



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO DE UN SISTEMA MECÁNICO PARA LIMPIAR Y DESHIDRATAR
SEMILLAS OLEAGINOSAS PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES**

RAIDI F. CARLOS A.
MARTÍNEZ G. RÓMULO E.

Bárbula, Julio



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO DE UN SISTEMA MECÁNICO PARA LIMPIAR Y DESHIDRATAR
SEMILLAS OLEAGINOSAS PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

RAIDI F. CARLOS A.
MARTÍNEZ G. RÓMULO E.

Bárbula, Julio

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que me ayudaron a realizar este proyecto. En especial a mis Hermanas y Tías que en todo momento estuvieron a mi lado para apoyarme, a mi novia por todo el empeño y ayuda que me brindó durante los últimos años de la carrera, al señor Luis Peña, a mi tutor Ing. Nelson Vilchez por habernos guiado y aconsejado en este importante trayecto y a Dios por habernos dado la fortaleza de seguir adelante.

Carlos A. Raidi F.

DEDICATORIA

A mis padres, a mis queridísimas Tías Lile y Nena, a mis Hermanas y demás familiares.

Carlos A. Raidi F.

AGRADECIMIENTO

En especial al Sr. Prudencio Falcón y a nuestro tutor Ing. Nelson Vilehez por haber brindado la ayuda necesaria para la elaboración y culminación de tan anhelado proyecto, y a mis parientes más cercanos que de una u otra forma me apoyaron a seguir adelante a pesar de los tropiezos que se tienen en la vida.

Rómulo E. Martínez G.

DEDICATORIA

A mis padres Zulai y Rómulo, mi esposa e hijas, Verónica, Emperatriz y Natasha y mis hermanos Javier, Carlos, Leonardo y Zulai Carolina.

Rómulo E. Martínez G.

RESUMEN

Este trabajo está integrado por 7 capítulos, en los cuales se describen los elementos necesarios para el diseño de un sistema mecánico para limpiar y deshidratar semillas oleaginosas para la extracción de su aceite.

El capítulo 1, se basa en el problema, dentro del cual se plantea la situación problemática, descripción del proceso actual, los objetivos propuestos, su justificación, definiendo a su vez los alcances y limitaciones de dicho proyecto.

El capítulo II, comprende el marco teórico, en el cual se hace referencia a los antecedentes de la investigación de todos aquellos temas que están íntimamente relacionados a este proyecto.

El capítulo III, contiene el mapeo metodológico, como una guía de investigación, por el cual se realizan los niveles de la investigación, el diseño de la misma, técnica de procedimientos de recolección de datos, técnica de procedimientos, análisis de datos y por último los aspectos administrativos.

El capítulo IV, proporciona el desarrollo del trabajo en el cual se proyecta la búsqueda de soluciones que generaron finalmente el diseño de la máquina.

El capítulo V, abarca todo lo relacionado con el desarrollo de los cálculos necesarios para el diseño de la nueva máquina limpiadora y deshidratadora de semillas oleaginosas.

El capítulo VI, trata de una estimación del estudio económico que refleja la rentabilidad del proyecto en comparación con la máquina actual.

El capítulo VII, finalmente plantea las conclusiones y recomendaciones que aportan una ayuda para afinar y mantener en un buen funcionamiento todas aquellas partes que integran el nuevo diseño de la máquina.

Finalmente en el trabajo se presentan los planos, cotizaciones y demás soportes que hacen posible la realización de este proyecto.

ÍNDICE

INDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1: EL PROBLEMA	2
1. Título	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Descripción del proceso actual	3
1.2.1.1. Etapa 1: Almacenamiento de las semillas	4
1.2.1.2. Etapa II: Limpieza de las semillas	5
1.2.1.3. Etapa III: Deshidratación de las semillas	8
1.2.2. Esquema del plano del proceso	17
1.3. Objetivo general	18
1.3.1. Objetivos específicos	18
1.4. Justificación	19
1.5. Limitaciones	20
1.6. Alcances	20
Capítulo II: MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes de la investigación	22
2.1 .1. Antecedentes de la Empresa Natura Viva, C. A. N° 1	22
2.1.2. Antecedentes de la Empresa Natura Viva, C. A. N° 2	23
2.1.3. Secado de granos	24
2.1.3.1. Necesidad de secado	25
2.1.3.2. Técnicas de secado de granos	26

2.1.3.3. Métodos de secado	27
2.1.3.4. Combustibles empleados en el secado de granos	29
2.1.3.5. Eficiencia térmica del secado	32
2.2. Bases teóricas	34
2.2.1. Centrifugación	34
2.2.2. Filtración centrífuga	34
2.2.3. Limpieza de las materias primas	35
2.2.3.1. Métodos de limpieza en seco	37
2.2.4. Tamizados	38
2.2.5. Tratamientos térmicos	40
2.2.5.1. Métodos de producción de calor por combustión de gas para el tratamiento térmico de los alimentos	41
2.2.6. Deshidratación de los alimentos mediante la aplicación de aire caliente bajo condiciones controladas.	42
2.2.7. Teoría general de deshidratación	42
2.2.7.1. Secado rotatorio	43
2.2.8. Diseño higiénico	43
2.2.8.1. Naturaleza y materiales de construcción de la superficie	44
2.2.9. Transportadores de los productos	45
2.2.9.1 Planteamiento de un mejor sistema	45
2.2.9.2 Consideraciones de seguridad	46
2.2.10. Transportadores	46
2.2.11. Transportadores de gravedad	47
2.3. Definición de términos	50
Capítulo ;II: MARCO METODOLÓGICO	52
3.1. Nivel de la investigación	52
3.1.1. Exploratoria	52

3.1.2. Descriptiva	52
3.2. Diseño de la investigación	53
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	54
3.4. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	55
3.5. Recursos	55
Capítulo IV: DESARROLLO DEL TRABAJO	56
4.1. Búsqueda de soluciones	56
4.1 .1. Descripción de la posible solución de calentamiento de aire	56
4.1.1.1. Posible solución del calentamiento de aire N° 1	56
4.1 .1.2. Posible solución del calentamiento de aire N°2	57
4.1.2. Descripción de las posibles soluciones del sistema centrífugo	57
4.1 .2.1. Posible solución del sistema centrífugo N° 1	57
4.1.2.2. Posible solución del sistema centrífugo N° 2	58
4.1.2.3. Posible solución del sistema centrífugo N° 3	59
4.1.3. Descripción de la posible solución N° 1	60
4.1.4. Descripción de la posible solución N° 2	62
4.1.5. Descripción de la solución N° 3	63
4.1.5.1. Carga de semillas	64
4.1.5.2. Calentamiento del aire	65
4.1.5.3. Limpieza y deshidratación de la semilla	66
4.1.5.4. Succión del aire de calefacción	67
4.1.5.5. Descarga de la semilla	67
4.1.5.6. Control automático del proceso	67
Capítulo V: DESARROLLO DE LOS CÁLCULOS	74
5.1. Ensayo para calcular el peso de la semilla	74
5.2. Cálculo del volumen que ocupa la semilla	74

5.3. Cálculo del volumen del cilindro centrífugo cargado	75
5.4. Determinación de la cantidad de láminas que se requieren	77
5.5. Cálculo de la velocidad crítica del cilindro centrífugo	78
5.6. Cálculo del cilindro centrífugo cargado	78
5.6.1. Cálculo del peso de la semillas P1	79
5.6.2. Cálculo del peso de las paletas internas del cilindro centrífugo P2	80
5.6.3. Cálculo del peso del cilindro de lámina perforada P3	80
5.6.4. Cálculo del peso de la estructura de soporte del cilindro de lámina perforada P4	81
5.7. Distribución del peso total del cilindro centrífugo sobre las ruedas de apoyo	82
5.8. Cálculo de la potencia requerida para hacer girar el cilindro centrífugo sobre las medas de apoyo	84
5.8.1. Cálculo del momento de inercia del cilindro cargado	85
5.8.2. Cálculo de la aceleración angular del cilindro centrífugo	85
5.8.3. Cálculo de la fuerza E' que ejerce la porción de semilla sobre el área de la paleta interna	86
5.8.4. Cálculo del volumen de semilla que arrastra la paleta interior	87
5.8.5.- Cálculo del peso de la porción de semilla que desplazará la paleta interior	89
5.8.6- Cálculo de la inercia del cilindro centrífugo	90
5.8.6.1.- Cálculo del momento de inercia del cilindro de lámina perforada	90
5.8.6.2.- Cálculo del momento de inercia de los aros de ángulo	91
5.8.6.3.- Cálculo del momento de inercia de los ángulos “L” axiales exteriores.	92
5.8.6.4. Cálculo del momento de inercia de las paletas interiores	93

5.8.6.5. Cálculo del momento de inercia de la semilla	93
5.8.7. Cálculo de la inercia total	94
5.8.8. Selección del motor	94
5.9. Cálculo del sistema motriz del cilindro centrífugo	95
5.9.1. Calculando el momento torsor de la rueda motriz	96
5.9.2. Diseño del eje de potencia de la rueda motriz	97
5.9.2.1. Diagrama de cuerpo libre del eje motriz	98
5.9.2.2. Cálculo de las reacciones R1 y R2	99
5.9.2.3. Diagrama de corte y momento flector	100
5.9.2.4. Comprobación de la resistencia del eje motriz	101
5.9.2.5. Diseño de la chaveta de la rueda motriz	104
5.9.2.6. Diseño de la chaveta para el acople del eje al motor reductor	106
5.10. Cálculo del eje de apoyo de la estructura de soporte del cilindro centrífugo	107
5.11. Cálculo de los tronillos de fijación del balancín	109
5.12. Cálculos termodinámicos de la máquina deshidratadora	110
5.12.1. Cálculo de la evaporación de agua	112
5.12.2. Cálculo de la condiciones del aire	113
5.12.3. Cálculo del calentamiento del aire	114
5.12.4. Cálculo de la humedad desplazada	114
5.12.5. Cálculo de la cantidad de aire requerida	115
5.12.6. Cálculo de la cantidad de calor necesaria	115
5.12.6.1. Cálculo del calor para calentar el producto en base seca (Qp)	116
5.12.6.2. Cálculo del calor para calentar el agua asociada (Qh)	116
5.12.6.3. Cálculo para evaporar el agua a desplazar (Qv, Calor Latente)	117

5.12.6.4. Cálculo del calor para calentare! aire de secado (Qa)	117
5.12.6.5. Potencia total consumida	118
5.12.6.6. Cálculo de la cantidad de gas a consumir	118
5.13. Diseño del sistema de automatización de la máquina	120
5.13.1. Sistema neumático de control	121
5.13.2. Sistema eléctrico de control	122
Capítulo VI: ESTIMACIÓN DE COSTOS DE FABRICACIÓN Y BENEFICIOS ECONÓMICOS	125
6.1. Cálculo de la inversión inicial	125
6.2. Costos operacionales	127
6.2.1. Costo por consumo eléctrico	127
6.2.2. Costo de mano de obra	130
6.2.3. Costo por mantenimiento	131
6.2.4. Costo por depreciación (Cd)	132
6.3. Cálculo de producción anual	132
6.4. Costo por kilogramo de semilla secada	134
6.5. Tiempo de recuperación de la inversión	136
Capítulo VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	138
7.1. Conclusiones	138
7.2. Recomendaciones	139
BIBLIOGRAFIA	141
ANEXOS	142
Anexo N° 1 Presupuestos de materia prima	143
Anexo N° 2 Tablas de selección del material acero inoxidable (Vencrafi)	145

Anexo N° 3 Tabla de selección del motor y caja (Motovario)	146
Anexo N°4 Tabla para selección de ruedas (Metal- Arte)	147
Anexo N° 5 Tabla de selección de rodamientos (SKF)	148
Anexo N° 6 Ensayo de humedad en semillas oleaginosas	149
Anexo N° 7 Carta Psicrométrica	150
Anexo N° 8 Tabla de características de la electroválvula	151
Anexo N° 9 Información sobre la generación de aire caliente (METMANN)	152
Anexo N° 10 Planos	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1: EL PROBLEMA	2
Fig. 1.2.1 Empresa NATURA VIVA, C. A.	4
Fig. 1.2.1.1 Almacenaje de las semillas	5
Fig. 1.2.1.2.1 Esquema de la máquina limpiadora de semillas	6
Fig. 1.2.1.2.2 Tolva de carga de la limpiadora centrífuga	7
Fig. 1.2.1.2.3 Conductos de extracción de semillas de la máquina limpiadora y conductos de extracción del polvo	7
Fig. 1.2.1.3.1 Esquema de la máquina deshidratadora	8
Fig. 1.2.1.3.2 Esquema de la máquina deshidratadora	9
Fig. 1.2.1.3.3 Cilindro interior de la deshidratadora	10
Fig. 1.2.1.3.4 Sistema de transmisión de potencia al cilindro interior de la deshidratadora	10
Fig. 1.2.1.3.5 Trayectoria de las semillas dentro de la deshidratadora	11
Fig. 1.2.1.3.6 Proceso de transferencia de calor al aire	12
Fig. 1.2.1.3.7 Conducto de aire y gas para la transferencia de calor	12
Fig. 1.2.1.3.8 Secuencia del proceso de transferencia de calor al aire	13
Fig. 1.2.1.3.9 Secuencia de flujo de aire caliente	14
Fig. 1.2.1.3.10 Secuencia del proceso de descarga de las semillas	15
Fig. 1.2.1.3.11 Diagrama de flujo del proceso	16
Fig. 1.2.2.1 Plano del proceso actual	17
Capítulo II: MARCO TEORICO	22
Fig. 2.1.1.1 Sistema de proceso de deshidratación de las semillas	23

Fig. 2.1.2.1 Cámara de deshidratación de las semillas con flujo de aire caliente	23
Fig. 2.2.2.1 Principio de un filtro centrífugo sencillo	35
Fig. 2.2.4.1 Diagrama del tamiz Le Coq	38
Fig. 2.2.1 1.1 Tipos de alimentadores	49
Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO	56
Fig. 4.1.1.1.1 Esquema de posible solución de calentamiento de aire N° 1	56
Fig. 4.1.1.2.1 Esquema de posible solución de calentamiento de aire N°2	57
Fig. 4.1.2.1.1 Esquema de posible solución del sistema centrífugo N° 1	58
Fig. 4.1.2.2.1 Esquema de posible solución del sistema centrífugo N°2	59
Fig. 4.1.2.3.1 Esquema de posible solución del sistema centrífugo N° 3	60
Fig. 4.1.3.1 Esquema de la posible solución N° 1	61
Fig. 4.1.4.1 Esquema de la posible solución N°2	63
Fig. 4.1.5.1 Máquina limpiadora y deshidratadora de semillas oleaginosas	64
Fig. 4.1.5.2 Esquema del corte transversal del cilindro centrífugo	68
Fig. 4.1.5.3 Esquema del cilindro centrífugo	69
Capítulo V: DESARROLLO DE CÁLCULOS	74
Fig. 5.3.1 Esquema de las dimensiones del cilindro centrífugo	75
Fig. 5.3.2 Esquema del cilindro de lámina perforada	76
Fig. 5.3.3 Esquema del nivel de la semilla dentro del cilindro centrífugo	77
Fig. 5.6.1 Esquema de aros y vigas que conformarán la estructura de soporte del cilindro de lámina	81
Fig. 5.7.1 Esquema de la distribución de la carga sobre las ruedas de apoyo	83
Fig. 5.8.1 Esquema de la porción de semilla que ejercen fuerza sobre las paletas interiores	84
Fig. 5.8.4 Esquema de dimensiones del sector de semilla que ejerce presión	

sobre las paletas internas	87
Fig. 5.8.5 Esquema área transversal del volumen de semilla que ejerce fuerza sobre las paletas internas	88
Fig. 5.8.6.1.1 Esquema del cilindro de la lamina perforada	90
Fig. 5.8.6.2.1 Esquema de los aros que conforman la estructura del cilindro centrífugo	91
Fig. 5.8.6.3.1 Esquema de los ángulos que unen los aros del cilindro centrífugo	92
Fig. 5.8.6.4.1 Esquema de las paletas internas del cilindro centrífugo	93
Fig. 5.9.1 Esquema de la motricidad del cilindro centrífugo	96
Fig. 5.9.1.1 Esquema de la rueda motriz	98
Fig. 5.9.2.1 Esquema de las dimensiones del eje motriz	99
Fig. 5.9.2.1.1 Esquema de las fuerzas actuantes sobre el eje motriz	99
Fig. 5.9.2.3.1 Diagrama de corte y momento flector	101
Fig. 5.9.2.4.1 Esquema de las fuerzas en el eje	102
Fig. 5.9.2.5.1 Esquema representativo de la rueda motriz	105
Fig. 5.10.1 Esquema de distribución de carga del eje de apoyo	107
Fig. 5.11.1 Esquema de la distribución de carga en el balancín	109
Fig. 5.12.6.6.1 Esquema de flujo de aire	119
Fig. 5.13.1 Sistema neumático de control	122
Fig. 5.13.2 Sistema de control eléctrico	124
Capítulo VI: ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE FABRICACIÓN Y BENEFICIOS ECONÓMICOS	125
Fig. 6.3.1 Gráfica comparativa de producción anual	134
Fig. 6.2.1 Gráfica comparativa de los costos por secado	135

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo V: DESARROLLO DE CÁLCULOS	74
TABLA 5.12.1 Temperatura atmosférica	111
Capítulo VI: ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE FABRICACIÓN Y BENEFICIOS ECONÓMICOS	125
TABLA 6.1 Determinación de costos de inversión inicial	126
TABLA 6.2.3.1 Costos de mantenimiento de la máquina nueva	131
TABLA 6.5.1 Inversión inicial y Flujos monetarios	136

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo muestra la problemática que tiene la empresa NATURA VIVA, C.A. en el procesamiento de semillas oleaginosas, para poder extraer sus aceites con un proceso de prensado en frío y sin aditivos químicos, para así, conservar los aceites en su estado natural.

