suma de todos los criterios que dieron negativo; luego se procede a ordenar los conceptos por rango y se decide según los resultados que alternativas deben continuar y cuáles no en el proceso de evaluación. Los criterios de evaluación que se implementarán son los siguientes:

Tabla 9. Criterios de evaluación para la matriz de proyección

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
Desempeño	1. Mezclado homogéneo
	2. Daños a la semilla
	3. Fácil de operar
	4. Dosis adecuada
	5. Eficiencia
Tamaño	6. Capacidad
Mantenibilidad	7. Durabilidad
	8. Fácil limpieza
	9. Fácil consecución de repuestos
Costos	10. Económico
Seguridad	11. Riesgo al operario

Fuente: Autores

En el Anexo A se encuentra el desarrollo de matrices de proyección para cada función.

5.3.2 Puntaje y criterio de evaluación para la matriz de puntuación. La puntuación de concepto está definida por la suma ponderada de las calificaciones, por lo tanto cada criterio de evaluación tiene un porcentaje de incidencia sobre el resultado final. La puntuación otorgada en la matriz de puntuación es:

Tabla 10. Desempeño relativo para la matriz de puntuación

Desempeño	Calificación
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Fuente:Ulrich, Karl T. Diseño y desarrollo de productos

Se implementan los mismos criterios de evaluación de la matriz de proyección; la diferencia radica en el porcentaje de incidencia que cada criterio va a tener.

Tabla 11.Criterios de evaluación para la matriz de puntuación

CRITERIO DE EVALUACIÓN	% DE INCIDENCIA
1. Mezclado homogéneo	10%
2. Daños a la semilla	10%
3. Fácil de operar	10%
4. Dosis adecuada	10%
5. Eficiencia	15%
6. Capacidad	5%
7. Durabilidad	10%
8. Fácil limpieza	5%
9. Fácil consecución de repuestos	5%
10. Económico	15%
11. Riesgo al operario	5%

Fuente: Autores.

En el Anexo B se encuentra el desarrollo de matrices de puntuación para cada función.

5.3.3 Descripción de los criterios

1. **Mezclado homogéneo:** Se refiere a que el desinfectante cubra totalmente a la semilla.
2. **Daños a la semilla:** Se refiere a que la semilla en el transcurso del proceso no sufra daños (que no se fracture) en especial en las fases de mezclado y transporte.
3. **Fácil de operar:** Se refiere a que sea sencilla la manipulación del equipo, teniendo en cuenta la fuerza humana y de propulsión inherente al proceso.
4. **Dosis adecuada:** Se refiere a la cantidad exacta de desinfectante en relación a la cantidad de semilla.
5. **Eficiencia:** Se refiere a la relación entre lo producido y lo invertido, es decir, hace referencia a las pérdidas de energía generadas por un dispositivo.
6. **Capacidad:** Indica la cantidad de semilla a procesar en el tiempo de una hora, en unidades kg/h
7. **Durabilidad:** Indica el tiempo en operación que requiere una alternativa de solución para ser reemplazada por no cumplir adecuadamente su función.
8. **Fácil limpieza:** La limpieza debe ser sencilla; se califica este criterio dependiendo de la facilidad con que se pueda acceder al elemento de interés y teniendo en cuenta si se requiere desmontaje.
9. **Fácil consecución de repuestos:** Es importante conseguir un elemento que ha fallado, de manera fácil, ya que de esto depende la continuidad en el funcionamiento del equipo.
10. **Económico:** El valor económico de la alternativa de solución se asume como criterio de evaluación, debido a que se busca un equipo que cumpla todas las funciones al menor costo posible.

11. Riesgos al operario: La seguridad en el equipo es muy importante para garantizar el bienestar del operario.

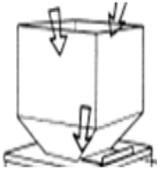
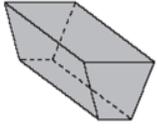
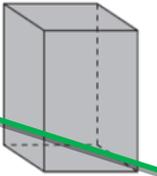
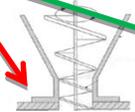
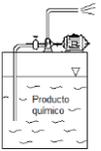
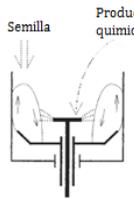
5.3.4 *Conceptos solución.* Después de evaluar las alternativas de solución (Anexo A y Anexo B), se generan las siguientes rutas de solución:

-  Ruta solución 1
-  Ruta solución 2

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 12 se muestran las dos rutas de solución seleccionadas:

Tabla 12. Matriz morfológica

Funciones principales	Alternativas					
	1	2	3	4	5	6
1. Alimentar semilla	 Tolva rectangular	 Tolva prisma trapezoidal	 Tolva prisma rectangular	 Tolva cono truncado		
2. Dosificar semilla	 Balancín mecánico	 Panel de control	 PLC	 Balancín mecánico	 Tornillo dosificador	 Vibrador electromagnético
3. Inyectar y recubrir	 Chorro directo por gravedad	 Chorro directo por bomba	 Fuerza centrífuga	 Atomización con moto-ventilador	 Pulverización neumática	 Pulverización neumática

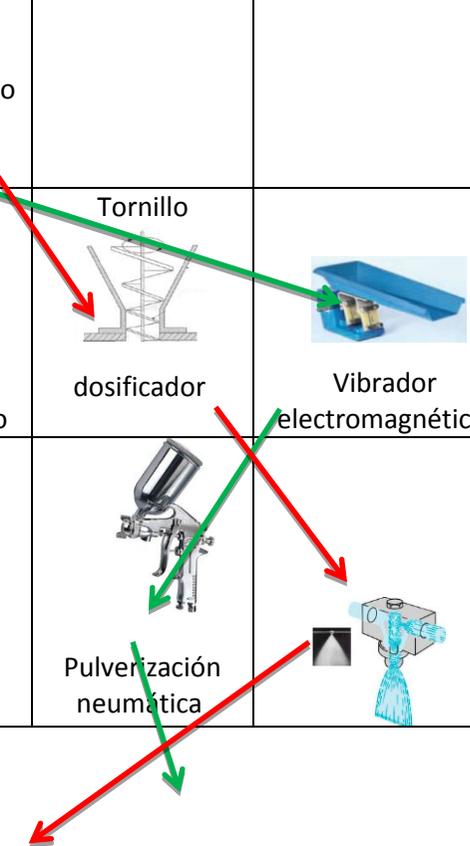
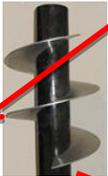


Tabla 12. (Continuación)

<p>4. Homogenizar</p>	 <p>Tornillo sin fin</p>	 <p>Paletas</p>	 <p>Fuerza centrífuga</p>	 <p>Paletas</p>	 <p>Tornillo sin fin blando</p>	<p>Cilindro rotatorio</p> 
<p>5. Desplazar semilla</p>	 <p>Tornillo sin fin</p>	 <p>Paletas inclinadas</p>	 <p>Elevador de cangilones</p>	 <p>Paletas inclinadas</p>	 <p>Transporte neumático</p>	

Fuente: Autores

5.3.4.1 Descripción ruta solución 1. La semilla se carga en una tolva prisma trapezoidal y es dosificada uniformemente por medio de un vibrador electromagnético a un cilindro rotatorio en donde se produce la desinfección con la ayuda de una pistola pulverizadora neumática, la mezcla y homogenización se realiza en el interior del cilindro, luego descarga el producto y es transportada por un elevador de cangilones.

5.3.4.2 Descripción ruta solución 2. La semilla cae directamente a la tolva cono truncado de alimentación y se acumula en un tornillo dosificador. El líquido desinfectante se inyecta por medio de una boquilla de accionamiento neumático y se homogeniza la mezcla con la ayuda de un tornillo sin fin mezclador-transportador, para finalmente ser transportado a la zona de envasado con el uso de un transportador neumático.

5.3.5 Evaluación de las rutas de solución. Para seleccionar un conjunto de alternativas para el producto se ejecutaran los siguientes pasos:

- Criterios de solución
- Evaluación del peso específico de cada criterio
- Evaluación del peso específico de las distintas soluciones para cada criterio
- Cálculo de la tabla conclusiones

5.3.5.1 Criterios de evaluación. La selección de los criterios de evaluación se hace a partir de las necesidades expresadas por los operarios y el beneficio de la Planta piloto de semillas forrajeras.

Tabla 13. Criterios de evaluación

CRITERIOS DE EVALUACIÓN
1. Eficiencia
2. Costo
3. Facilidad de fabricación
4. Regulación y control

Fuentes:Autores

5.3.5.2 Evaluación del peso específico de cada criterio

1 = Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; >) que el de las columnas.

0 = Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente (=) al de las columnas.

0 = Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; <) que el de las columnas.

Tabla 14. Puntuación de conceptos

Regulación y control > eficiencia = costo > facilidad de fabricación						
Criterio	Regulación y control	Eficiencia	Costo	Facilidad de fabricación	$\Sigma +1$	Pondera.
Regulación y control	-	1	1	1	4	0,400
Eficiencia	0	-	0,5	1	2,5	0,250
Costo	0	0,5	-	1	2,5	0,250
Facilidad de fabricación	0	0	0	-	1	0,100
					10	1

Fuentes: Autores

5.3.5.3 Evaluación del peso específico de las distintas soluciones para cada criterio

Evaluación del peso específico del criterio **regulación y control**.

Tabla 15. Evaluación del peso específico del criterio regulación y control

Solución 1 > solución 2				
Regulación y control	Solución 1	Solución 2	$\Sigma +1$	Pondera
Solución 1	-	1	2	0,667
Solución 2	0	-	1	0,333
Suma			3	1

Fuentes: Autores

Evaluación del peso específico del criterio **eficiencia**.

Tabla 16.Evaluación del peso específico del criterio eficiencia

Solución 1 = solución 2

Eficiencia	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución 1	-	0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5	-	1,5	0,5
		Suma	3	1

Fuentes:Autores

*Evaluación del peso específico del criterio **costo**.*

Tabla 17.Evaluación del peso específico del criterio costo

Solución 1 > solución 2

Costo	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución 1	-	1	2	0,667
Solución 2	0	-	1	0,333
		Suma	3	1

Fuentes:Autores

*Evaluación del peso específico del criterio **facilidad de fabricación**.*

Tabla 18.Evaluación del peso específico del criterio facilidad de fabricación

Solución 1 > solución 2

Facilidad de fabricación	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Pondera
Solución 1	-	1	2	0,667
Solución 2	0	-	1	0,333
		Suma	3	1

Fuentes:Autores

5.3.5.4 Cálculo de tablas de conclusiones.

Tabla 19. Cálculo de tablas de conclusiones

Conclusión	Regulación y control	Eficiencia	Costo	Facilidad de fabricación	Σ	Prioridad
Solución 1	0,667x0,40	0,5x0,25	0,667x0,25	0,667x0,100	0,62525	1
Solución 2	0,333x0,40	0,5x0,250	0,333x0,25	0,333x0,100	0,37475	2

Fuente:Autores

5.3.5.5 Evaluación económica y técnica. Una vez aclaradas las propuestas planteadas, estas serán sometidas a una evaluación desde el punto de vista económico. Se indicarán diferentes puntos de comparación, donde a cada propuesta se le asignará un valor [1 a 5], dependiendo de cómo satisfaga la propuesta al punto en mención siendo 1 malo y 5 excelente. A los puntos de comparación también se les asignará un peso [1 a 3], dependiendo de cuanta trascendencia tengan con el desarrollo del proyecto, este peso será denominado como el factor de influencia siendo 1 importante, 2 muy importante y 3 imprescindible. (CROSS, 2003)

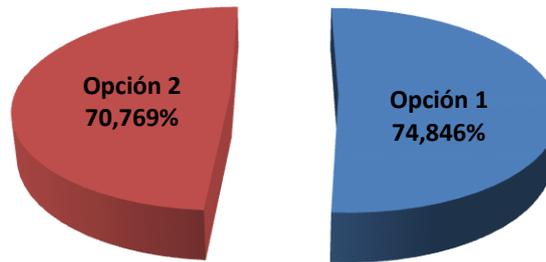
Tabla 20.Evaluación económica

Evaluación económica					
Puntos de evaluación	de	Factor de importancia (Fi)	Puntaje (Pi)		
			Opción 1	Opción 2	Proyecto Ideal
1	Materiales.	3	3	4	5
2	Fabricación.	3	3	3	5
3	Operación.	2	4	4	5
4	Mantenimiento.	2	5	4	5
5	Producción.	3	4	3	5
TOTAL = $\Sigma (Fi \times Pi)$			48	46	65
Coeficiente Económico = P Total / Puntaje Ideal.			73,8461538	70,7692308	100

Fuente:Autores

Figura 42. Evaluación económica

Evaluación económica



Fuente: Autores

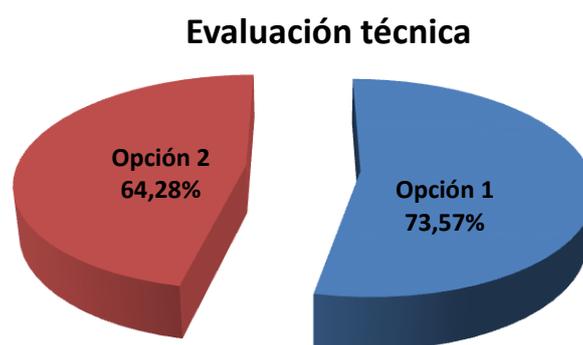
Al igual que la evaluación económica, se tomarán los mismos valores de puntuación.

Tabla 21. Evaluación técnica

Evaluación técnica					
Puntos de evaluación		Factor de importancia (Fi)	Puntaje (Pi)		
			Opción 1	Opción 2	Proyecto Ideal
1	Mezclado homogéneo	3	5	4	5
2	Daños a la semilla	3	3	3	5
3	Fácil de operar	3	3	3	5
4	Dosis adecuada	3	3	3	5
5	Eficiencia	3	5	4	5
6	Capacidad	2	3	3	5
7	Durabilidad	2	4	3	5
8	Fácil limpieza	2	3	3	5
9	Fácil consecución de repuestos	2	4	3	5
10	Económico	3	4	3	5
11	Riesgo al operario	2	3	3	5
TOTAL = $\Sigma (Fi \times Pi)$			103	90	140
Coeficiente Económico = $P \text{ Total} / \text{Puntaje Ideal}$			73,5714 286	64,2857 1429	100

Fuente: Autores

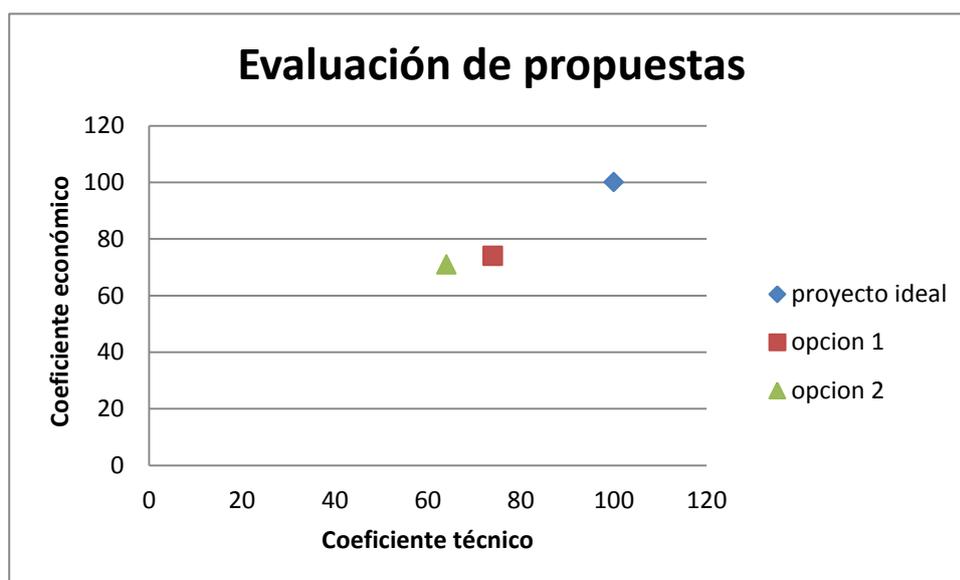
Figura 43. Evaluación técnica



Fuente: Autores

Evaluación de propuestas. Una vez obtenido los coeficientes técnicos y económicos, se procede a graficar las tres opciones más la opción ideal.

Figura 44. Evaluación de propuestas



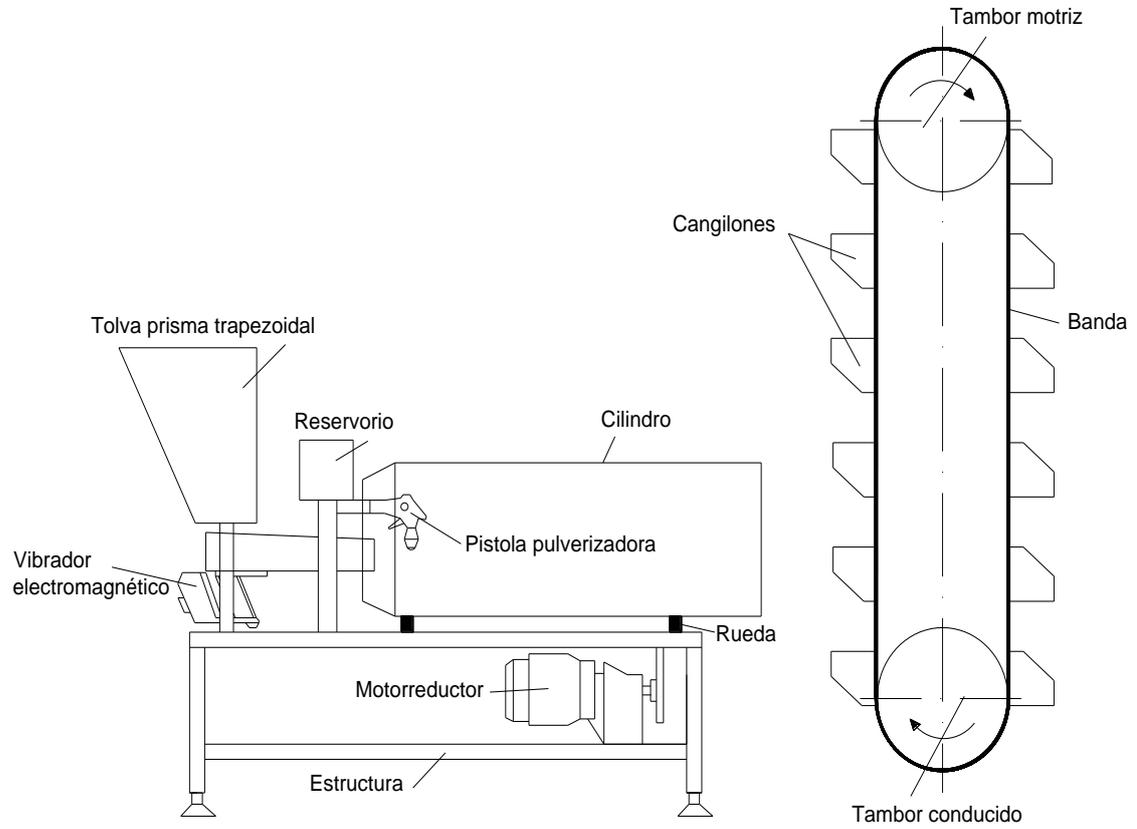
Fuente: Autores

5.3.5.6 Reflexionar sobre los resultados. Los criterios de evaluación utilizados muestran que la ruta solución 1 es más apropiada que la ruta solución 1, la principal diferencia entre las dos opciones de solución es la función de regulación y control de la inyección del producto desinfectante.

El equipo requerido para desinfectar las semillas de alfalfa y trébol garantiza un resultado real del estado de la semilla, pero lo que se busca para la planta piloto un equipo económico; la ruta solución 2 indica que la semilla tratada saldrá con defectos

es posible que el tornillo dañe la semilla caso contrario el otro tornillo sin fin que es de un material blando.

Figura 45. Equipo solución 1



Fuente:Autores

CAPÍTULO VI

6 DISEÑO DE INGENIERÍA

6.1 Diseño de elementos mecánicos

6.1.1 *Datos de campo.* En la provincia de Chimborazo, cantón Guano se encuentra ubicada a 2700 msnm la comunidad de Pungal Grande a 15 kilómetros en la vía Riobamba-Penipe-Baños.

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 zona destinada para la producción de semillas de alfalfa es 462 hectáreas mientras tanto q para la semillas de trébol existe una zona de 25 hectáreas ambas con tres cosechas anuales. De cada hectárea cultivada se obtienen aproximadamente 150 kg de semilla.

6.1.2 *Necesidades de uso de los equipos.* Se establece que todos los elementos de los equipos (desinfectador y elevador de cangilones) tendrán un régimen de trabajo de 8 horas diarias por 22 días al mes. La eficiencia mínima deseada en los equipos se estima en 90%.

6.2 Equipo de desinfección

6.2.1 *Sistema de alimentación y dosificación.*

6.2.1.1 *Tolva receptora de semillas.* Se realiza el cálculo para un volumen suficiente que suministre un peso aproximado de 25 kg de semillas, ya que es un peso que está dentro de los valores admisibles que puede soportar un vibrador electromagnético para pequeñas capacidades de vibración. De la sección 2.2.1.1 se tiene el peso específico de la semilla de alfalfa siendo esta:

$$\gamma_{\text{semilla}} = 785.7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Y como el peso específico es igual:

$$\gamma_{\text{semilla}} = \frac{m}{V}$$

Por lo tanto el volumen será:

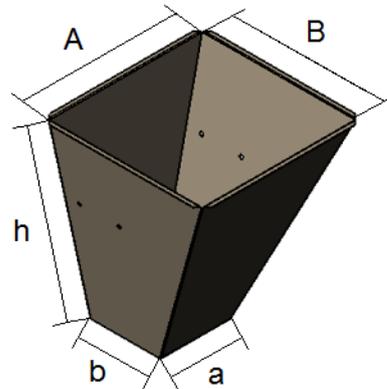
$$V = \frac{m}{\gamma_{\text{semilla}}}$$

Se despeja el volumen tentativo para la tolva:

$$V = 0.03 \text{ m}^3$$

La forma de la tolva se construye de acuerdo a la Figura 46:

Figura 46. Tolva receptora de semillas



Fuente:Autores

Donde los valores de los respectivos lados son:

$$h = 0.45 \text{ m}$$

$$A = 0.35 \text{ m}$$

$$a = 0.16 \text{ m}$$

$$B = 0.35 \text{ m}$$

$$b = 0.16 \text{ m}$$

Estos valores se reemplazan en la ecuación 1 para cumplir con el volumen adecuado de la tolva seleccionada.

$$V = \frac{h}{6}(2AB + Ab + aB + 2ab)$$

Por lo tanto el volumen de semillas que admite la tolva será:

$$V = 0.031 \text{ m}^3$$

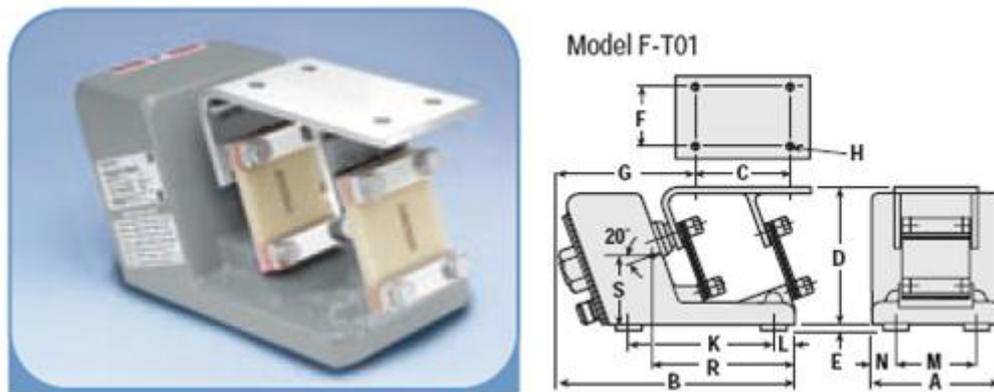
Este valor es aproximadamente igual al valor calculado anteriormente lo cual asegura solamente una recepción de semillas mayor en un 4%, por lo tanto las dimensiones asumidas son adecuadas.

6.2.1.2 Bandeja reguladora (B) y vibrador electromagnético (V). El vibrador electromagnético V se selecciona del catálogo FMC Syntron Light-DurtyVibratingFeeders, los datos de entrada son:

- Peso del producto en la tolva receptora de semillas: 25 kg (en caso de haber)
- Peso del producto en la bandeja reguladora de flujo: ~ 2.5 – 8.5 kg (en un minuto)
- Longitud de la bandeja: ~ 450 mm
- Flujo: ~ 0.2 ton/h

Utilizando el Anexo C se selecciona un alimentador de baja capacidad como es el Vibrador electromagnético Modelo F-T01 que se puede apreciar en la Figura 47:

Figura 47. Vibrador electromagnético modelo F-T01



Fuente: FMC Syntron Light-Durty Vibrating Feeders

Sus dimensiones se pueden apreciar en la Tabla 22.

Tabla 22. Dimensiones del vibrador electromagnético modelo F-T01

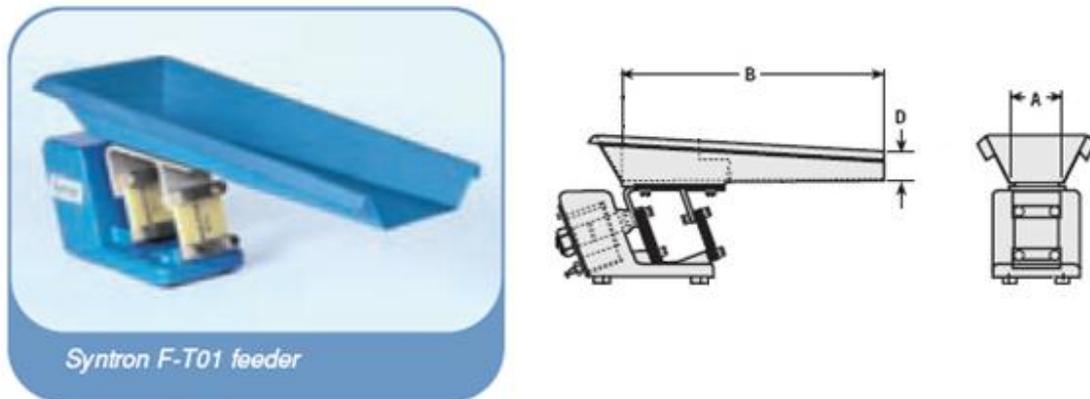
Drive Dimensions (inches, mm)

Model	A	B	C	D	E •	F	G	H	J	K	L	M ▲	N	P	R ■	S ■	T
F-T0	3 1/4	8 3/4	3	3 9/16	1 1/16	1	4 1/4	7/32 dia	--	6 1/4	1/2	2 1/4	1/2	1 1/8	5 1/2	1 7/16	--
	83	222	76	90	17	25	108	6	--	159	13	57	13	29	140	37	--
F-T01	5	9 1/8	3 3/4	5 3/8	1/4	1 3/4	5 1/4	11/32 dia	--	5 5/8	13/16	3 1/8	15/16	--	5 1/2	2 1/2	--
	127	232	95	137	6	44	133	9	--	143	21	79	24	--	140	64	--
F-010	6	10 7/8	3 3/4	5 7/16	3/16	1 3/4	7 1/8	11/32 dia	3/4	7 3/4	1	3 1/8	1 7/16	--	6 3/8	2 9/16	--
	152	276	95	138	5	44	181	9	19	197	25	79	37	--	162	59	--

Fuente: FMC Syntron Light-Durty Vibrating Feeders

La bandeja reguladora de flujo debe proporcionarnos el flujo adecuado para que el producto caiga en forma de chorro en el cilindro mezclador, el diseño se basa en la forma ancha en la parte posterior y delgada en la parte delantera en forma de V, esta forma ayuda para que el flujo sea continuo y no se desperdicie material. Su forma y principales dimensiones se muestran en la Figura 48.

Figura 48. Bandeja para vibrador F-T01



Fuente: FMC Syntron Light-Durty Vibrating Feeders Catalog

Ancho mínimo $A = 173 \text{ mm}$ (debido al desfogue de la bandeja T)

Longitud $B = 500 \text{ mm}$ (por construcción)

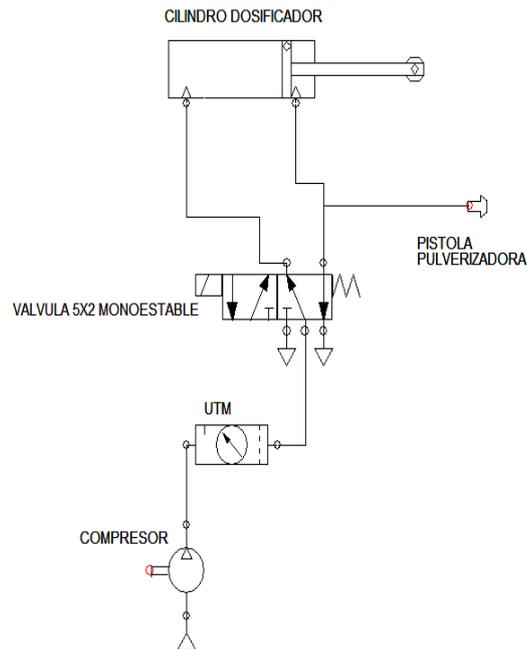
Altura $D = 80 \text{ mm}$ (por construcción).

Material: Acero inoxidable AISI 304 de 2 mm de espesor.

6.2.2 Sistema de aplicación y recubrimiento. Se utiliza una pistola pulverizadora para pintar, accionado por medio de un cilindro neumático que es controlado por una electroválvula. Todo este conjunto es un sistema semiautomático porque está controlado con la ayuda de un micro PLC.

También cuenta con un UTM (unidad técnica de mantenimiento) que garantiza que el aire que llega al sistema esté libre de humedad e impurezas.

Figura 49. Red neumática



Fuente: Autores

6.2.2.1 Pistola pulverizadora. Se selecciona una pistola pulverizadora modelo F75. Las características principales de la pistola pulverizadora seleccionada son:

1. Presión óptima de trabajo (Bar/PSI): 3.0-5.0/ 45-80
2. Tipo de alimentación del fluido: por gravedad
3. Diámetro de la boquilla del fluido: 1.2-1.5mm
4. Consumo de aire (ltmin⁻¹/CFM): 80/ 3
5. Compresor requerido: 0.4-0.75kw
6. Capacidad del cubilete: Metal, 400ml
7. Anchura del patrón del abanico: 110-180mm
8. Fuerza necesaria para accionar el gatillo: 35N (se tomó experimentalmente con la ayuda de un dinamómetro)

La boquilla, por datos experimentales va estar trabajando con tiempos intermitentes, es decir actúa cierto tiempo descansa y vuelve actuar, hasta que el operario accione el selector de parada cuando ya no haya semilla en la bandeja reguladora de flujo, es decir va a estar trabajando solo durante el tiempo de aplicación del desinfectante que es el tiempo de retorno y descanso del vástago del cilindro, este tiempo es aproximadamente 2.5 segundos, luego la boquilla no acciona fluido durante 0.1

segundos, tiempo en que el cilindro hace salir su vástago para accionar el gatillo y cortar el paso del fluido.

La boquilla va estar trabajando 23 ciclos por min, es decir va a trabajar 57.5 segundos de 60 segundos, con esta explicación los datos reales necesarios para continuar con el diseño de la red neumática son:

p_D = Presión de trabajo (presión del sistema) = 3 bar

$$Q_{\text{boquilla}} = 76.6 \frac{\text{lt}}{\text{min}} = 76666.6 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

A continuación en la Figura 50 se puede apreciar la pistola pulverizadora seleccionada.

Figura 50. Pistola pulverizadora F75



Fuente:SPRAY GUN Instruction Manual

6.2.2.2 *Cilindro neumático para accionar del gatillo.* Para seleccionar un cilindro neumático se parte de los datos conocidos como son: la fuerza necesaria para accionar el gatillo de la pistola pulverizadora y la carrera de la misma que debe ser igual a la distancia horizontal que recorre el gatillo desde su accionamiento para la aplicación del desinfectante.

El cilindro va estar con su vástago extendido, ya que al retraerse va a realizar la fuerza de retracción necesaria para accionar del gatillo de la pistola, este valor se obtuvo con la ayuda de un dinamómetro.

Tabla 23. Datos para la selección del cilindro neumático

Fuerza de retracción necesaria del vástago del cilindro	35 N (3.6kgf)
Carrera del vástago del cilindro	16 mm
Presión de trabajo	3 bar

Fuente:Autores

En el catálogo de accesorios neumáticos AIRTAC, con los datos de fuerza y presión de trabajo se selecciona un diámetro del cilindro adecuado, ver Anexo D, en el mismo catálogo se examina un cilindro que cumpla con la longitud de carrera establecida.

El cilindro neumático seleccionado presenta las siguientes características:

Cilindro miniatura AIRTAC ISO 6432. Serie MI

Código de pedido: MI16X10 –S-CA

Cilindro de doble efecto tipo estándar.

Flujo de trabajo: Aire comprimido

Diámetro interno del cilindro: 16mm

Diámetro del vástago: 6mm

Carrera del pistón: 25 mm

Presión de trabajo: 3 – 7Bar/ 44 -100PSI

Conexión: M5

Fuerza de Extensión: 60 N

Fuerza de retracción: 52 N

Materiales:

Camisa: acero inoxidable

Cabezas: Aluminio inyectado

Vástago: Acero inoxidable

Mediante la ecuación 4 y con los datos obtenidos calculamos el caudal de aire requerido por el cilindro; se tiene:

$$Q_c = \frac{\pi}{4} L * n * z * \frac{p_D}{p_0} [D_i^2 + (D_i^2 - D_v^2)]$$

Donde:

L = 25 mm

n = 23 ciclos/min

z = 1

p_D = 3 Bar

p₀ = 1 bar

$$Q_c = 644890.4 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}} = 644.89 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

Para mantenerlo fijo el cilindro a la placa porta pistola pulverizadora se fija por un extremo con un tornillo M5 y por el otro extremo una rótula MA-16-B, esta rótula se une al gatillo de la pistola pulverizadora por medio de un perno M5 y su tuerca a una placa en L, sujeta al gatillo. La rótula se selecciona del catálogo AIRTAC. Ver Anexo F.

Figura 51. Cilindro neumático AIRTAC MI16X10 –S-CA, rótula en U



Fuente: Catálogo AIRTAC

6.2.2.3 Válvula distribuidora. Puesto que el cilindro seleccionado es de doble efecto es necesario seleccionar una válvula distribuidora 5x2 con las siguientes características:

Figura 52. Válvula distribuidora 4V110-06



Fuente: Catálogo AIRTAC

Válvula de solenoide AIRTAC serie 06

Código de pedido: 4V110-06

Flujo de trabajo: Aire o gases inertes

Solenoide simple con resorte de reposición 5 vías x 2 posiciones

Conexión: M5 – 1/8"

Voltaje de accionamiento: Voltaje estándar AC220V, AC110V, AC24V. DC24V, DC 12V

Consumo de energía: CA: 3.5VA DC: 3.0W

Rango de presión de operación: 0.15 – 0.8MPa (21-114Psi) (1.4 – 7.6bar)

Tiempo de respuesta: 0.05 sec

Frecuencia máxima: 5 ciclos/sec

Temperatura que soporta: 20-70°C

6.2.2.4 Unidad de mantenimiento (UTM). Se selecciona un grupo UTM, que consta de un filtro/ regulador, lubricador y manómetro, para las características de tubería 6mm, accesorios M5 o 1/8", y un rango de presiones de 1.5 – 9 Bar.

UTM AIRTAC en miniatura Serie GFR (filtro, manómetro y regulador), GL (lubricador)

Código de pedido: GRF200-08, GL200-08

Fluido de trabajo: Aire comprimido

Conexión: 1/4"

Poros del filtro: 5 µm

Presión de trabajo: 1.5 – 9 Bar/ 21 – 128 Psi

Temperatura de trabajo: 5 – 60 °C/ 41 – 140 °F

Lubricante: SAE 10(Recomendado)

Regulador con bloqueo de seguridad

A continuación en la Figura 53 se puede apreciar el UTM seleccionado.

Figura 53. Unidad de mantenimiento (UTM)



Fuente: Catálogo AIRTAC

6.2.2.5 Conector rápido (1).

Tabla 24. Conector rápido T

Modelo: ZB104-08	
Conectores rápidos para tubo de Ø6mm	

Fuente: Catálogo AIRTAC

6.2.2.6 Conector rápido recto (8).

Tabla 25. Conector rápido recto

Modelo: ZB175-06-01	Conector rápido para tubo de 6mm Conector roscado 1/8''	
------------------------	--	--

Fuente: Catálogo AIRTAC

6.2.2.7 Silenciadores (2).

Tabla 26. Silenciador

Modelo: A32005/ A32010	
Conector 1/8'' (M5)	
Cuerpo de plástico	
Filtro de 5µm	

Fuente: Catálogo AIRTAC

6.2.2.8 Cálculo de la capacidad real de aire que debe erogar el compresor para el funcionamiento de las unidades consumidoras. El caudal de aire que el depósito debe entregar al sistema se obtiene de acuerdo a la ecuación 5.

$$Q_0 = Q_{\text{boquilla}} + Q_{\text{cilindro}}$$

$$Q_0 = 77311.5 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

De acuerdo a la sección 2.2.4.2 y la Tabla 3 se obtiene tres coeficientes adicionales que son:

$$C_{MA} = 1.25.$$

$$C_{MF} = 1.05.$$

$$C_{00} = 1.2$$

Por lo tanto el caudal total se obtiene a través de la ecuación 6.

$$Q_{\text{total}} = C_{MA} * C_{MF} * C_{00} * Q_0$$

$$Q_{\text{total}} = 121765.6 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

Caudal total de aire corregido por altitud o capacidad teórica

El caudal total es corregido de acuerdo a la altura sobre el nivel del mar, para esto se utiliza la ecuación 7:

$$Q'_{\text{total}} = \frac{Q_{\text{total}}}{\left[\frac{p}{p_0}\right] \sqrt{\frac{T_0}{T}}}$$

Condiciones normales a nivel del mar $T_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$, $p_0 = 1.033 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ Bar}$

Condiciones a 2700 msnm $T = 15.4 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 0.76 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

$$Q'_{\text{total}} = 167697.3 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

6.2.2.9 Tubería para el sistema. La tubería se selecciona de acuerdo al caudal total del sistema y la presión máxima de la misma. Ver Anexo G.

En la Tabla 27 se observa las características de la tubería seleccionada.

Tabla 27. Tubo de poliuretano

Modelo: Ex29-H-J04	Diámetro exterior: 6 mm Diámetro interior: 4 mm	
--------------------	--	--

Fuente: Catálogo AIRTAC

6.2.2.10 Dimensionamiento del depósito. Los valores de caídas de presión en cada uno de los elementos y accesorios del sistema se presentan en la tabla siguiente. Estos valores se tomaron del catálogo AIRTAC.

Tabla 28. Pérdidas en los elementos y accesorios del sistema

Elementos y accesorios	Caída de presión Bar	Número de elementos	Caída de presión total Bar
Electroválvula	0.05	1	0.05
Racores	0.01	6	0.06
Tee	0.01	1	0.01
Codo de plástico	0.02	1	0.02
Unión	0.01	2	0.02
Manguera del sistema Polyurethane 6x4mm	0.01/m	1	0.01
UTM	0.5	1	0.5
Codo de bronce 1/4	0.04	1	0.04
Manguera principal	0,02/m	6	0.12
Total			0.83

Fuente: Catálogo AIRTAC

La presión mínima en el depósito se calcula con la ecuación 8.

$$p_c = p_D + \Delta p_{sist}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$p_D = 3 \text{ Bar}$$

$$\Delta p_{sist} = 0.83 \text{ Bar}$$

$$p_c = 3.83 \text{ Bar}$$

El compresor va a suministrar aire al depósito en 2 minutos mientras el depósito va a suministrar al sistema en 10 minutos. Por lo tanto la frecuencia de conexión z es igual a 5.

El volumen real del depósito o tanque de aire comprimido se obtiene a partir de la ecuación 9, se tiene:

$$V_0 = \frac{15 * Q'_0 * p}{z * \Delta p_{tanque}}$$

Donde:

$$Q'_{total} = 0.167697 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$z = 5$$

$$\Delta p_{\text{tanque}} = 4.17 \text{ Bar}$$

$$p = 0.746 \text{ Bar}$$

$$V_0 = 0.09 \text{ m}^3 = 90 \text{ lt}$$

Cálculo de la capacidad del compresor en función del depósito. El consumo del tanque se encuentra según la ecuación 10.

$$Q'_{\text{consumo tanque}} = \frac{V_0 * \Delta p}{p_0 * t}$$

Donde el tiempo de consumo es igual a 10 min.

$$Q'_{\text{consumo tanque}} = 0.037530 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 37530 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

Para encontrar la capacidad del compresor se aplica la ecuación 11.

$$Q'_{\text{compresor}} = \frac{Q'_{\text{consumo tanque}}}{0.25}$$

$$Q'_{\text{compresor}} = 150120 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

6.2.2.11 Cálculo de la potencia real del compresor. El trabajo real del compresor se calcula con la ecuación 12.

$$W_{\text{tco}} = \frac{k}{k-1} RT_1 \left[(r_p)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

Donde:

$$n = 1.45$$

$$K = 1.4$$

$$R = 29.26 \frac{\text{kgm}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$$

$$T_1 = 15.4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_1 = 0.76 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$r_p = 8.74 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$W_{\text{tco}} = 28345.6 \frac{\text{kgm}}{\text{kg}} = 66.4 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

Con la ecuación 13 se calcula el flujo másico de aire.

$$m' = \frac{Q'_{\text{compresor}} * p_1}{R * T_1}$$

$$m' = 0.198 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

Con la ecuación 14 se encuentra la potencia del compresor.

$$P_{C0} = m' * W_{tco} \left(\frac{60}{860} \right)$$

$$P_{C0} = 0.92 \text{ KW} = 1.24 \text{ HP}$$

La potencia efectiva del compresor se calcula con la ecuación 15, en donde el valor del η_{mec} es igual al 80 %.

$$P_{\text{efectiva}} = \frac{P_{C0}}{\eta_{mec}}$$

$$P_{\text{efectiva}} = 1.15 \text{ KW} = 1.54 \text{ HP}$$

El compresor deberá tener las siguientes características:

$$Q'_{\text{compresor}} = 150120 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

$$P_{\text{efectiva}} = 1.15 \text{ Kw/ } 1.54 \text{ HP}$$

$$p_{\text{max}} = 8 \text{ Bar}$$

Tanque de almacenamiento de 90 lt.

Por lo tanto se selecciona el compresor siguiente:

Tabla 29. Características del compresor seleccionado

Marca: PORTEN Modelo: PCO-02100	
Motor: 2HP	
Caudal: 5.3 CFM @ 90 PSI (6.2 BAR)	
Presión máxima: 116 Psi (8 BAR)	
Voltaje: 110V / 60 HZ	
Deposito: 26 gal/ 100lt	

Fuente: Catálogo Porten

Reservorio del desinfectante. La dosis del desinfectante que hay que aplicar a la semilla ya sea de trébol o de alfalfa es 3 cm³ por cada kilogramo, en la planta piloto se

va a procesar un kilogramo por minuto, por lo tanto se va a trabajar 8 horas diarias, que son 480 minutos al día, por lo tanto se necesita 1440 cm^3 al día. Si hacemos un reservorio para esta cantidad resulta muy pequeño. Por tal motivo se toman datos al azar como los siguientes:

$a = 25 \text{ cm}$

$b = 15 \text{ cm}$

$c = 15 \text{ cm}$

Reemplazando en la ecuación 16, se tiene un volumen de:

$$V = a * b * c$$

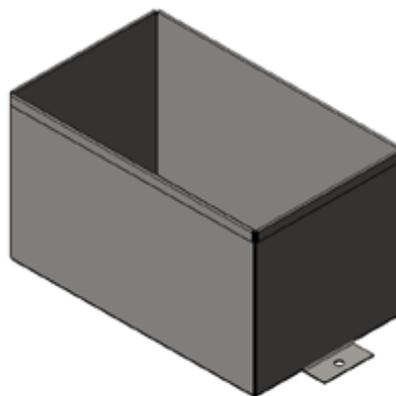
$$V = 5625 \text{ cm}^3 = 5.625 \text{ lt}$$

Este valor es 3.9 veces más grande que el requerido, se tendrá un reservorio que abastecerá casi 4 días de fluido desinfectante.

Como anteriormente se seleccionó una pistola pulverizadora, esta viene acoplada a un reservorio de 400 cm^3 , de esta manera se dispone dos reservorios a disposición del cliente.

A continuación en la Figura 54 se puede apreciar el reservorio para abastecer 4 días de fluido desinfectante al equipo.

Figura 54. Reservorio de desinfectante.



Fuente: Autores

Este reservorio presenta unas aletas en los extremos que sirven para sujetar al mismo a la bancada del equipo de desinfección de semilla.

Diseño de la placa porta pistola pulverizadora. Se diseña una placa de altura b y espesor t , para que sujete el cilindro neumático y la pistola pulverizadora, ambos accesorios tienen un peso de $1/3$ de kilogramo, lo cual despreciaremos para el cálculo; el cilindro realiza una fuerza fluctuante sobre la placa una de retracción y otra de extensión, siendo 52 N y 60 N respectivamente.

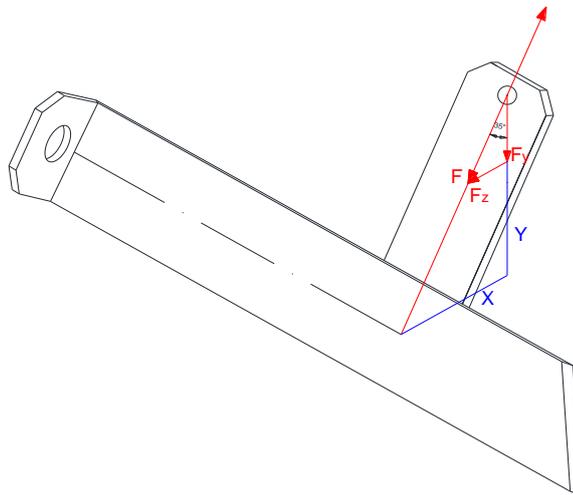
El material de la placa es acero estructural A36, con las siguientes características:

$$S_u = 410\text{ MPa (58ksi)}$$

$$S_y = 250\text{ MPa (36 ksi)}$$

En la Figura 55 se puede apreciar la forma de la placa porta pistola con las fuerza F fluctuante.

Figura 55. Diagrama de cuerpo libre de la placa porta pistola



Fuente:Autores

Con la ayuda del programa SolidWorks 2012, calculamos el centro de masa del mismo que es:

$$x = 11.11\text{ cm} = 111.1\text{ mm}$$

$$y = 2.98\text{ cm} = 29.8\text{ mm}$$

El punto A es un punto crítico entonces ahí se enfocara el análisis de esfuerzos. Mediante la ecuación 17, se obtiene el esfuerzo por flexión máximo y mínimo en función del espesor de la placa.

La fuerza F_z fluctuante realiza un momento flector.

$$F_{z \max} = F_{\max} \sin 35 = 34.41 \text{ N}$$

$$F_{z \min} = F_{\min} \sin 35 = 29.8 \text{ N}$$

$x = 14.75 \text{ cm}$ Distancia desde el punto A hasta la línea de acción de la fuerza.

$$\sigma_f = \frac{M_f * C}{I}$$

$$\sigma_{f \max} = \frac{870}{t^2}$$

$$\sigma_{f \min} = \frac{753.5}{t^2}$$

Mediante la ecuación 18, se obtiene el esfuerzo por torsión máximo y mínimo en función del espesor de la placa

La fuerza F_y fluctuante realiza un momento torsor.

$$F_{y \max} = F_{\max} \sin 35 = 49.15 \text{ N}$$

$$F_{y \min} = F_{\min} \sin 35 = 42.6 \text{ N}$$

$z = 4.87 \text{ cm}$ Distancia perpendicular a la fuerza F_y .

$$\tau = \frac{T}{b * t} \left(3 + 1.8 \frac{t}{b} \right)$$

$$\tau_{\max} = \frac{205.2}{t} + 35.2$$

$$\tau_{\min} = \frac{177.8}{t} + 30.5$$

A continuación se realiza un análisis de esfuerzos combinados con la ayuda de la Teoría de Energía de Distorsión TED (DET) VON MISSEE HENCKY. Reemplazando los valores de las ecuaciones 19, 20, 21 y 22 en las ecuaciones 23 y 24 se tiene:

$$\sigma_a = \frac{58.25}{t^2}$$

$$\sigma_m = \frac{811.75}{t^2}$$

$$\tau_a = \frac{27.4}{t} + 4.7$$

$$\tau_m = \frac{383}{t} + 65.7$$

$$\sigma_{\text{eqa}} = \sqrt{\left(\frac{58.25}{t^2} \right)^2 + 3 \left(\frac{27.4}{t} + 4.7 \right)^2} \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{\left(\frac{811.75}{t^2}\right)^2 + 3\left(\frac{383}{t} + 65.7\right)^2} \frac{N}{cm^2}$$

El Límite de resistencia a la fatiga se encuentra con la ecuación 26.

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_g * K_e * S_e'$$

$$S_e' = 0.5 S_u$$

$$S_e' = 20500 \frac{N}{cm^2}$$

$K_a = 0,74$ Maquinado o estirado en frío

$K_b = 1$ Factor de tamaño

$K_c = 0,868$ Confiabilidad del 95%

$K_d = 1$ Para una temperatura $T \leq 450$ °C

$K_g = 1$

$$K_e = \frac{1}{K_f} = 0.66$$

$K_f = q(Kt - 1) + 1$

$q = 1$ La placa no presenta radio de ranura

$K_t = 1,5$

$K_f = 1,5$

$$S_e = 8690.6 \frac{N}{cm^2}$$

A continuación se utiliza la Teoría de esfuerzos dinámicos de Soderberg con la ayuda de la ecuación 25.

$$\frac{\sigma_{eqa}}{S_e} + \frac{\sigma_{eqm}}{S_y} = \frac{1}{n}$$

Dando a la placa un espesor de 3 mm se obtiene un factor de seguridad igual a:

$$n = 2.9$$

Este factor de seguridad está dentro de lo aceptable, lo cual indica que el espesor de la placa es el correcto, para este tipo de esfuerzos.

Diseño del elemento sujetador de la placa porta pistola pulverizadora. Se selecciona un perno de acero inoxidable AISI 304 con:

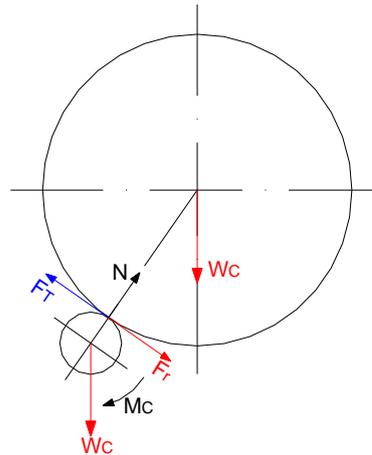
$$S_u = 620 \text{ MPa (90 ksi)}$$

$$S_y = 310 \text{ MPa (45 ksi)}$$

Para el análisis de los esfuerzos del perno se considera la placa en la posición vertical, ya que resulta más cómodo el análisis y además en esa posición los esfuerzos tienen valores elevados, esto se comprobó realizando los cálculos a determinadas inclinaciones.

Según la Figura 56, el perno está sometido a corte primario y tracción secundaria.

Figura 56. Corte primario



Fuente: Autores

Acero inoxidable AISI 304:

$$S_u = 620 \text{ MPa (90 KSI)}$$

$$S_y = 310 \text{ MPa (45 KSI)}$$

$$S_p = 227.5 \text{ MPa (33 KSI)}$$

$$A_t = 61.2 \text{ mm}^2$$

$$d_c = 10 \text{ mm}$$

$$F_i = 0.9 F_p$$

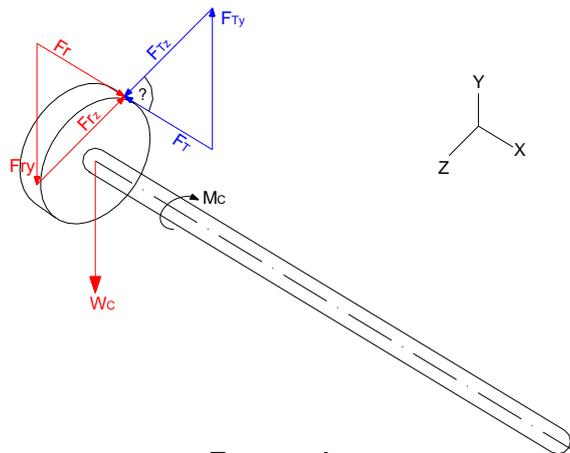
$$F_p = S_p * A_t$$

En donde reemplazando la ecuación 28 en la ecuación 27 se tiene:

$$F_i = 204.75 A_t$$

Análisis de esfuerzos. Se tiene dos fuerzas fluctuantes una $F_{\max} = 60 \text{ N}$ y $F_{\min} = 52 \text{ N}$, que me generan corte primario y tracción secundaria. Ver Figura 57.

Figura 57. Tracción secundaria del perno.



Fuente: Autores

Las fuerzas de Corte primario resultan:

$$V_{\max} = 60 \text{ N}$$

$$V_{\min} = 52 \text{ N}$$

Las fuerzas de tracción secundaria se obtienen reemplazando la ecuación 30 en la ecuación 29, la ecuación 32 en la ecuación 31.

$$P_{\max} = \frac{M_{f\max}}{r_1}$$

$$P_{\max} = 505.7 \text{ N}$$

$$P_{\min} = \frac{M_{f\min}}{r_1}$$

$$P_{\min} = 51.36 \text{ N}$$

Donde:

$x = 14.75 \text{ cm}$ Distancia desde el empotramiento hasta la línea perpendicular de aplicación de la fuerza

$r_1 = 1.75 \text{ cm}$ Distancia desde la base de la placa hasta el eje neutro del perno

Rigidez del perno.

Es un parámetro adimensional que se obtiene con la ecuación 33.

$$k_b = \frac{A_b * E}{L_b}$$

Donde:

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_c^2 = 78.54 \text{ mm}^2$$

$E = 2 \times 10^{11} \text{ N/mm}^2$ Módulo elástico del material del perno (acero)

$L_b =$ espesor placa 1 + espesor placa2 Longitud de agarre del perno

$$k_b = 2.62 \times 10^{12} \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Rigidez de la junta. Es un parámetro adimensional, que se obtiene con la ecuación 34.

Placa porta pistola pulverizadora

$$k_{m1} = \frac{A_{m1} * E_{m1}}{L_{m1}}$$

$$A_{m1} = 1.25 \frac{\pi}{4} d_c^2$$

$E_{m1} = 2 \times 10^{11} \text{ N/mm}^2$ Módulo elástico del material de la junta (acero)

$L_{m1} = 3 \text{ mm}$ Espesor del material

$$k_{m1} = 6.54 \times 10^{12}$$

Estructura de la bancada

$$k_{m2} = \frac{A_{m2} * E_{m2}}{L_{m2}}$$

$$A_{m2} = 1.25 \frac{\pi}{4} d_c^2$$

$E_{m2} = 2 \times 10^{11} \text{ N/mm}^2$ Módulo elástico del material de la junta (acero)

$L_{m2} = 3 \text{ mm}$ Espesor del material

$$k_{m2} = 6.54 \times 10^{12}$$

La rigidez resultante de la junta se obtiene con la ecuación 35.

$$\frac{1}{k_{mt}} = \frac{1}{k_{m1}} + \frac{1}{k_{m2}}$$

$$k_{mt} = 3.27 \times 10^{12}$$

Rigidez. Es la rigidez total de la junta y del perno se calcula con la ecuación 36.

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_{mt}}$$

$$C = 0.44$$

Realizando un análisis de esfuerzos combinados con la ayuda de la Teoría de energía de distorsión TED (DET) VON MISSEE HENCKY.

El esfuerzo de tracción secundaria se encuentra según las ecuaciones 37 y 38.

$$\sigma_a = \frac{C * n(P_{\max} - P_{\min})}{2N_b * A_t}$$

$$\sigma_a = 1.63n$$

$$\sigma_m = \frac{F_i}{A_t} + \frac{C * n(P_{\max} - P_{\min})}{2N_t * A_t}$$

$$\sigma_m = 204.75 + 1.63n$$

El valor N_b se refiere al número de pernos a utilizar en este caso es igual a 1.

El esfuerzo de corte primario se encuentra según las ecuaciones 39 y 40.

$$\tau_a = \frac{n(V_{\max} - V_{\min})}{2 * A_t}$$

$$\tau_a = 0.065 n$$

$$\tau_m = \frac{n(V_{\max} + V_{\min})}{2 * A_t}$$

$$\tau_m = 0.92 n$$

Los esfuerzos combinados se encuentran de acuerdo a las ecuaciones 41 y 42.

$$\sigma_{eq a} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}$$

$$\sigma_{eq a} = 1.63 n$$

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

$$\sigma_{eq m} = \sqrt{(204.75 + 1.63n)^2 + 3(0.92 n)^2}$$

El límite de resistencia a la fatiga se encuentra con la ecuación 44.

$$Se = Kc * \frac{1}{Kf} * Se'$$

$$Se' = 0.45 Su$$

$$Se' = 465.39 \frac{N}{mm^2}$$

$Kc = 0.868$ Confiabilidad del 95%

$Kf = 6.6$ Factor de concentración de esfuerzos

$$Se = 61.2 \frac{N}{mm^2}$$

A continuación se utiliza la Teoría de esfuerzos dinámicos de Soderberg con la ayuda de la ecuación 43.

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} + \frac{\sigma_{eqm}}{Sy} = \frac{1}{n}$$

Despejando el factor de seguridad n se tiene:

$$n = 10$$

Este factor de seguridad está dentro de lo aceptable, lo cual indica que el perno seleccionado es el correcto

6.2.3 Sistema de mezclado.

6.2.3.1 Cilindro mezclador. Para el sistema de mezclado se diseña un cilindro giratorio con una porción cónica, para mejor ingreso por deslizamiento de la semilla. De antemano se conoce que la producción de semilla es de 150 kg/h, a esta cantidad de semilla se suma un 33%, este porcentaje abarcan un exceso de semillas existentes debido a la calibración del vibrador y ampliación de producción agrícola.

Producción de semillas = 200 kg/h

Abastecimiento continuo de semillas hacia el cilindro giratorio = 3.3 kg/min

De la sección 2.2.1.1 se obtiene la densidad de la alfalfa.

Con estos datos encontramos el volumen del cilindro que debe contener todo el material a mezclar y homogeneizar, aplicando la ecuación 45 se tiene:

$$V_{cilindro} = \frac{m}{\gamma_{semilla\ mas\ grande}}$$

$$V_{cilindro} = 0.0042 \text{ m}^3$$

Este volumen es considerado como un 25% de llenado de un cilindro mezclador. Con la ecuación 46 se encuentra un volumen al 100% será:

$$V_{cilindro} = 0.016 \text{ m}^3$$

Aplicando la relación: “longitud del cilindro mezclador es igual a tres veces su diámetro”, esto para obtener una semilla seca y sin grumos, entonces si reemplazamos los datos en la ecuación 48 su radio es:

$$r_{\text{cilindro}} = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{cilindro}}}{6\pi}}$$
$$r = 0.097 \text{ m}$$

$$d = 0.194 \text{ m} = 19.4 \text{ cm}$$

Su longitud es:

$$l = 58.2 \text{ cm}$$

Es necesario que el cilindro tenga mayor tamaño para que exista mayor espacio de mezcla, y mejor distribución del desinfectante por lo que se decide doblar estas medidas.

$$d_{\text{cilindro mezclador}} = 38.8 \text{ cm}$$

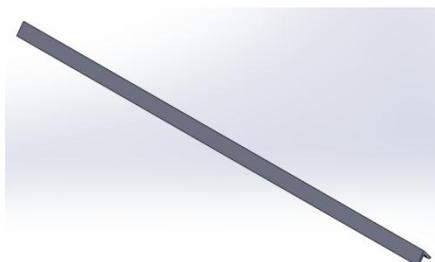
$$l_{\text{cilindro mezclador}} = 110 \text{ cm}$$

Si conservamos:

La parte superior es una tapa cónica, que debe tener un ángulo de inclinación entre el rango de 30 a 35 °, por lo tanto se diseña un cono hueco de 8 cm de largo (incluida en la longitud de 110 cm) y una sección de alimentación de 29 cm de diámetro, para dar una inclinación apropiado para una buena distribución del producto.