En los actuales momentos dicha empresa posee una maquinaria (limpiadora y deshidratadora centrífuga) la cual permite procesar 90 kg/h de semillas oleaginosas bajo los parámetros requeridos no alterando las propiedades esenciales de las semillas, pero vista la necesidad de satisfacer la demanda del mercado para el año 2012 se ha pensado en la necesidad de incrementar la producción de estos aceites.

Según el estudio de mercado realizado por NATURA VIVA, C.A. se refleja la necesidad de diseñar un sistema mecánico que tenga las características de limpiar y deshidratar con flujo de aire caliente y movimiento centrífugo 360 kg/h de semillas, el cual es el objetivo principal del presente proyecto de grado.

El capítulo I está referido al problema y objetivos. El capítulo II al material teórico, antecedentes y bases teóricas, el capítulo III nos da una explicación de la metodología a utilizar para llegar a la solución más recomendable que tenga en cuenta lo económico, la eficiencia del proceso, así como la seguridad e higiene. El capítulo IV está referido al desarrollo del trabajo (búsqueda de soluciones), capítulo V desarrollo de los cálculos, capítulo VI estudio económico y por último el capítulo VII el cual refleja las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.- DISEÑO DE UN SISTEMA MECÁNICO PARA LIMPIAR Y DESHIDRATAR SEMILLAS OLEAGINOSAS PARA LA EXTRACCIÓN DE SU ACEITE

1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

NATURA VIVA, C. A., ubicada en la Urb. La Candelaria – Tinaquillo – Edo. Cojedes, es una empresa cuyo objetivo fundamental es la extracción de aceites de semillas oleaginosas (ajonjolí, linaza, girasol, tártago, maní, almendra, semillas de auyama, etc.) mediante un proceso de prensado en frío a una presión máxima de 70 Ton y sin aditivos químicos. Para ello, se tiene que someter a las semillas a un proceso previo de limpieza, eliminando así todo tipo de suciedad y polvo, como también deshidratándola para extraerle la humedad hasta alcanzar valores alrededor de un 10% de humedad, ya que si el nivel de humedad en la semilla es superior al 10%, en el proceso de prensado se forma una pasta, impidiendo de la extracción del aceite de manera satisfactoria.

En la actualidad, el proceso de limpieza se realiza en una máquina centrífuga separada de la deshidratadora que tiene la capacidad de limpiar pequeñas partículas de polvo y suciedad. Esta máquina deshidratadora de poca capacidad productiva y con un sistema totalmente manual, acompañado de un crecimiento de la demanda de aceites totalmente puros, es ineficaz para el nuevo proceso productivo del año 2006, dando origen a la necesidad de diseñar una nueva máquina que pueda realizar la limpieza y la deshidratación de las semillas en un mismo proceso que soporte 120 kilos/20min x 3 etapas de 20 min/hora, dando esto una producción total de 360

Capítulo I EL PROBLEMA

kilos/hora, elevando así la producción y los ingresos económicos de la empresa, por lo tanto, se requiere una máquina que cumpla las nuevas exigencias de esfuerzos, flujo de aire caliente y la automatización para obtener una producción más eficiente y rentable.

1.2.- Formulación del problema

Las máquinas que funcionan en los actuales momentos en la empresa NATURA VIVA, C. A., tienen una capacidad de 30 kilos/20 min., la cual es insuficiente para cubrir la demanda del producto que se espera tener para inicios del año 2006. Por ello, se requiere el diseño de una nueva máquina centrífuga que pueda limpiar y deshidratar 120 kilos/20 min.x 3 etapas de 20 min/hora que sería igual a 360 kilos/hora y que el proceso sea totalmente automatizado.



(a)

(b)

Fig.1.2.1 Empresa NATURA VIVA, C. A.

FUENTE: Los autores

Para que la explicación de dicho proceso sea más clara, el mismo se

Capítulo I EL PROBLEMA

dividirá en tres etapas, los cuales describiremos a continuación:

1.2.1.1.- ETAPA I: Almacenamiento de las semillas.

Esta etapa de almacenamiento (Fig. 1.2.1.1) se basa en el control ambiental, donde las semillas están en un ambiente con una temperatura de 20 °C, humedad relativa de 50% y protegidas de los rayos solares, evitando así la proliferación de parásitos, insectos, hongos o bacterias que dañarían las semillas. También es importante destacar que sin este control se puede iniciar actividades biológicas propias de las semillas (es decir, la respiración, sobremaduración y envejecimiento) que pueden reducir su calidad y utilidad debido a que estos procesos provocarían reacciones químicas (fermentación) que alterarían la composición natural de éstas.



(a)

(b)

Fig. 1.2.1.1 Almacenaje de las semillas

FUENTE: Los autores

1.2.1.2.- ETAPA II: Limpieza de las semillas.

Haciendo referencia a la (Fig. 1.2.1.2.1). Debido a la suciedad y polvo

Capítulo I EL PROBLEMA

contenido en la materia prima, es necesario someterla a una limpieza previa, en el cual, son descargadas manualmente 30 kg de semillas en la tolva de carga de la limpiadora centrífuga (1), dirigiéndose por un conducto (2) por efecto vibratorio de la máquina, hasta un cilindro interior de diámetro 60 cm y una longitud de 380 cm (3), el cual está formado por una malla de acero inoxidable (3) y cuya función es separar las semillas de la suciedad y polvo. Esta suciedad y polvo caen en una canal donde un tornillo sin fin (4) la transporta hasta los conductos de recolección, mientras que las semillas siguen dentro del cilindro y salen luego por el otro extremo de la máquina (5). El cilindro interior y el tornillo sin fin están conectado a un motor-reductor 2 hp (6) mediante un sistema de transmisión flexible (Cadena) (7) que hace girar a dicho cilindro a una velocidad aproximadamente de 20 rpm. Para ver más detalles observar las figuras 1.2.1.2.2 y 1.2.1.2.3.

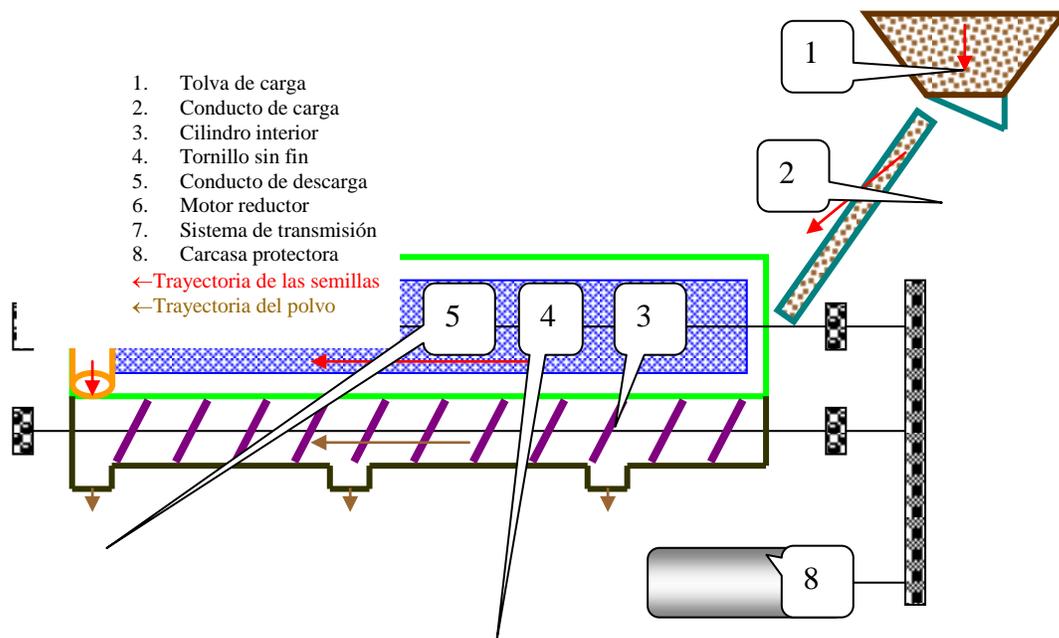


Fig. 1.2.1.2.1 Esquema de la máquina limpiadora

FUENTE: Los autores

Capítulo I EL PROBLEMA

El cilindro interior está protegido por una carcasa exterior de 85 cm de diámetro y una longitud de 387 cm de fibra de vidrio (8), el cual permanece estática y su función es la de encerrar las partículas de polvo y suciedad que contengan las semillas.

Después de este proceso de limpieza se extraen las semillas por un conducto (5) y se pasan manualmente a la máquina deshidratadora.

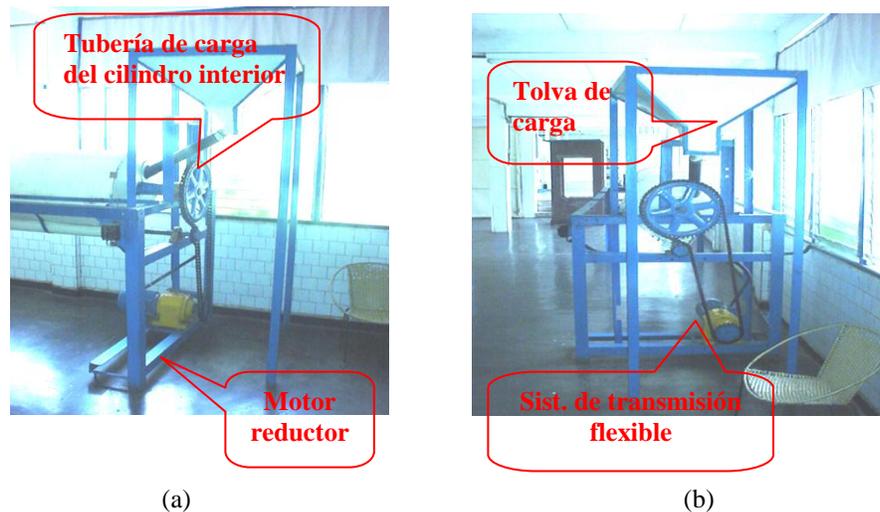


Fig. 1.2.1.2.2 Tolva de carga de la limpiadora centrífuga

FUENTE: Los autores



Fig. 1.2.1.2.3 Conductos de extracción de semillas de la máquina limpiadora y conductos de extracción del polvo

FUENTE: Los autores

Capítulo I EL PROBLEMA

1.2.1.3.- ETAPA III: Deshidratación de las semillas.

Luego de limpiadas las semillas se pasan a la máquina deshidratadora, la cual extrae la diferencia entre la humedad inicial y la final del proceso, logrando así el estado óptimo para la extracción del aceite. Este proceso de deshidratación tiene que ser estrictamente con flujo de aire caliente entre 50 °C y 70 °C, para garantizar la invariabilidad de la estructura molecular del aceite, de lo contrario perdería sus características esenciales.

Se depositan 30 kg de semillas en el cilindro interno de la máquina deshidratadora (Fig. 1.2.1.3.2) (1), fabricado con una malla de acero inoxidable (Fig. 1.2.1.3.3) y el cual se hace girar mediante un sistema de transmisión flexible (cadena) (2) y (Fig. 1.2.1.3.4b) por un motor-reductor de 2 hp y a una velocidad de giro de 20 RPM.

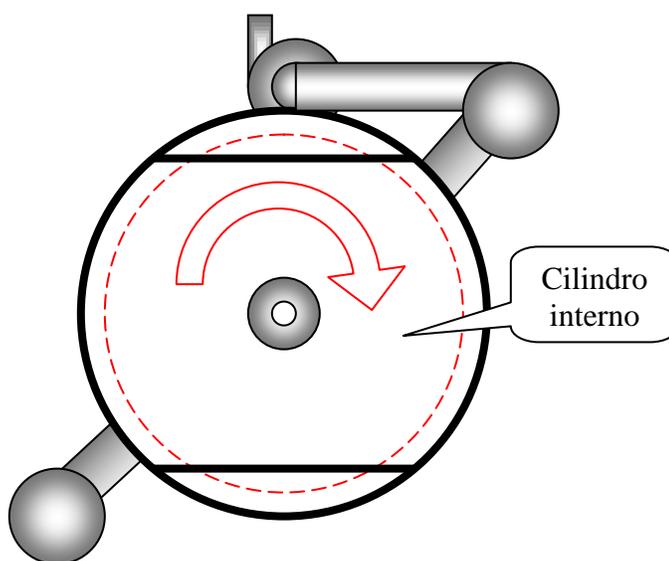


Fig. 1.2.1.3.1 Esquema de la máquina deshidratadora

FUENTE: Los autores

Capítulo I EL PROBLEMA

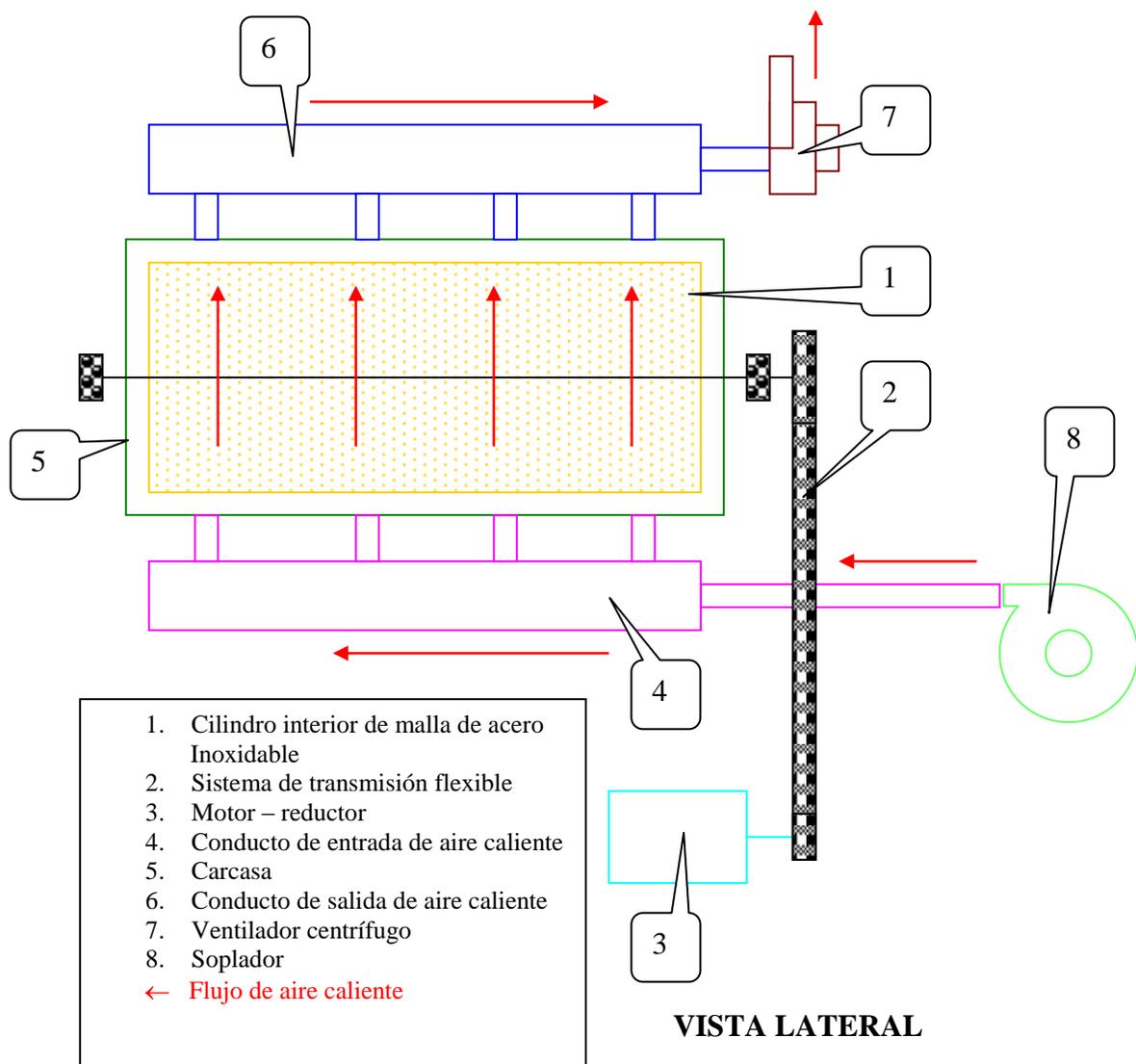


Fig. 1.2.1.3.2 Esquema de la máquina deshidratadora

FUENTE: Los autores

Capítulo I EL PROBLEMA



Fig. 1.2.1.3.3 Cilindro interior de la deshidratadora

FUENTE: Los autores



(a)



(b)

Fig. 1.2.1.3.4 Sistema de transmisión de potencia al cilindro interior de la deshidratadora

Este movimiento centrífugo permite que las semillas tengan una deshidratación más efectiva, ya que ellas no giran completamente con el cilindro sino que a medida que se aproximan a la parte superior del cilindro caen libremente describiendo una trayectoria parabólica (Fig. 1.2.1.3.5) en la cual se transfiere la mayor humedad en una revolución.

Capítulo I EL PROBLEMA

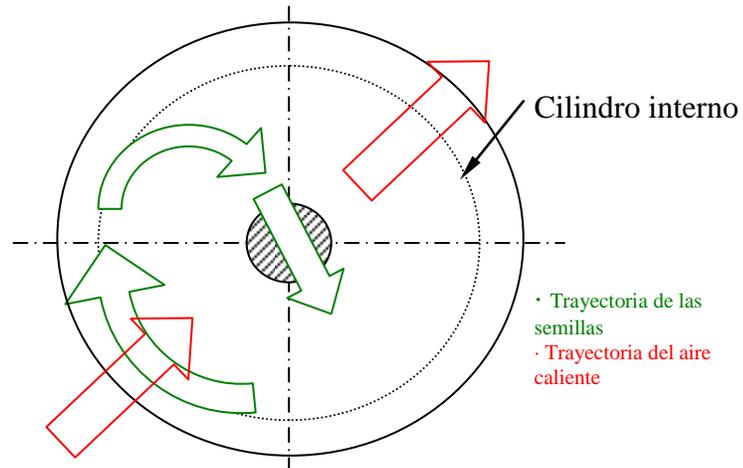


Fig. 1.2.1.3.5 Trayectoria de las semillas dentro de la deshidratadora

FUENTE: Los autores

Para ello, se hace pasar un flujo de aire caliente perpendicularmente a la dirección de las semillas. Este flujo de aire es suministrado por un soplador (Fig. 1.2.1.3.6b) y calentado por conducción y convección (Fig. 1.2.1.3.7), ya que éste pasa por un ducto que está aislado por arriba y tiene un mechero en la parte inferior que transfiere el calor al aire.

Capítulo I EL PROBLEMA

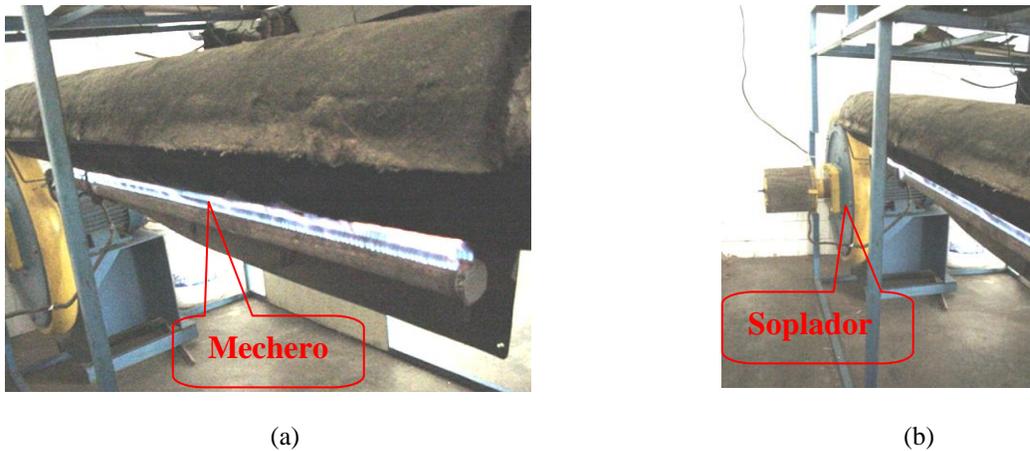


Fig. 1.2.1.3.6 Proceso de transferencia de calor al aire

FUENTE: Los autores



Fig. 1.2.1.3.7 Conducto de aire y gas para la transferencia de calor

FUENTE: Los autores

Estos mecheros son alimentados con gas domestico y aire (Fig.1.2.1), los cuales se controlan manualmente. Este aire caliente es enviado a través de tuberías hacia un cilindro exterior o carcasa del cilindro móvil (Fig.1.2.1.), y extraído por la parte superior (Fig.1.2.1.3.9e) por dos ventiladores centrífugos (Fig.1.2.1.3.9 f) los cuales llevan dicho aire hasta una chimenea para expulsarlo al ambiente.

Este proceso tiene una duración de 20 minutos por cada carga de 30 kg de semillas por 3 etapas cada hora, teniendo así una producción de 90 kg./ hora.

Capítulo I EL PROBLEMA

A continuación se procederá a una secuencia de fotos que nos ayudarán a comprender más el proceso: Las mezcla de gas y aire a presión (Fig. 1.2.1.3.8a) es introducida a la tubería del quemador (Fig. 1.2.1.3.8 b) creándose así una transferencia de calor (Fig. 1.2.1.3.8 c y 1.2.1.3.8 d) al aire suministrado por un soplador (Fig. 1.2.1.3.8 e); luego el aire calentado es conducido en el interior de la carcasa cilíndrica de fibra de vidrio (Fig. 1.2.1.3.9 a) de diámetro 89 cm y 102 cm de longitud de la deshidratadora pasándolo a través del cilindro interior (Fig. 1.2.1.3.9 b) de diámetro 76 cm (donde se encuentran las semillas) para luego extraerlo con dos ventiladores centrífugos (Fig. 1.2.1.3.9 f y 1.2.1.3.9 g) accionados por un motor (1/2 hp) (Fig. 1.2.1.3.9 h) a través de un sistema de transmisión flexible (correas) (Fig. 1.2.1.3.9 i) por la parte superior derecha de la carcasa (Fig. 1.2.1.3.9 d y 1.2.1.3.9 e). Nota: El flechado en rojo indica la dirección del flujo de aire caliente.



Fig. 1.2.1.3.8 Secuencia del proceso de transferencia de calor al aire



Fig. 1.2.1.3.9 Secuencia del flujo de aire caliente

FUENTE: Los autores

Después de 20 minutos de operación se procede a parar la máquina para retirar la compuerta de la carcasa (Fig. 1.2.1.3.9 c) y después se abre la compuerta del cilindro interno (Fig. 1.2.1.3.9 b), el cual está sujeto con tres tornillos mariposas. Estando libre la compuerta interior, las semillas se dejan caer en una bandeja (Fig. 1.2.1.3.10).

Capítulo I EL PROBLEMA



Fig. 1.2.1.3.10 Secuencia del proceso de descarga de las semillas

FUENTE: Los autores

Después de todo este proceso las semillas salen aproximadamente con un 10% de humedad, temperatura aproximada de 50 °C y con la estructura molecular natural, es decir, en el estado requerido para luego pasar al proceso de prensado en frío con una presión máxima de 70 toneladas, extrayendo así un aceite sin aditivos químicos. A continuación se puede observar el diagrama de flujo (Fig. 1.2.1.3.11) del proceso completo.

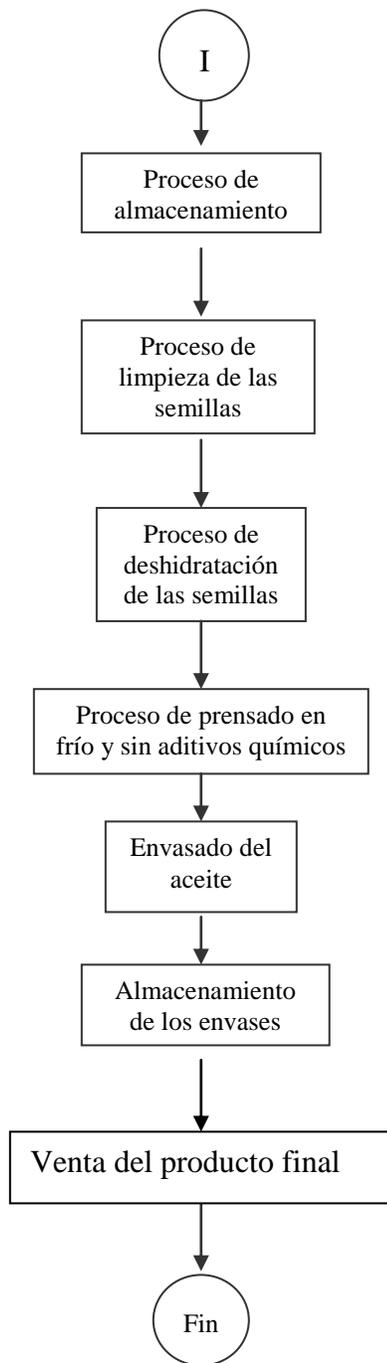


Fig. 1.2.1.3.11 Diagrama de flujo del proceso

FUENTE: Los autores

Capítulo I EL PROBLEMA

1.2.2.- Esquema del plano del proceso

En la siguiente figura se esquematiza la ubicación de los procesos utilizados por NATURA VIVA, C.A. para la producción de aceites oleaginosos, donde se indica la secuencia del proceso en rojo y los procesos que no entrarán en estudio en gris claro, pero para conocimiento de todo el proceso es bueno señalarlo.

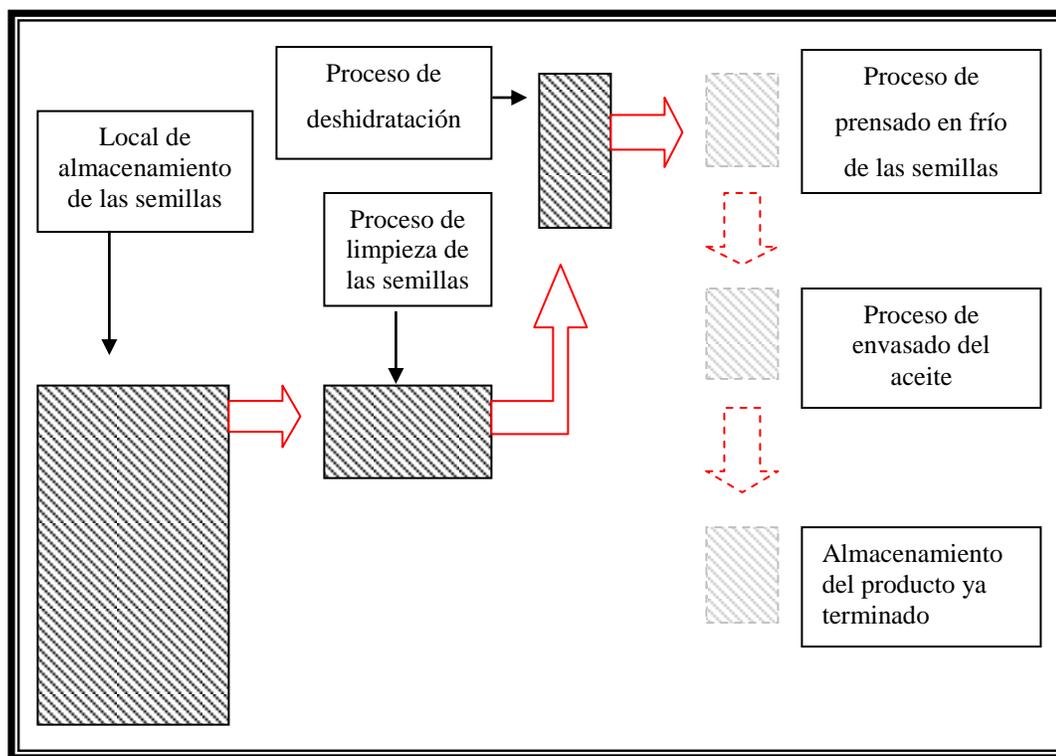


Fig. 1.2.2.1 Plano del proceso actual
FUENTE: Los autores

Capítulo I EL PROBLEMA

1.3.- OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema mecánico centrífugo para limpiar y deshidratar con aire caliente semillas oleaginosas para la extracción de sus aceites.

1.3.1.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el funcionamiento del sistema actual.
 - Definir las variables que influyen en la extracción de aceites de semillas oleaginosas.
 - Diseñar el sistema centrífugo para la limpieza y deshidratación de las semillas oleaginosas.
 - Diseñar el sistema de calentamiento, que garantice el flujo de aire requerido para deshidratar las semillas en el menor tiempo posible, sin alterar sus propiedades esenciales y con un porcentaje de humedad aproximado entre 8% y 12%.
 - Diseñar el mecanismo de carga y descarga de las semillas en la máquina centrífuga.
 - Automatizar el proceso de limpieza y deshidratación de las semillas.
 - Estimar los costos de fabricación y beneficios económicos.
-

Capítulo I EL PROBLEMA

1.4.- JUSTIFICACIÓN

Debido a las investigaciones científicas en el área de la medicina, se ha llegado a la conclusión de que los aceites de semillas oleaginosas extraídos sin modificar su estructura molecular natural (proceso de extracción de aceite de semillas oleaginosas prensadas en frío y sin aditivos químicos), son beneficiosos para prevenir y tratar enfermedades del ser humano, tales como, cáncer y enfermedades del sistema inmunológico. Por tal motivo su uso se ha incrementado, ampliando la demanda de un mercado que hoy en día en todo el territorio Venezolano se encuentra en una fase de crecimiento.

NATURA VIVA C. A., es una de las pocas empresas en el país dedicadas a la extracción de este tipo de aceites de semillas oleaginosas tanto importadas como nacionales, ha notado que su producción es insuficiente para satisfacer la demanda del producto para el año 2006 en todo el territorio nacional. La capacidad de las máquinas actuales de 90 Kg/h es insuficiente, lo que ha motivado a dicha empresa a diseñar un sistema mecánico (limpiadora y deshidratadora) que pueda al mismo tiempo limpiar y deshidratar 120 kg de semillas en un período de 20 minutos, elevando su producción a 360 kg por hora, trayendo un crecimiento económico a la empresa y satisfaciendo la demanda del mercado futuro.

Estas máquinas limpiadoras y deshidratadoras ya existen en el exterior del país, pero importarla sería muy costoso y para la empresa no es rentable cubrir tales costos.