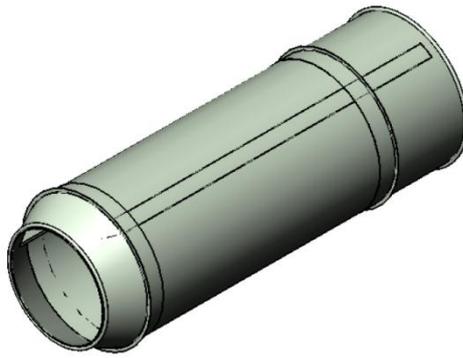
Aletas mezcladoras. Es necesario distribuir cierto número de aletas equidistantes en el interior del cilindro para formar una cascada de semillas, en la cual se inyectará el desinfectante pulverizado, de esta manera se coloca 3 aletas.

Figura 58. Aletas mezcladoras



Fuente: Autores

Figura 59. Cilindro mezclador



Fuente:Autores

Velocidad de rotación del cilindro.

La velocidad se calcula con la ecuación 52:

$$N = \sqrt{\frac{g}{4\pi^2 r}} * 60$$

Donde el radio del cilindro es igual a 0.194 m.

$$N = 67.8 \text{ rpm}$$

Velocidad ideal de rotación del cilindro. Se toma como referencia la velocidad crítica de funcionamiento para este tipo de máquinas rotativas, con la ayuda de la ecuación 53 se tiene:

$$0.33 * N_{11} \leq N_r \leq 0.45 * N_{12}$$

$$N_{11} = 22.374 \text{ rpm}$$

$$N_{12} = 30.51 \text{ rpm}$$

Se elige una velocidad promedio de las ideales $N_r = 28$ rpm, esta es una velocidad en la que el producto se desplaza con facilidad, formando una cascada homogénea de semillas.

Para calcular la velocidad de la rueda que impone el movimiento al cilindro, realizamos una relación de transmisión, de acuerdo a la ecuación 54.

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Donde:

$$D_1 = 38.8 \text{ cm}$$

$$D_2 = 8 \text{ cm}$$

$$N_1 = 28 \text{ rpm}$$

$$N_2 = 135.8 \text{ rpm}$$

6.2.3.2 Potencia para mover el conjunto cilindro producto. El material a utilizar para la construcción del cilindro, es el acero AISI 304, siendo su peso específico:

$$\gamma = 7.8 \frac{\text{g}}{\text{cm}_3}$$

Con la ayuda del programa Excel, y los datos del peso específico, el volumen de cada componente, calculamos el peso del conjunto cilindro producto como se puede apreciar en la Tabla 30.

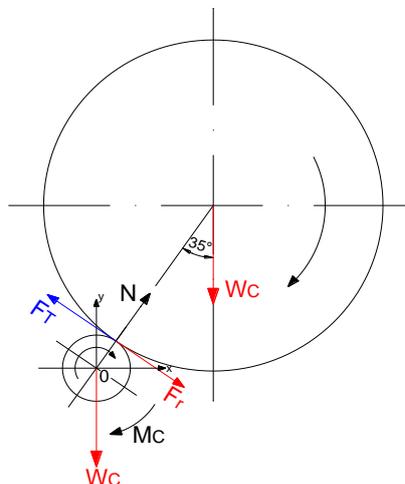
Tabla 30. Peso total del cilindro

Componentes	m (kg)	W (N)
Cuerpo del cilindro	3.087	30.252
Cono dosificador de entrada	0.407	3.989
Aletas mezcladoras	1.193	11.695
Guías o gargantillas	0.321	3.1438
Alambre de acero inoxidable 5/16"	0.259	2.5404
Semilla mas desinfectante	8	78.4
Wc =	13.267	130.02

Fuente:Autores

En la Figura 60 se puede apreciar el diagrama de cuerpo libre.

Figura 60. Diagrama de cuerpo libre del conjunto cilindro producto



Fuente:Autores

Tomaremos como referencia el centro de la rueda, el punto "o".

El cilindro va estar funcionando con movimiento circular uniforme, ya que esperamos tener una mezcla homogénea, el valor de la normal N se calcula con la ecuación 56.

$$N = \frac{W_C}{\cos \theta}$$

$$N = 158.73 \text{ N}$$

Reemplazando datos en la ecuación 59, se encuentra la fuerza de rozamiento.

$$F_r = N * \mu_c$$

$$F_r = 126.98 \text{ N}$$

Donde:

μ_c = Coeficiente cinético de rozamiento caucho metal = 0.8. Ver Anexo H

El valor de la fuerza tangencial F_T se determina con la ecuación 58.

$$F_T = 25M_C + F_r$$

$$F_T = 562.5 \text{ N}$$

La potencia P_T necesaria en Kw para vencer el rozamiento cilindro ruedas está dada por la ecuación 60:

$$P_T = T * N_2$$

Donde:

$T = F_T * R_{\text{rueda}} =$ Torque producido por la fuerza tangencial.

$$T = 22.5 \text{ N}$$

$$R_{\text{rueda}} = 0.04 \text{ m}$$

$$P = 0.32 \text{ KW} = 0.43 \text{ HP}$$

Se debe seleccionar un equipo que cumpla con los siguientes requerimientos:

- $N = 135.8 \text{ rpm}$
- $P_t = 0.43 \text{ Hp}$ (Potencia que se necesita en el eje, sin tomar en cuenta los rendimientos del sistema)

En base a los datos de requerimiento se opta por seleccionar los siguientes componentes:

- Motorreductor y
- Una transmisión por cadena – catalinas.

La potencia del motorreductor en base a la ecuación 62 es:

$$P_m = \frac{P}{n_c * n_r}$$

Donde:

$$n_c = 98\%$$

$$n_r = 80\% \text{ ver Anexo I}$$

P_T = Potencia total para mover el conjunto cilindro carga.

$$P_m = 0.4 \text{ kW} = 0.55 \text{ HP}$$

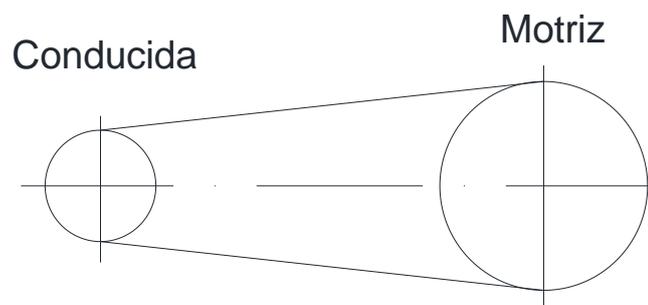
En base al diseño estructural se coloca al motorreductor bajo del cilindro mezclador, en la base de la estructura principal; por tal motivo se mira la necesidad de utilizar una transmisión de cadena y catalinas, con esta transmisión se evita que exista perdidas de potencia ya que no se producirá patinaje, como lo que se puede producir con una transmisión por banda y polea.

Se selecciona un motorreductor BAUME de 60 rpm, trifásico, $\phi = 75$, 0.5 kW

Diseño de la transmisión de potencia.

La transmisión a diseñar se puede apreciar en la Figura 61.

Figura 61. Transmisión de potencia por cadena y catalinas



Fuente:Autores

Potencia de diseño corregida. Para la corrección de potencia, se analiza el Anexo J, el equipo se encuentra dentro de la clase B con un factor de servicio de 1.3. De esta manera reemplazando los valores en la ecuación 63 se tiene:

$$P_D = P_m * F_s$$

$$P_D = 0.52 \text{ kW} = 0.72 \text{ HP}$$

Determinación del número de cadena y tamaño de las catalinas conductora (motriz) y conducida. Con la ayuda de los Anexos K y L seleccionamos la cadena.

Cadena seleccionada: No 40, paso: 1/2" (12.70mm)

Número de dientes de la catalina $z_2 = 16$

Como es una transmisión de ampliación el número de dientes recomendado de la catalina motriz se convierte en el número de dientes de la catalina conducida.

Con la relación de transmisión i determinamos los números de dientes de la catalina motriz, como indica la ecuación 64.

$$i = \frac{N_2}{N_3} = \frac{z_3}{z_2} = 2.26$$

$$z_3 = 36 \cdot 2 \text{ dientes} = 36 \text{ dientes}$$

La relación de transmisión corregida se calcula con la ecuación 65:

$$i = 2.25$$

Características de la catalina conductora. Ver Anexo M

- Catalina KANA NK40B36
- Número de dientes (z_3) = 36
- Lubricación tipo A: por aplicación manual con brocha.
- Lubricante recomendado: TRICO100

Para la fijación de la catalina a su eje se utiliza un cuñero de 1/8x1/16, una cuña de sección cuadrada de 1/8x1/8, y dos prisioneros de 3/16" de diámetro. Ver Tabla 4.

Características de la catalina conducida. Ver Anexo J

- Catalina KANA NK40B16
- Número de dientes (z_2) = 16
- Lubricación tipo A: por aplicación manual con brocha.
- Lubricante recomendado: TRICO100

Para la fijación de la catalina a su eje se utiliza un cuñero de 1/8x1/16, una cuña de sección cuadrada de 1/8x1/8, y dos prisioneros de 3/16" de diámetro. Ver Tabla 4

Cálculo de la longitud de la cadena. La longitud entre centros es de 32 cm, esta cantidad se la convierte en distancia entre centros en pasos con la ayuda de la ecuación 66.

$$C_{\text{pasos}} = \frac{C_{\text{plg}}}{p}$$

Donde:

$$C_{\text{plg}} = 32 \text{ cm} = 12.59 \text{ in}$$

$$p = \frac{1}{2} \text{ in}$$

$$C_{\text{pasos}} = 25.19$$

La longitud de la cadena está gobernada por la ecuación 67.

$$L = 2 * C + \frac{Z_3 + Z_2}{2} + \frac{(Z_2 - Z_3)^2}{4 * \pi^2 * C}$$

Donde:

$$C = 25.59$$

$$Z_2 = 16$$

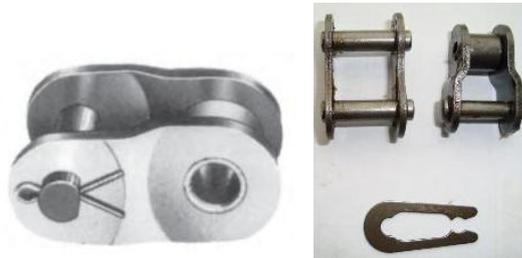
$$Z_3 = 36$$

$$L = 76.78 \text{ Eslabones}$$

$$L = 38.39 \text{ in} = 97.51 \text{ cm}$$

Se va utilizar un candado para compensar el medio eslabón que resulta en la longitud total, como se puede apreciar en la Figura 62.

Figura 62. Candado, estribo o unión acodada



Fuente:www.intermec.com

Cálculo de la fuerza que ejerce la cadena. La fuerza se calcula mediante la ecuación 68.

$$F_c = \frac{H_p * 33000}{V}$$

Donde:

La velocidad lineal de la cadena se calcula con la ecuación 69.

$$V = \frac{Z * p * N}{12}$$

Donde:

$$Z = 36$$

$$p = \frac{1}{2} \text{ in (12.70 mm)}$$

$$N = 60 \text{ rpm}$$

$$V = 90 \frac{\text{ft}}{\text{min}} = 27.44 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Con el valor del número de dientes de la catalina conductora y el número de revoluciones de la misma, encontramos el valor de Hp. Ver Anexo N (es necesario interpolar dos veces para encontrar el valor deseado)

$$H_p = 0.98 \text{ HP}$$

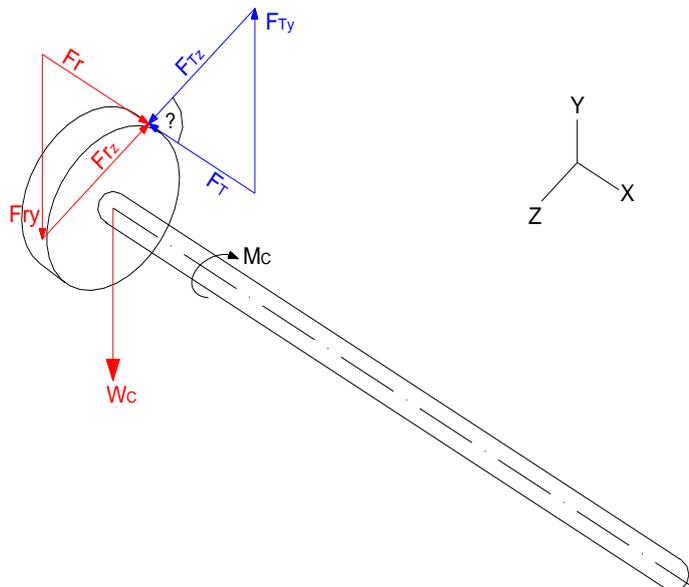
Por lo tanto el valor de F_c es igual a:

$$F_c = 359.33 \text{ lb} = 1597 \text{ N}$$

6.2.3.3 *Diseño del eje de transmisión.* Cálculo de fuerzas, momentos y reacciones en el diámetro.

El diámetro va estar sujeto a diferentes fuerzas que se pueden apreciar en la Figura 63.

Figura 63. Diagrama del cuerpo libre del eje

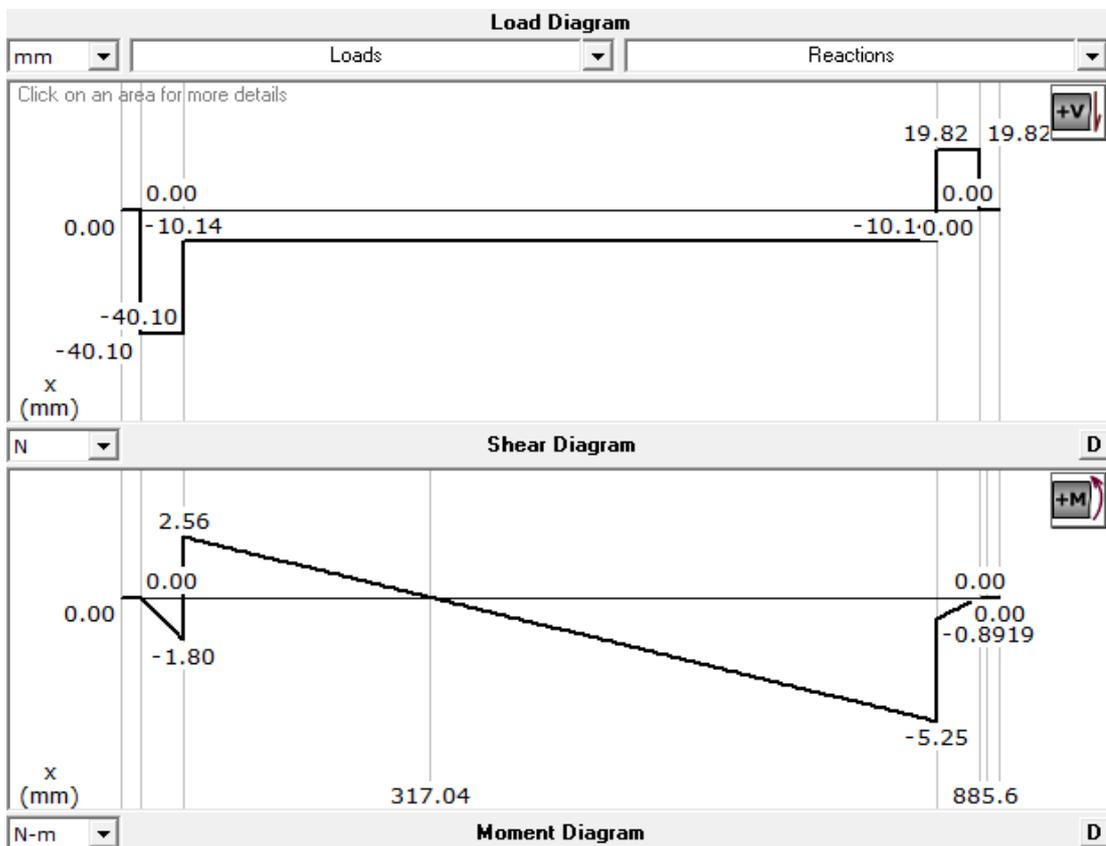
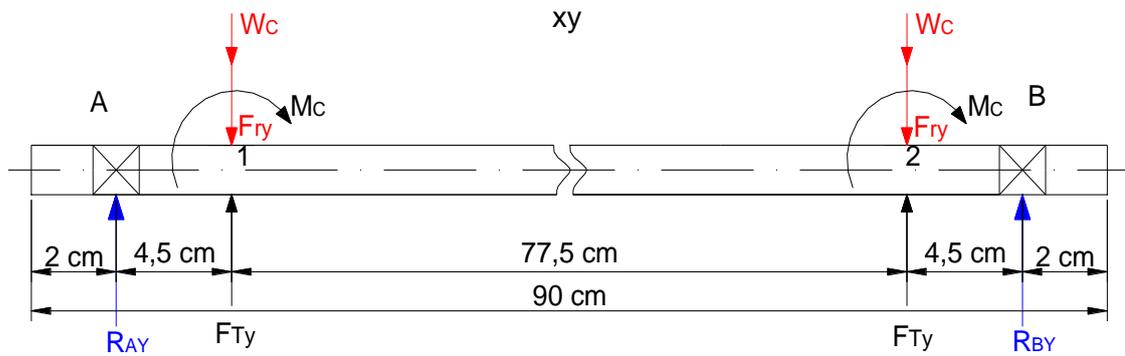


Fuente: Autores

Con la ayuda del programa Mdsolids 2.6 se encuentran los valores de las reacciones y diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores

Análisis de fuerzas en el plano xy

Figura 64. Diagrama de cuerpo libre del eje, fuerza de corte y momento flector, plano



Fuente: Autores

Siendo los valores de las fuerzas, momentos y reacciones:

$$W'_c = 32.50 \text{ N}$$

$$F_{ry} = 18.2 \text{ N}$$

$$F_{Ty} = 10.69 \text{ N}$$

$$M'_c = 4360 \text{ Nmm}$$

$$M_{fmax1} = 2560 \text{ Nmm}$$

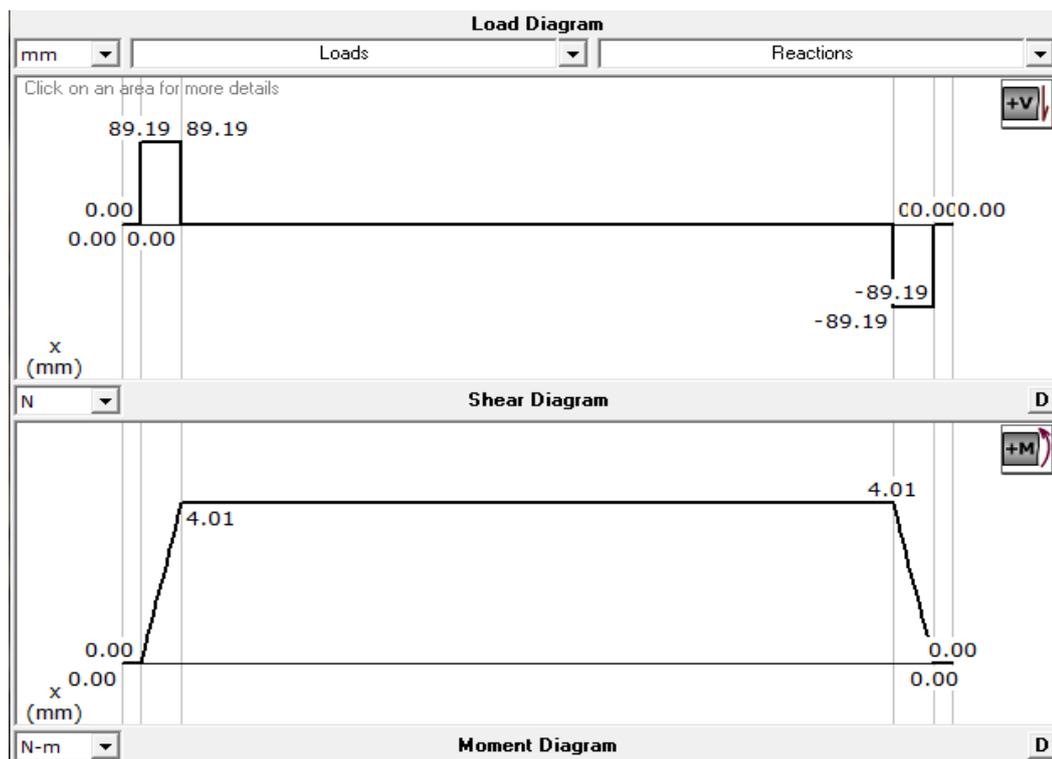
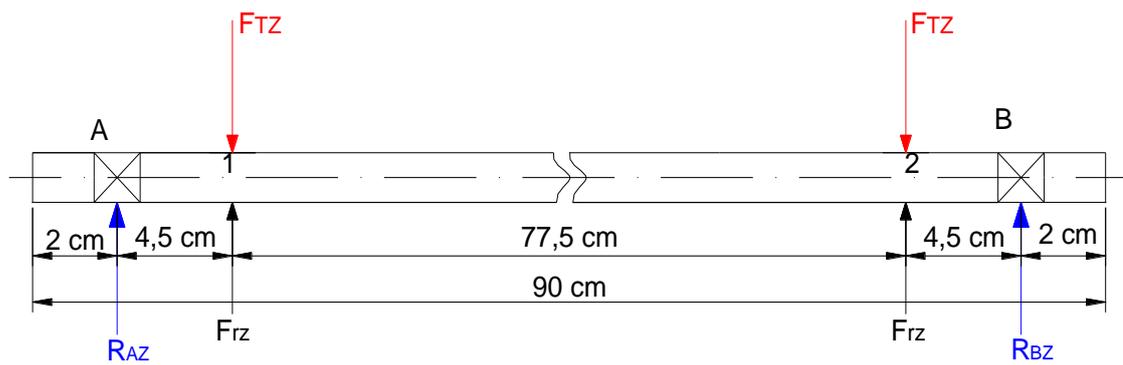
$$M_{fmax2} = -5250 \text{ Nmm}$$

$$R_{Ay} = 40.10 \text{ N}$$

$$R_{By} = 19.82 \text{ N}$$

Análisis en el plano xz

Figura 65. Diagrama de cuerpo libre del eje, plano xz



Fuente: Autores

$$F_{rz} = 26 \text{ N}$$

$$F_{Tz} = 115.19 \text{ N}$$

$$M_{fmax1} = 4010 \text{ Nmm}$$

$$M_{fmax2} = 4010 \text{ Nmm}$$

$$R_{Az} = 89.19 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = 89.19 \text{ N}$$

Existen dos puntos críticos en los diagramas del momento flector, con la ecuación 70 se tiene:

$$M_{fmax1} = \sqrt{M_{fmax}^2 + M_{fmax}^2}$$

$$\mathbf{M_{fmax1} = 4760 \text{ Nmm}}$$

$$\mathbf{M_{fmax2} = 6606 \text{ Nmm}}$$

Cálculo del diámetro del eje a carga estática.

Las fuerzas que actúan sobre el eje generan esfuerzos normales y tangenciales; además el eje va a trabajar expuesto a un ambiente corrosivo por lo que se selecciona un acero AISI 304 con las siguientes propiedades:

$$S_u = 620 \text{ MPa (90 ksi)}$$

$$S_y = 310 \text{ MPa (45 ksi)}$$

Según la Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo TECM (MSST) TRESKA, en la ecuación 74, se tiene el diámetro del eje.

$$\phi = \sqrt[6]{\frac{1024M_{fmax}^2 + 16T^2}{\pi^2} \left(\frac{n}{S_y}\right)^2}$$

Con un factor de seguridad $n = 7$

$$\phi = \mathbf{13.3 \text{ mm}}$$

Se selecciona un diámetro estándar inmediato superior que es el siguiente:

$$\phi_{eje} = \mathbf{19.05 \text{ mm} = \frac{3}{4} \text{ in}}$$

Cálculo del diámetro del eje a carga dinámica.

Mediante la ecuación 75 se calcula el Esfuerzo de flexión.

$$\sigma_f = \frac{32M_{fmax}}{\pi\phi^3}$$

$$\sigma_f = 9.81 \frac{N}{mm^2}$$

Mediante la ecuación 76 se calcula el Esfuerzo por torsión.

$$\tau = \frac{16T}{\pi\phi^3}$$

$$\tau = 47.43 \frac{N}{mm^2}$$

A continuación se realiza un análisis de esfuerzos combinados con la ayuda de la Teoría de Energía de Distorsión TED (DET) VON MISSEE HENCKY según las ecuaciones 79 y 80 respectivamente.

$$\sigma_{eqa} = \sigma_{fa}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{3}\tau_{tm}$$

$$\sigma_{eqa} = 9.81 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{eqm} = 82.15 \frac{N}{mm^2}$$

A continuación se utiliza la Teoría de esfuerzos dinámicos de Soderberg según la ecuación 83.

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} + \frac{\sigma_{eqm}}{Sy} = \frac{1}{n}$$

Es necesario conocer el límite de resistencia a la fatiga, con la ayuda de la ecuación 84.

$$Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Kg * Ke * Se'$$

Donde:

$$Se' = 345.34 \frac{N}{mm^2}$$

Ka = 0,74 Maquinado

Kb = 0,89

Kc = 0,868 Confiabilidad del 95%

Kd = 1 Para una temperatura T ≤ 450 °C

Kg = 1

$$K_e = \frac{1}{K_f} = 0.625$$

$$K_f = q(K_t - 1) + 1$$

$q = 1$ El eje no presenta radio de ranura

$$K_t = 1.6 \text{ chavetero}$$

$$K_f = 1.6$$

$$S_e = 123.39 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$n = 2.9$$

Como dio un coeficiente de seguridad satisfactorio el eje diseñado es un eje AISI 304 de 3/4 in.

6.2.3.4 Selección de rodamientos. Los rodamientos se seleccionan del catálogo Programa Estándar FAG, con el valor del diámetro del eje (3/4"), se selecciona dos chumaceras de piso SG16204.12 con las siguientes capacidades de carga dinámica y estática.

$C = 9.8 \text{ KN} =$ Capacidad de carga dinámica

$C_0 = 6.3 \text{ KN} =$ Capacidad de carga estática

Es necesario conocer las fuerzas resultantes de las reacciones radial y axial que actúan sobre el eje, en los puntos donde se van a estacionar las chumaceras. De acuerdo a las ecuaciones 85 y 86 respectivamente.

$$F_{rA} = \sqrt{R_{Ay} + R_{Az}}$$

$$F_{rA} = 97.79 \text{ N}$$

$$F_{axA} = 0$$

$$F_{rB} = \sqrt{R_{By} + R_{Bz}}$$

$$F_{rB} = 91.37 \text{ N}$$

$$F_{axB} = 0$$

Análisis en el punto A

$$F_{rA} = 97.79 \text{ N}$$

$$F_{axA} = 0$$

$$\emptyset_{\text{eje}} = \frac{3}{4} \text{ in}$$

$$N = 135.8 \text{ rpm}$$

Como no existe carga axial, y el eje gira a bajas revoluciones por minuto se selecciona un rodamiento de bolas; además se decide que el eje va a trabajar 8 horas diarias, durante 5 años, para obtener la duración o vida L_h .

$$L_h = 14600 \text{ h}$$

Con el valor de la duración L_h en la tabla "Vida L_h y Duración f_L para rodamientos de bolas", encontramos el factor f_L , es necesario interpolar. Ver Anexo O

$$f_L = 3.082$$

Con el valor del número de revoluciones en la tabla "Valores f_n para rodamientos de bolas", encontramos el factor de velocidad f_n . Ver Anexo P

$$f_n = 0.6263$$

El factor de servicio f_s se debe seleccionar de la tabla 5 tomando en cuenta si las exigencias del equipo son elevadas, normales o reducidas,

$$f_s = 1.3$$

Diseño a carga estática

Para el diseño a carga estática es necesario cumplir con la relación 59:

$$\frac{F_a}{F_r} \leq 0.8$$

Como F_a es igual a cero entonces si cumplimos con la relación anterior, por lo tanto reemplazando los valores en las ecuaciones 88 y 89 respectivamente.

$$P_0 = F_r$$

$$C_0 = f_s * P_0$$

$$C_0 = 0.13 \text{ KN}$$

Un rodamiento seleccionado correctamente cumple con la relación 90:

$$C_{0 \text{ tabulado}} > C_{0 \text{ calculado}}$$

$$6.3 \text{ kN} > 0.13 \text{ kN}$$

Se cumple con la relación anterior, entonces la chumacera seleccionada es la correcta.

Diseño a carga dinámica

Para rodamientos rígidos con una hilera de bolas se utiliza la ecuación 92 como los valores de X y de Y dependen, de la razón F_a/C_0 , con lo cual se va a la tabla “Factores radiales y axiales de los rodamientos rígidos de bolas” .

Como no existe F_a , X es igual a 1, entonces la ecuación para calcular la carga dinámica equivalente se reduce a la ecuación 64.

$$P = XF_r$$

$$P = 97.79 \text{ N} = 0.09779 \text{ kN}$$

A continuación se encuentra C que es la capacidad dinámica de carga con la ecuación 93.

$$C = \frac{f_L P}{f_n}$$

$$C = 0.48 \text{ kN}$$

Un rodamiento seleccionado correctamente cumple con la relación 94:

$$C_{\text{tabulado}} > C_{\text{calculado}}$$

$$9.8 \text{ kN} > 0.48 \text{ kN}$$

Por lo tanto la chumacera seleccionada es la adecuada para el eje de $\frac{3}{4}$ in de diámetro, como en el punto B no existe resultante de reacciones axiales y la resultante de fuerzas radiales es menor que en el punto A se selecciona una chumacera de este mismo tipo. Ver Anexo Q.

6.2.3.5 Ruedas motrices. De acuerdo a la tabla comparación de los materiales de cauchos ver Anexo R se elige el caucho neopreno (CR)

El neopreno se va a vulcanizar en 4 poleas de Al 2x1(2 pulgadas de diámetro y maquinadas para un eje de $\frac{3}{4}$ de pulgada). Los diámetros resultantes son igual a 8 cm, además se sujetan al eje con prisioneros de 5/16 x 5/16, en un chavetero de 5/16 x 5/32 pulgadas de acuerdo a la Tabla 4.

Cada eje presenta dos ruedas cada una ubicada a 6.5 cm de los extremos. En la Figura 66 se puede apreciar una rueda motriz del sistema.

Figura 66. Rueda motriz



Fuente: Autores

6.3 Elevador de cangilones

6.3.1 Velocidad lineal y angular de los cangilones. El elevador de cangilones es de tipo centrífugo, por lo que, sus cangilones descargan en tiro parabólico.

El laFigura 67 indica la distancia de los cangilones a la bandeja de la máquina empaquetadora en el instante de descarga.

Donde:

V_0 = velocidad lineal

h : distancia del cangilón a la bandeja

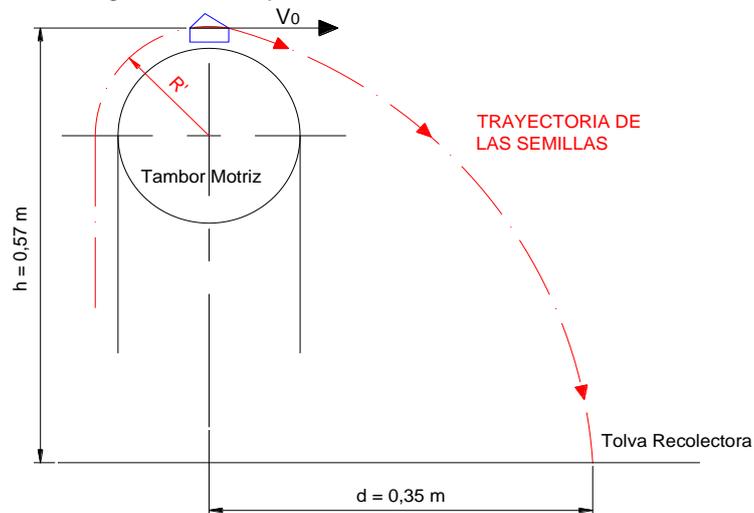
d : distancia del eje a la bandeja

R' : radio de curvatura

R' = radio del tambor motriz + espesor de la banda

+ distancia de la banda al centroide del cangilón (estimado)

Figura 67. Trayectoria de las semillas



Fuente: Autores

6.3.1.1 Velocidad lineal

De la Figura 67:

$$V_0 = \frac{d}{t}$$

Donde t es el tiempo estimado en segundos

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Reemplazando, tenemos:

$$V_0 = d * \sqrt{\frac{g}{2h}}$$

$$V_0 = 1,024 \frac{m}{s}$$

Antes de determinar la velocidad angular, debemos conocer el radio de curvatura.

Para el radio de curvatura usamos la ecuación 104:

$$g * R' = V^2$$

Donde:

$$R' = \frac{V^2}{g}$$

$$R' = 0,107m$$

Para conocer sólo el diámetro del tambor motriz, se debe restar el espesor de la banda y la distancia de la banda al centroide del cangilón.

Se selecciona una banda ENL-252 x 3Lonas x 4in de ancho, como lo indica la Figura 68:

Figura 68. Características de las icobandas ENL

CARACTERISTICA	UNIDAD	icobandas ENL											
Tipo		168	252	336	420	220	330	440	550	280	420	560	700
Número de lonas		2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5
Espesor cojines	Pulgadas	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	5/64	5/64	5/64	5/64
Espesor total	mm	2,4	3,8	5,2	6,6	2,4	3,8	5,2	6,6	3,4	5,3	7,0	8,7
Peso	g/pulg/m	74	120	171	233	74	123	178	233	92	153	213	273
Carga de trabajo	lb/pulg	168	252	336	420	220	330	440	550	280	420	560	700
Carga de rotura	lb/pulg	1680	2520	3360	4200	2200	3300	4400	5500	2800	4200	5600	7000

Fuente: Catálogo icobandas s.a.

De acuerdo a los datos de la Figura 68 tenemos el espesor total de la banda seleccionada:

$$\text{espesor} = 3,8 \text{ mm}$$

Ahora se selecciona el tipo de cangilón a utilizar, en nuestro caso se elige un cangilón TAPCO 4x3, como lo indica la Figura 69.

De la Figura 69 podemos obtener los siguientes datos:

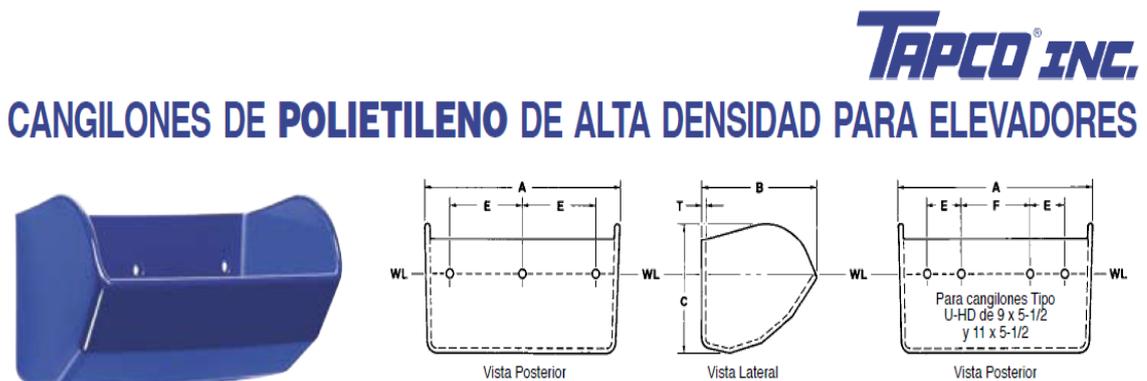
$$\text{Altura} = C = 3 \text{ in}$$

$$\text{Capacidad} = WL = 0,0097 \text{ ft}^3$$

$$\text{Espaciado mínimo en correa} = 4 \text{ in}$$

$$\text{Peso} = 0,26 \text{ lb cada cangilón}$$

Figura 69. Características de los cangilones TAPCO, tipo CC-HD



CANGILONES TIPO CC-HD

TAMAÑO (Nominal) Milímetros	TAMAÑO (Nominal) Pulgadas	Dimensiones Reales (Pulgadas) Tolerancia A, B, C ± 3/16" T ± 1/64"				Perforaciones Estándar (Pulgadas) Agujeros Perforados 1/32" más grandes				Capacidad (1) Tolerancia ± 3%			Espaciado (Mínimo) en Correas Pulgadas	Peso (Libras)		Cantidad por Caja	
		Long. A	Proy. B	Prof. C	Espesor T	Centro a Centro		Cant. Aguj.	Diam. Tornillo	WL				C/U (Prom.)	Por caja (Prom.)		
						E	F			Pulg. Cúb.	Pie Cúb.	Pie Cúb.					
80-60	3 X 2	3-1/4	2-1/2	2-1/16	11/64	1-3/4		2	1/4	6.0	.0035	6.6	.0038	3	0.13	3.6	24
120-80	4 X 3	4-1/4	3-1/2	3-1/16	3/16	2-1/2		2	1/4	16.8	.0097	18.5	.0107	4	0.26	7.1	24
140-120	5 X 4	5-1/4	4-1/2	4-1/16	13/64	3-3/16		2	1/4	35.8	.0207	39.4	.0228	5	0.46	12.6	24
160-120	6 X 4	6-1/4	4-1/2	4-1/16	13/64	4-3/8		2	1/4	43.3	.0251	47.6	.0276	5	0.53	13.8	24
180-120	7 X 4	7-1/4	4-1/2	4-1/16	13/64	2-11/16		3	1/4	49.7	.0288	54.7	.0316	5	0.60	15.9	24

Fuente: www.tapcoinc.com/media/Mini_Guia_2008.pdf

Entonces, con los datos de la banda y del cangilón, obtenemos el diámetro del tambor motriz usando la ecuación 108:

$$R' = r_t + \text{espesor de la banda} + d_t$$

Despejando:

$$r_t = R' - \text{espesor de la banda} - d_t$$

$$r_t = 0,065 \text{ m}$$

Entonces el diámetro del tambor motriz es:

$$d_t = 0,13 \text{ m} = 13 \text{ cm}$$

6.3.1.2 Velocidad angular

Usando la ecuación 107, tenemos:

$$\omega = \frac{30}{(R')^{1/2}}$$

$$\omega = 91,71 \text{ rpm}$$

$$\omega = 9,57 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Nótese que el valor de la velocidad angular calculada es la velocidad mínima a la que deben girar los cangilones.

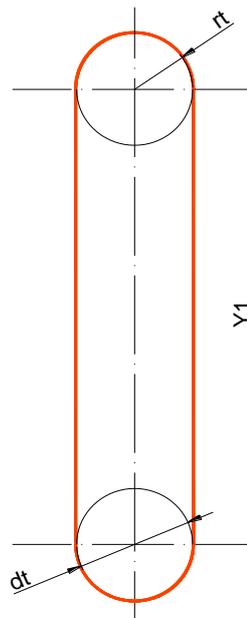
6.3.2 Velocidad de la banda del elevador. Como existe una relación directa entre la velocidad lineal y la velocidad angular, tenemos:

$$V_B = \omega * r_t$$

$$V_B = 0,62 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

6.3.3 Longitud de la banda de cangilones

Figura 70. Posición de la banda en los tambores



Fuente: Autores

Donde:

r_t = radio del tambor motriz

Y_1 = distancia entre centros = 2,63 m

d_t = diámetro del tambor motriz = 13 cm

$$L = 2 * Y_1 + \pi * d_t$$

$$L = 5,67 \text{ m}$$

6.3.4 *Paso entre cangilones.* Se sabe que:

p = paso entre cangilones

C = altura del cangilón

e = espaciamento entre cangilones

$$p = e + C$$

De acuerdo al catálogo Cangilones para elevadores TAPCO Inc. se recomienda para un cangilón 4x3 un espaciamento mínimo de 4 in; de acuerdo a la capacidad de diseño del elevador, asumo un espaciamento de 6 in.

$e_{\text{asumido}} = 6 \text{ in}$

$$p = 9 \text{ in}$$

6.3.5 *Número de cangilones.* Para determinar el número de cangilones, se divide la longitud total de la banda para el paso, así tenemos:

$$N_c = \frac{L}{p}$$

$$N_c = 24,8$$

Se obtienen 24,8 cangilones, por lo que se aproxima al inmediato superior, teniendo 25 cangilones para el elevador.

6.3.6 *Determinación de la potencia requerida.* La potencia requerida es:

$$P_T = P_{T_1} + P_{\text{inercia}}$$

Donde:

P_{T_1} = potencia total de transporte

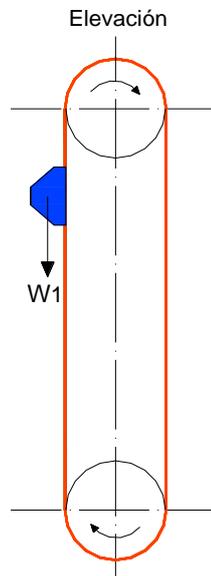
P_{inercia} = potencia inercial

Donde:

$$P_{T_1} = P_1 * V_0$$

La fuerza del elevador en la elevación es igual al peso de los cangilones llenos, considerando sólo los de un lado, como indica la Figura 71.

Figura 71. Fuerzas en la elevación



Fuente: Autores

Entonces:

$$P_1 = W_T * 13 \text{ cangilones}$$

Si:

$$W_T = W_t * C_S$$

y,

$$W_t = W_1 + W_2$$

Donde:

W_T = peso total

W_t = peso del cangilón lleno + peso del cangilón

W_1 = peso del cangilón lleno

W_2 = peso del cangilón

C_S = número de cangilones por segundo

Para conocer la capacidad de transporte de cada cangilón hacemos relación a la ecuación 100:

$$W_1 = C * \gamma * \emptyset$$

Así tenemos:

$$C = 0,27467 \text{ lts}$$

$$\gamma = 0,7857 \text{ kg/lit}$$

$\emptyset = 1$, sólo para calcular la potencia

$$W_2 = 0,118 \text{ kg}$$

$$W_1 = 0,216 \text{ kg}$$

Entonces:

$$W_t = 3,27 \frac{\text{N}}{\text{cangilón}}$$

El número de cangilones por segundo (C_s) que llevan el peso W_t se determinada mediante la siguiente relación:

$$\text{velocidad de la banda} = C_s * \text{paso}$$

$$C_s = \frac{\text{velocidad de la banda}}{\text{paso}}$$

$$C_s = 2,712 \text{ cangilones}$$

Se necesitan 2,712 cangilones, por lo que se asume 3 cangilones.

Entonces el peso total queda:

$$W_T = 3,27 \frac{\text{N}}{\text{cangilón}} * 3 \text{ cangilones}$$

$$W_T = 9,82 \text{ N}$$

Reemplazando en la ecuación de P1 tenemos:

$$P_1 = 127,66 \text{ N}$$

La potencia total 1 de transporte será:

$$P_{T_1} = 130,73 \text{ w}$$

$$P_{T_1} = 0,13073 \text{ kW}$$

La potencia necesaria para vencer las fuerzas inerciales depende del dimensionamiento y peso de las partes de los sistemas, por lo que será calculada después.

Tomaremos un valor de potencia inercial a comprobarse de:

$$P_{\text{inercia}} = 0,030 \text{ kW}$$

Entonces:

$$P_T = 0,16073 \text{ kW}$$

Ahora, para conocer la potencia necesaria para elevar los cangilones, se procede a calcular la potencia real, la cuál será igual a 1,5 veces la potencia calculada; para evitar de esta manera la probabilidad de falla en los cálculos.

$$P_R = P_T * 1,5$$

$$P_R = 0,2411 \text{ kW}$$

6.3.7 Selección del motor. Con la potencia real se procede a elegir un motor, con la ayuda del catálogo AEG.

De acuerdo al catálogo se tienen los siguientes datos del motor AEG 10X34HH:

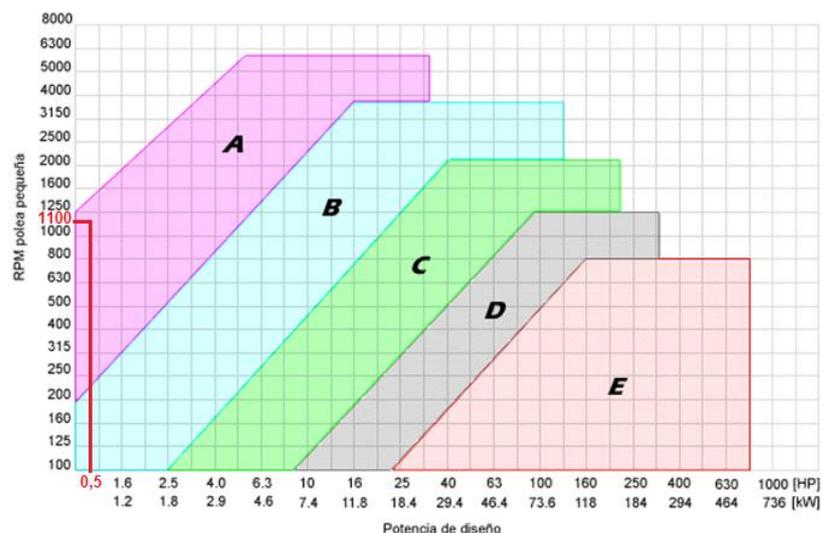
$$P = 0,37 \text{ kW}$$

$$N = 1100 \text{ rpm}$$

6.3.8 Selección de la banda de transmisión. Para la selección de la banda se realizará la reducción en una etapa, desde 1100 rpm a 183 rpm. De acuerdo al cálculo de potencia real, se seleccionó un motor de 0,37 kW, trifásico de corriente alterna, con 1100 rpm. Con estos datos se realizará el diseño de todo el sistema de transmisión.

6.3.8.1 Selección de la correa. En el siguiente gráfico se encuentra el perfil de la correa, para ello, en el eje vertical marcamos el número de revoluciones por minuto del motor seleccionado y, en el eje horizontal marcamos la potencia del mismo motor que se seccionó.

Figura 72. Gráfico de selección del perfil de la correa



Fuente: Catálogo Reflex

Se obtiene una correa tipo A.

Correas y poleas a utilizar

Tabla 31. Gráfico de selección del perfil de la correa

Sección	A	B	C	D	E
Diámetro primitivo mínimo [mm]	63	100	160	280	400

Fuente: Catálogo Roflex

Para una correa tipo A, el diámetro primitivo mínimo es de 63 mm

$$d_{p\min} = 63\text{mm}$$

Se selecciona un diámetro de 63,5 mm = 2,5 in para la polea motriz.

Relación de transmisión

Haciendo uso de las ecuaciones 114 y 115 respectivamente, tenemos:

$$i = \frac{N_1}{N_2} = \frac{D_p}{d_p}$$

Asumo una relación de transmisión de $i=6$,

Entonces:

$$i = \frac{N_1}{N_2}$$

$$N_2 = \frac{N_1}{i}$$

$$N_2 = 183,3 \text{ rpm}$$

Como la velocidad angular mínima calculada es: $\omega = 91,71 \text{ rpm}$

Entonces asumo el valor de 183 rpm como velocidad angular del eje conducido.

Usando de la ecuación 117 tengo:

$$D_p = i * d_p$$

$$D_p = 381 \text{ mm}$$

Se calcula un diámetro de la polea conducida de 381 mm = 15 in.

Distancia entre centros

Usando la ecuación 119 para i mayor que 3 tenemos:

$$C \geq D_p$$

De acuerdo a esta consideración asumo una distancia entre centros de 381 mm.

Longitud primitiva de la banda.

Usando la ecuación 120, tenemos:

$$L = (2 * C) + (1.57 * (D_p + d_p)) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4 * C}$$

$$L = 1526 \text{ mm}$$

En la siguiente tabla se determina el número de correa más adecuada.

$$\#55 \quad L_n = 1427 \text{ mm}$$

$$\#60 \quad L_n = 1554 \text{ mm}$$

Tabla 32. Longitudes primitivas de las correas

LONGITUDES PRIMITIVAS DE LAS CORREAS					
Nº	Perfil A (13 x 8)	Perfil B (17 x 10,5)	Perfil C (22 x 13.5)	Perfil D (32 x 19)	Perfil E (40 x 25)
26	690				
28	741				
31	817				
51	1325	1338	1347		
55	1427	1440			
60	1554	1567	1576		
64	1656	1669			
68	1757	1770	1779		

Fuente: Catálogo Roflex

Distancia entre centros recalculada

Usando la ecuación 122, tenemos:

$$C_c = C \pm \left| \frac{L - L_n}{2} \right|$$

Para la correa #55

$$C_c = C - \left| \frac{L - L_n}{2} \right|$$

$$C_c = 331,5 \text{ mm}$$

Para la correa #60

$$C_c = C + \left| \frac{L - L_n}{2} \right|$$

$$C_c = 395 \text{ mm}$$

Se selecciona la correa #60 ya que la distancia entre centros recalculada es mayor que la distancia entre centros C.

Entonces se utilizará una correa A 60 HANCHANG V-BELT

Arco de contacto menor

Usando la ecuación 123, tenemos:

$$\alpha_1 = 2 * \cos^{-1} \left(\frac{D_P - d_P}{2 * C_c} \right)$$

$$\alpha_1 = 132,6^\circ$$

El valor de arco de contacto calculado es mayor que 120, por lo que su cálculo es correcto.

Potencia que transmite una correa (P_1) y el factor de corrección (C_2)

Con el dato del diámetro de la polea motriz y la relación de transmisión, haciendo uso de las Tabla 33 se tiene:

Tabla 33. Secciones de bandas

SECCION A (13x8)																
Diámetro polea chica		Relación de velocidad 1 : i	RPM DE LA POLEA PEQUEÑA													
mm	pulg		200	400	720	800	950	1200	1450	1600	1800	2000	2200	2400	2600	
63	2.50	1.00	0.17	0.28	0.40	0.44	0.49	0.55	0.61	0.63	0.67	0.69	0.72	0.74	0.75	
		1.05	0.17	0.28	0.41	0.45	0.50	0.57	0.63	0.66	0.69	0.72	0.74	0.77	0.78	
		1.20	0.18	0.29	0.43	0.46	0.51	0.58	0.64	0.68	0.72	0.74	0.77	0.79	0.80	
		1.50	0.18	0.30	0.44	0.47	0.53	0.61	0.67	0.70	0.74	0.77	0.79	0.81	0.83	
		>=	3.00	0.19	0.32	0.45	0.50	0.55	0.62	0.69	0.73	0.77	0.79	0.81	0.84	0.85

Fuente: Catálogo Rollex

Extrapolando para un $i = 6$ tenemos:

i	950	1200
1.5	0,53	0,61
3	0,55	0,62
6	0,59	0,64

Interpolando para 1100 rpm tenemos:

Rpm	P1
950	0,59
1100	0,62
1200	0,64

$P_1 = 0,62$ HP; para un $i = 6$

Con el número de correa encontramos el factor de corrección C_2 en la Tabla 34.

Tabla 34. Factor de corrección C_2

CORREA No.	26	28	31	35	38	42	46	51	55	60	64	68	75
Longitud correa mm	690	741	817	917	995	1097	1198	1325	1427	1554	1656	1757	1935
Factor de corrección	0.81	0.82	0.84	0.87	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	0.99	1.00	1.02

Fuente: Catálogo de Diseño II

El valor de C_2 para la correa #60 es $C_2 = 0,98$

Cantidad de correas necesarias

Usando la ecuación 124, tenemos:

$$z = \frac{P_D}{C_2 C_3 P_1}$$

Con el valor de $\alpha_1 = 132,6^\circ$ encontramos el factor de corrección C_3

Tabla 35. Factor de corrección C_3

$(D_p - d_p)/C$	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40
Arco de contacto	180°	174°	169°	163°	157°	151°	145°	139°	133°	127°	120°	113°	106°	99°	91°
Factor de corrección	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.89	0.87	0.85	0.82	0.80	0.77	0.73	0.70

Fuente: Catálogo Roflex de correas trapezoidales

Interpolando tenemos:

α_1	C_3
127	0,85
132,6	0,868
133	0,87

El valor de C_3 para la este ángulo es $C_3 = 0,868$

Número de correas:

$$z = 0,948$$

$$z = 1 \text{ CORREA}$$

Velocidad de la banda trapezoidal

Usando la ecuación 125 tenemos:

$$v = N * r$$

$$v = 3,66 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Verificación de los ciclos de flexión por segundo y duración

Haciendo uso de la ecuación 126, tenemos:

$$i_f = 1000 * n_p * \frac{v}{L_n}$$

$$i_f = 4,71 \text{ s}^{-1}$$

El valor encontrado de flexiones por segundo corresponde a un Perfil normal.

Control de tensión estática

Usando la ecuación 127, tenemos:

$$y = t * \frac{16}{1000}$$

$$y = 6,32 \text{ mm}$$

Relación de tensiones

Usando la ecuación 128, tenemos:

$$\frac{T_1 - T_C}{T_2 - T_C} = e^{\frac{f * \theta}{\text{sen}(\alpha/2)}}$$

Para conocer T_C , se usa la ecuación 129.

$$T_C = \rho * v^2$$

El valor de la densidad se la encuentra en la Figura 73.

Figura 73. Valores de carga para correas

Perfil de la correa	ρ [kg/m]
SPZ	0.07
SPC	0.36
A	0.11
B	0.20

Fuente: Catálogo Roflex de correas trapezoidales

$$T_C = 1,47 \frac{\text{Kg m}}{\text{s}^2}$$

$$\frac{T_1 - 1,47}{T_2 - 1,47} = 8,41$$

$$T_1 - T_2 = \frac{P}{v}$$

$$T_1 - T_2 = 101,9 \text{ N}$$

$$T_1 = T_2 + 101,9 \text{ N}$$

Reemplazando tenemos:

$$\frac{T_1 - 1,47}{T_2 - 1,47} = 8,41$$

$$T_2 = 15,22 \text{ N}$$

$$T_1 = 117,12 \text{ N}$$

Torque

Usando la ecuación 130, tenemos:

$$\tau = (T_1 - T_2) \frac{D_P}{2}$$

$$\tau = 19,4 \text{ Nm}$$

Potencia

Usando la ecuación 131, tenemos:

$$P = (T_1 - T_2) * v$$

$$P = 372,96 \text{ watts}$$

$$P = 0,5 \text{ HP}$$

Cálculo de la Durabilidad

Usando la ecuación 132, tenemos:

$$H = 1477 * \frac{L_n^{1.25}}{v} \left(\frac{T_F^m}{T_1^m + T_2^m} \right)$$

tomamos el valor de $m = 6$ (correas Trapeciales)

Tabla 36. Fuerza Límite por Fatiga

Perfil de la correa	Coeficientes			T_F [N]
	ρ [kg/m]	C_B	C_B	
		Flexión normal	Flexión. inversa	
SPZ	0.07	563	732	474
SPA	0.12	2105	4320	858
SPB	0.19	4659	8926	1242
SPC	0.36	6304	12077	1680
A	0.11	399	479	418
B	0.20	1701	1943	727

Fuente: Catálogo Roflex de correas trapezoidales

$$H = 8,14 \times 10^9 \text{ Horas}$$

6.3.9 Cálculo y selección de la banda de los cangilones

El torque en la polea superior del sistema de elevación es:

$$\tau = 19,4 \text{ Nm}$$

Las fuerzas que actúan en el tambor superior son:

$$(F_1 - F_2) = \frac{P_R}{V_0}$$

$$(F_1 - F_2) = 361,33 \text{ N}$$

Valor de F_1

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{f \cdot \theta}$$

Donde:

F_1 = fuerza máxima que transmite la banda

F_2 = fuerza de lado flojo de la banda

f = coeficiente de rozamiento = 0,5

θ = ángulo de contacto = 180°

$$F_2 = \frac{F_1}{4,81}$$

Reemplazando tenemos:

$$F_2 = 94,84 \text{ N}$$

$$F_1 = 456,18 \text{ N}$$

La fuerza calculada que soporta la banda es menor que la fuerza tabulada, por lo tanto la selección anterior es correcta.

Cálculo y selección de los Tambores

El diámetro de las poleas fue establecido anteriormente y su valor es de:

$$d_t = 0,13 \text{ m} = 13 \text{ cm}$$

Los tambores son planos y debe tener un ancho mayor al de la banda.

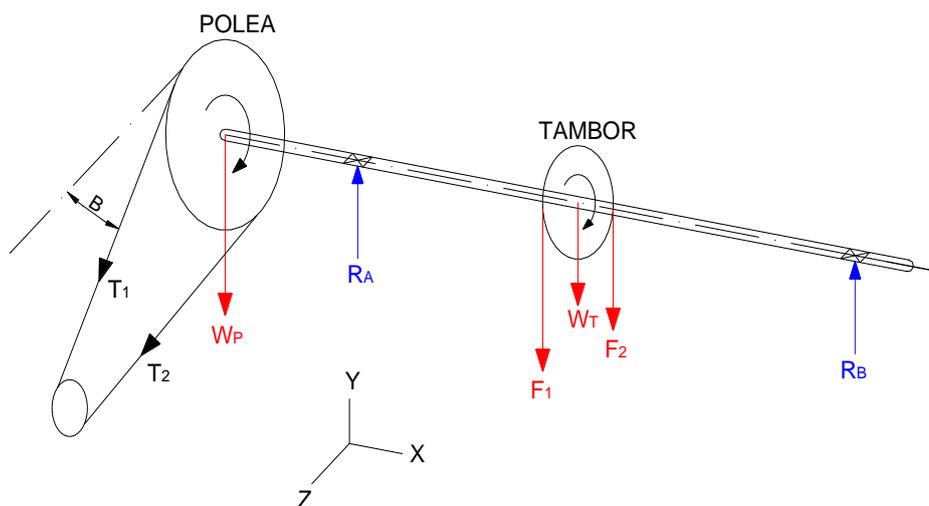
Ancho del tambor = 0,1016 m

El material de los tambores es de hierro fundido y tienen un peso de 117,6 N cada uno.

6.4 Diseño y cálculo del eje superior del sistema de elevación

En la Figura 74 se muestra el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas actuantes sobre el eje de transmisión.