Capítulo I EL PROBLEMA

1.5.- LIMITACIONES

1. La empresa Natura Viva, C. A., está ubicada en Tinaquillo - Estado Cojedes, por lo cual, se podría dificultar el traslado para las visitas de rigor a la empresa.
2. La empresa posee una infraestructura bien distribuida, pero de pequeño espacio físico, el cual puede restringir las dimensiones de la futura maquinaria.
3. El tiempo de operación de la compañía es de Lunes a Viernes, impidiendo el acceso los fines de semana.
4. Por el nivel económico de la empresa, nos vemos restringidos a seleccionar las soluciones menos costosas posible y que no atenten contra el equilibrio económico de la misma.
5. Carencia de la información disponible acerca del proceso.

1.6.- ALCANCES

Vista la necesidad que tiene la empresa NATURA VIVA C. A. de ampliar la capacidad de extracción de aceite de semillas oleaginosas, debido a la gran demanda a nivel de toda Venezuela, se requiere diseñar un nuevo sistema mecánico que cumpla con las exigencias del proceso, tales como:

- Capacidad para 120 kg/20min x 3 etapas de 20 min/hora, dando esto una capacidad total de 360 kg por hora.
-

Capítulo I EL PROBLEMA

- Que el proceso de deshidratación de las semillas sea tal, que garantice un porcentaje de agua entre 8% y 12%.
- Que el cilindro de carga tenga movimiento centrífugo.
- La temperatura del aire para la deshidratación oscile entre 50 °C y 60 °C.
- La velocidad de giro del cilindro este alrededor de 20 RPM.
- Los tipos de semillas a utilizar para el diseño serán ajonjolí y maní.
- El costo de construcción del sistema mecánico este alrededor de 25 millones de bolívares.

Dejando al interés de la empresa NATURA VIVA, C.A. la construcción de dicho sistema mecánico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1.- Antecedente de la empresa Natura Viva, C.A. N° 1

En la empresa NATURA VIVA, C. A., anteriormente la deshidratación de las semillas se efectuaba mediante un proceso, el cual consistía en la colocación de las semillas dentro de un caldero metálico (Fíg. 2.1.1.1). El caldero estaba sobre un soporte que le permitía tener un movimiento basculante. En ese mismo soporte y debajo del caldero se ubicaba un quemador de gas, el cual se encendía manualmente y calentaba la superficie del caldero, luego por convección el calor era transmitido a las semillas elevando su temperatura. Este aumento de la temperatura era el que permitía la deshidratación de la semillas que se movían constantemente con una paleta de madera para que la deshidratación fuera lo más homogénea posible.

El problema de este método era que el aceite contenido dentro de las semillas perdía el estado molecular natural, alterando las propiedades curativas de dichos aceites.

Una de las causas que provocaban estos cambios se debía al aumento de la temperatura interna de las semillas sobre los límites requeridos, ya que el contacto directo con la superficie caliente del caldero generaba el deterioro de las semillas.

Otros de los problemas se debían a que era un mecanismo completamente manual y requería de una vigilancia continua de un operario.

Capítulo II MARCO TEÓRICO

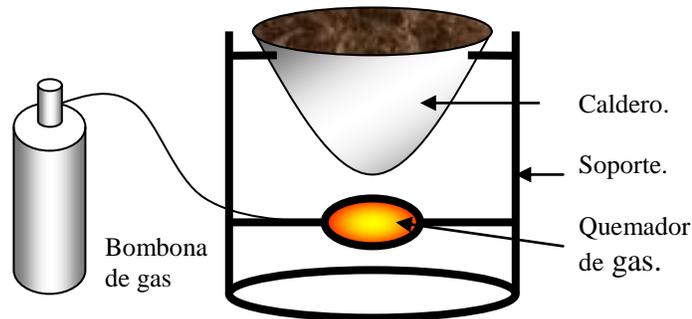


Fig. 2.1.1.1 Sistema de proceso de deshidratación de las semillas

FUENTE: Los autores

2.1.2.- Antecedente de la empresa Natura Viva, C.A. N° 2

Otro de los métodos aplicados por NATURA VIVA, C. A., fue la colocación de las semillas en una bandeja dentro de una cámara cerrada y por donde se hacía circular aire caliente. Dicho aire absorbía la humedad del agua que contenían las semillas, pero visto que este método carecía de un mecanismo que revolviere o moviera las semillas, esto traía como consecuencia una deshidratación poco homogénea de las semillas, dejando éstas en condiciones desfavorables para el prensado en frío, ya que el porcentaje de humedad no era el adecuado. A continuación se ilustra un esquema de la cámara de deshidratación (Fig. 2.1.2.1).

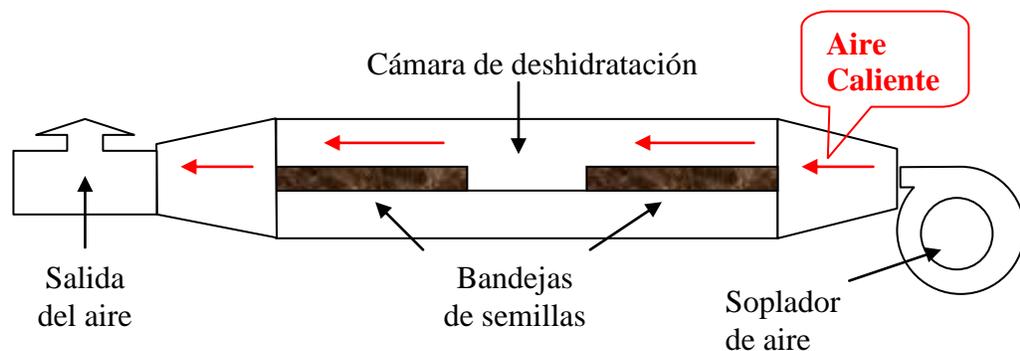


Fig. 2.1.2.1 Cámara de deshidratación de las semillas con flujo de aire caliente

FUENTE: Los autores

2.1.3.- Secado de granos

Capítulo II MARCO TEÓRICO

Según la literatura “*Las operaciones de la ingeniería de los alimentos, N.D. Cowell, A.E.V. Lilly, J.G. Breman y J.R. Butters (1980)*”. El secado de granos se puede definir de distintas maneras, según el enfoque que se desee adoptar. En los estudios más teóricos se pone el énfasis en los mecanismos de transferencia de energía y de materia. Así, el secado se puede definir como un proceso en que hay intercambio simultáneo de calor y masa, entre el aire del ambiente de secado y los granos. En cambio, en los casos generales, se define el secado como la operación unitaria responsable de la reducción del contenido de humedad de cierto producto, hasta un nivel que se considera seguro para el almacenamiento de éste.

Se entiende que es seguro un nivel de humedad por debajo del cual se reduce la actividad respiratoria de los granos y se dificulta el ataque de insectos y hongos. Dicho nivel, varía con los distintos tipos de granos, pero, para los granos más comunes, abarca una gama entre 10 y 14% de humedad expresada sobre base húmeda.

Se han secado productos agrícolas desde los albores de la civilización. Al comienzo no había preocupación por el almacenamiento, y la disminución de la humedad se producía en el campo mismo. Era un "secado" que se realizaba en las condiciones naturales del ambiente, dictadas principalmente por la energía solar incidente y el movimiento del aire, es decir, por el viento. Más adelante se intentó controlar parcialmente las condiciones del secado, y éste pasó a realizarse en hornos especiales o en recintos calentados. Recién entre la Primera y Segunda Guerra Mundial se construyeron diversas unidades experimentales de secado. En aquella época sólo funcionaban algunas unidades comerciales, que se destinaban fundamentalmente a la deshidratación de frutas, verduras, heno y al secado de semillas de maíz.

Capítulo II MARCO TEÓRICO

Después de la Segunda Guerra Mundial, se hicieron comunes las grandes unidades de secado de granos comerciales y en las haciendas se empezó a secar grandes cantidades de ellos.

Este aumento en la demanda de secado fue consecuencia del desarrollo de los métodos mecánicos de cosecha. En América Latina, una parte importante de la producción de granos se seca todavía en forma primitiva, es decir, se seca en el campo durante largos períodos. El uso de esta técnica acarrea elevadas pérdidas de producción, puesto que los granos quedan expuestos, durante lapsos prolongados, a condiciones adversas y a la acción de depredadores.

Hay consenso, entre los técnicos del sector de almacenamiento de que el secado de granos a bajas temperaturas presenta buenas perspectivas de aplicación en el país, principalmente ante la necesidad de ampliar la capacidad de almacenamiento de las haciendas, para lo cual esta tecnología reviste especial interés económico.

El secado a bajas temperaturas viene atrayendo, además, al sector productor de semillas, puesto que con tal sistema se puede mantener la calidad del producto cosechado mejor que con el uso de secadores que funcionan a temperaturas elevadas.

2.1.3.1.- Necesidad de secado

Al llegar a la madurez fisiológica, los productos agrícolas y en especial los granos, presentan en la mayoría de los casos, un contenido máximo de materia seca. Sería recomendable cosechar los granos en ese punto de desarrollo, desde el punto de vista del rendimiento máximo de la producción. No obstante, varios factores limitan esa posibilidad, destacándose entre ellos el contenido de humedad de los granos.

Al comienzo de la etapa de madurez fisiológica, los granos presentan, además del contenido máximo de materia seca, un elevado porcentaje de agua. Esta condición

Capítulo II MARCO TEÓRICO

acarrea algunas dificultades, pues los granos no resisten los procedimientos mecánicos de recolección y demás operaciones de tratamiento. Es preciso esperar, entonces, que la cosecha se realice "tan pronto" como los granos lo soporten. Esta técnica ofrece algunas ventajas, como son: un mayor porcentaje de materia seca (como ya se mencionó), menor contaminación del producto en el campo, menor pérdida por ataque de depredadores, mayor porcentaje de germinación y vigor y otras.

El mayor inconveniente de la cosecha de productos húmedos es la necesidad de reducir su contenido de humedad a niveles seguros para su almacenamiento, siendo un proceso que exige un gran consumo de energía. En general el secado artificial de granos es una técnica que ha venido creciendo en América Latina. En las regiones en que se la conoce, normalmente está mal utilizada. En consecuencia, hay elevadas pérdidas de granos en esos países.

2.1.3.2.- Técnicas de secado de granos

Las técnicas de secado de granos son ampliamente conocidas y utilizadas en países desarrollados. Esto quiere decir que luego de adaptarlas a las condiciones de cada país, es posible perfeccionar rápidamente las técnicas que se emplean en esos países. Por lo menos en principio, esta afirmación es valedera; pero dicho perfeccionamiento se ve dificultado por algunos factores: el nivel de instrucción de los productores, los costos de la tecnología de secado importada, el volumen de producción y la disponibilidad de energía eléctrica, son los más importantes.

Un sistema de secado y almacenamiento exige costos de inversión relativamente elevados. La adquisición de tal sistema requiere además el adiestramiento técnico del operador, para que se pueda aprovechar al máximo los beneficios que esa nueva tecnología puede ofrecer, pues las ventajas del sistema dependen del buen manejo. Además de conocer las características del equipo adquirido, el productor debe saber que su capacidad de negociación depende de la

Capítulo II MARCO TEÓRICO

capacidad de comercialización. El aprovechamiento correcto de esa capacidad puede llevarlo a maximizar sus utilidades.

Debido a los costos iniciales aludidos, para que el uso de las técnicas de secado y almacenamiento sean económicamente viables, debe haber un nivel de producción mínimo. Con todo, es un error suponer que esta tecnología es recomendable sólo para grandes producciones. Las variaciones de la técnica extienden su utilización a un abanico bastante amplio de producción. Como es natural, a medida que se traten volúmenes mayores, mejor será el tratamiento que ellos podrán recibir, por los refinamientos que se podrán incorporar a los sistemas.

En los métodos de secado más modernos, los intercambios de aire y masa entre granos y ambiente se producen principalmente por convección de aire forzado. Por tal motivo, los secadores de granos están provistos generalmente, de un ventilador, como agente de movimiento del aire. La falta de energía eléctrica para impulsar estos ventiladores es una de las mayores trabas que impide la popularización del sistema de secado y almacenamiento a nivel de siembra. Ciertos países están enfocando sus esfuerzos, con el apoyo financiero del gobierno, en el desarrollo de métodos que hagan técnica y, económicamente viable el tratamiento de granos en la propia siembra, en reglones que no disponen de energía eléctrica.

2.1.3.3.- Métodos de secado

Los métodos que se emplean para realizar el secado de granos son diversos y se pueden clasificar como sigue:

- a. Secado natural
 - en el campo
 - en asoleaderos



Capítulo II MARCO TEÓRICO

b. Secado artificial

- a bajas temperaturas: con aire natural, con aire ligeramente calentado
- a altas temperaturas: en lecho fijo en flujos cruzados en flujos concurrentes, en flujos contracorriente en cascada (flujos mixtos)
- en combinación: alta temperatura baja temperatura
- secado aireación

Los métodos de secado natural no se analizan aquí, pues sus parámetros de secado dependen solamente de las condiciones ambientales. Se les mencionará, en algunos casos, como alternativas.

Se denominan procedimientos de secado a bajas temperaturas, aquellos que usan aire a temperatura ambiente o calentado en 3 a 5°C, como medio de transporte de humedad y energía. En estos procedimientos se emplean bajos flujos específicos de aire (2,0 - 5,0 m³ / min * t). Los bajos flujos de aire, junto con las condiciones de éste, hacen que los procedimientos de secado a bajas temperaturas sean típicamente lentos y tarden días o semanas en alcanzar la humedad deseada del producto. En cambio, estos procedimientos son energéticamente eficientes y el producto final es de buena calidad. Se les puede emplear para producciones tanto pequeñas como grandes, y sus puntos limitantes son las condiciones ambientales, la velocidad de cosecha del producto y el posible desarrollo de hongos.

Los procedimientos de secados a altas temperaturas se caracterizan por el empleo de aire calentado, por lo menos a 10°C, sobre la temperatura ambiente. Los flujos específicos del aire son mayores que en los casos anteriores y en consecuencia, la velocidad de secado es más alta. Así, el secado de granos a altas temperaturas se emplea en los predios en que hay grandes producciones y la cosecha diaria es de un alto volumen, y en unidades almacenadoras colectoras e intermedias, que reciben los productos húmedos.

Capítulo II MARCO TEÓRICO

Los procedimientos de secado a altas temperaturas exigen un manejo más cuidadoso y con mayor vigilancia, porque el peligro de accidentes, principalmente incendios, es más grande y porque la posibilidad de que se dañe el producto también se acentúa. Aun así, el manejo correcto de los secadores permite que se sequen algunos productos, sin alterar su calidad final. Si bien es cierto que no todos los tipos de secadores aceptan esa clase de manejo, el aumento de la temperatura del aire de secado, aunque por un lado exige mayor supervisión, por otro aumenta la eficiencia energética del procedimiento (menor consumo de energía por unidad de masa de agua evaporada). Esta característica de los procedimientos de secado a alta temperatura se debe explorar bien e investigar mejor, especialmente en cuanto a los costos de energía.

2.1.3.4.- Combustibles empleados en el secado de granos

Hasta el advenimiento de la crisis energética mundial 2003, no había ninguna preocupación por el consumo de combustible en el secado de granos; no era necesario que los procedimientos de secado fueran eficientes energéticamente, debido al bajo costo de los derivados del petróleo, los cuales representaban la mayor fuente de energía para estos tratamientos. Las características importantes de un secador de granos eran entonces: bajo costo inicial, manutención fácil y no causar daños al producto final. Esto hizo que los secadores de flujo cruzado alcanzaran gran popularidad en los países desarrollados, especialmente en los Estados Unidos. En los procedimientos de secado a baja temperatura se usaba la energía eléctrica para accionar el ventilador o como fuente suplementaria de calentamiento del aire.

A partir de 1973 se investigaron nuevas fuentes de energía; en la misma forma, se elaboraron sistemas de secado más eficientes. Esta transformación en el campo del secado de granos señala claramente que la aplicación de nuevas técnicas exige, además de la eficiencia técnica, la seguridad de que se trata de un sistema

Capítulo II MARCO TEÓRICO

económicamente viable. Si bien el desarrollo de tecnologías nuevas se puede realizar a "cualquier" costo, no rige lo mismo para sus aplicaciones. Estas últimas sólo serán posibles una vez que se haya determinado el punto de equilibrio entre costos y beneficios.