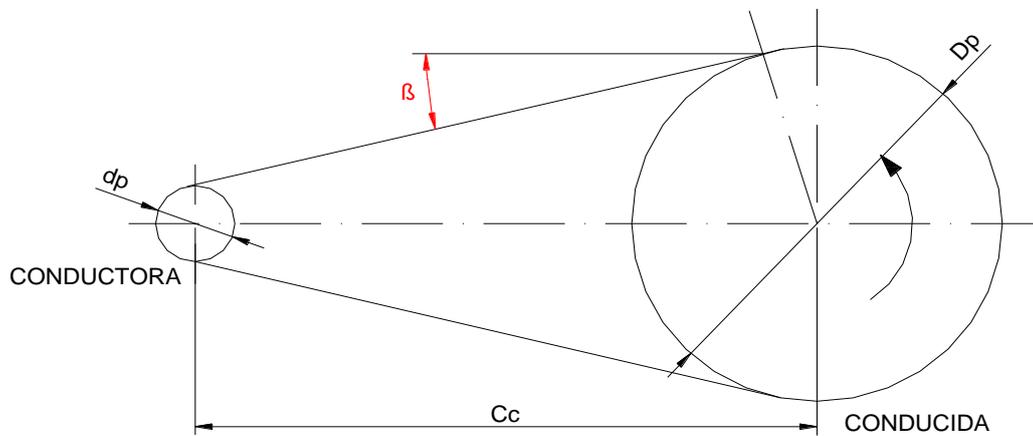
Figura 74. Análisis de fuerzas en el eje de transmisión



Fuente: Autores

6.4.1 Cálculo de β

Figura 75. Representación de la transmisión



Fuente:Autores

Datos:

$$D_p = 381 \text{ mm}$$

$$d_p = 63,5 \text{ mm}$$

$$C_c = 395 \text{ mm}$$

$$\beta = \text{Sen}^{-1} \left(\frac{D_p + d_p}{2C_c} \right)$$

$$\beta = 34,24^\circ$$

Los valores de las fuerzas son:

$$T_{1y} = 65,89 \text{ N}$$

$$T_{1z} = 96,82 \text{ N}$$

$$T_2 = 15,22 \text{ N}$$

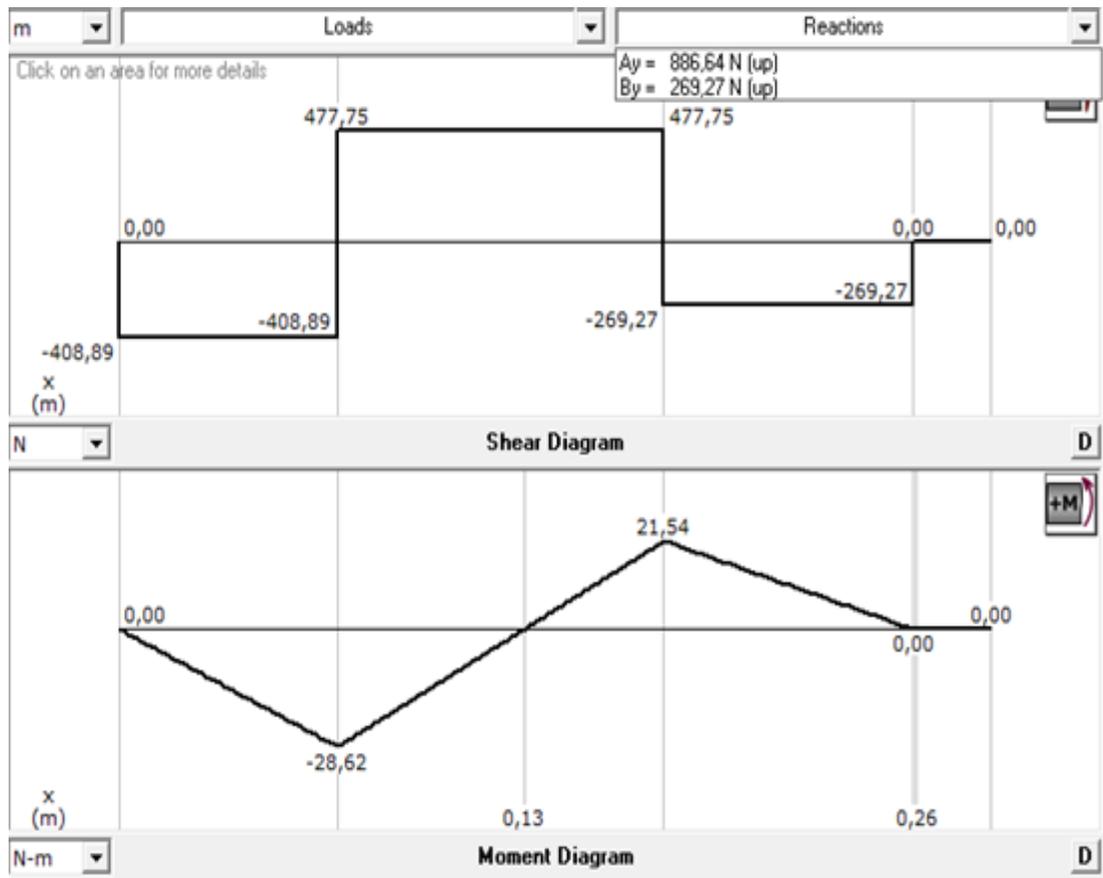
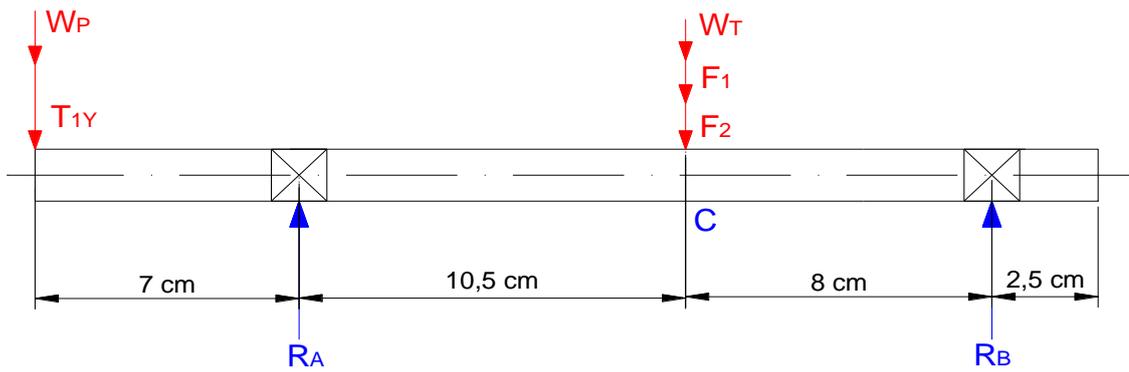
$$W_p = 343 \text{ N}$$

$$W_T = 196 \text{ N}$$

$$F_1 = 456,18 \text{ N}$$

$$F_2 = 94,84 \text{ N}$$

Figura 76. Diagrama de fuerzas en el plano xy



Fuente:Autores

Con el uso del Software MDsolids 2.6 se obtienen las siguientes reacciones:

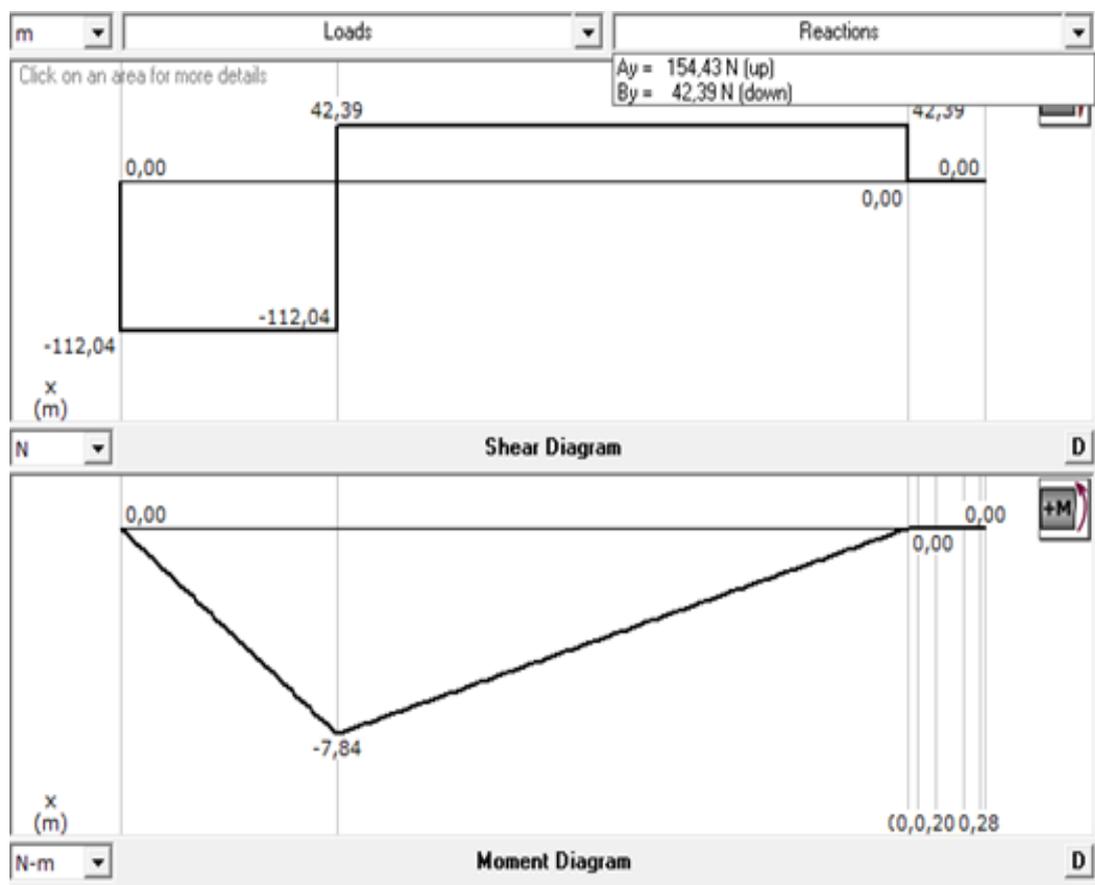
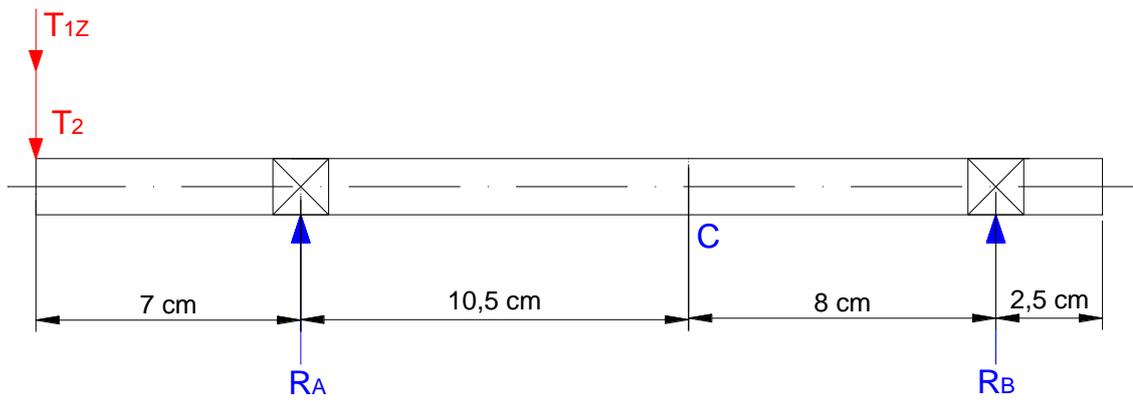
$$R_A = 886,64 \text{ N}$$

$$R_B = 269,27 \text{ N}$$

$$M_A = 28,62 \text{ Nm}$$

$$M_C = 21,54 \text{ Nm}$$

Figura 77. Diagrama de fuerzas en el plano xz



Fuente: Autores

Las reacciones obtenidas son:

$$R_A = 154,43 \text{ N}$$

$$R_B = 42,39 \text{ N} \downarrow$$

$$M_A = 7,84 \text{ N}$$

$$M_C = 3,40 \text{ N}$$

Se determina el punto donde se produce el momento flector máximo.

$$M_{Am\acute{a}x} = \sqrt{M_{Axy} + M_{Axz}} = 29,67 \text{ Nm}$$

$$M_{Cm\acute{a}x} = \sqrt{M_{Dxy} + M_{Dxz}} = 21,80 \text{ Nm}$$

El momento flector máximo se produce en el punto A.

El momento torsor en el eje es:

$$\tau = \frac{D_p}{2} * (T_{1z} - T_2) + \frac{d_t}{2} * (F_1 - F_2)$$

$$\tau = 39,02 \text{ Nm}$$

El cálculo del diámetro del eje para cargas estáticas se lo realiza aplicando la teoría del esfuerzo cortante máximo, que está en función de la resistencia a la fluencia, el momento torsor y el momento flector.

Se asume un Acero AISI 1020, tomando en cuenta que es un material que se lo puede conseguir fácilmente y de bajo costo en el mercado y adecuado para la construcción de ejes.

Las propiedades del Acero AISI 1020 laminado en caliente son:

$$S_y = 57 \text{ Kpsi} = 390 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 68 \text{ Kpsi} = 470 \text{ MPa}$$

El eje está sometido a flexión y torsión:

$$\text{Flexión} \quad \sigma = \frac{32 \cdot M_C}{\pi \cdot \phi_C^3}$$

$$\text{Torsión} \quad \tau = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot \phi_C^3}$$

Coefficiente de seguridad $\eta = 3$

$$\phi_C = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot n}{S_y \cdot \pi} * \sqrt{M_A^2 + T^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3}{390 \cdot \pi} * \sqrt{29670^2 + 39020^2}}$$

$$\phi_C = 15,66 \text{ mm}$$

Tomamos un $\phi_C = 3/4 \text{ in} = 19,05 \text{ mm} = 0,01905 \text{ m}$

El cálculo del diámetro del eje para cargas dinámicas se lo realiza aplicando el criterio de Von Misses

$$\sigma_{\text{eqa}} = \sigma_{\text{a-flex}} = \frac{32M}{\pi\phi^3}$$

$$\sigma_{\text{eqm}} = 43,71 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{eqm}} = \sqrt{3} * \frac{16T}{\pi\phi^3}$$

$$\sigma_{\text{eqm}} = 49,79 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Para el límite de fatiga tenemos:

$$S_e = K * S_e'$$

Donde:

$$S_e' = 0,5 * S_{\text{ut}}$$

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_{\text{carga}} * k_g * S_e'$$

$$k_a = 0.9$$

$$k_b = 1,189 * \phi_C^{-0,097} = 1,189 * (19,05)^{-0,097} = 0,893$$

$$k_c = 0,868 \quad \text{Para una confiabilidad de 95\%}$$

$$k_d = 1 \quad \text{Para un ambiente con una temperatura } < 450^\circ\text{C}$$

$$k_g = 1 \quad \text{Para un ambiente bajo condiciones controladas}$$

$$k_e = \frac{1}{k_f} = \frac{1}{1 + q(kt - 1)}$$

$$kt = 1,6$$

$$q = 1$$

$$k_e = \frac{1}{1 + 1 * (1,6 - 1)} = 0,625$$

$$S_e = 102,46 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{\text{eq-a}}}{S_e} + \frac{\sigma_{\text{eq-m}}}{S_y} = \frac{1}{n}$$

$$n = 1,80$$

Para mejorar el factor de seguridad y asegurar un correcto funcionamiento del eje, procedo a aumentar el diámetro del eje.

Para un diámetro de eje de 1 in = 25,4 mm tenemos:

$$\sigma_{\text{eqa}} = 18,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{eqm}} = 21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_a = 0.9$$

$$k_b = 1,189 * \phi_C^{-0,097} = 1,189 * (25,4)^{-0,097} = 0,868$$

$$k_c = 0,868 \quad \text{Para una confiabilidad de 95\%}$$

$$k_d = 1 \quad \text{Para un ambiente con una temperatura } < 450^\circ\text{C}$$

$$k_g = 1 \quad \text{Para un ambiente bajo condiciones controladas}$$

$$k_e = 0,625$$

$$S_e = 99,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$n = 4,18$$

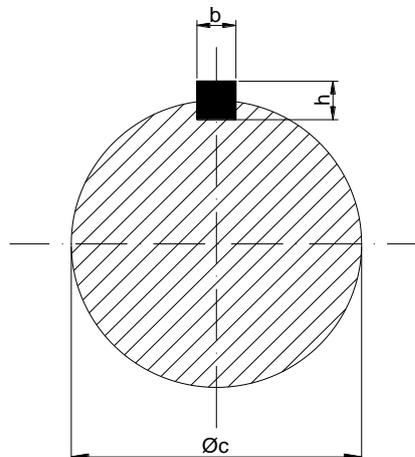
Se considera un factor de seguridad bastante aceptable; por lo que el diámetro del eje será $\phi_C = 1$ in.

Nota: En el eje inferior del elevador de cangilones me asumo un diámetro de 3/4 in, debido a que dicho eje sólo sirve de guía para el tambor inferior y no está conectado a ningún sistema de transmisión.

6.5 Cálculo y selección de las chavetas y chaveteros del eje superior del sistema de elevación.

Se usa una chaveta prismática.

Figura 78. Chaveta de la polea



Fuente: Autores

Donde:

b = ancho de la chaveta

h = altura de la chaveta

Por tablas tenemos para un diámetro del eje de $\phi = 25,4$ mm tenemos:

b = 8 mm, h = 7 mm

Tabla 37. Dimensiones de chaveteros y chavetas.



Ø Eje d (mm) desde- hasta	Medidas chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas del chavetero en el eje para chavetas paralelas y de cuña		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda	
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1		Chaveta de cuña S/DIN 6886 y 6887		t ₁ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	Ø m/m desde- hasta	Tol. H-7 m/m
		d + t ₂ m/m	Tol. Admisible (en altura) m/m	d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m				
17-22	6x6	d+2,6	+0,1	d+2,1	+0,1	3,5		10-18	+0,018 0
22-30	8x7	d+3,0		d+2,4		4,1			
30-38	10x8	d+3,4	d+2,8	4,7					

Fuente: <http://www.jymsoldevilla.net/htm/ruedas/chavet.pdf>

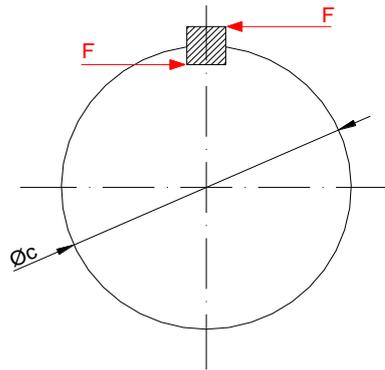
Debido a que la dureza de la chaveta debe ser menor que la del chavetero, se utiliza un acero AISI 1018 cuyo $S_y = 370$ Mpa; se considera razonable un coeficiente $n = 2,5$

La fuerza F en la superficie del eje es:

$$T = F * \frac{d}{2}$$

$$F = 3072,44 \text{ N}$$

Figura 79. Fuerzas actuantes en la Chaveta



Fuente: Autores

Por esfuerzos cortantes tenemos:

$$T = \frac{\tau_c \cdot b \cdot L \cdot D}{2} \quad \text{Donde } \tau_c \text{ es el esfuerzo por corte}$$

$$\tau_c = \frac{0,5 \cdot S_y}{n}$$

$$\tau_c = 74 \text{ MPa}$$

$$L = \frac{2T}{\tau_c \cdot b \cdot D}$$

$$\mathbf{L = 5,2 \text{ mm}}$$

Por esfuerzos por aplastamiento tenemos:

$$T = \frac{\tau_a \cdot h \cdot L \cdot D}{4} \quad \text{Donde } \tau_a \text{ es el esfuerzo por aplastamiento}$$

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

$$\tau_a = 148 \text{ MPa}$$

$$L = \frac{4T}{\tau_a \cdot h \cdot D}$$

$$\mathbf{L = 5,93 \text{ mm}}$$

6.6 Cálculo y selección de rodamientos y chumaceras del eje superior del sistema de elevación.

La mayor fuerza de reacción está en el punto A.

$$R_A = \sqrt{R_{AY}^2 + R_{AZ}^2}$$

$$R_A = 900 \text{ N}$$

$$C = 9 \text{ KN}$$

$$\phi_A = 25,4 \text{ mm}$$

$$N = 183 \text{ rpm}$$

Como no existe carga axial, y el eje gira a bajas revoluciones por minuto se selecciona un rodamiento de bolas; además se decide que el eje va a trabajar 8 horas diarias, durante 5 años, para obtener la duración o vida L_h .

$$L_h = 14600 \text{ h}$$

Con el valor de la duración L_h en la tabla "Vida L_h y Duración f_L para rodamientos de bolas", encontramos el factor f_L , es necesario interpolar. Ver Anexo O.

$$f_L = 3,082$$

Con el valor del número de revoluciones en la tabla "Valores f_n para rodamientos de bolas", encontramos el factor de velocidad f_n . Ver Anexo P.

$$f_n = 0,567$$

El factor de servicio f_s se debe seleccionar de la Tabla 5 tomando en cuenta si las exigencias del equipo son elevadas, normales o reducidas,

$$f_s = 1,3$$

6.6.1 *Diseño a carga estática.* Para el diseño a carga estática es necesario cumplir con la relación 59:

$$\frac{F_a}{F_r} \leq 0.8$$

Como F_a es igual a cero entonces si cumplimos con la relación anterior, por lo tanto reemplazando los valores en las ecuaciones 88 y 89 respectivamente se tiene:

$$P_0 = F_r$$

$$P_0 = 900 \text{ N} = 0,90 \text{ kN}$$

$$C_0 = f_s * P_0$$

$$C_0 = 1,17 \text{ kN}$$

El rodamiento seleccionado cumple con la relación 90:

$$C_0 \text{ tabulado} > C_0 \text{ calculado}$$

$$7,1 \text{ kN} > 1,173 \text{ kN}$$

6.6.2 *Diseño a carga dinámica*

Para rodamientos rígidos con una hilera de bolas se utiliza la ecuación 91 como los valores de X y de Y dependen, de la razón F_a/C_0 , con lo cual se va a la tabla “Factores radiales y axiales de los rodamientos rígidos de bolas”

Como no existe F_a , X es igual a 1, entonces la ecuación para calcular la carga dinámica equivalente se reduce a la ecuación 92:

$$P = XF_r$$

$$P = 900 \text{ N} = 0,90 \text{ kN}$$

A continuación se encuentra C que es la capacidad dinámica de carga con la ecuación 93.

$$C = \frac{f_L P}{f_n}$$

$$C = 4,89 \text{ kN}$$

Un rodamiento seleccionado correctamente cumple con la relación 94:

$$C_{\text{tabulado}} > C_{\text{calculado}}$$

$$11,00 \text{ kN} > 4,89 \text{ kN}$$

Por lo tanto la chumacera seleccionada es la adecuada para el eje de 1 in de diámetro, como en el punto B no existe resultante de reacciones axiales y la resultante de fuerzas radiales es menor que en el punto A se selecciona una chumacera de este mismo tipo.

6.7 **Cálculo y selección del tensor de la banda de cangilones**

El tensor de la banda tiene la función de subir o bajar el eje superior del sistema de elevación para permitir una tensión adecuada de la banda de cangilones.

Las fuerzas que realizan este trabajo están localizadas en los rodamientos y son iguales a las fuerzas de reacción en esos puntos.

El tensor está conformado por dos estructuras con guías en las cuales, se deslizan cajas de rodamientos. Este deslizamiento es provocado por un tornillo regulador de fuerza.

6.8 Cálculo y selección del tornillo

Debido a que en la parte inferior se usarán dos soportes tensor con rodamiento, se debe seleccionar los tornillos que permitan tensionar la banda de cangilones según los requerimientos de producción.

De acuerdo al catálogo ASAHI, se tiene que, para un diámetro de eje de 3/4 in, el diámetro de tornillo recomendado es 12 mm. Entonces se selecciona un tornillo de diámetro de 12 mm y una longitud de 190 mm, que se adaptan a las condiciones de diseño de nuestro elevador de cangilones.

6.9 Sistema de automatización y de control

El equipo de desinfección de semilla tendrá un funcionamiento semiautomático, para ello se hace imprescindible la utilización de elementos eléctricos, electromecánicos y electrónicos que permitan la automatización de los sistemas que presenta el equipo.

Para el funcionamiento del sistema eléctrico comúnmente se dispone en las plantas industriales y semindustriales las siguientes características de corriente eléctrica:

Tabla 38. Características de corriente eléctrica

Tipo de corriente	Corriente alterna 60 Hz 3 fases + neutro
Voltaje fase-fase	220 V
Voltaje fase-neutro	127 V

Fuente: Autores

En base a los datos de la Tabla 38 se realiza la selección de los elementos para los diversos sistemas cabe recalcar que puede hacerse necesario el uso de adaptadores en algunos elementos que trabajen a voltajes bajos.

6.9.1 Elementos electrónicos

6.9.1.1 MicroPLC Zelio. El PLC (Programmable Logic Controller) es un equipo electrónico diseñado con una memoria programable para almacenar internamente instrucciones específicas que controlan en tiempo real y en ambiente industria al un proceso secuencial, ofrecen muchas ventajas sobre otros dispositivos de control,

controlan la lógica de funcionamiento de máquinas y procesos industriales, también realizan operaciones aritméticas para manejar señales y realizar estrategias de control.

Al interior de un PLC se produce una reacción a la información recibida por los elementos captadores del sistema automatizado como son los (finales de carrera, células fotoeléctricas, sensores, encoders, teclados, etc.) y actúa sobre los elementos accionadores de la instalación como por ejemplo: motores, contactores electroválvulas, indicadores luminosos, etc. En definitiva, se trata de un lazo cerrado entre un dispositivo que controla (PLC) y la instalación en general.

En muchos procesos productivos y en varias aplicaciones diarias se tiene la necesidad de automatizar el funcionamiento de un sistema pequeño. Esto se lo consigue utilizando un temporizador ZelioLogic, llamado también Relé Inteligente, este PLC nos permite programar pequeños sistemas de automatismo.(LOPEZ, 2008)

Figura 80. PLC Zelio



Fuente: Catálogo Schneider electric

Estructura básica de un PLC

Un controlador lógico programable está constituido por un conjunto de tarjetas o circuitos impresos, sobre los cuales están ubicados componentes electrónicos.

El controlador Programable tiene la estructura típica de muchos sistemas programables, como por ejemplo una microcomputadora

Su hardware básico está constituido por una:

Fuente de alimentación

Cuyo trabajo es suministrar la energía a la CPU y demás tarjetas según la configuración del PLC

Unidad de procesamiento central (CPU)

Es el cerebro del controlador donde se almacena datos e instrucciones del programa, lee los estados de las señales de entrada, ejecuta el programa de control y administra las salidas, el procesamiento es permanente y a gran velocidad, por lo tanto es la parte más compleja e indispensable del PLC.

Módulos de interfaces de entradas/salidas (E/S)

Son los que proporciona el vínculo entre la CPU del controlador y los dispositivos de campo del sistema. A través de ellos se origina el intercambio de información ya sea para la adquisición de datos o para el mando de control de máquinas del proceso, existen dos tipos de módulos:

- Módulos de entradas y salidas discretas
- Módulos de entrada y salidas analógicas

Módulo de memorias

Son dispositivos destinados a guardar información de manera provisional o permanente. Se cuenta con dos tipos de memorias:

- Volátiles (RAM) almacenan información provisionalmente.
- No volátiles (EPROM y EEPROM) almacenan información permanente.

Unidad de programación

Los terminales de programación, son el medio de comunicación entre el hombre y la máquina; estos aparatos están constituidos por teclados y dispositivos de visualización

6.9.1.2 Programación del microPLCZelio. El microPLCZelio presenta los siguientes componentes básicos, para la programación del equipo de desinfección de semillas.

- Entrada I1
- Salida [Q1 y [M1(que activará al motor)
- Temporizadores TT1, TT2, TT3

Los valores de los tiempos no varían de acuerdo al tipo de semilla como por ejemplo para la semilla de alfalfa

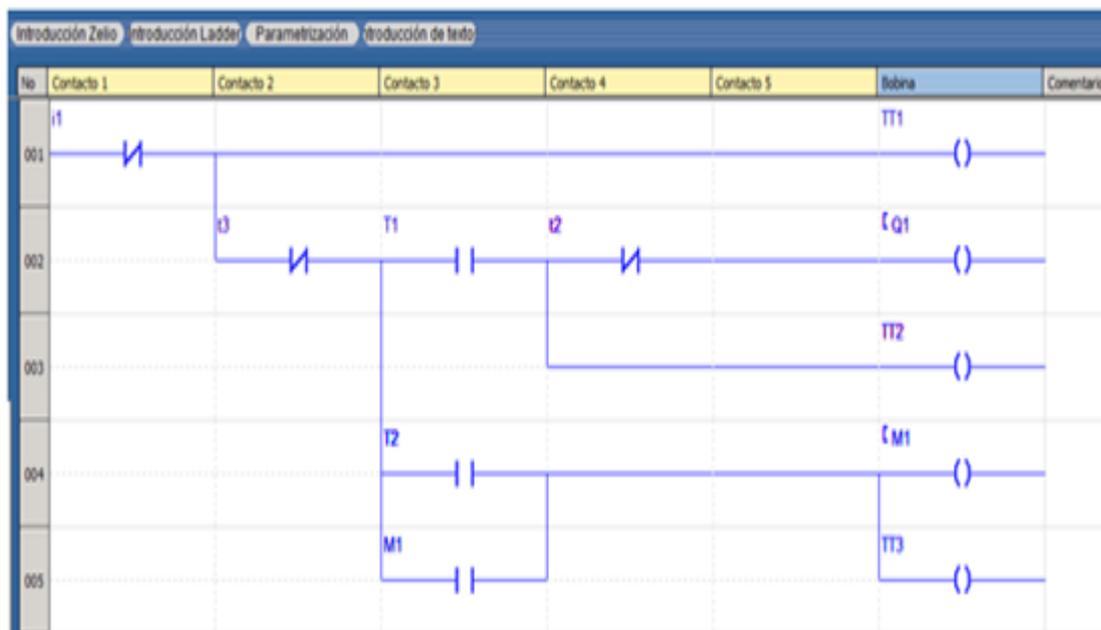
TT1. Es el tiempo en que tarda en llegar la semilla hacia el cilindro mezclador, este tiempo es aproximadamente entre 8 segundos.

TT2. Es el tiempo en que el cilindro neumático acciona el gatillo de la pistola pulverizadora para aplicar el desinfectante sobre la semilla que ingresa al cilindro mezclador. Este tiempo es de 2.5 segundos.

TT3. Es un tiempo de paro, en que el cilindro neumático deja de accionar el gatillo de la pistola pulverizadora, no hay pulverización en este instante.

A continuación se presenta la programación del microPLC Zelio.

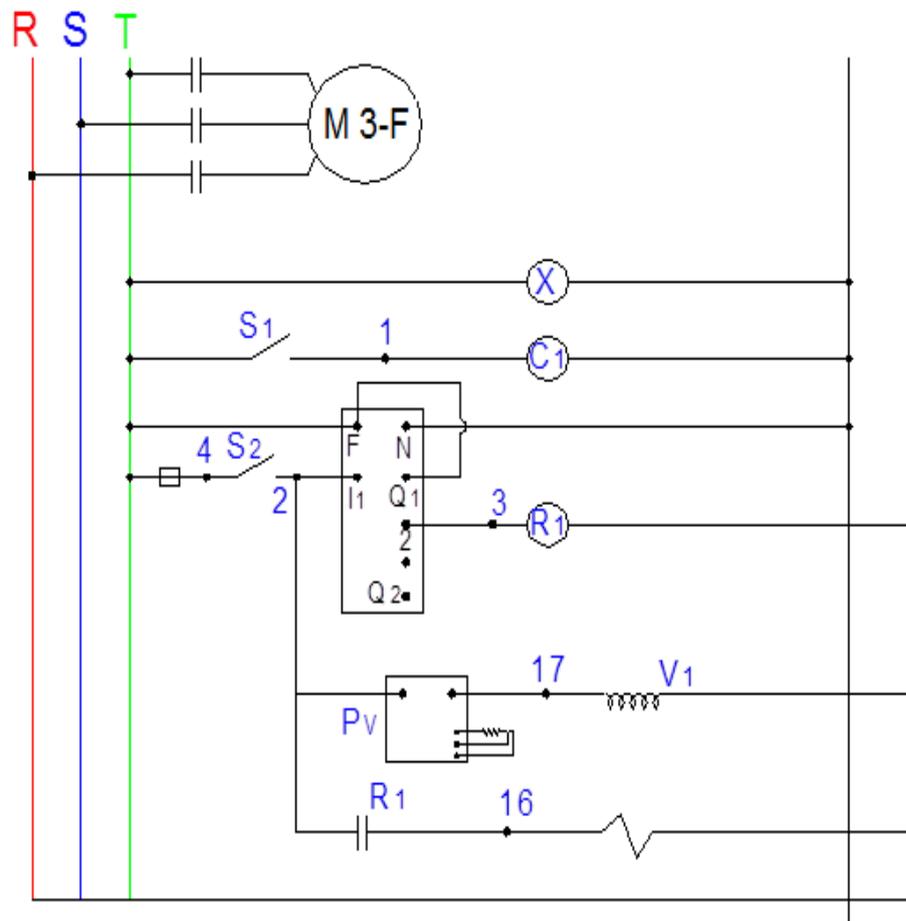
Figura 81. Programación del microPLC Zelio.



Fuente: Autores

El diagrama de potencia se lo realizo en el sistema americano.

Figura 82. Diagrama de potencia



Fuente: Autores

6.9.1.3 Elementos básicos de la caja de control. La caja de control consta de los siguientes elementos con sus respectivas características:

Tabla 39. MicroPLC Zelio SRI A101FU

<p>Potencia: 100....240 VAC 50/60Hz</p>	
<p>Salida: 24VDC, 8A 240VAC, 8^a</p>	
<p>Contactor Tripolar</p>	

Fuente: Autores

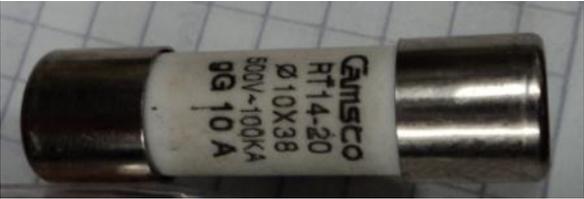
Tabla 40. Contactor LC1 D09

LC1-D09...D150 (bobinas D115 y D150 antiparasitadas de fábrica)								
Vac.	24	48	110	220	240	380	440	
50/60Hz	B7	E7	F7	M7	U7	Q7	R7	
LC1-D09...D95 (bobinas antiparasitadas de fábrica, 0,7...1,25 Uc)								
Vcc	12	24	48	72	110	125	220	250 440
	JD	BD	ED	SD	FD	GD	MD	UD RD



Fuente: Autores

Tabla 41. Fusible CAMSCO

Fusible CAMSCO	
RT14-20	
φ10X38	
500V-100KA	
10A	
Base CSC fusible	
AC115V	

Fuente: Autores

Tabla 42. Selector

<p>Para encendido del motorreductor y el vibrador electromagnético</p>	
--	--

Fuente: Autores

Placa de vibración americana

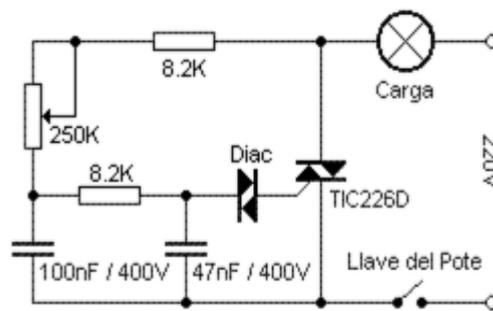
O también llamado Módulo de vibración es utilizado para el control de la fuerza de vibración en los vibradores electromecánicos se utiliza un módulo de vibración conocido comercialmente como circuito DIMMER.

El TRIAC controla el paso de la corriente alterna a la carga conmutando entre los estados de conducción (pasa corriente) y corte (no pasa corriente) durante los semiciclos negativos y positivos de la señal de alimentación (110 / 220 voltios.), la señal de corriente alterna que viene por el tomacorrientes de nuestras casas.

El TRIAC se disparará cuando el voltaje entre el condensador y el potenciómetro (conectado a la compuerta del TRIAC) sea el adecuado. Hay que aclarar que el condensador en un circuito de corriente alterna (como éste) tiene su voltaje atrasado con respecto a la señal original, y cambiando el valor del potenciómetro, se modifica la razón de carga del condensador, el atraso que tiene y por ende el desfase con la señal alterna original. Esto causa que se pueda tener control sobre la cantidad de corriente que pasa a la carga y así la potencia que se le aplica.

Este circuito se lo puede conseguir comercialmente en un laboratorio electrónico sin mayores complicaciones y se puede aplicar sin problemas para el control de vibración de la máquina envasadora de semillas. (LOPEZ, 2008)

Figura 83. Circuito Dimmer.



Fuente:Deysi López, Diseño, construcción y pruebas de una máquina envasadora de semillas de alfalfa y trébol

6.10 Costos

En el presente tema se realiza la revisión detallada de cada actividad relacionada con la construcción de los siguientes equipos:

- Un equipo de desinfección de semillas de 150 kg/h de procesamiento.
- Un elevador de cangilones para semillas de 150 kg/h de procesamiento.

6.10.1 Costos directos.

- Materiales y accesorios
- Mano de obra
- Equipos y herramientas

6.10.2 Costos indirectos.

- Costo ingenieril
- Utilidad
- Imprevistos

A continuación se mostrarán los detalles de precios de los materiales y accesorios para cada uno de los equipos a concebirse.

6.11 Equipo de desinfección

6.11.1 Materiales y accesorios

Materiales y accesorios mecánicos

Tabla 43. Costos materiales y accesorios mecánicos.

EJES Y TUBOS			
ACERO INOXIDABLE AISI 304			
Detalle	Diámetro (in)	Longitud (mm)	VALOR
Varilla	5/16	1000	14
Eje	3/4	1800	28
			42
PLANCHAS Y PLATINAS			
1 PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304	Espesor (mm)		VALOR
	1		296
			296
PLATINAS ACERO INOXIDABLE AISI 304	AnchoxEspesor (mm)		Longitud (mm)
	50x3		120
	50x3		980
	195x4		400
	130x2		190
	160x6		100
	40x4		40
	37x40		255

Tabla 43. (Continuación)

PERFILES			
TUBO ESTRUCTURAL	Dimensión (mm)	Longitud (mm)	VALOR (\$)
ASTM A-500	40X40X2	12000	34,00
	34,00		34,00

PERNOS DE ACERO INOXIDABLE AISI 304			
Cantidad	Medida (in)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
16	5/16 X 1	0,24	4,32
2	5/16 X 3/4	0,20	0,40
12	3/8 X 1 1/2	0,45	5,40
4	5/16 X 1/2	0,36	1,44
4	1/4 X 1/2	0,11	0,44
			12,00

PERNOS Y PRISIONEROS DE ACERO SAE-5				
Cantidad	Detalle	Medida (in)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
2	Perno 3/4	3/4 X 2	0,70	1,40
2	Perno 3/4	3/4 X 3	0,78	1,56
6	Prisionero 5/16	5/16 X 5/16	0,12	0,72
2	Prisionero 5/16	5/16 X 3/8	0,12	0,24
				3,92
TUERCAS Y ARANDELAS DE ACERO SAE-5				
Cantidad	Detalle	Medida (in)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
4	Tuerca hexagonal 3/4	3/4	0,03	0,12
12	Arandela plana 5/16	5/16	0,10	1,20
4	Arandelña plana 3/8	3/8	0,03	0,12
				1,32
TUERCAS Y ARANDELAS DE ACERO INOXIDABLE AISI 304				
Cantidad	Detalle	Medida (in)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
12	Tuerca hexagonal 3/8	3/8	0,15	1,80
4	Tuerca hexagonal 5/16	5/16	0,22	0,88
4	Tuerca hexagonal 1/4	1/4	0,06	0,24
				2,92

Tabla 43. (Continuación)

RODAMIENTOS Y CHUMACERAS						
Cantidad	Detalle	Marca	Código	Di / De (mm)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
4	Chumacera de piso	NTN	UPC 204- 12KDF	19	11,00	44,00
						44,00

SOPORTES EN FUNDICIÓN (PATAS)					
Cantidad	Detalle	Material	Maquinado	Valor Unitario	VALOR TOTAL
4	Patas (soporte de la máquina)	Aluminio	Torneado y Limado	8	32,00
					32,00

POLEAS DE ALUMINIO				
Cantidad	Medida (in)	Detalle	Valor Unitario	VALOR TOTAL
4	2 X 1	Polea Simple	4,00	16,00
				16,00

RECUBRIMIENTO DE POLEAS					
Cantidad	Detalle	Material	Maquinado	Valor Unitario	VALOR TOTAL
4	Recubrimiento	Caucho (neopreno)	Encauchado	5,45	21,80
					21,80

CATALINAS DIN 8181-1						
Cantidad	Detalle	Marca	Número de dientes	D (mm)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
1	Catalina	KANA	16	19	8,00	8,00
1	Catalina	KANA	36	19	18,00	18,00
						26,00

Tabla 43. (Continuación)

CADENA						
Cantidad	Detalle	Marca	Código	Longitud (mm)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
1	Cadena simple	KANA	N40	1000	13,00	13,00
						13,00

Fuente: Autores

El costo total en materiales mecánicos para el equipo de desinfección es de **574,96 USD**.

Materiales y accesorios eléctricos y electrónicos.

A continuación se presentan las tablas con los respectivos valores de los accesorios eléctricos y electrónicos.

Tabla 44. Costos materiales y accesorios eléctricos y electrónicos.

LISTA DE MATERIALES ELÉCTRICOS				
CANT.	Detalle	Marca/Modelo	Valor Unitario	VALOR TOTAL
1	Vibrador electromagnético	SYNTRON F-T01A	1200	1200
1	PLC	ZELIO	283	283
1	Contactador	TELEMECANIQUE	77,6	77,6
1	Relé electromagnético	RELECO DC 24V	17	17
1	Porta relés	RELECO S7-M	6,4	6,4
1	Fusible	TELEMECANIQUE	0,5	0,5
1	Portafusible	TELEMECANIQUE	1,54	1,54
1	Lámpara indicadora		3	3
1	Control de vibración	TELEMECANIQUE	80	80
2	Selector 2 posiciones	TELEMECANIQUE XB4-BD21	3,3	6,6
1	Bornera de 6 (600V-15A)	TB-1506	2	2
1	Motorreductor trifásico	BOUER 1/2 HP	750	750
1	Electroválvula monoestable (1/8) 5X2	AIRTAC/47110-06	57	57
300	Amarra plástica 15cm.(1 funda)		0,015	4,5
1	Caja de control	150x25x10 cm	10,08	10,08
				2499,22

Tabla 44. (Continuación)

CABLE ELÉCTRICO				
Tipo	Calibre (AWG)	Longitud (m)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
2 en 1	18	1	1,5	1,5
3 en 1	18	1	2	2
				3,5

Fuente: Autores

El costo total en materiales eléctricos y electrónicos para el equipo de desinfección es de **2502,72 USD.**

Materiales y accesorios neumáticos

Tabla 45. Costos materiales neumáticos.

NEUMÁTICOS				
Cantidad	Detalle	Marca/ Modelo	Valor Unitario	VALOR TOTAL
1	Cilindro (7 bar)	AIRTAC M116x10-S	40,00	40,00
1	UTM	AIRTAC	75,00	75,00
1	Pistola pulverizadora	F-75	11,89	11,89
				126,89

ACOPLES NEUMÁTICOS				
Cant.	Tipo	Medida	Valor Unitario	VALOR TOTAL
1	Acoples rápidos de bronce	1/4 x 6mm	3,00	3,00
1	Codo rápido de caucho	1/4 x 6mm	3,00	3,00
1	Tee de caucho	1/4 in	3,00	3,00
1	Silenciador bronce	1/8 in	3,00	3,00
5	Racor recto de bronce	1/8 x 6mm	2,00	10,00
1	Racor recto de bronce	5mm	3,00	3,00
1	Codo rápido de bronce	1/8 x 6mm	3,00	3,00
1	Racor recto de bronce	1/4 x 6mm	3,00	3,00

Tabla 45.(Continuación)

1	Racor recto de bronce	5mm	3,00	3,00
1	Codo rápido de caucho	1/8 x 6mm	3,00	3,00
2	Uniones de bronce	1/4	3,00	6,00
1	Racor recto acero inoxidable	5mm	3,00	3,00
				46,00

MANGUERA NEUMÁTICA			
No	Longitud (m)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
6	2	2	4,00
			4,00

Fuente: Autores

El costo total en materiales neumáticos para el equipo de desinfección es de **176,89 USD.**

El costo total por materiales para el equipo de desinfección de semillas será:

Tabla 46.Costo total por materiales.

Materiales	Valor (USD)
Mecánicos	574,96
Eléctricos y electrónicos	2502,72
Neumáticos	176,89
Subtotal	3254,57

Fuente: Autores

Análisis de costos por maquinaria y equipos utilizados.

Tabla 47.Costos por maquinaria y equipos utilizados.

Descripción	Costoxhora (USD/h)	Horas equipo (h)	Costo
Dobladora	1,75	10	17,5
Torno	13,50	6	81,00
Cizalla	3,30	5	16,5
Taladro (hora)	1,75	7	12,25
Soldadora MIG	5,25	20	105,00
Soldadora TIG	4,25	15	63,75

Tabla 47.(Continuación)

Amoladora	1,20	5	6,00
Equipo de pintura	10,10	5	50,5
Otros equipos			50,00
			402,63

Fuente: Autores

Costos por mano de obra

A continuación se presenta el número de operadores para la construcción de los equipos.

Tabla 48.Costos por mano de obra

Trabajador	N. de horas	Costo USD / hora	Total (USD)
Maestro mecánico	100	3,00	300,00
Ayudante mecánico	100	1,00	100,00
Técnico electrónico/eléctrico	10	3,00	30,00
TOTAL			430,00

Fuente: Autores

Costos por transporte

Tabla 49.Costos por transporte

Operaciones	Cantidad	Detalle	Precio	Total (USD)
Transporte de materiales al taller	20	Hora	1,25	25,00
Transporte de la máquina a la planta	7	hora	1,25	8,75
Otros	5	hora	1,25	6,25
				40,00

Fuente: Autores

El valor total por costos directos del equipo de desinfección es:

Tabla 50.Valor total costos directos

Costos por	Valor
Materiales y accesorios	4678,03
Maquinaria y equipo utilizado	402,63
Mano de obra	430,00
Transporte	40,00
TOTAL COSTOS DIRECTOS	5550,66

Fuente: Autores

Costos indirectos

Tabla 51. Costos indirectos

Detalle	Cantidad (% CD)	Valor (USD)
Ingenieriles (Diseño y supervisión)	15 %	832,599
Imprevistos	5%	277,53
Utilidad	0	0
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		1110,129

Fuente: Autores

Por ende, el costo total del equipo de desinfección, viene dado por la suma de los costos directos e indirectos:

Tabla 52. Costo total del equipo de desinfección

Detalle	Valor (USD)
Costo directo	5550,66
Costo indirecto	1110,129
TOTAL COSTO DEL EQUIPO	6660,79

Fuente: Autores

6.12 Elevador de Cangilones

6.12.1 Materiales y accesorios

Materiales y accesorios mecánicos

Tabla 53. Costos materiales y accesorios mecánicos elevador

EJES Y TUBOS			
ACERO DE TRANSMISIÓN AISI 1018			
Detalle	Diámetro (in)	Longitud (mm)	VALOR
Eje	3/4	280	2,48
Eje	1	280	3,30
			5,78

Tabla 53.(Continuación)

PLANCHAS Y PLATINAS			
1 PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304	Espesor (mm)	VALOR	
	1	186,00	
	186,00		
PLATINAS			
ACERO INOXIDABLE AISI 304	AnchoxEspesor (mm)	Longitud (mm)	VALOR
	300x4	250	30,00
	150x4	350	10,00
	40,00		
PERFILES			
TUBO ESTRUCTURAL ASTM A-500	Dimensión (mm)	Longitud (mm)	VALOR
	40X40X2	2000	17,00
PERFIL L Laminado		15000	12,00
			29,00

PERNOS DE ACERO INOXIDABLE AISI 304			
Cantidad	Medida (in)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
10	5/16 X 1	0,24	2,40
2	5/16 X 3/4	0,20	0,40
4	3/8 X 1 1/2	0,45	1,80
4	5/16 X 1/2	0,36	1,44
4	1/4 X 1/2	0,11	0,44
			6,48

PERNOS Y TUERCAS DE ACERO INOXIDABLE PARA CANGILONES AISI 304				
Cantidad	Medida (in)	Detalle	Valor Unitario	VALOR TOTAL
100	1/4 X 1	Zincado	0,3646	36,46
				36,46

Tabla 53.(Continuación)

PERNOS Y PRISIONEROS DE ACERO				
Cantidad	Detalle	Medida (in)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
4	Perno3/4	3/4 X 2	0,70	2,80
2	Prisionero5/16	5/16 X 5/16	0,12	0,24
2	Prisionero5/16	5/16 X 3/8	0,12	0,24
				3,92

TUERCAS Y ARANDELAS DE ACERO INOXIDABLE AISI 304				
Cantidad	Detalle	Medida (in)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
4	Tuerca3/8	3/8	0,15	0,60
4	Tuerca5/16	5/16	0,22	0,88
4	Tuerca 1/4	1/4	0,06	0,24
				1,72

TUERCAS Y ARANDELAS DE ACERO SAE-5				
Cantidad	Detalle	Medida (in)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
4	Tuercahexagonal 3/4	3/4	0,15	0,60
12	Arandela plana 5/16	5/16	0,10	1,20
4	Arandela plana 3/8	3/8	0,03	0,12
				1,32

RODAMIENTOS Y CHUMACERAS						
Cantidad	Detalle	Marca	Código	Di / De (mm)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
2	Chumacera de pared	NTN	UPC 204- 12KDF	25,4	7,50	15,00
2	Chumacera con tensor	17-75	VTWS- 200	19	10,00	20,00
						35,00

Tabla 53.(Continuación)

POLEA DE ALUMINIO				
Cantidad	Medida (in)	Detalle	Valor Unitario	VALOR TOTAL
1	2 X 1	Polea Simple	4,00	4,00
				4,00

POLEA DE HIERRO FUNDIDO				
Cantidad	Medida (in)	Detalle	Valor Unitario	VALOR TOTAL
1	16 X 1	Polea Serie 1VP	60,00	60,00
				60,00

TAMBORES DE HIERRO FUNDIDO				
Cantidad	Medida (mm)	Detalle	Valor Unitario	VALOR TOTAL
1	130 X 100	Tambor con recubrimiento de Neopreno	25,00	25,00
1	130 X 100	Tambor autolimpiable	25,00	25,00
				50,00

Fuente: Autores

El costo total en materiales mecánicos para el elevador de cangilones es de **459,68 USD.**

Materiales y accesorios de elevación

Tabla 54.Costos materiales y accesorios de elevación

CANGILONES						
Cantidad	Detalle	Marca	Código	Tamaño (in)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
25	Cangilones de polietileno	TAPCO	CC-HD	4 x 3	3,19	79,75
						79,75

Tabla 54. (Continuación)

BANDA PARA CANGILONES						
Cantidad	Detalle	Marca	Código	Longitud (m)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
1	Banda ENL 252, 3 Lonas	Icobanda	ENL	6	20,28	121,73
						121,73

Fuente: Autores

El costo total en materiales de elevación para el elevador de cangilones es de **201,48 USD.**

Materiales y accesorios eléctricos y electrónicos

Tabla 55. Costos materiales y accesorios eléctricos y electrónicos

LISTA DE MATERIALES ELÉCTRICOS				
CANT.	Detalle	Marca/ Modelo	Valor Unitario	VALOR TOTAL
1	Pulsador trifásico		8,00	8,00
1	Motor trifásico 0,37 kW IM B3 (IM 1001)	AEG/Jaula de ardilla	750,00	750,00
				758,00

CABLE ELÉCTRICO				
Tipo	Calibre (AWG)	Longitud (m)	Valor Unitario	VALOR TOTAL
3 en 1	18	2	2	4,00
				4,00

Fuente: Autores

El costo total en materiales eléctricos y electrónicos para el elevador de cangilones es de **762,00 USD.**

El costo total por materiales para el elevador de cangilones será:

Tabla 56. Costo total por materiales

Materiales	Valor (USD)
Mecánicos	459,68
De elevación	201,78
Eléctricos y electrónicos	762,00
Total	1423,46

Fuente: Autores

Análisis de costos por maquinaria y equipos utilizados

Tabla 57. Costos por maquinaria y equipos utilizados

Descripción	Costo hora (USD/h)	Horas equipo (h)	Costo
Dobladora	1,75	10	17,5
Torno	13,50	6	81,00
Cizalla	3,30	5	16,5
Taladro (hora)	1,75	7	12,25
Soldadora MIG	5,25	20	105,00
Soldadora TIG	4,25	15	63,75
Amoladora	1,20	5	6,00
Equipo de pintura	10,10	5	50,5
Otros equipos			50,00
			402,63

Fuente: Autores

Costos por mano de obra

Tabla 58. Costos por mano de obra

Trabajador	N. de horas	Costo USD / hora	Total (USD)
Maestro mecánico	50	3,00	150,00
Ayudante mecánico	50	1,00	50,00
Técnico electrónico/eléctrico	5	3,00	15,00
		TOTAL	215,00

Fuente: Autores

Costos por transporte

Tabla 59. Costos por transporte

Operaciones	Cantidad	Detalle	Precio Unit.	Total
Transporte de materiales al taller	10	Hora	1,25	12,50
Transporte de la máquina a la planta	7	Hora	1,25	8,75
Otros	5	Hora	1,25	6,25
				27,50

Fuente: Autores

El valor total por costos directos del elevador de cangilones es:

Tabla 60. Valor total costos directos

Costos por	Valor
Materiales y accesorios	1423,46
Maquinaria y equipo utilizado	402,63
Mano de obra	215,00
Transporte	27,50
TOTAL COSTOS DIRECTOS	2068,59

Fuente: Autores

Costos indirectos

Tabla 61. Costos indirectos

Detalle	Cantidad (% CD)	Valor (USD)
Ingenieriles (Diseño y supervisión)	15 %	310,29
Imprevistos	5%	103,43
Utilidad	0	0
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		413,72

Fuente: Autores

Por ende, el costo total del equipo del elevador de cangilones, viene dado por la suma de los costos directos e indirectos.

Tabla 62. Costo total del elevador de cangilones

Detalle	Valor (USD)
Costo directo	2068,59
Costo indirecto	413,72
TOTAL COSTO DEL EQUIPO	2482,3

Fuente: Autores

6.13 Viabilidad del proyecto

Inversión inicial del proyecto. Se estiman todos los rubros concernientes a maquinaria, capital de operación, equipo de seguridad y otros. Los rubros de maquinaria, capital de operación y otros fueron calculados anteriormente, por ende, se estima el costo en equipo de seguridad obteniéndose la siguiente tabla:

Tabla 63. Costo total de la inversión

Equipo	Valor (USD)
Equipos (equipo de desinfección y elevador de cangilones)	9143,09
Equipo de seguridad	100,00
Otros	150,00
Total	9393,09

Fuente: Autores

El costo total de la inversión arroja como resultado un valor de **9393,09 USD** (nueve mil trecientos noventa y tres dólares con nueve centavos).

6.14 Análisis de costos por operación y mantenimiento

De acuerdo al diseño realizado para el equipo de desinfección de semillas y para el elevador de cangilones podemos hallar un valor aproximado en cuanto se refiere a costos por operación y mantenimiento, cabe indicar que, un verdadero análisis solo se podrá obtener mediante datos estadísticos tomados en un rango de tiempo considerable de funcionamiento en la planta procesadora de semillas.

Consideramos un período de trabajo de la máquina al día de 8 horas.

También consideramos como días laborables en un mes un valor de 22 días.

Los datos de consumos eléctricos se toman de los respectivos catálogos. Se tiene:

Tabla 64. Consumo eléctrico

Consumo eléctrico			
Detalle	Ws	Horas de trabajo	kW.h al mes
Motor trifásico del elevador	370	176	65,12
Vibrador electromagnético	60	80	4,80

Tabla 64. (Continuación)

Motor compresor	1492	55	82,06
Motor-reductor desinfectadora	500	176	88,00
Elementos electrónicos	50	176	8,80
		Total	248,78

Fuente: Autores

En nuestro país se tiene un costo promedio de energía eléctrica de 0,11 usd por kW.h; por tanto, el valor mensual a pagar por operación de los equipos será de 27,37 USD.

Otros datos a considerar serán el pago por operario, costo de desinfectante y por materiales propios de mantenimiento como grasa y wype. Los valores se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 65. Costos por operación y mantenimiento

Valores por operación de los equipos en un mes			
Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Total
Consumo eléctrico	248,78	0,11	27,37
Operario	1	550,00	550,00
Consumo de desinfectante para 26,4 toneladas/mes	80	39,50	3160,00
Grasa	1	5,00	5,00
Aceite neumático	1	5,00	5,00
Materiales para limpieza	1	5,00	5,00
Total			3752,37

Fuente: Autores

Por lo tanto se tendrá un costo mensual por operación y mantenimiento de **3752,37 USD**.

6.15 Salvamento de la máquina

Para efectos de cálculos de rentabilidad, se hace necesaria la estimación de un valor de salvamento del equipo de desinfección de semillas y del elevador de cangilones al momento en el que haya terminado su vida legal contable. Se estima un valor de salvamento del 10 % del costo de inversión en función de que los elementos constitutivos de los equipos, en especial los materiales electrónicos, seguirán funcionando al término de su vida útil contable. Se tiene:

Inversión: $P = 9774,06$ USD

Salvamento de la máquina: $S = 10\% * P$

$$S = 0,10 * 9774,06 \text{ USD}$$

$S = 977,406$ USD

6.16 Depreciación de la máquina

La depreciación es la pérdida de valor contable que sufren los activos fijos por el uso a que se les somete y su función productora de renta. En la medida en que avance el tiempo de servicio, decrece el valor contable de dichos activos.

La vida contable de un activo fijo depreciable comienza desde la fecha en que la empresa lo compra y lo empieza a explotar económicamente hasta la fecha en que se cumple su depreciación total.

Las leyes tributarias de nuestro país determinan una vida legal para maquinaria y equipos de 10 años.

El método de depreciación en línea recta es el método más utilizado y con este se supone que los activos se usan más o menos con la misma intensidad año por año, a lo largo de su vida útil; por tanto, la depreciación periódica debe ser del mismo monto.

Aplicando este método al equipo de desinfección de semillas y al elevador de cangilones se tiene una depreciación anual de:

Inversión: $P = 9774,06$ USD

Salvamento: $S = 977,406$ USD

Vida útil contable: $n = 10$ años

Depreciación anual:

$$Da = \frac{P - S}{n}$$

$$Da = 879,66 \text{ USD}$$

La depreciación anual, la depreciación acumulada y el valor en libros de los equipos al final de cada uno de los años de vida útil, se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 66. Depreciación anual de los equipos

Año	Depr. Anual(USD)	Depr. Acumulada(USD)	Valor en libros(USD)
0	0	0	9774,06
1	879,66	879,66	8894,40
2	879,66	1759,32	8014,74
3	879,66	2638,98	7135,08
4	879,66	3518,64	6255,42
5	879,66	4398,30	5375,76
6	879,66	5277,96	4496,10
7	879,66	6157,62	3616,44
8	879,66	7037,28	2736,78
9	879,66	7916,94	1857,12
10	879,66	8796,60	977,46

Fuente: Autores

6.17 Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR).

La tasa interna de retorno es un método para la evaluación financiera de proyectos que iguala el valor presente de los flujos de caja esperados con la inversión inicial.

Cuando la TIR es mayor que la tasa de interés de referencia, el rendimiento que obtendría el inversionista realizando la inversión es positivo, por lo tanto, conviene realizar la inversión, caso contrario el proyecto debe rechazarse.

Para realizar una evaluación de la TIR para los equipos se toma como referencia una tasa de interés de 7,75 % que es la tasa neta promedio anual a la que los bancos manejan los depósitos a plazo fijo.