A partir de 1981 los subproductos del petróleo quedaron prohibidos en el Brasil para el secado de productos agrícolas. Antes de que su uso fuera vedado, los petróleos pesados y el diesel eran los subproductos del petróleo que más se empleaban con tal fin. En Venezuela y otros países se usa hace tiempo el gas natural o el gas licuado de petróleo. La combustión de estos gases es una manera eficiente de obtener energía, pues el perfeccionamiento de, quemadores apropiados, permite la combustión casi completa de los gases. Además, el control del flujo de los combustibles se puede realizar fácilmente con ayuda de dispositivos electromecánicos, lo que facilita la automatización del sistema de secado.

La disponibilidad de energía eléctrica suele ser un factor limitante para la adopción de tecnologías de secado, porque los sistemas llevan uno o varios ventiladores impulsados por electricidad. En el Brasil, por ejemplo, la carencia de una red más extensa de distribución eléctrica es la traba más importante que impide la difusión de los sistemas de secado y almacenamiento a nivel de predio. Como ejemplo, se puede citar el caso del Estado de Paraná, uno de los mejores dotados de energía eléctrica, cuyo gobierno fijó como meta la electrificación de 100 000 a 120 000 predios rurales. Esto da una dimensión del problema a nivel nacional. En vista de esto, se está investigando el secado en instalaciones que no emplean esa fuente de energía. Estos dispositivos se denominan secadores con aire movido por convección natural y pueden tener aplicación entre los pequeños agricultores en regiones de frontera agrícola, y en predios que no puedan disponer de energía eléctrica.

Capítulo II MARCO TEÓRICO

El empleo de la electricidad como fuente suplementaria de calor se ve limitado por su elevado costo. Una reducción de dichos costos podría conducir a una mayor utilización de los sistemas de secado a bajas temperaturas con aire ligeramente calentado. Dichos sistemas son totalmente automáticos y exigen poca vigilancia, pues son de fácil manejo.

La prohibición del uso de subproductos del petróleo como fuente de calentamiento del aire para el secado de productos agrícolas decretada por algunos gobierno, condujo al estudio de alternativas en las fuentes de energía. Entre ellas, las más importantes son la leña, los residuos agrícolas y la energía solar.

El uso de leña como fuente de calentamiento de aire para el secado de granos ha sido a la vez solución y problema. Como solución, se "recién descubrieron" hornos que se habían usado hasta hace poco tiempo, cuando se los reemplazó con quemadores de subproductos de petróleo. El problema se presentó en dos formas principales: una de ellas se vincula a la falta de optimización de los hornos. Como consecuencia inmediata, estos "nuevos" hornos presentan un consumo elevado de leña debido a diversas pérdidas. Se han realizado pocos estudios con el objeto de determinar el tamaño y la forma ideales de los distintos tipos de hornos, la cantidad de aire que se necesita para la combustión completa y un mejor aprovechamiento de la energía disipada a través de sus paredes.

La utilización de ciertos residuos agrícolas ha sido objeto de mucha controversia en países desarrollados. Algunos sectores abogan por su empleo en el secado de granos, en especial el que se realiza en el propio predio, con miras a una independencia energética de los predios rurales. Por otra parte, se discuten los efectos negativos que la remoción de esos residuos causaría en los suelos, facilitando su erosión e impidiendo la circulación de nutrientes. Está a la vista aquí la necesidad de estudios que cuantifiquen lo que queda en el campo y lo que sale de él, para que no se

Capítulo II MARCO TEÓRICO

compita por deteriorarlo y al mismo tiempo se permita secar productos agrícolas a precios más compatibles. Por ejemplo, se estima que la cantidad de residuos agrícolas (restos de cultivos y del beneficio de granos) es igual en peso a la materia prima noble producida.

Se ha comentado mucho con respecto a la utilización de energía solar en el secado de granos y se han realizado extensos estudios y algunos puntos se han puesto en tela de juicio. Uno de éstos es el elevado costo inicial de los colectores, por lo que esta forma de energía no resulta gratuita, como muchos creen. Se han hecho intentos de desarrollar colectores más baratos, cuyo costo sea competitivo con el uso de otras fuentes de energía, pero todavía no se ha llegado a resultados satisfactorios. El otro aspecto de suma importancia, que limita la utilización de colectores solares para calentar el aire de secado de granos, es la coincidencia del periodo de cosecha de la mayoría de los cultivos con la época de lluvias. Este periodo en que más se necesita el sol es también la época en que éste se encuentra 'menos disponible'. Esta fuente de energía se debe usar con extremo cuidado, ya que a la hora de necesitarlo podría no estar disponible.

2.1.3.5.- Eficiencia térmica del secado

El consumo de energía en un secador no se debe medir solamente en unidades de combustible usadas en el proceso. Es importante que se relacione este consumo con la cantidad correspondiente de agua evaporada, de ahí la necesidad de definir un elemento que sirva de término de comparación entre diferentes secadores. Ese término, bien aceptado ya entre la comunidad científica, es el que aquí denominamos eficiencia térmica de secado y se define así: "relación entre la cantidad de energía destinada al secado y la cantidad de agua evaporada durante el proceso". Para los efectos de calcular este término no se incluye la energía para mover los granos.

Capítulo II MARCO TEÓRICO

El consumo de energía por unidad de agua evaporada varía con diversos parámetros. De ellos, los más importantes son: la variación de la humedad del producto durante el secado (tasa de secado), las condiciones ambientales y el tipo de secador empleado.

La tasa de secado de cierto tipo de granos, a su vez, es función de la temperatura y del flujo de aire de secado, del contenido de humedad inicial y de equilibrio de los granos, de la temperatura y, cuando corresponda, de la velocidad de los granos dentro del secador.

El tipo de secador que se utilice ejerce gran influencia sobre el rendimiento térmico del secado. Cada producto se seca a una tasa diferente y cada uno presenta exigencias más o menos precisas respecto a la calidad. Existe así la necesidad de perfeccionar diferentes secadores por tipo de grano, pues las condiciones de secado (temperatura, flujo de aire, velocidad del paso del producto por el secador, contenido inicial de humedad, etc.) del arroz son distintas de las del maíz, fréjol o poroto soya, es decir que el secado del maíz en un secador apropiado para poroto soya ya indica que el procedimiento no será térmicamente eficiente.

En vista de los aspectos mencionados, queda en claro la necesidad de realizar extensas investigaciones en el campo, sobre el dimensionamiento y tal optimización de los sistemas de secado de productos agrícolas. Es preciso, naturalmente, investigar a fondo el comportamiento de los parámetros de secado y su interdependencia, pues de su dimensionamiento correcto dependerá el éxito final de la empresa. Hay además otros factores que no se han mencionado aquí y que son de extrema necesidad en los estudios de optimización de secadores para granos: la recirculación de aire de secado, el secado intermitente y la aplicación de conceptos de energía en el análisis de la utilización de las fuentes de energía.

2.2.- BASES TEÓRICAS

Capítulo II *MARCO TEÓRICO*

Haciendo referencia a la misma literatura del punto anterior seguimos a continuación a definir ciertos conceptos importantes.

2.2.1.- Centrifugación.

La centrifugación se puede definir como una operación básica con la que se lleva a cabo la separación de las sustancias por medio de la fuerza centrífuga.

La fuerza centrífuga, F_c , que actúa sobre un objeto de masa m , girando en una órbita circular de radio R , con una velocidad angular de w , es:

$$F_c = M * R * w^2 \quad \text{siendo } w = (\pi * N) / 30 \quad \text{Ec. N° 2.2.1.1}$$

donde N = velocidad de rotación en revoluciones / min., w = radianes / s y M = masa kg. Es decir, la magnitud de la fuerza centrífuga depende del radio de giro, de la velocidad de rotación y de la masa de la sustancia.

2.2.2.- Filtración Centrífuga.

Se entiende por ella a la separación de dos sólidos por filtración cuando el flujo de filtrado es producido por medios centrífugos.

En la figura 2.2.2.1 se muestra el principio general de un filtro centrífugo. Se añade el sólido a una cámara giratoria con una pared perforada recubierta con un medio de filtración adecuado.

Los sólidos son proyectados hacia la pared de la cámara y forman una torta de filtración a través de la cual pasa el filtrado bajo la influencia de la fuerza centrífuga, y después a través del medio de filtración y de la pared perforada de la cámara.

Capítulo II MARCO TEÓRICO

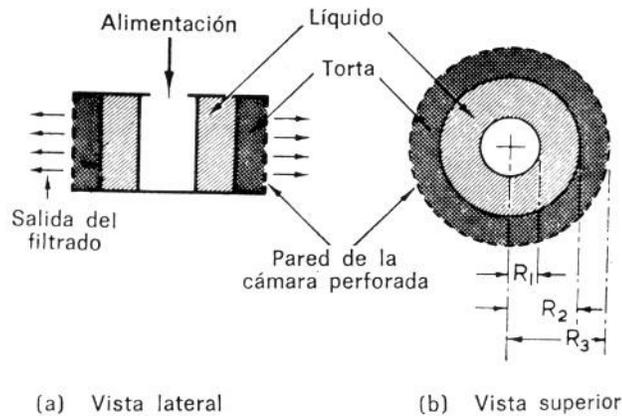


Fig. 2.2.2.1 Principio de un filtro centrífugo sencillo

FUENTE: Brennan, J. Y otros. (1980). *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos* (2ª ed.). Zaragoza, España: ACRIBIA.

2.2.3.- Limpieza de las materias primas.

Función de la limpieza.

Al limpiar las materias primas, el fabricante persigue principalmente dos objetivos: (i) eliminación de contaminantes que constituyen un peligro para la salud o que son estéticamente desagradables, (ii) control de la carga microbiana y de las reacciones químicas y bioquímicas que dificultan la eficacia del procesado y la calidad del producto.

Un proceso de limpieza aceptable debe satisfacer los siguientes objetivos:

- (i) la eficiencia de separación del proceso debe ser lo más grande posible en relación con el desperdicio del producto noble.
 - (ii) El contaminante debe eliminarse completamente después de su separación a fin de evitar la recontaminación del alimento limpio.
-

Capítulo II MARCO TEÓRICO

(iii) El proceso y la maquinaria deberán diseñarse de tal modo que limiten la recontaminación del alimento limpio; por ejemplo, por el polvo del ambiente.

(iv) El proceso de limpieza limpiaría la superficie.

(v) Deberá evitarse lesionar el producto.

(vi) Los volúmenes y concentración de los líquidos efluentes deberán mantenerse al mínimo y eliminarse eficazmente.

La limpieza total de las materias primas es un ideal inalcanzable. En la práctica hay que establecer un balance entre los costos de limpieza (reflejados por las pérdidas de material, el trabajo y gastos del proceso) y la necesidad de producir un alimento de buena calidad.

De este modo los estándares “aceptables” de limpieza de las materias primas deberán especificarse para cada uso en particular, teniendo en cuenta el grado en que la contaminación de la materia prima se reflejará en el producto final.

Prevenir la recontaminación de alimentos limpios es una cuestión vital que con frecuencia se descuida tanto en el diseño como en la manipulación de las instalaciones para limpieza de los alimentos.

En el proceso de deshidratación, especialmente con la tendencia actual a utilizar métodos de temperatura bajas tales como desecación por atomización y liofilización, resulta sólo una disminución relativamente pequeña de la población microbiana.

Capítulo II MARCO TEÓRICO

Está claro, pues, que es de la mayor importancia cumplir con rigor los criterios previamente establecidos. Esto no siempre es fácil, puesto que la zona de limpieza, por la propia naturaleza de su función, con frecuencia es la parte más sucia de la factoría.

La planta de limpieza, se diseñará y construirá cuidadosamente. El empleo de materiales de construcción adecuados, la aplicación de un diseño sanitario ad-hoc y el acabado cuidadoso, son requisitos básicos que no siempre se tienen en cuenta. Por otro lado, el proceso deberá ser lo suficientemente flexible para trabajar con la gran variabilidad de magnitud y tipo de concentración que se encuentra en los productos naturales.

2.2.4.- Métodos de limpieza en seco.

Estos métodos presentan la ventaja de ser relativamente baratos y convenientes ya que la superficie queda seca.

Sin embargo, puede tener lugar recontaminación sino se tiene cuidado extremo para minimizar la generación de polvo. Además, la condición polvorienta existente durante la limpieza en seco puede dar lugar a riesgos de incendio y explosiones. La concentración de polvo que debe alcanzarse para que ocurra una explosión es del orden de unos 30 mg / l, y está es superior a la usualmente considerada como tolerable en un ambiente de trabajo (unos 10 mg / l). Sin embargo, el desplazamiento de polvo desde las cerchas y la parte alta de las puertas y ventanas por una pequeña explosión primaria, o una alteración de otro tipo, puede crear una situación que solamente necesite una chispa de una intensidad del orden de unos 100 mJ (por ejemplo, producida a partir de una herramienta que cae o una conexión eléctrica defectuosa) para causar una explosión grave.

Capítulo II MARCO TEÓRICO

2.2.5.- Tamizados.

En principio, los tamices son separadores de tamaño que se pueden considerar como máquinas de clasificación. Sin embargo, los tamices se pueden utilizar como aparatos de limpieza que remueven los contaminantes de tamaño diferente al de las materias primas.

En su forma más sencilla un tamiz es una placa perforada soportada en un marco. Unos de los tamices más comunes es el de tambor. (Fig. 2.2.4.1)

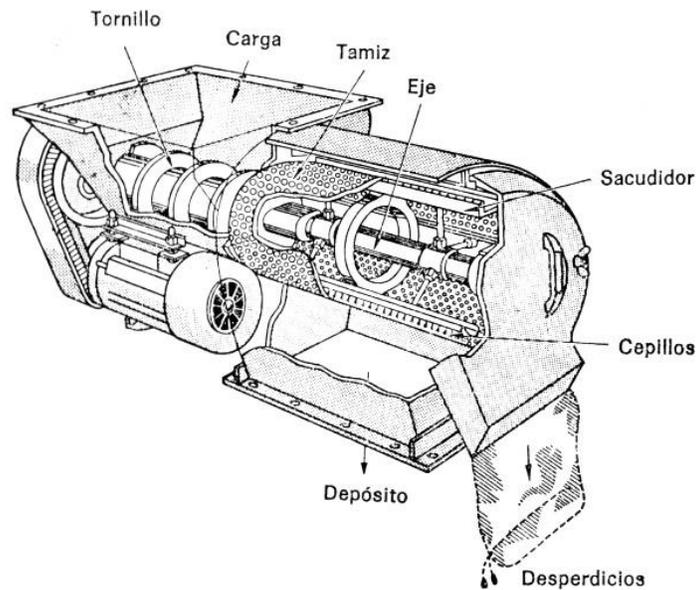


Fig. 2.2.5.1 Diagrama del tamiz Le Coq

FUENTE: Brennan, J. Y otros. (1980). *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos* (2ª ed.). Zaragoza, España: ACRIBIA.

Los tamices de esta clase poseen una buena capacidad y son relativamente baratos de instalar, mantener y operar. Pero presentan la desventaja de que al menos

Capítulo II MARCO TEÓRICO

que se le diseñe cuidadosamente, son difíciles de limpiar pudiendo tener lugar la recontaminación.

La superficie de tamizado puede ser también de malla de hilo de acero inoxidable que son los recomendados para la separación de polvo.

La capacidad de un tambor aumenta a medida que lo hace la velocidad de rotación hasta alcanzar una velocidad crítica. A velocidades mayores que ésta el producto no cae sobre la superficie, sino que se pega de las paredes laterales del tambor por efecto de la fuerza centrífuga, con lo que se dificulta seriamente la separación.

La velocidad crítica según Brennan, J. y otros viene dado por:

$$N = 42,3 / (D)^{1/2} \qquad \text{Ec. N° 2.2.5.1}$$

en la que N es el número de revoluciones por minuto, y D es su diámetro en metros.

Factores que afectan la eficiencia de la operación de tamizado.

El objetivo ideal del tamizado es efectuar la separación completa de los productos deseados de los indeseables. El grado de separación que se alcance puede verse influenciado por una serie de factores.

(i) Velocidad de alimentación. Si la velocidad es demasiado grande se tendrá como resultado un tiempo de resistencia insuficiente sobre la superficie de tamizado.

El ángulo de inclinación del tamiz también influye sobre el tiempo de resistencia. Un ángulo demasiado grande (muy pendiente) dará como resultado un tiempo de

Capítulo II MARCO TEÓRICO

resistencia insuficiente, mientras que un ángulo muy pequeño puede restringir el flujo gravitatorio a través del tamiz.