Se consideran los siguientes datos:

Inversión:

$$P = 9774,06 \text{ USD}$$

Producción mínima mensual de la máquina:

$$\text{Período de trabajo: } P_t = 8 \text{ h/día}$$

$$\text{Producción: } P_h = 150 \text{ kg/h}$$

$$\text{Días al mes: } D_t = 22 \text{ días}$$

$$\text{Producción mensual: } P_m = P_t * P_h * D_t = 26400 \text{ kg/mes}$$

Ingreso anual:

$$\text{Costo por desinfección: } C_e = 0,17 \text{ USD}$$

$$\text{Ingreso mensual: } I_m = P_m * C_e = 4488,00 \text{ USD}$$

$$\text{Ingreso anual: } I_a = I_m * 12 = 53856,00 \text{ USD}$$

Egresos por costos de operación y mantenimiento:

$$\text{Egreso mensual: } E_m = 3752,37 \text{ USD}$$

$$\text{Egreso anual: } E_a = E_m * 12 = 45028,44 \text{ USD}$$

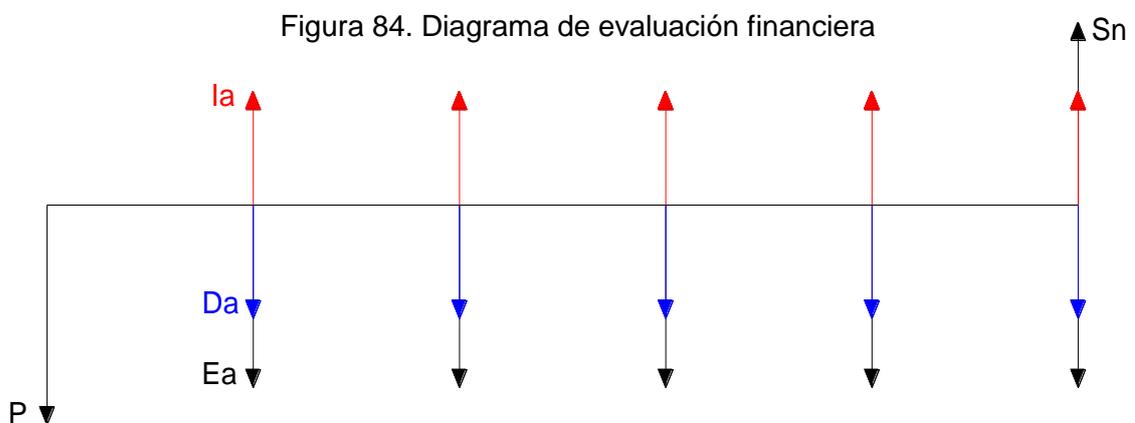
Tiempo a evaluar el proyecto:

$$N_p = 5 \text{ años}$$

Depreciación y salvamento:

$$\text{Depreciación anual: } D_a = 1759,33 \text{ USD}$$

$$\text{Valor de salvamento a 5 años: } S_n = 6255,42 \text{ USD.}$$



Fuente: Autores

En base a la figura anterior se determina el valor presente neto (VAN), necesario para el cálculo de la TIR.

$$VAN = VAI - VAE$$

$$VAN = Ia*(P/A, i \%, n) + Sn*(P/F, i \%, n) - P - Da*(P/A, i \%, n) - Ea*(P/A, i \%, n)$$

$$VAN = (Ia - Da - Ea)*(P/A, i \%, n) + Sn*(P/F, i \%, n) - P$$

$$VAN = 7068,23 (P/A, i \%, 5) + 6255,42 (P/F, i \%, 5) - 9774,06$$

Para $i = 70\%$

$$VAN = (7068,23) (1,328) + 6255,42 (0,070) - 9774,06$$

$$VAN = 50,43 \text{ USD}$$

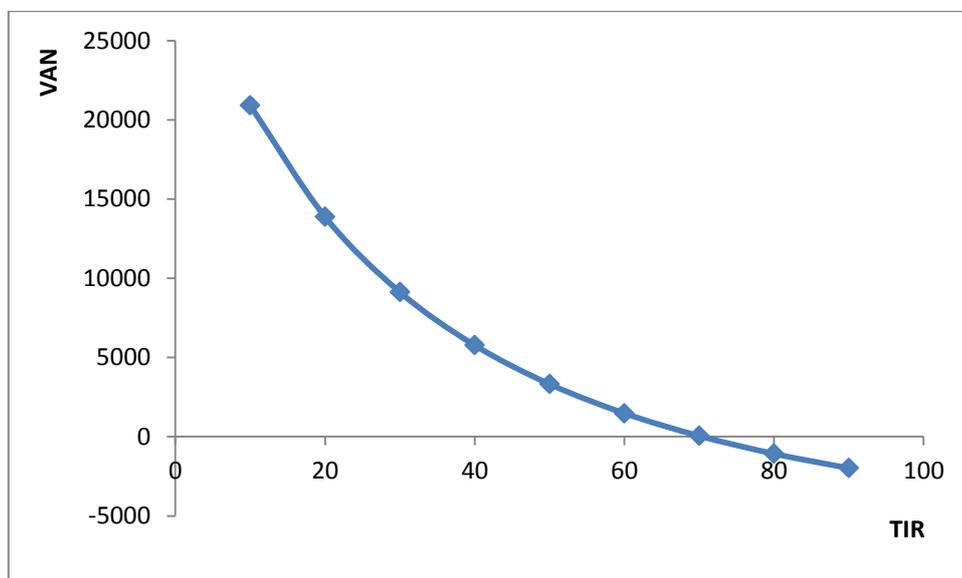
Para $i = 80\%$

$$VAN = (7068,23) (1,18) + 6255,42 (0,0529) - 9774,06$$

$$VAN = -1102,63 \text{ USD}$$

De la expresión anterior, se grafica el VAN a distintos intereses, con lo cual se halla la TIR.

Figura 85. Gráfica VAN-TIR



Fuente: Autores

El punto donde interseca la curva con el eje "x" es el valor de la TIR.

Para conocer el valor exacto de la TIR aplicamos la ecuación siguiente:

$$TIR = i\% + \frac{VAN(+)}{VAN(+) + VAN(-)} * \Delta\%$$

$$TIR = 70\% + \frac{50,43}{50,43 + 1102,63} * 10\%$$

$$TIR = 70,437 \%$$

El valor de la TIR es de 70,437%, mucho mayor al 7,75% exigido, por lo tanto el proyecto es aceptable.

6.18 Análisis del punto de equilibrio

El punto de equilibrio se presenta cuando el ingreso cubre los costos fijos y variables generados en la desinfección y transporte de semillas. Para la instalación de la planta de semillas mencionada en los antecedentes se tendrá un análisis real del punto de equilibrio contemplando todo el proceso anterior a la desinfección y transporte de semillas, sin embargo, en la presente sección se hace un análisis sólo para la desinfección utilizando los mismos datos de producción manejados para hallar la TIR.

Los datos de costos que se estiman para el primer año de funcionamiento detallan en la tabla siguiente:

Tabla 67. Costos fijos y costos variables de funcionamiento

Concepto	Costo Fijo	Costo Variable
Consumo eléctrico	-	328,44
Operario	6600,00	
Consumo de desinfectante para 26,4 toneladas/mes	-	37920,00
Grasa	-	60,00
Aceite neumático	-	60,00
Materiales para limpieza	60,00	-
Depreciación	879,66	-
Total	7539,66	38368,44

Fuente: Autores

Ingreso anual: $I_a = 53856,00$ USD

Aplicando la fórmula para el punto de equilibrio y reemplazando valores se tiene:

$$PE = \frac{\text{Costo fijo}}{1 - \frac{\text{Costo variable}}{\text{Ventas totales}}}$$

$$PE = 26218,2 \text{ USD}$$

Como el ingreso se calcula a razón de 0,17 usd por kilogramo desinfectado, la cantidad de semilla que se requiere tratar para llegar al punto de equilibrio son:

$$n_{\text{semilla (kg)}} = \frac{PE}{0.17 \text{ USD}}$$

$$n_{\text{semilla (kg)}} = 154224,7$$

Con una producción de 150 kg/h a un ritmo de 8 horas de trabajo por día y por 22 días por mes, se necesitará un tiempo de 5,84 meses para llegar al punto de equilibrio. Por lo tanto se tiene un proyecto bastante aceptable.

CAPÍTULO VII

7. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO Y MANTENIMIENTO

7.1 Tecnología de la construcción

La construcción de los equipos no representa gran dificultad, puede realizarse en un lugar que disponga de máquinas y herramientas apropiadas para llevar a cabo este objetivo.

Una vez que se ha diseñado, seleccionado los diferentes dispositivos y elementos de cada equipo (desinfectador y elevador de cangilones), se procede a la adquisición de los materiales para la construcción, las partes seleccionadas y los elementos de unión, una vez que se tienen todos los materiales se procede al montaje de los mismos.

7.1.1 Máquinas y herramientas. Para la realización de los elementos a construirse para el equipo de desinfección de semillas se emplean diversas maquinas como son: Torno, soldadora cortadora, dobladora y herramientas manuales como: taladro, machuelos, limas entre otros, además de instrumentos de medición como calibrador, escuadra y fluxómetro.

En la Tabla 68, Tabla 69, Tabla 70, se muestran las designaciones de cada una de las herramientas, máquinas herramientas e instrumentos de medición, para interpretar el cursograma de construcción de cada uno de los sistemas.

Tabla 68. Lista de herramientas

Designación	Herramientas
H	Machuelos
	Taladro
	Limas
	Esmeril
	Brocas
	Llaves
	Entenalla

Fuente: Autores

Tabla 69. Lista de máquinas herramientas y equipos

Designación	Maquinas H/Equipos
M1	Cortadora
M2	Dobladora
M3	Roladora
M4	Torno
M5	Taladro de banco
M6	Amoladora
M7	Equipo de suelda MIG
M8	Equipo de suelda TIG

Fuente: Autores

Tabla 70. Designación de instrumentos de medición y verificación

Designación	Herramientas
I	Calibrador
	Escuadra
	Regla metálica
	Nivel
	Fluxómetro

Fuente: Autores

7.1.2 Operaciones tecnológicas. A continuación se lista las diferentes operaciones tecnológicas que son necesarias para realizar el mecanizado en cada elemento que forman parte del equipo de desinfección y transporte de semillas.

Tabla 71. Operaciones tecnológicas

No.	Operación
1	Medición y trazado
2	Corte
3	Doblado
4	Amolado
5	Rolado
6	Soldado

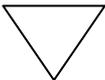
Tabla 71. (Continuación)

7	Taladrado
8	Torneado
9	Roscado
10	Empernado
11	Pintado
13	Fundición

Fuente: Autores

7.1.3 *Cursograma de construcción.* La simbología para realizar el cursograma de construcción se muestra en la Tabla 72.

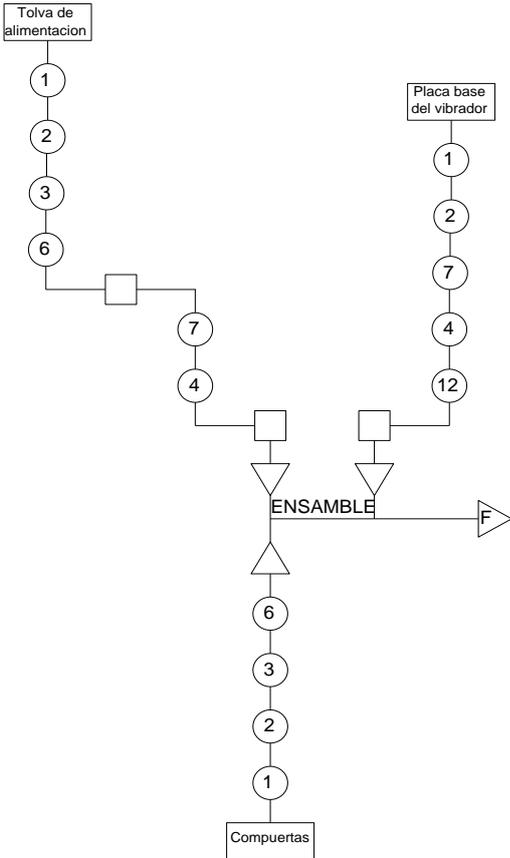
Tabla 72. Cursograma de construcción

Símbolo	Interpretación
	OPERACIÓN
	INSPECCIÓN
	TRASLADO
	TÉRMINO DEL PROCESO

Fuente:Autores

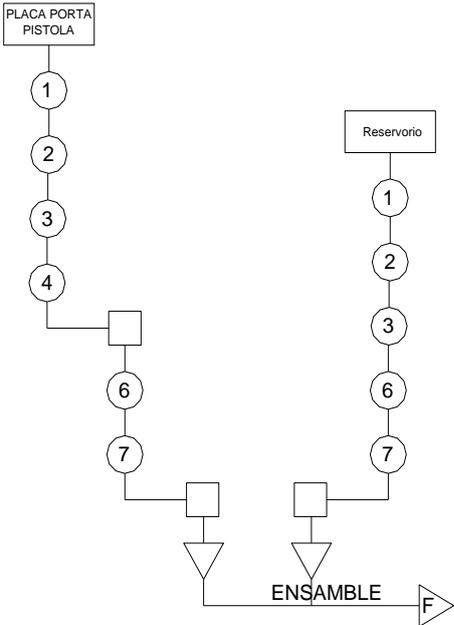
7.1.3.1 *Equipo de desinfección.* A continuación en las respectivas figuras se presentan los diversos cursogramas para la construcción del equipo de desinfección de semillas.

Figura 86. Cursograma Sistema de alimentación



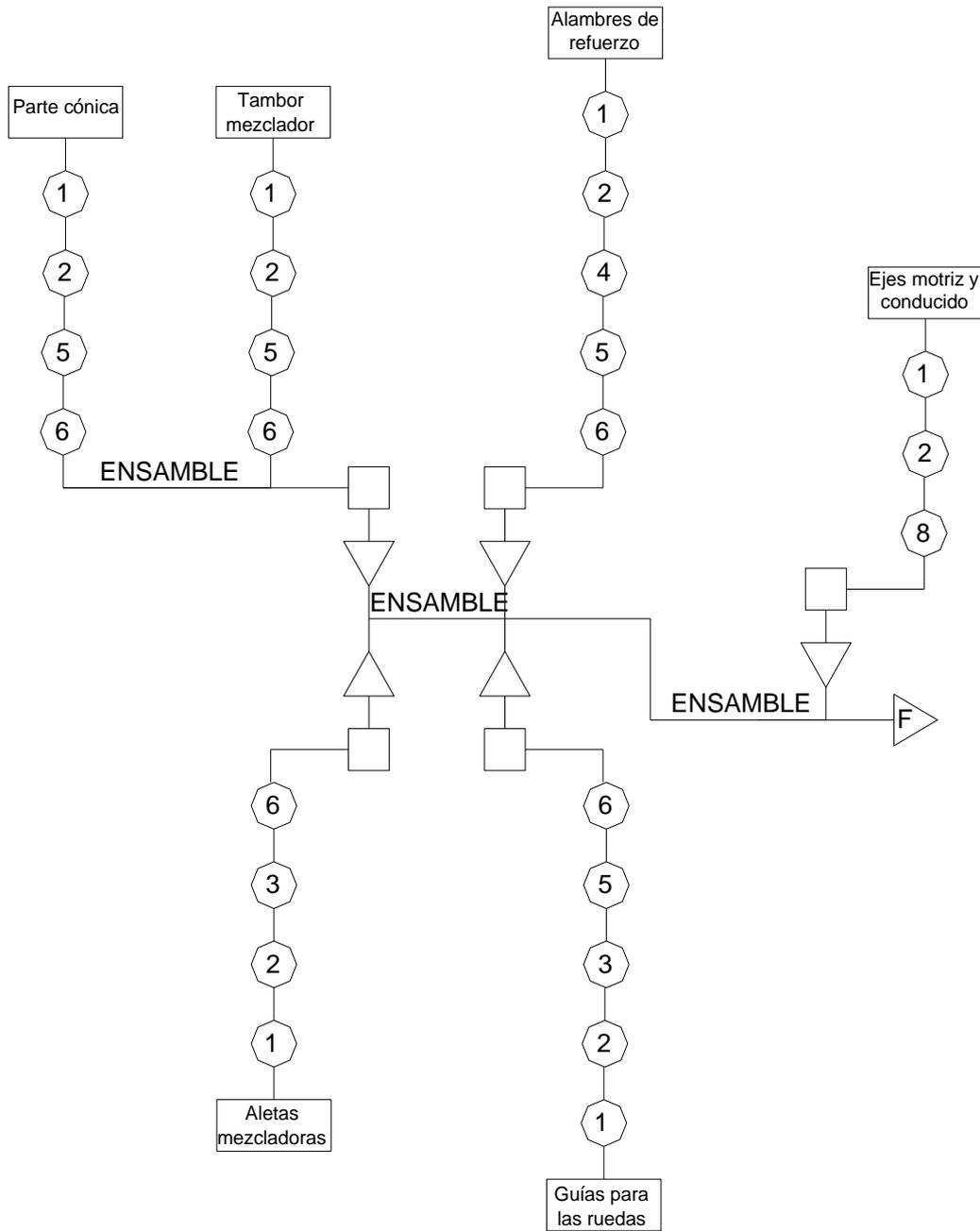
Fuente: Autores

Figura 87. Cursograma Sistema de aplicación y recubrimiento con el desinfectante



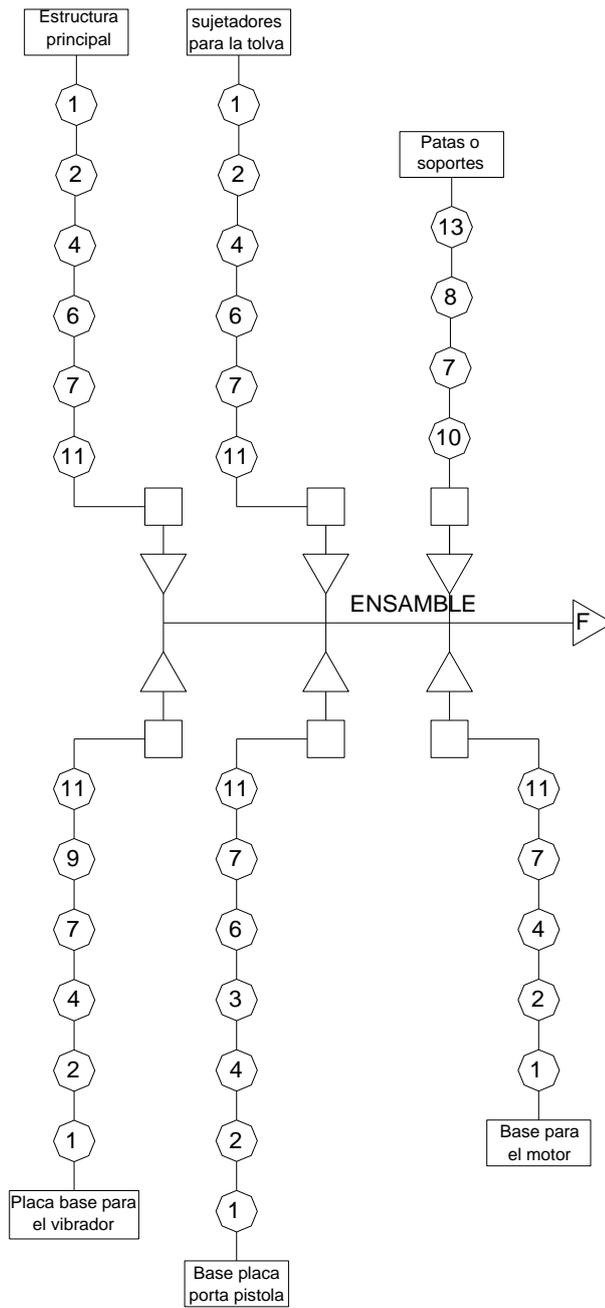
Fuente: Autores

Figura 88. Cursograma Sistema de Mezclado



Fuente: Autores

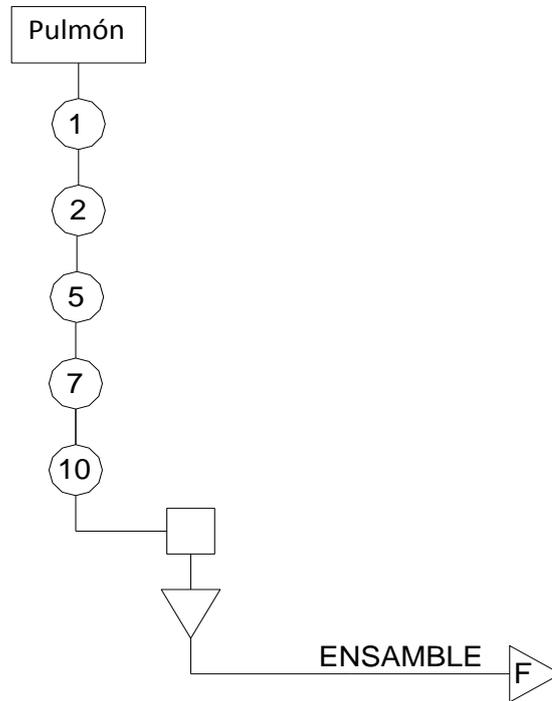
Figura 89. Cursograma Estructura



Fuente: Autores

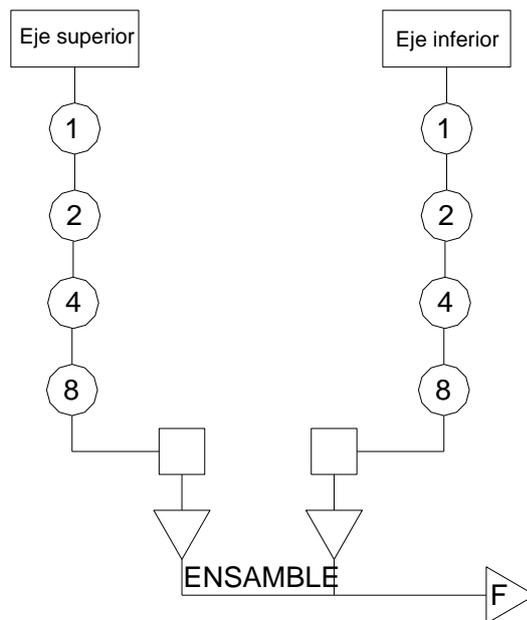
7.1.3.2 Equipo de transporte

Figura 90. Cursograma. Sistema de alimentación



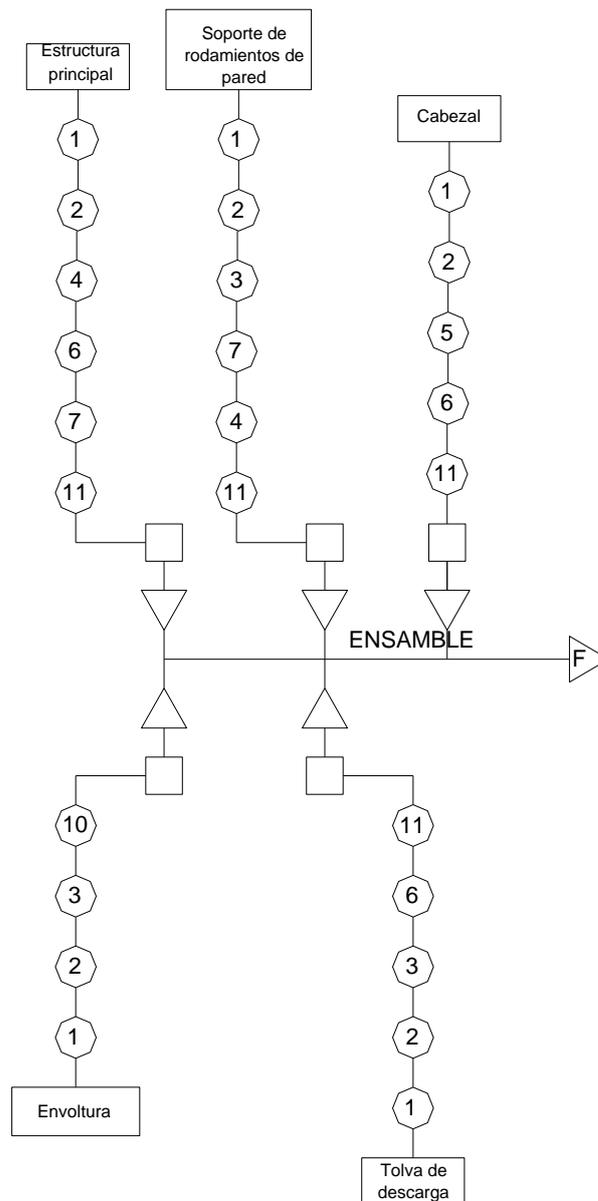
Fuente: Autores

Figura 91. Cursograma. Sistema de transmisión



Fuente: Autores

Figura 92. Cursograma. Estructura



Fuente: Autores

En los gráficos anteriores se indican los procesos tecnológicos aplicados a las piezas pertenecientes a cada sistema del equipo, todas las dimensiones y notas constructivas se encuentran detalladas en Planos.

7.1.4 Cronograma de actividades en la construcción

7.1.4.1 Equipo de desinfección

Tabla 73. Cronograma de actividades del equipo de desinfección de semilla

Día	Actividades
1 - 2	Adquisición de materiales para la construcción del equipo
3	Adquisición del sistema de transmisión Adquisición de la parte electrónica y eléctrica Adquisición de la parte neumática
4	Construcción de estructura principal en acero tubular estructural
5 - 6	Construcción del cilindro mezclador
7 - 8	Construcción de la tolva de alimentación Torneado de los ejes y montaje de las ruedas, la catalina se coloca en un solo eje
9	Ensamble de cada parte de la estructura con cada elemento de los sistemas
10	Montaje de la parte electrónica, eléctrica (microPLCZelio, contactor, fusibles, entre otros) con la neumática (electroválvula, cilindro, UTM, accesorios y tubería) Programación del microPLCZelio
11	Detalles vario
12	Pruebas de funcionamiento y ajustes

Fuente: Autores

7.1.4.2 Equipo de transporte

Tabla 74. Cronograma de actividades del elevador de cangilones

Día	Actividades
1 - 2	Adquisición de materiales para la construcción del equipo
3	Adquisición del sistema de transmisión Adquisición de la parte eléctrica
4	Construcción de estructura principal en acero tubular estructural
5 - 6	Construcción de la envoltura, base porta motor y el cabezal
7	Empernado de los cangilones a la banda

Tabla 74. (Continuación)

8 -	Construcción de la tolva de alimentación (pulmón) y descarga
9	Torneado de los ejes y montaje de las poleas, la banda.
9	Ensamble de cada parte de la estructura con cada elemento de los sistemas
10	Montaje de la parte eléctrica, instalación del motor
11	Detalles varios
12	Pruebas de funcionamiento y ajustes

Fuente: Autores

7.2 Mantenimiento

El mantenimiento de cada equipo debe considerarse como una tarea periódica y metódica, y siempre hay que realizar un mantenimiento preventivo, ya que es más económico que cualquier otro método de mantenimiento.

7.2.1 *Mantenimiento del equipo de desinfección y transporte*

7.2.2 *Guía de montaje y operación.* El presente manual tiene la finalidad de auxiliario con la revisión física de los equipos. También se va a dar a conocer los puntos básicos para la instalación y puesta en marcha de los equipos.

7.2.2.1 *Características principales.* A continuación se presentan todas las características principales del equipo.

Equipo de desinfección de semillas de alfalfa y trébol

- Dimensiones generales: Largo 1.764 m, Ancho 0.59, Alto 1.19 m
- Capacidad: mínima 150 kg/h, máxima 480 kg/min
- Estructura tubular cuadrado acero laminado ASTM A 36 40X40 de 2 mm de espesor.
- Tolva de alimentación capacidad 25 kg
- Alimentador electromagnético con bandeja reguladora de flujo
- Pistola pulverizadora F75 Porten II
- Cilindro mezclador en acero inoxidable AISI 304, con 3 aletas mezcladoras, y 2 guías para ruedas

- Transmisión de potencia por cadena y catalinas. Catalinas (NK40B36, NK40B16) y cadena N.40.
- Dos ejes de ¾ de pulgada y 90 cm de longitud.
- Motorreductor BOUER trifásico 0.55 kW, 60 rpm de salida

Equipo de transporte de semillas de alfalfa y trébol

- Dimensiones generales: Largo 1 m, Ancho 0.56, Alto 3.06 m
- Capacidad: mínima 150 kg/h, máxima 2000 kg/min
- Estructura perfil angular de 1 pulgada ASTM A 36
- Tolva de alimentación o pulmón capacidad 100 kg
- Transmisión de potencia por banda y poleas. Poleas de 2 y 16 pulgadas y Banda A60
- Motor AEG trifásico 0.37 kW, 1100 rpm de salida

7.2.2.2 Montaje

Equipo de desinfección de semillas de alfalfa y trébol

- Verifique que el voltaje y la frecuencia de su línea eléctrica corresponda a los datos de placa de cada equipo.
- Nivele el equipo de la manera más horizontal posible.
- Ubique el cilindro mezclador muy lentamente para no golpear a la pistola pulverizadora, ya que esta va dentro del mismo.
- Evite estar muy cerca del motor y del sistema de transmisión, en el arranque.
- Verifique que las cubiertas no topen con el cilindro mezclador.

Equipo de transporte de semillas de alfalfa y trébol

- Verifique que el voltaje y la frecuencia de su línea eléctrica corresponda a los datos de placa de cada equipo.
- Nivele el equipo de la manera más horizontal posible.
- Los cangilones se sujetan en la banda con la ayuda de perno. En la banda los cangilones están con un paso constante de 9 pulgadas.

7.2.2.3 Operación

Equipo de desinfección de semillas de alfalfa y trébol

- Verifique que todas las instalaciones ya sean eléctricos como neumáticos estén en correcto estado.

- Verifique que las guías del cilindro mezclador estén correctamente asentadas sobre las ruedas motrices y conducidas, antes de encender el equipo
 - Verifique que el tambor mezclador no tope con las cubiertas, antes de encender el equipo
 - Colocar el tipo de compuerta en la tolva de alimentación, si es para un flujo de 3 kg/min, utilizar la compuerta fija, si es para los flujos de 6 y 8 kg/min, utilizar la compuerta variable, en la primera posición y segunda posición respectivamente.
 - Colocar las semillas en la tolva de alimentación.
 - Conectar la tubería principal del compresor al equipo.
 - Encender el equipo con el selector de encendido.
 - Observar y regular la presión en el regulador del UTM a 3 Bar.
 - Introducir datos en la pantalla del microPLCZelio, para eso se siguen los siguientes paso:
1. El sistema debe estar encendido.
 2. Presionar el botón Select (verde), con la ayuda de los selectores buscamos la pestaña PARÁMETROS.
 3. Nuevamente presionar en el botón Select (verde), en ese momento aparece un cursor q permite dar valores a T_1 , T_2 y T_3 , de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 75. Valores de tiempo respecto al flujo de semillas

Flujo de semillas (kg/min)	T_1 (seg)	T_2 (seg)	T_3 (seg)
3	8	1.9	0.25
6	8	2.1	0.15
8	8	2.5	0.1

Fuente: Autores

4. Una vez ingresado los datos, presionar nuevamente el botón Select (verde)
 5. Para terminar el proceso presionar el botón Esc.
- Una vez introducido los datos en el PLC, seleccionar las posiciones de abertura de las válvulas de aire y líquido de acuerdo al flujo de semillas.

Tabla 76. Control de apertura de válvula de la pistola

Flujo de semillas (kg/min)	Apertura de la Vál. de flujo de aire	Apertura de la Vál. de flujo de líquido
3	¼ V	2 V
6	¼ V	1 V
8	¼ V	1 V

Fuente: Autores

- Seleccionar la ubicación correcta del selector de vibración de acuerdo al flujo de semillas

Tabla 77. Posición del selector de vibración

Flujo de semillas (kg/min)	Selector de vibración
3	5
6	5
8	5

Fuente: Autores

- Encender el vibrador, que tiene relación directa con los tiempos de aplicación.
- Una vez que ha salido toda la semilla del cilindro mezclador, desactivamos el selector de vibración.
- Luego que ha salido toda la semilla terminando el proceso, con el selector de encendido lo ponemos en la posición OFF, para apagar el equipo.