(ii) Tamaño de la partícula. Aunque la partícula sea suficientemente pequeña, sólo pasará a través del tamiz si su alineación en relación con los agujeros es favorable. Las partículas grandes tienden a impedir el paso de las pequeñas, y si hay presente una gran proporción de partículas grandes puede llegar a ser necesario una separación preliminar.

(iii) Humedad. La presencia de humedad en el producto de partida puede causar la adhesión entre las partículas pequeñas y las grandes, con lo que las pequeñas serán arrastradas junto con las grandes.

(iv) Tamices deteriorados o rotos. Las partículas grandes pasarán por la zona dañada, con lo que se disminuirá la eficiencia de la separación. Los tamices con defectos se deben reparar inmediatamente. Los tamices finos son muy frágiles y se deben tratar con gran cuidado.

(v) Embotamiento de los tamices. El embotamiento u obturación de los agujeros suele ocurrir cuando el tamaño de las partículas es próximo a la de la apertura del tamiz. Con ello las partículas con capacidad para pasar no lo pueden hacer y son arrastradas con los gruesos, los tamices así cegados se deben limpiar inmediatamente o la eficiencia del tamizado sufrirá.

2.2.6.- Tratamiento Térmico.

La situación es complicada debido a que el tratamiento térmico, al cambiar la naturaleza química de los alimentos, también produce cambios de sus

Capítulo II MARCO TEÓRICO

propiedades, esto complica el estudio matemático preciso del flujo de calor en la mayoría de los sistemas prácticos. Sin embargo, se ha realizado progresos enormes en el tratamiento matemático de la transmisión del calor. Estos estudios, aunque de valor inestimable para facilitar nuestro entendimiento de la interacción de los factores que controla el flujo de calor en los alimentos, son o excesivamente generalizados o demasiado específicos o demasiado empíricos.

2.2.6.1.- Métodos de producción de calor por combustión de gas para el tratamiento térmico de los alimentos.

Estos gases domésticos pueden suministrar un valor calorífico de hasta 37,2 MJ/ m³ y por ello presentan un riesgo de incendio y explosión.

En la industria de los alimentos, las propiedades del gas combinadas con su flexibilidad, fácil control y poca mano de obra requerida, lo hacen un combustible atractivo para aparatos tanto de fuego directo como indirecto.

La calefacción indirecta por aire está compuesta básicamente por cuatro componentes:

- (i) Una cámara de combustible en la que se quema el combustible y se desalojan los productos de la combustión desechándolos.
 - (ii) Un intercambiador de calor, en el que el calor de la combustión es dado al aire transmisor del calor.
 - (iii) Un sistema de transmisión, en el que el fluido transmisor de calor se desplaza hasta el elemento utilizador del calor.
 - (iv) Un intercambiador de calor en el final del elemento utilizador de calor, en el que el fluido de transmisión intercambia su calor con el alimento.
-

Capítulo II MARCO TEÓRICO

Entre las variaciones de este sistema básico se incluye el uso de medios de transferencia gaseosos tales como el aire que se pasa por el interior o sobre los alimentos.

El aire es un fluido de transmisión de calor pobre, porque tiene un calor específico y una conductividad térmica pequeña. A pesar de ello, se utiliza aire para muchos procesos de calefacción de los alimentos. En todos estos casos la transmisión es por convección forzada. En los secadores de aire caliente, el aire actúa como medio de transmisión, tanto de calor como de materia. Evidentemente, el aire no es tóxico y no contaminante, aunque puede deteriorar los alimentos sensibles a la oxidación.

2.2.7.- Deshidratación de los alimentos mediante la aplicación de aire caliente bajo condiciones controladas.

La deshidratación de alimentos determina una reducción del peso y normalmente también, del volumen, por unidad de valor alimenticio, e incrementa la vida útil de los productos desecados en comparación con los correspondientes alimentos frescos.

El aire caliente es usado en muchas operaciones de secado, por lo que los secadores de aire han estado en uso por muchos años alrededor del mundo. en el proceso de deshidratación con aire caliente, el alimento se pone en contacto con una corriente de aire caliente, el calor se aporta al producto principalmente por convección.

2.2.8.- Teoría general de deshidratación

Al deshidratar un sólido húmedo con aire caliente, el aire aporta el calor sensible y el calor latente de evaporación de la humedad y también actúa como gas

Capítulo II MARCO TEÓRICO

portador para eliminar el vapor de agua que se forma en la vecindad de la superficie de evaporación.

2.2.8.1.- Secado rotatorio

En este tipo de secado el producto húmedo se hace girar en una cámara cilíndrica por la que pasa aire caliente mientras el producto se mantiene en agitación. En algunos casos también se calienta la pared de la cámara o se instala tubos calentadores en el interior del cilindro. La cámara cilíndrica de acero se monta sobre rodillos quedando ligeramente inclinados. La superficie interior de la cámara se halla provista de aletas batidoras que remueven el producto al girar la cámara, haciendo que el producto caiga a través de la corriente de aire caliente que pasa por el cilindro. El producto húmedo se introduce de manera continua por el extremo más levantado del cilindro y el producto seco se extrae por un rebosadero a tope dispuesto en el extremo más bajo del cilindro. El aire puede fluir concurrentemente o a contracorriente respecto a la dirección del movimiento de los sólidos.

Las principales características de las secadoras rotatorias son:

- (i) Su aplicación se limita a los productos constituidos por partículas que pueden fluir razonablemente bien.
- (ii) Debido al mezclado se consiguen altas velocidades de evaporación y un grado de deshidratación uniforme.

2.2.9.- Diseño higiénico

Las exigencias de la higiene deben tenerse en cuenta a la hora de hacer el diseño de cualquier máquina de procesamiento de alimentos. En general, el diseño,

Capítulo II MARCO TEÓRICO

materiales de construcción y métodos de instalación de una fábrica de alimentos deben elegirse de forma tal que contribuyan a la limpieza y esterilización de la fábrica. Por ello, los aparatos deben ser fáciles de desmontar y de montar rápidamente, usando herramientas sencillas. En otro caso, se deben diseñar para ser limpiados en el sitio.

2.2.9.1.- Naturaleza y materiales de construcción de las superficies de contacto

No se deben utilizar materiales como el cobre, hierro, zinc, cadmio, antimonio y plomo para fabricar partes del equipo que vaya a procesar los alimentos, ya que éstos podrían contaminar dichos productos. Las sustancias plásticas, si se usan, deben ser resistentes a la abrasión y carecer de constituyentes que emigren hacia el alimento.

El acero inoxidable se utiliza extensamente en la fabricación de utillaje y aparatos para la elaboración de alimentos. El acero inoxidable ofrece una gran resistencia a la corrosión en una gran variedad de ambientes, pero no es recomendable en presencia de salmueras. El aluminio y sus aleaciones se utilizan también mucho en las fábricas de alimentos, aunque se debe tener cuidado en seleccionar los agentes de limpieza adecuados, ya que este metal es atacado tanto por ácidos como por álcalis.

En la construcción de las distintas partes o superficies de contacto interior con los alimentos se debe evitar los doblajes, costuras, tornillos, rebabas interiores, etc., ya que promueven regiones estancadas que facilitan la deposición de suciedad.

La unión permanente de partes metálicas se debe hacer por soldadura, preferiblemente con las láminas paralelas y la soldadura se debe desbastar con las superficies adyacentes, teniendo cuidado de evitar la formación de hoyos y grietas.

Capítulo II MARCO TEÓRICO

Por último, todas las instalaciones de las tuberías y accesorios utilizados para los productos alimenticios deben ser fácilmente desmontables para su inspección y limpieza.

2.2.10.- Transporte de los productos.

El desplazamiento de materiales se ocupa de cinco elementos: Movimiento, Tiempo, Lugar, Cantidad y Espacio. El transporte de productos consiste en el movimiento más eficiente al tiempo más adecuado, hacia y desde el lugar correcto, en la cantidad requerida, con la máxima economía de espacio. El desplazamiento no añade nada de valor del producto. Sin embargo, es importante asegurar una eficiencia máxima del transporte durante los siguientes movimientos:

- (i) Materia prima desde el lugar de suministro al almacén o proceso.
- (ii) Producto en elaboración entre las etapas del proceso.
- (iii) Producto acabado hacia el embalaje, almacén y envío.

Cualquier reducción en este objetivo claro tendrá como consecuencia una visión restringida con la correspondiente pérdida de efectividad.

2.2.10.1.- Planteamiento de un mejor sistema.

A fin de diseñar un sistema de desplazamiento mejorado se necesita responder a las siguientes preguntas:

- (i) ¿Cuál es el sistema actual de transporte?.
 - (ii) ¿Cuál es el costo de transporte presente por unidad de producción?.
 - (iii) ¿Cómo se puede mejorar el sistema presente?.
 - (iv) ¿Cuánto costará el nuevo sistema?.
 - (v) ¿Qué ahorro cabe esperar del nuevo sistema?.
-

2.2.10.2.- Consideraciones de seguridad

Los accidentes de desplazamiento se incluyen en dos categorías:

- (i) Consideraciones no seguras, que comprenden:
 - Espacio de trabajo insuficiente.
 - Espacio libre inadecuado.
 - Cubiertas inadecuadas de la máquina en movimiento.
 - Equipos defectuosos.
 - Alumbrado y ventilación inadecuados.
 - Diseño y construcción de los aparatos inseguros.
 - Superficies del suelo en mal estado.

- (ii) Actos peligrosos como:
 - Descarga y apilamientos inseguros.
 - Falta de atención a las señales de tráfico.
 - Realización de reparaciones y reajustes durante la marcha.
 - Trabajar sin autorización.
 - Trabajar a velocidades peligrosas.
 - Uso de equipos incorrectos.
 - Exceder la capacidad de los equipos.
 - No utilización de vestimenta protectora.
 - Juegos que puedan causar la distracción del trabajador.

2.2.11.- Transportadores

El movimiento de los productos se puede proporcionar:

Capítulo II *MARCO TEÓRICO*

- (i) Por gravedad o manualmente.
- (ii) Por mecanismos energizados.

El método de motivación proporciona una base conveniente para subdividir las muchas clases de transportadores en dos grupos principales:

- (i) Los accionados por gravedad o manualmente: transportadores de canal, rodillos y ruedas.
- (ii) Accionados mecánicamente: transportadores de rodillos, cintas, traviesas, cadena, vibratorios, magnéticos, tornillo, peldaños neumáticos.

Visto que existe una gran diversidad de transportadores, aquí nos referimos a una parte de ellos.

2.2.12.- Transportadores de gravedad.

- ❖ **Canales.** Son conductos inclinados abiertos, de superficie lisa, utilizados para transportar desde niveles altos a bajos por medio de la fuerza de la gravedad. Los factores a considerar en su diseño y uso son:

- (a) Fricción. La fuerza de fricción es dependiente del área de contacto que variará con la carga aplicada. Con materiales en masa es necesario considerar tanto la fricción entre los productos y el canal como la fricción entre las partículas dentro del producto. Esta última determinará que el material se deslice por el canal o caiga.
 - (b) Humedad. La humedad atmosférica y el contenido en humedad del producto que se transporta afecta a la fricción de resbalamiento y la fricción entre las partículas, debiendo tenerla en cuenta al diseñar el canal.
-

Capítulo II MARCO TEÓRICO

- (c) **Inclinación del canal.** Los canales muy pendientes dan velocidades de aceleración grandes, por lo que el riesgo de deteriorar el producto aumenta.
- (d) **Longitud del canal.** Como la energía cinética de la unidad transportada es proporcional al cuadrado de su velocidad, el transporte sobre canales largos o muy pendientes pueden ocasionar un deterioro considerable de los productos.

Los productos alimenticios en masa se transportan mejor en canales metálicos cerrados para restringir la contaminación.

❖ Transportadores vibratorios.

Utilizan la inercia del producto conducido por un movimiento de avance, relativamente lento de la superficie del transportador para mantener el flujo del producto durante un movimiento rápido hacia atrás de la superficie del transportador. Este movimiento se repite a gran frecuencia y se puede producir electromagnéticamente o mecánicamente. El transportador vibratorio está esencialmente exento de polvo y constituye un método de transporte cada vez más popular en la industria de los alimentos.

❖ Transportadores de tornillo.

Operan con el principio de un tornillo helicoidal rotatorio que hace avanzar el material hacia un canal o cilindro. Los granos se pueden transportar horizontalmente, con cierta inclinación o verticalmente.

Capítulo II MARCO TEÓRICO

Los transportadores de tornillo se utilizan mejor horizontalmente. Estos transportadores se caracterizan por su velocidad de descarga uniforme y, por ello, encuentran aplicación como mecanismos de alimentación de molinos y otros aparatos de proceso.

❖ Otros tipos de transportadores

Por último podríamos nombrar los alimentadores de tipo Venturi (a) y las válvulas rotatorias (b), que pueden ser controladores de volumen o cantidad de masa que se desea transportar (Fig. 2.2.11.1).

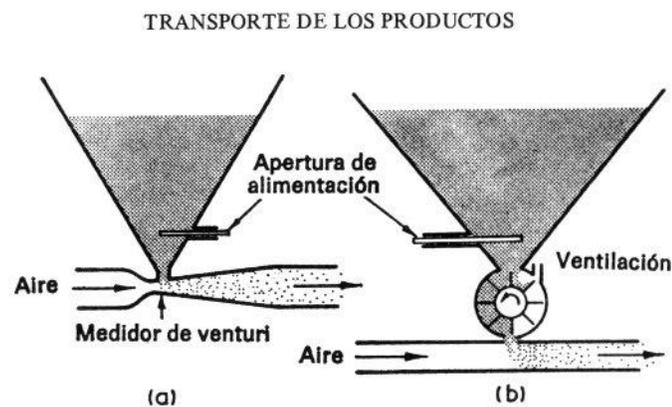


Fig. 2.2.12.1 Tipos de alimentadores

FUENTE: Brennan, J. Y otros. (1980). *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos* (2ª ed.). Zaragoza, España: ACRIBIA.

Durante el transporte neumático de muchos alimentos (por ejemplo los granos) se pueden desarrollar cargas estáticas de potencial considerable. Se pueden introducir, tanto cargas de producto – pared, como cargas de producto – producto. Ellas pueden iniciar la explosión de los polvos o causar descargas eléctricas sobre los

Capítulo II MARCO TEÓRICO

operarios. Los productos cargados eléctricamente pueden también causar adhesión a la pared, aglomeración y obturación. Las tuberías y conductos se deben, por ello, unir a tierra, efectivamente, teniendo cuidado particular en instalar placas que sirvan de puentes eléctricos en las uniones de las conducciones. Las cargas eléctricas de los productos se pueden reducir por:

- (i) Control del contenido en humedad del producto.
- (ii) Inserción de muestras cargadas en la corriente de producto – aire.
- (iii) Ionización del aire por productos radiactivos.

2.3.- DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- ❖ **Semillas oleaginosas:** Son todas aquellas semillas que contienen en su interior aceites vegetales.

 - ❖ **Deshidratación:** Acción de secar los granos, extraer la humedad contenida en los granos.

 - ❖ **Contenido de humedad:** El contenido de humedad de un producto puede expresarse sobre la base del peso húmedo, masa de agua por unidad de masa del producto húmedo; o sobre la base del peso seco, masa de agua por unidad de masa de componentes sólidos deseados. Este último se utiliza más frecuentemente en los cálculos de la desecación.

 - ❖ **Contenido en humedad de equilibrio:** En general cuando un producto orgánico se mantiene en contacto con el aire a temperatura y humedad constantes, hasta que se alcanza el equilibrio, el producto adquiere un contenido de humedad definido. Este contenido en humedad se denomina contenido en humedad de equilibrio del producto bajo las condiciones especificadas. Es posible medir el
-

Capítulo II MARCO TEÓRICO

contenido en humedad de equilibrio del producto bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad y de esta forma construir curvas que relacionan el contenido en humedad del producto y la humedad de la atmósfera con la que se encuentra en equilibrio, a diferentes temperaturas.

- ❖ Humedad libre: es aquella que se excede del contenido en humedad de equilibrio en unas condiciones dadas de temperaturas y de humedad.



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El Marco Metodológico es el de situar en el lenguaje de investigación los métodos e instrumentos que se emplearon en el trabajo planteado, desde la ubicación acerca del tipo de estudio y el diseño de investigación, su universo o población, su muestra, los instrumentos y técnicas de recolección de datos, la medición, hasta la codificación, análisis y presentación de los datos. De esta manera, se proporciona al lector una información detallada sobre cómo se realizó la investigación.

3.1.- NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

Para resolver el problema y evitar equivocaciones en la elección del método adecuado para el procedimiento más acorde, se define la investigación bajo los siguientes criterios:

3.1.1.- Tipo de Investigación

En el tipo de investigación se señala y describe la forma y naturaleza de la investigación emprendida, con miras a cumplir las expectativas que giran en torno al problema seleccionado. La presente investigación es de tipo descriptivo ya que se propone el diseño de un sistema mecánico para limpiar y deshidratar semillas oleaginosas para la extracción de su aceite.

Según Balestrini (2001), la investigación descriptiva se dirige a identificar y/o clasificar eventos dentro de un contexto, así como caracterizar globalmente el evento de estudio o enumerar sus características. Según la naturaleza de los datos recogidos se aplica el análisis cuantitativo". (p. 66), por su parte Hernández,

Capítulo III MARCO METODOLÓGICO

Fernández y Baptista (2003), la conciben como aquella que tiene como finalidad “caracterizar los sujetos, grupos, comunidades u otros objetos de estudios que requieran ser analizados, descritos o medidos desde el ámbito científico, es decir, la investigación de tipo descriptivo, sencillamente, describe lo que se investiga” (p.234).

3.1.2.- Modalidad de la Investigación

Según Barrios (2003), el Tipo de Investigación “representa el esquema general o marco estratégico que le da unidad, coherencia, secuencia y sentido práctico a todas las actividades que se emprenden para buscar respuesta al problema y a los objetivos planteados” (p. 28). En este orden de ideas, de acuerdo a los objetivos planteados el presente estudio respondió a un Proyecto Factible con apoyo en una investigación de campo de carácter descriptivo y de base documental, bajo un diseño experimental. Al respecto el Manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2003) dice que, un Proyecto Factible:

El proyecto factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades. (p. 21).

Esta investigación se consideró factible, porque permitió la elaboración de una propuesta para una solución posible, cuyo propósito es solucionar de manera satisfactoria la problemática detectada a través del diagnóstico realizado para poder llevarla a cabo. Los proyectos factibles se deben elaborar respondiendo a una necesidad específica, ofreciendo soluciones de manera metodológica.

Capítulo III MARCO METODOLÓGICO

3.2.- Diseño de la Investigación

El diseño de investigación según Arias (1999), describe el Diseño Experimental como “es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental.”. (p. 22). Se trata de un experimento porque precisamente el investigador provoca una situación para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esa variable, y su efecto en los eventos observados. El investigador maneja deliberadamente la variable experimental y luego observa lo que sucede en situaciones controladas

3.3.- TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En relación con la estructura temática y diseño de la investigación las técnicas para obtener y procesar la información son; observación directa, entrevistas al personal calificado así como a operadores de máquina, fichas de trabajo que manifiestan la profundización del problema de deshidratado y procesamiento de datos.

Por otra parte los medios materiales para llevar a cabo las citadas técnicas, son: cámaras fotográficas, grabadoras, cintas métricas, termómetros de bulbo, multímetro, fichas y materiales de apunte.

3.4.- TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

El procesamiento de datos se llevará a cabo en tablas, debido al diseño de la investigación y sus formas de trabajo, uno de los aspectos a resaltar es el orden y la toma de información, ya que se manejarán magnitudes de temperatura, potencia,

Capítulo III MARCO METODOLÓGICO

flujos, entre otros. Las cuales serán las variables a manipular para obtener resultados satisfactorios que induzcan el diseño a la solución, y por ende, al cumplimiento de los objetivos planteados.

Además, se hace saber, que la investigación a llevarse a cabo, arroja datos que implican el uso de técnicas y estadísticas, por ser ésta de índole cuantitativa con cálculos de ingeniería de diseño.

3.5.- RECURSOS

La administración de los recursos materiales, humanos y financieros a usar son diversos, sin embargo, haciendo síntesis y dándole prioridad a los más importantes se pueden citar los siguientes:

- ❖ **Materiales:** Computadoras (Word, Excel, PowerPoint, AutoCad, Corel Draw), calculadoras, textos, folletos, manuales y diccionarios.
 - ❖ **Humano:** Tutor académico, personal obrero de la empresa y profesores especialistas, los cuales ameriten ser consultados para aportar ideas, que ayuden a la resolución de un determinado problema.
 - ❖ **Financieros:** Totalmente propio, en lo que respecta a la elaboración cuantitativa del diseño.
-

CAPÍTULO IV**DESARROLLO DEL TRABAJO****4.1.- BÚSQUEDA DE SOLUCIONES**

Esta etapa, está dedicada a la búsqueda de una solución que se adapte a la realidad de nuestra investigación, con el motivo de que la empresa NATURA VIVA, C. A., pueda operar con una máquina limpiadora y deshidratadora de semillas oleaginosas, para poder incrementar su producción de aceites vírgenes de semillas oleaginosas y finalmente cubrir la demanda del año 2006.

4.1.1.- Descripción de las posibles soluciones de calentamiento de aire**4.1.1.1.- Posible solución del calentamiento de aire N° 1**

En la figura 4.1.1.1.1, el soplador (1) inyecta un flujo de aire al conducto (2) donde se calienta mediante un quemador de gas (3) colocado en la parte inferior del conducto y por la superior está recubierto por un aislante térmico (4) que minimiza la pérdida de calor, calentando el aire con mayor eficiencia que luego es introducido a la boquilla cónica (5) que conduce a la cámara de limpieza y deshidratado.

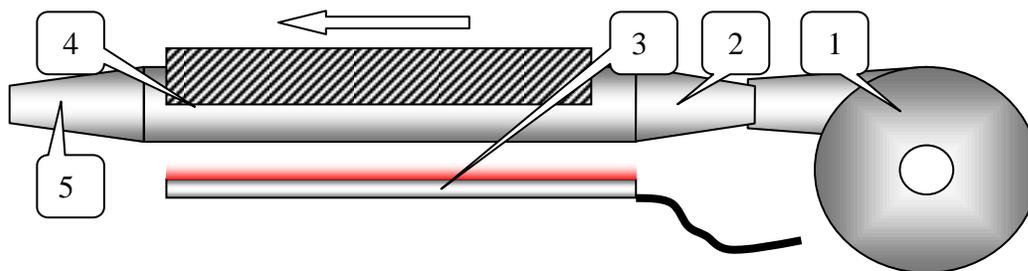


Fig. 4.1.1.1.1 Esquema de posible solución de calentamiento de aire N° 1

FUENTE: Los autores

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

4.1.1.2.- Posible solución del calentamiento de aire N° 2

Para la figura 4.1.1.2.1, el soplador (1) inyecta un flujo de aire al conducto (2) donde por efecto del calor producido por las resistencias eléctricas (3) se transfiere dicho calor por conducción al aire que circula por el interior de conducto; (2) este sistema se conecta al conducto (4) que conduce al aire hasta la cámara de limpieza y deshidratación.

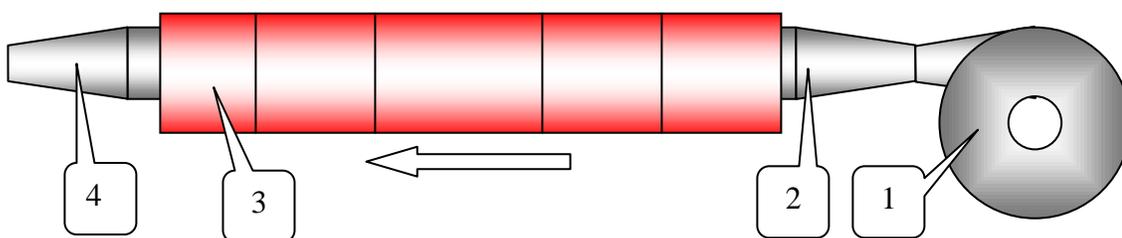


Fig. 4.1.1.2.1 Esquema de la posible solución del calentamiento de aire N° 2

FUENTE: Los autores

4.1.2.- Descripción de las posibles soluciones del sistema centrífugo

4.1.2.1.- Posible solución del sistema centrífugo N° 1

En la figura 4.1.2.1.1, el cilindro (1) donde estarán las semillas, conformado por una malla de acero inoxidable (2) y apoyado en cuatro rodillos (3) que le permitirán el movimiento de rotación producido por la correa (4) la cual está unida a la polea motriz (5) que está accionada por un motor eléctrico (6) encargado de suministrar la potencia requerida por el sistema.

Nota: La ventaja de este sistema es que se puede introducir aire caliente desde el interior del cilindro (1) hacia fuera permitiendo una deshidratación más eficiente de

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

las semillas. Los laterales del cilindro están conformados por dos tapas circulares estáticas, cuya función es evitar que el grano se salga del cilindro (1).

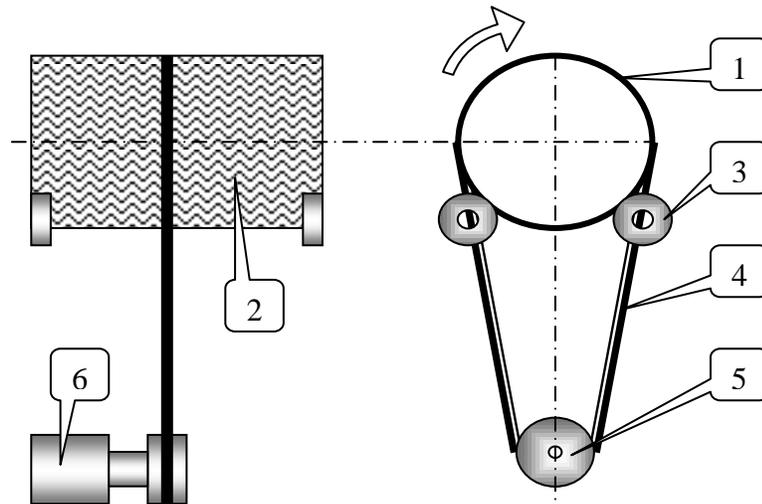


Fig. 4.1.2.1.1 Esquema de la posible solución del sistema centrífugo N° 1
FUENTE: Los autores

4.1.2.2.- Posible solución del sistema centrífugo N° 2

El sistema de la figura 4.1.2.2.1, consiste en un cilindro (1) elaborado con una estructura metálica y forrado con una malla de acero inoxidable que permitirá el paso del polvo y aire caliente e impedirá que las semillas se salgan, dicho cilindro está apoyado en dos rodamientos de bola (2), mediante un eje central (3) el cual, está unido a un sistema de transmisión flexible “cadena” (4) y accionado por un motor eléctrico (5), que genera la potencia requerida para su funcionamiento.

Nota: A pesar de ser una sencilla construcción, este sistema tiene la desventaja de que el eje (3) se encuentra en la trayectoria de caída libre de las semillas, interrumpiendo su libre desplazamiento y el aire que va desde el exterior al interior del cilindro, este

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

eje tiene que vencer la resistencia que le impone la malla de acero inoxidable para poder entrar en contacto con las semillas y deshidratarla.

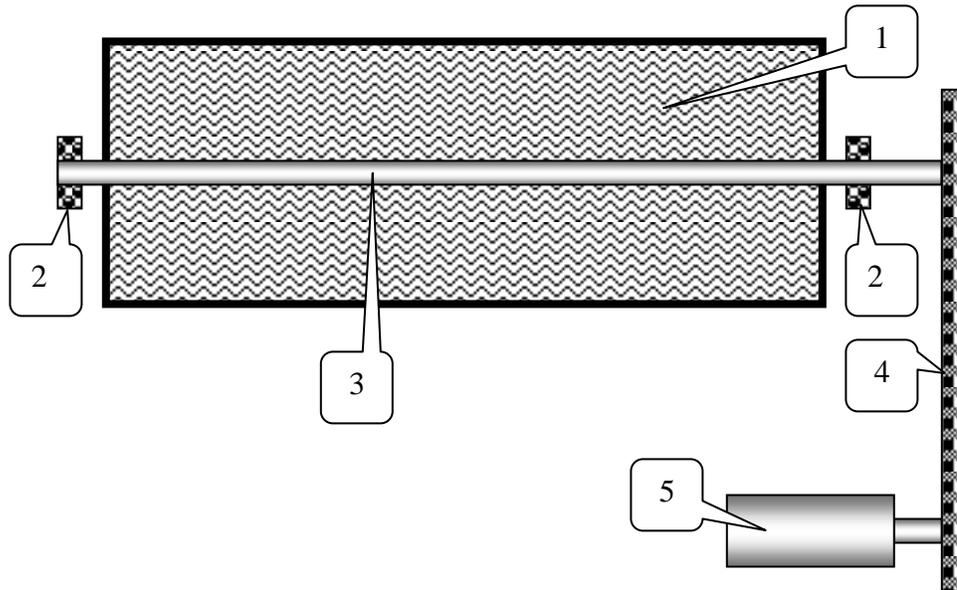


Fig. 4.1.2.2.1 Esquema de la posible solución del sistema centrífugo N° 2
FUENTE: Los autores

4.1.2.3.- Posible solución del sistema centrífugo N° 3

El siguiente mecanismo de la figura 4.1.2.3.1, consiste en un cilindro vertical (1) el cual gira en sentido antihorario mediante un sistema de transmisión flexible “cadena” (2) y sostenido por un eje central (3), apoyado en dos rodamientos (4). El cilindro (1) tiene una hélice interior en forma de espiral (5), cuya función es llevar los granos hasta la parte superior del cilindro dejándolo caer verticalmente en contra del flujo de aire caliente que circula dentro del mismo. El eje (3) es conectado al sistema de transmisión flexible y a su vez éste es conectado a un motor (6) de accionamiento. Después de un tiempo estimado de deshidratación de las semillas se procede a abrir una compuerta (7), ubicada en la parte superior del cilindro (1) para que el grano sea desalojado por una canal (8) y depositado en un recipiente (9) para luego enviarlo al

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

proceso de prensado en frío.

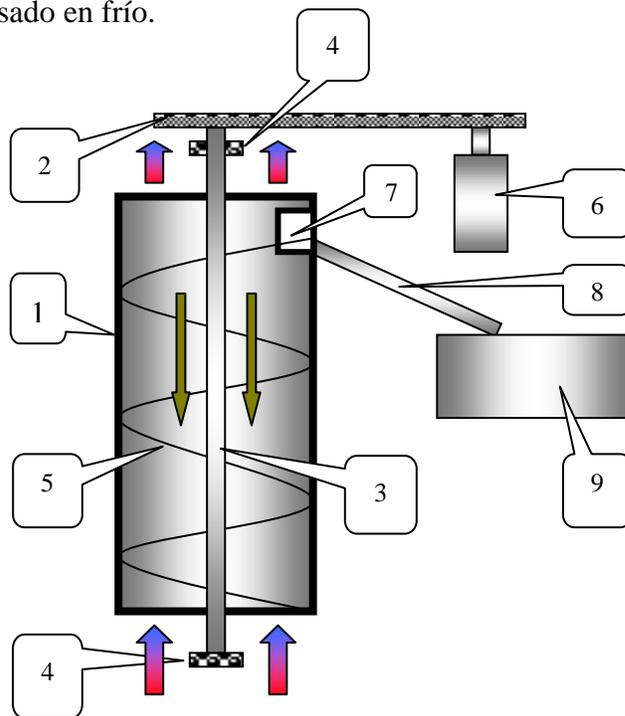


Fig. 4.1.2.3.1 Esquema de la posible solución del sistema centrífugo N° 3

FUENTE: Los autores

4.1.3- Descripción de la posible solución N° 1

Con este modelo de la figura 4.1.3.1, el grano es recibido con sus impurezas en la tolva (1) y su entrada es regulada por medio de la compuerta (2) hacia un conducto (3) que lo transporta hasta la corriente de aire producida por el soprador (4) haciéndolo pasar por otro conducto (5) el cual está aislado por la parte superior (6) y calentado por el quemador de gas (7) proveniente de la bombona (8), luego el grano pasa a través del codo (9) para llegar a la cámara de deshidratado (10) en la cual el grano empezará a rotar por el efecto de las salidas de aire caliente (11) ubicadas cada una a 90° de separación entre una y otra. El grano se mantiene en esta cámara debido a la malla de acero inoxidable (12) la cual impide su avance pero deja pasar las impurezas con el aire usado, extrayendo la humedad del grano por el conducto cónico (13) y succionado por un ventilador centrífugo (14) para expulsarlo al ambiente por el

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

conducto (15). Después de un tiempo de deshidratación y limpieza se detiene el sistema para que las semillas caigan por el efecto de la gravedad y abriendo la compuerta (16) se depositan en una tolva recolectora (17) para terminar en un carro transportador (18) en el cual se trasladan las semillas hasta el sistema de prensado en frío.