Equipo de transporte de semillas de alfalfa y trébol

- Verifique que todas las instalaciones eléctricas estén en correcto estado.
- Se coloca la cantidad de semilla sobre el pulmón.
- Se acciona el interruptor para la posición de encendido.
- Una vez terminado el proceso, presionar en el botón OFF.

7.2.3 *Guía de mantenimiento.* Esta guía servirá de ayuda para referirse a las medidas preventivas a emplear en cada caso.

Se pone a consideración las siguientes tablas en la que se muestra las partes del equipo a someterse a controles y revisiones.

Equipo de desinfección de semillas de alfalfa y trébol

Tabla 78. Frecuencia de revisión equipo de desinfección

Partes	D	S	M	3M	6M	A
Limpieza de pistola pulverizadora	X					
Limpieza del cilindro mezclador	X					
Aceite neumático en el UTM	X					
Revisiones de conexiones neumáticas		X				
Motorreductor				X		
Revisiones de conexiones eléctricas				X		
Lubricación de rodamientos				X		
Revisión de las ruedas			X			
Revisión y lubricación de la cadena		X				
Limpieza total del equipo	X					

Fuente: Autores

Equipo de desinfección de semillas de alfalfa y trébol

Tabla 79. Frecuencia de revisión elevador de cangilones

Partes	D	S	M	3M	6M	A
Limpieza de la bota	X					
Limpieza del pulmón	X					
Revisiones de conexiones eléctricas					X	
Motor				X		
Revisión de la banda de transmisión				X		
Revisión de la banda de cangilones						X
Revisión de los cangilones						X
Limpieza de los tambores motriz y autolimpiante						X
Lubricación de rodamientos				X		

Fuente: Autores

7.2.4 Riesgos y medidas preventivas. Se pretende localizar todos los riesgos y tratar de minimizarlos y si no es posible reducirlos se procede a dar las medidas preventivas correspondientes.

Equipos de desinfección y transporte de semillas de alfalfa y trébol

Se consideran los siguientes riesgos:

7.2.4.1 Riesgos químicos. El producto químico Celest 025 F tiene un grado de toxicidad elevada, por lo cual el operario debe usar en todo momento los equipos de protección personal que a continuación se presenta.

Tabla 80. Equipos de protección personal

Guantes de látex	
Mascarilla para productos químicos	
Gafas	
Zapatos de trabajo	
Ropa de trabajo	

Fuente: Autores

7.2.4.2 Riesgos ergonómicos. Este tipo de riesgo aparece en el momento que el operario levanta los costales de semillas para vaciarlos en la tolva de alimentación y el pulmón. Para disminuir este riesgo se deben realizar los siguientes pasos:

Figura 93. Posiciones adecuadas para levantar un objeto



Fuente: Autores

1. Use movimientos lentos y suaves. Los movimientos apurados y a tirones pueden esforzar excesivamente los músculos de la espalda.
2. Mantenga su cuerpo de frente al objeto mientras que lo levanta. Girar mientras levanta puede lesionar su espalda.
3. Mantenga la carga cerca de su cuerpo. Tener que levantar los brazos para alzar y cargar un objeto puede lesionar su espalda.
4. Levantar con las piernas” solamente puede hacerse cuando usted puede colocar el objeto en medio de sus piernas. Para levantar con las piernas, doble las rodillas -no la espalda- para alzar la carga. Mantenga la espalda derecha.
5. Trate de llevar la carga en el espacio entre su cintura y su hombro. Esto esfuerza menos los músculos de la espalda.

CAPÍTULO VIII

8. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 Alcance

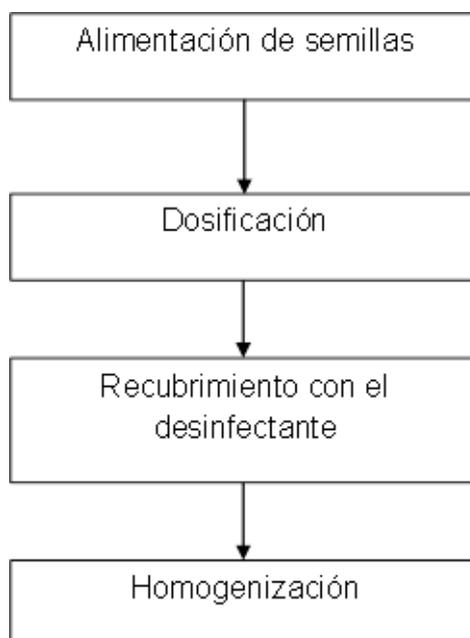
Este procedimiento es aplicable a la evaluación de varios tipos de pulverizadoras accionadas por una potencia motriz como el compresor.

8.2 Condiciones de las semillas

Dentro de este aspecto se provee cantidad suficiente de semillas limpias, sin impurezas y sin semillas rotas. El porcentaje de semillas aceptables por cada 3 kilogramos debe ser del 99 %.

8.3 Descripción del proceso

Tabla 81. Descripción del proceso



Fuente: Autores

Alimentación de semillas. Es esta etapa del proceso, la semilla se introduce y se almacena en una tolva de alimentación, que presenta una compuerta para permitir un paso de semilla homogéneo hacia la bandeja reguladora de flujo.

Dosificación. Esta etapa comienza con la ayuda de un vibrador electromagnético que exhibe en su parte superior una bandeja reguladora de flujo, este conjunto permite un paso homogéneo de la semilla hacia el interior del cilindro mezclador.

Recubrimiento. En esta etapa, la semilla ingresa al cilindro mezclador y a la vez se acciona el sistema de pulverización que consta de una pistola pulverizadora, accionada mediante un cilindro neumático, la pistola funciona intermitentemente.

Homogenización. La semilla desinfectada gira dentro de un cilindro, en donde se produce una mezcla homogénea de semilla y desinfectante.

8.4 Equipos para la medición

8.4.1 Tipo de desinfectante a utilizar. Se refiere a que en el mercado nacional existen diversos productos para la desinfección de semillas, de los cuales el INIAP recomienda el desinfectante Celest 0 25 F y la mayoría de campesinos utiliza el desinfectante Vitavax. Lo que se intenta con esta prueba es definir el tipo de desinfectante con mayor rendimiento sobre la semilla.

8.4.2 Medición de la dosis correcta. La dosis correcta se base en analizar la cantidad exacta de producto químico por cada kilogramo de semillas, esto ajustar para diversos kilogramos por semillas regulando los tiempos de alimentación del producto, tiempo de pulverización y tiempo de paro. Un valor propuesto por el INIAP es de 3 cm³ por cada kilogramo como valor máximo. Esta medición lo hacemos con la ayuda de una jarra graduada y una jeringa de inyección para suministrar la dosis correcta en los reservorios de productos químicos.

8.4.3 Ángulo de giro de la pistola pulverizadora y de la boquilla. Se busca obtener una mejor aplicación y recubrimiento del desinfectante sobre las semillas.

8.4.4 Descarga. Se realiza con la ayuda de una jeringuilla graduada de 10 cm³ como máximo volumen.

8.4.5 Humedad. La semilla no debe salir con una humedad superior de 14%.

8.4.6 Dureza. Se basa en medir la dureza de las ruedas motrices y guías para el cilindro mezclador con la ayuda de un durómetro Shore A Baxlo

8.5 Pruebas preliminares

Se regula el equipo de acuerdo a las condiciones de diseño.

8.6 Procedimiento de prueba

8.6.1 *Desinfectante a utilizar.* Se determina las variables de entrada y salida

Tabla 82. Variables

Variable de entrada	Variable de salida
Dos clases de desinfectante a usar	Desinfectante a usar

Fuente: Autores

Con la ayuda de una balanza electrónica se toman 6 muestras de 20 gramos de semilla de alfalfa, cada una de estas muestras las introducimos en una botella de cristal de 400 ml, he introducimos diferentes cantidades de desinfectante para cada muestra, luego se agita el cilindro por 30 segundos, y luego se coloca la muestra en un papel bond.

Se pudo apreciar las distintas coloraciones que tomó la semilla en cada prueba, además del tiempo de secado y formación de grumos.

Estas pruebas nos permitieron determinar la cantidad de desinfectante a utilizar. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 83. Pruebas con desinfectante Celest 025 F

Celest 025 F					
Muestras	1	2	3	% Grumos	Observaciones
Cantidad de desinfectante					
0.1 ml	10 s	13 s	11 s	0	El papel presenta muy pocas manchas y está completamente seco. Ninguna semilla se quedó pegada en la botella
0.3 ml	40 s	50 s	36 s	0	El papel presenta ligeras manchas con 4 pequeñas gotas. Ninguna semilla se quedó pegada en la botella

Tabla 83. (Continuación)

0.5 ml	100 s	105 s	97 s	0	El papel está manchado en un 40 % presenta pocas pequeñas gotas. Ninguna semilla se quedó pegada en la botella
--------	-------	-------	------	---	--

Fuente: Autores

Tabla 84. Pruebas con desinfectante Vitavax

Vitavax					
Muestras	1	2	3	% Grumos	Observaciones
Cantidad de desinfectante					
0.1 ml	1 día	1 día	1 día	98	El papel presenta varias manchas y está ligeramente húmedo. Aproximadamente un 60 % de semillas pegadas en la botella.
0.3 ml	2 días	2 días	2 días	100	El papel está manchado aproximadamente un 60 % con varias gotas de humedad. Aproximadamente un 80% de semillas pegadas en la botella.
0.5 ml	3 días	2 días	3 días	100	El pale está manchado en un 90 % y está bastante húmedo. Todas se quedaron pegadas en la botella.

Fuente: Autores

8.6.2 Dosis correcta. Los tiempos a controlar son:

- Tiempo T_1 . Lapso de tiempo en que la bandeja de flujo lleva la semilla hacia el interior del tambor mezclador, en el instante que se activa la pistola pulverizadora.
- Tiempo T_2 . Lapso de tiempo en el que la pistola pulverizadora va aplicar el desinfectante sobre la semilla.
- Tiempo T_3 . Lapso de tiempo en el que la pistola pulverizadora no va aplicar el desinfectante sobre la semilla.

Se realizó pruebas para 3 kg, 6kg y 8 kg de semilla de trébol blanco. Las variables de entrada y salida son:

Tabla 85. Variables constantes y no constantes

Variables de entrada		Variables de salida
Factores constantes	Factores no constantes	
Escala graduada del selector		T_1
Apertura de la válvula de flujo de aire	Apertura de la válvula de flujo de producto químico.	Flujo de semillas constante para un minuto
T_2 y T_3		

Fuente: Autores

Determinación del tiempo T_1 .

El porcentaje de vibración se controla desde el tablero de control, en donde existe un selector con una escala graduada de acuerdo al porcentaje de vibración del alimentador. La escala dos considerada como mínima y la 12 como la máxima.

Además existen dos compuertas para ser utilizadas entre la tolva de alimentación y la bandeja reguladora de flujo, una es fija para 3 kg/min y la otra se puede regular para 6 y 8 kg/min respectivamente. Solo se puede utilizar una a la vez ya que son intercambiables. La siguiente tabla es de acuerdo a la compuerta fija que tiene una apertura de 1.5 cm.

Tabla 86. Nivel vibración respecto al flujo de semillas

Escala graduada del selector	Cantidad de 3 kg
	T_1 (segundos)
2	240
4	219
5	58
6	47
7	24
8	12
10	8
12	4

Fuente: Autores

Determinación del tiempo T_2 y T_3 .

La pistola pulverizadora de producto químico, presenta la posibilidad de regular el flujo de aire y el flujo de líquido, esto de acuerdo a la apertura de las válvulas de resorte de la pistola pulverizadora.

Se realiza un previo análisis en la válvula de flujo de aire en donde se encontró lo siguiente:

Tabla 87. Control de la válvula de flujo de aire

Apertura de la Válvula	Observación
¼ V	La semilla no se levanta y no existen desperdicio de desinfectante fuera de la tapa de entrada de la semilla.
½ V	La semilla se levanta y hay varias semillas fuera del cilindro mezclador, además existe mayor desperdicio de desinfectante ya que se observa que las microgotas de desinfectante manchan la estructura del equipo.
1 V	Las semillas se levantan con mayor fuerza en especial la de trébol, las microgotas manchan considerablemente te el equipo

Fuente: Autores

Una vez analizado este parámetro ya sabemos en qué posición debe estar siempre la válvula reguladora de flujo de aire.

Para determinar los siguientes parámetros se guía de la siguiente tabla:

Para un flujo de 3 kg /min se necesita una dosis de 9 cm³.

Tabla 88. Pruebas para 3 kilogramos

Apertura de la válvula	T₂ (segundos)	T₃ (segundos)	Tiempo de aplicación Requerido (segundos)
1 V	1.9	0.25	38
2 V	1.9	0.25	65.6
3 V	1.9	0.25	79.8
4 V	1.9	0.25	84.3

Fuente: Autores

Para un flujo de 6 kg /min se necesita una dosis de 18 cm³.

Tabla 89. Pruebas para 6 kilogramos

Apertura de la Válvula	T ₂	T ₃	Tiempo de aplicación Requerido (segundos)
1 V	2.1	0.15	58
2 V	2.1	0.15	68.3
3 V	2.1	0.15	86
4 V	2.1	0.15	96

Fuente: Autores

Para un flujo de 8 kg /min se necesita una dosis de 24 cm³.

Tabla 90. Pruebas para 8 kilogramos

Apertura de la Válvula	T ₂	T ₃	Tiempo de aplicación Requerido (segundos)
1 V	2.5	0.1	58
2 V	2.5	0.1	68.3
3 V	2.5	0.1	86
4 V	2.5	0.1	96

Fuente: Autores

8.6.3 *Ángulo de giro de la boquilla pulverizadora.* La boquilla tiene la particularidad de girar en sentido horario y permanecer horizontalmente, dando una longitud mayor de cobertura en forma horizontal, mientras que en la posición vertical en sentido anti-horario, da una cobertura mayor pero verticalmente. Al utilizar una hoja en blanco y situarla a 25 cm de distancia de la boquilla se observa una mayor distribución del desinfectante en la posición horizontal.

8.6.4 *Pruebas de descarga.* La descarga de la boquilla será medida a la presión máxima y mínima recomendada por el fabricante, por un periodo de 1 minuto.

Las lecturas deben hacerse solamente cuando la presión requerida se haya estabilizado y se registrará la media de 5 repeticiones.

Tabla 91. Pruebas de descarga

Descargas	Volumen inicial (cm ³)	Volumen final (cm ³)	Perdida %
1	10	9.8	2
2	10	9.8	2
3	10	9.9	1
4	10	9.9	1
5	10	9.8	2

Fuente: Autores

8.6.5 Humedad. Para determinar si la semilla sale con una humedad elevada fue necesario tocarla, ponerla sobre un papel y observar, se realizaron las siguientes pruebas.

Tabla 92. Secado de semillas

Muestras recién evacuadas por el cilindro mezclador	Tiempo aproximado de secado (segundos)
1	25
2	10
3	30

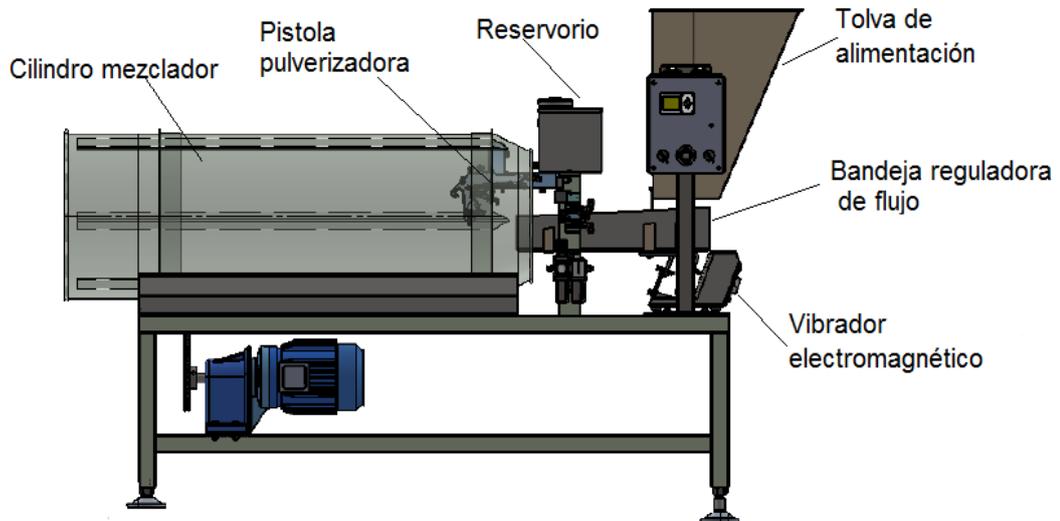
Fuente: Autores

8.6.6 Dureza. Las ruedas deben cumplir para su buen funcionamiento una dureza Shore A desde 40-90 grados shore, todas las ruedas presentaron una dureza Shore A igual a 50

Informe de la prueba

El equipo de desinfección construido se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 94. Partes del equipo de desinfección construido



Fuente: Autores

8.6.7 Especificaciones

Tabla 93. Especificaciones del equipo de desinfección de semillas

Compresor	
Marca	PORTEN
Modelo	PCO-02100
Dimensiones	
Largo	1.574 m
Ancho	0.59 m
Alto	1.19 m
Peso total	
Reservorios vacíos	60 kg
Reservorios llenos	66 kg

Pulverizadora	
Capacidad de los reservorios	6 lt en total
Diámetro del pistón	6mm
Largo de la carrera	25 mm

Tabla 93. (Continuación)

Rango de presión de trabajo	3-7 kg/cm ²
Malla de coladera: entrada de reservorios	Fina 0.05 mm
Tipo de boquilla	Pistola pulverizadora F75 Porten II
Diámetro de la tubería secundaria de aire	6 mm
Diámetro de la tubería principal de aire	¾ in
Largo del tubo principal de aire	Suman 1 m aproximadamente
Largo del tubo secundario de aire	6 m

Fuente: Autores

8.6.8 Prueba de la boquilla. Las siguientes tablas informan los resultados obtenido de las pruebas realizadas, para que un operario entienda perfectamente en el momento de trabajar con diferentes suministros de semillas.

Tabla 94. Pruebas de la boquilla

Flujo de semillas (kg/min)	Dosis (cm ³)	Selector de vibración	T ₁ (seg)	T ₂ (seg)	T ₃ (seg)	Apertura de la Vál. De flujo de aire	Apertura de la Vál. De flujo de liquido
3	9	5	8	1.9	0.25	¼ V	2 V
6	18	5	8	2.1	0.15	¼ V	1 V
8	24	5	8	2.5	0.1	¼ V	1 V

Fuente: Autores

Esto utilizando la compuerta para tres kilogramos, y la otra respectivamente.

Esta tabla muestra los factores estudiados, sus respectivos niveles y el código con el cual se identificarán para la aplicación en un futuro de la metodología experimental de Taguchi.

Tabla 95. Metodología de Taguchi

Factor	Unidades	Código	Nivel		
Flujo de semillas	Kg/min	A	3	6	8
Dosis	Cm ³	B	9	18	24
Selector de vibración	--	C	5	5	5
T ₁ (Avance de semilla)	Segundos	D	8	8	8
T ₂ (Aplicación de desinfectante)	Segundos	E	1.9	2.1	2.5
T ₃ (Tiempo de paro)	Segundos	F	0.25	0.15	0.1
Flujo de aire	Vueltas	G	¼ V	¼ V	¼ V
Flujo de liquido	Vueltas		1	2	2,5

Fuente: Autores

CAPÍTULO IX

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos en el diseño de un equipo de desinfección y transporte de semillas de alfalfa, se ha llegado a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

9.1 Conclusiones

Los equipos construidos son prototipos, por ende, el margen de seguridad tomado para el diseño de cada uno de los elementos de las máquinas es conservador, pues se desconocen algunos efectos secundarios actuantes sobre dichos elementos.

La investigación de las propiedades físicas de las semillas de alfalfa y trébol contribuyeron en la determinación del diseño más efectivo para cada uno de los equipos (equipo de desinfección y elevador de cangilones).

El diseño de los equipos se realizó en base a las necesidades y requerimientos de producción del Sector Los Pungales, dando como resultado equipos confiables y con facilidad de operación.

Los materiales empleados, elementos diseñados y seleccionados se los encuentra en el mercado nacional favoreciendo la adquisición de repuestos, en caso de ser necesario.

Los equipos son económicamente rentables, además tecnológicamente fueron construidos en el país, prestando así la facilidad en la consecución de los mismos, es decir que con la tecnología que cuenta el país se pueden producir cada uno de los equipos, resultando de esta forma factible la construcción de los mismos.

Los equipos construidos muestran considerables ventajas en tamaño, peso, costo; frente a los que existen en el mercado, pues estos equipos fueron construidos para pequeños y medianos productores.

La metodología de Pahl y Beitz empleada en el desarrollo de esta tesis fue determinante para obtener mejoras en el estudio e investigación para la consecución de los objetivos.

Los costos determinados para estos equipos están dentro del rango económico aceptable - moderado, considerando que estos son prototipos.

El diámetro de curvatura en el elevador de cangilones depende directamente de la velocidad lineal, mientras que la velocidad angular depende del radio de curvatura.

Los tornillos tensores permiten ajustar la banda a las condiciones correctas de operación.

La capacidad del elevador depende directamente de la capacidad individual del cangilón, de la densidad del material, del coeficiente de llenado y de la velocidad lineal, e inversamente al paso entre cangilones.

Una descarga correcta del producto depende de la velocidad angular del sistema.

Los elevadores de cangilones de descarga centrífuga son los recomendados para el transporte de semillas.

Mediante pruebas experimentales se determinó el nivel de vibración adecuado para la capacidad de diseño, así como también se determinó la apertura de aire y salida de líquido de la pistola pulverizadora.

9.2 Recomendaciones

Implementar en el equipo de desinfección, un variador de frecuencia para obtener diferentes velocidades de descarga.

Ubicar sensores de fotoceldas para una aplicación más efectiva del desinfectante.

Apagar el vibrador electromagnético una vez que la semilla haya sido desalojada de la tolva.

Instalar en el elevador de cangilones puertas de inspección.

Realizar un sistema de transmisión usando un motorreductor para que el diámetro de la polea motriz sea menor.

Operar el elevador sólo cuando el pulmón de carga esté lleno.

Realizar un plan de mantenimiento diario para ambos equipos.

BIBLIOGRAFÍA

AGUINSACA, Oscar Fabian. 2008.*Diseno y construcción de una máquina dosificadora automática de encimas para balanceado de camarón para la empresa EMPAGRAN S.A. TESIS.* Latacunga : Facultad de Mecánica, 2008.

AIR, DINAMIC. 2010. 16 Conceptos de transporte neumático. [Online] 2010. <http://www.dynamicair.com/pdf/9906-7-es.pdf>.

ANÓNIMO. 2005. Germinado de alfalfa. [Online] 2005. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lia/gonzalez_d_d/capitulo3.pdf.

ANÓNIMO. 2010. Procesamiento y Análisis de Semillas. [Online] 2010. <http://www.los-seibos.com/teoria/recepcion,%20secado%20y%20procesamiento.pdf>.

AQUINO, Miguel. 2012.*Apuntes de Diseño de máquinas II.* Riobamba : s.n., 2012.

ARRIAGADA, Velia. 2009. SEMILLAS, inspección, análisis, tratamiento y legislación. [Online] 2009. <http://repiica.iica.int/docs/BV/AGRIN/B/F03/XL2000600205.PDF>.

AYABACA, Roberto Carlos. 2012.*Diseño, construcción, instalación y pruebas de equipos para procesamiento de alfalfa y trebol. Tesis.* Riobamba : s.n., 2012.

BARCIA, Kleber. 1989. Diseño y construcción de prototipo para sistema de recirculación de granallas para máquina limpiadora de metales. TESIS. [Online] 1989. http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-9595.pdf.

CASTRO. 2010. Control de calidad en la industria del caucho. [Online] 2010. http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/icon/45896/Informador71/paginas/caucho/pagina7.html.

AIRTAC Catálogo. [Online] 2012. <http://industriassanfor.com/pdf/catalogo-airtac.pdf>.

ICOBANDAS S.A Catálogo. [Online] <http://2421.co.all.biz/goods>.

CHERREZ, Mario Henry. 2010. *Revisión del sistema de aire comprimido de la estación de bombeo Faisanes en el sector de Esmeraldas-Quito-Macul.* TESIS. Riobamba : Facultad de Mecánica, 2010.

CIMBRIA. 2010. Seed processing. [Online] 2010. <http://www.cimbria.com/en-GB/Home/Solutions/Seed-Processing.aspx>.

CROSS, Niguel. 2003. *Métodos de diseño.* México : LIMUSA. 3ra. Ed., 2003.

FAG. *Catálogo general de selección de rodamientos y chumaceras.*

FAG, 2000. *Catalogo FAG.* Alemania : Wenner KG, 2000. 41 500/2SA.

FLEXICON. 2010. Equipos de manipulación de materiales a granel y sistema de ingeniería. [Online] 2010. http://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/195816/CATALOGO_GENERAL_FLEXICON.pdf.

FMC, Technologies. 2005. FMC Syntron Light-Durty Vibrating Feeders Catalog. [Online] 2005. <http://www.logicalmachines.com/documents/FMC%20Manual.pdf>.

FUNDACIÓN, Argentina. 2010. Tecnología de aplicación de fitosanitarios. [Online] 2010. <http://www.argentina.org.ar/pdf/Pulverizacion%20-%20Equipos%20manuales%20Lujan%20.pdf>.

GIL MOYA, Emilio. 2003. *Tratamiento en viña, equipos y técnicas de aplicación.* Barcelona : UPC, 2003. 84-8301-691-5.

ILPERSA. 2011. Limpieza, clasificación y selección. [Online] 2011. <http://ilpersa.com/blog/limpieza-seleccion-clasificacion-y-tratamiento/limpieza-clasificacion-seleccion-y-tratamiento-desinfeccion-k-xuquer/>.

ISAZA, Santiago. 2009. *Diseño de una máquina para detectar porosidades en fundas corrugadas.* TESIS. Medellín : s.n., 2009.

ITURRALDE, Carlos. 1987. Estudio de elevadores de cangilones para el manipuleo de productos agrícolas. TESIS. [Online] <http://es.scribd.com/doc/185391874/D-8444>.

KONGSKILDE. 2011. Multicutter System. [Online] 2011. <http://kongskilde.com/za/en/~media/DLG/Kongskilde/DownloadLib/Brochures/Industry/Cutters%20Granulators/Multicutter/123001011%20EXP%20GB%20CONCUT%200508.pdf>.

LOPEZ, Deysi. 2008. *Diseño, construcción y pruebas de una máquina envasadora de semillas de alfalfa y trébol.* TESIS. Riobamba : Facultad de Mecánica, 2008.

LP, BAYER CropScience. 2012. Seed Treatment Machinery. [Online] Bayer, 2012. http://www.seedquest.com/id/g/gustafson/pdf/2012_catalog.pdf.

MÁRQUEZ, Luis. 2007. Pulverización y pulverizadores neumáticos. [Online] Agrotécnica, Febrero 2007. http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_agrotec/agrotec_2007_2_34_41.pdf.

TAPCO, INC, 2008. Mini Catálogo [Online] 2008. www.tapcoinc.com/media/Mini_Guia_2008.pdf.

MORAN, Iván. 2011. *Apuntes de diseño de elementos de máquinas I.* Riobamba : s.n., 2011.

PAREDES, Jose. 2000. *Texto basico fisica I.* Riobamba : s.n., 2000.

REO. 2011. Alimentación de piezas y manipulación de materiales. [Online] Elektronik AGA, 2011. http://www.reospain.com/Pdf/biblioteca/REOVIB%20Book_es.pdf.

REX. 2012. *Catálogo de diseño II*. Riobamba : s.n., 2012.

ROFLEX. 2010. Catalogo de elementos de transmision. [Online] Enero 2010.
http://www.ropesa.com/catalogo/por_marca/Roflex.

RON, Nelson Rodrigo. 2011. *Rediseño del horno de la tostadora de maní del laboratorio de control automático de la facultad de mecánica*. TESIS. Riobamba : Facultad de Mecánica, 2011.

ROTRANS. 2011. Cintas transportadoras. [Online] 2011. <http://rotranssa.com/cintas-transportadoras>.

SHIGLEY, Joseph Edward. 1990. *Diseño en ingeniería mecánica*. Mexico : McGRAW-HILL, 1990.

SPRAY GUN, Instruction Manual. [Online] 2010.
<http://portuguese.alibaba.com/product-gs/f-75-g-high-pressure-spray-gun-with-300cc-cup-581933030.html>.

SYNTRON, FMC. 2010. FMC Syntron Light-Duty Vibrating Feeders Catalog. [Online] 2010. http://pdf.directindustry.com/pdf/fmc-technologies-material-handling-solutions/syntron-light-duty-vibrating-feeders-catalog/32626-54133-_7.html.

TAPCO, INC. 2006. Guía de productos. *Cangilones para elevadores, tornillos para elevadores*. [Online] St. Louis, Missouri U.S.A, 2006.
<http://www.tapcoinc.com/media/TapcoSpanish2006.pdf>. 2006A.

TECNUN. 2008. Laboratorio de neumática y oleohidráulica. [Online] 2008.
<http://es.scribd.com/doc/44511645/Calculo-en-Instalaciones-Neomaticas>.

TOAPANTA, Emilio. 2010. Diseño y construcción de un dosificador y empacador de producto alimenticio molido y seco de 50 gr. TESIS. [Online] Latacunga, Julio 2010. [Cited: Diciembre Facultad de Mecánica, 2012.]
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4397/1/T-ESPEL-0735.pdf>.

ULRICH, Karl. 2004.*Diseño y desarrollo de productos.* s.l. : MC Graw Hill, 2004.
9701047931.

WIKIPEDIA. 2012. Trifolium Pratense. [Online] 2012.
[http://es.wikipedia.org/wiki/Trifolium_pratense.](http://es.wikipedia.org/wiki/Trifolium_pratense)

ANEXOS