Este modelo de limpiadora y deshidratadora de semillas oleaginosas, ofrece las siguientes ventajas ante sistemas similares: a) Elimina el cilindro centrífugo, el cual no permite el contacto directo del aire caliente con la semillas. b) Puede disponer de control de flujo de aire y temperatura para distintas cantidades de semillas no mayores a 120kg. c) Las impurezas livianas pueden ser removidas por aspiración. d) No se requiere de sistemas costosos de descarga de las semillas. e) La deshidratación de las semillas es homogénea, ya que el sistema sostiene al grano en suspensión y en rotación por efecto de chorros de aire caliente. f) Puede ser fácilmente automatizado y con un tiempo de deshidratación adecuado.

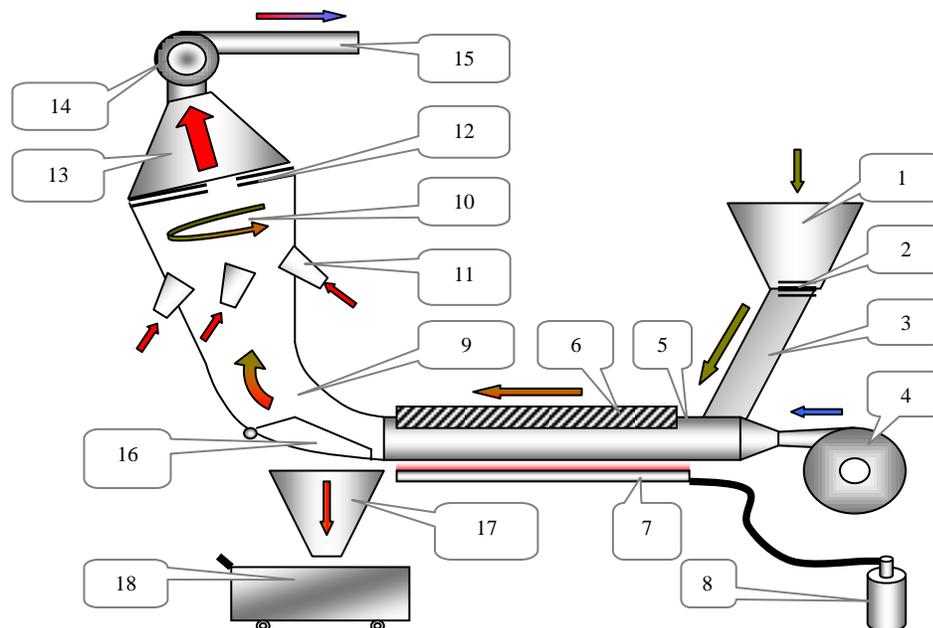


Fig. 4.1.3.1 Esquema de la posible solución N° 1 FUENTE: Los autores

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

4.1.4.- Descripción de la posible solución N° 2

En la figura 4.1.4.1, se observa como el grano es depositado en la tolva de carga (1); el cual, se desplaza a través de la tubería de carga (2), llegando hasta la campana (3) y se introduce en la cámara (4), ya que la malla de acero inoxidable (5) se encuentra desplazada a la izquierda al momento de la carga de la semilla, para dejar pasar al grano hasta la cámara (4). Luego, que el grano se ubica sobre la placa perforada de acero inoxidable (6), se procede a desplazar la malla (6) hacia la derecha ubicándola en la posición de cerrado y se enciende el soplador (7), el cual inyecta aire por un conducto (8) el cual esta aislado (9) térmicamente por la parte superior y calentado por la parte inferior por la acción de un quemador de gas (10). Después el aire caliente se conduce hasta el ducto cónico (11) para hacerlo pasar por pequeños orificios de la placa (6), donde el grano por acción del aire empieza a moverse, produciéndose la deshidratación directa del grano y a la vez ese aire es extraído por el ducto cónico (3) el cual se saca con un ventilador centrífugo (15) hasta el ambiente.

Al transcurrir el tiempo determinado para el proceso de limpieza y deshidratación se apaga el ventilador (12) y el soplador (7), para luego abrir las compuertas de entrada y salida laterales de la cámara (4), encendiéndose el soplador (13), el cual produce una corriente de aire que transporta al grano hasta el conducto (14) para luego depositarlo en un carro de carga (18).

Nota: es importante tener en cuenta que este tipo de proceso de deshidratación es recomendable hacerlo en dos pasadas, ya que la deshidratación de los granos se efectúa con mayor eficiencia y también teniendo en cuenta que entre pasada y pasada el grano tiene que reposar al menos una hora para que la humedad interna restante pueda transferirse a la superficie del grano

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

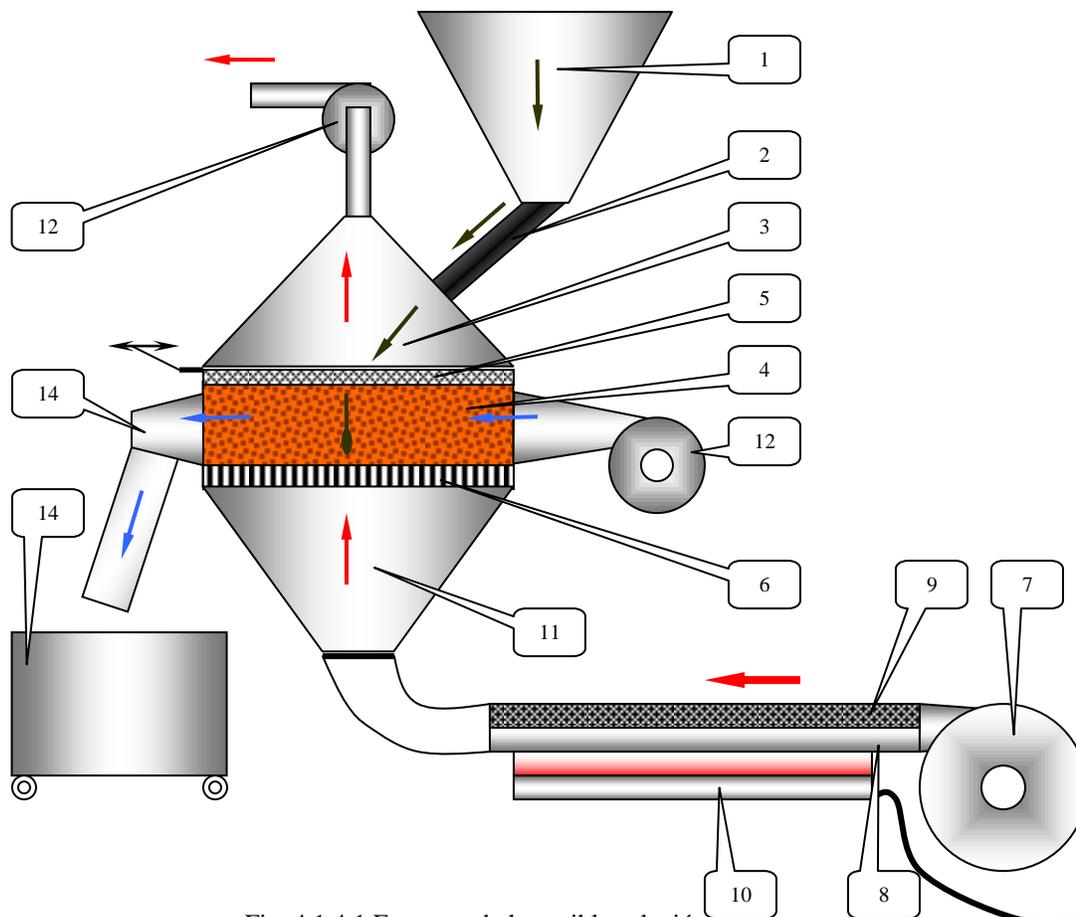
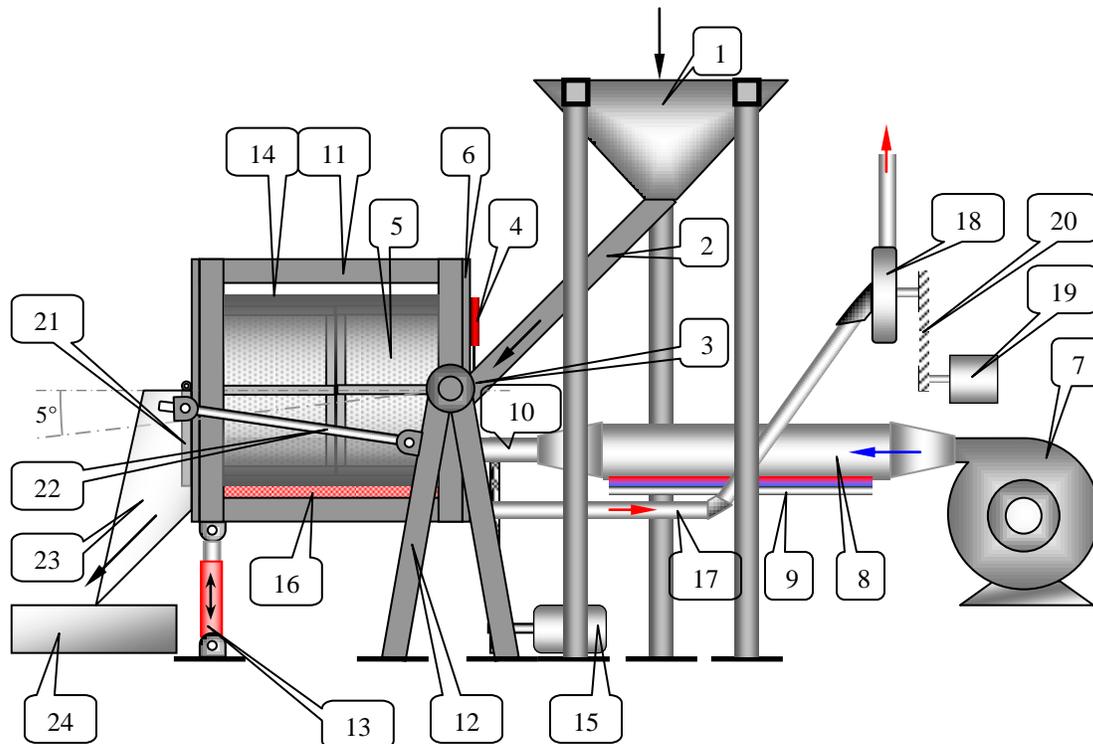


Fig. 4.1.4.1 Esquema de la posible solución N° 2

FUENTE: Los autores

4.1.5.- Descripción de la solución N° 3

Observando la siguiente figura 4.1.5.1, se procede a explicar las partes que integraran la posible solución para el diseño de la máquina limpiadora y deshidratadora de semillas oleaginosas:



Lista de partes:

- 1.- Tolva de carga. 2.- Canal de carga. 3.- Sistema de compuerta. 4.- Cilindro neumático. 5.- Cilindro centrífugo.
 6.- Tapa posterior. 7.- Ventilador centrífugo. 8.- Tubería de calefacción. 9.- Quemador de gas natural.
 10.- Tubería de transporte del aire calentado. 11.- Tubería de soporte. 12.- Balancín. 13.- Cilindro neumático.
 14.- Carcasas protectora del cilindro centrífugo. 15.- Motor. 16.- Canal de recolección de suciedad.
 17.- Tubería de succión del aire. 18.- Ventilador centrífugo. 19.- Motor. 20.- Correas. 21.- Compuerta de descarga.
 22.- Palanca. 23.- Canal de recolección de semillas. 24.- Envase recolector de semillas.

Fig. 4.1.5.1 Máquina limpiadora y deshidratadora de semillas oleaginosas

FUENTE: Los autores

4.1.5.1.- Carga de semillas

La semilla se deposita en la tolva de carga (1), la cual tiene forma cónica circular para que garantice la conducción uniforme de la semilla a un punto en común que se conecta con un conducto o canal rectangular (2), inclinado 45° respecto a la

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

horizontal (recomendaciones de la empresa), donde el extremo inferior posee un sistema de compuerta (3), accionada por un cilindro neumático de doble efecto (4), que permitirá el paso de la semilla al cilindro centrífugo de carga (5) (Sistema de limpieza y deshidratado de semillas). La compuerta (3), sólo se abrirá para cargar la semilla dentro del cilindro (5).

Es importante destacar, que tanto la tolva de carga (1), como el conducto de carga (2) y su compuerta (3), serán fabricados de acero inoxidable AISI 304, cumpliendo con las exigencias de manejo de alimento y tanto la pendiente de la pared de la tolva (1) como del conducto (2) estarán a 45° respecto a la horizontal para garantizar el deslizamiento de la semilla. Por último, el conducto de carga (2) se fijará en la tapa posterior (6) del sistema de limpieza y deshidratación, sellando su extremo con una manga de lona para impedir la fuga de aire caliente y a su vez permitir la movilidad del sistema de limpieza y deshidratación.

4.1.5.2.- Calentamiento del aire

Este sistema consta de un ventilador centrífugo (7), accionado por un motor, el cual suministrará el flujo de aire requerido, dicho aire es conducido por una tubería (8) que se fabricará con aletas axiales interiormente para mejorar la transferencia de calor producido por un quemador de gas natural (9), ubicado en la parte inferior de la tubería (8). El calor es transferido por conducción al aire circulante por el interior de la tubería (8), luego es transportado a otra tubería de menor diámetro (10) de acero inoxidable AISI 304, que se introduce a través de un orificio en la tapa posterior (6) pasando al interior del cilindro (5), donde el aire es forzado a salir por una serie de orificios ubicados a 45° en contra flujo a la caída libre de la semilla. Estos orificios de salida de aire, irán aumentando sus diámetros para mantener un flujo de aire homogéneo dentro del cilindro (5). El tubo (10) estará fijo por un apoyo en la parte exterior del cilindro y fijo a la tapa posterior (6) por medio de una manga de lona que impedirá la fuga del aire caliente y permitirá la movilidad del cilindro (5).

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

4.1.5.3.- Limpieza y deshidratación de la semilla

Una vez introducido 120 Kg. de semilla dentro del cilindro centrífugo (5), comienza el proceso de limpieza y deshidratado de la semilla. Dicho cilindro estará fabricado con una lámina perforada de acero inoxidable AISI 304 para que el aire caliente en el interior del cilindro (5), pueda salir hacia el exterior del mismo por los orificios de la lámina perforada, extrayendo la humedad y suciedad contenidas en la semilla. El cilindro (5) poseerá axialmente a cada 90° un perfil en L (Fig. 4.1.5.3) (26) para ayudar a transportar la semilla a la parte superior del cilindro (5), ya que sin estos perfiles la semilla podría resbalar dificultando la deshidratación homogénea de la misma.

El cilindro (5) estará soportado por una estructura fabricada con perfiles L (Fig. 4.1.5.2) (25) y apoyado en cada extremo por dos ruedas (Fig. 4.1.5.3) (27) para el apoyo vertical, y dos en el frente y una en la parte posterior (Fig. 4.1.5.3) (28 y 29) para el soporte horizontal. Dichas ruedas (Fig. 4.1.5.3) (27) estarán ancladas sobre una estructura de tubo cuadrado (Fig. 4.1.5.1) (11) y las tapas laterales (6) de la misma figura. Esta estructura (11) tendrá un balancín (12) que le permitirá el movimiento para la descarga de la semilla (inclinación de 5°), este movimiento estará controlado por un cilindro neumático (13).

Para sellar el cilindro (5) se colocará una carcasa fija (14) alrededor de el y unas bandas de neopreno (Fig. 4.1.5.3) (33) fijas al cilindro centrífugo a tope con las tapas (Fig. 4.1.5.3) (30) y otra (34) de la misma figura, fija a la carcasa (Fig. 4.1.5.1) (14) a tope con la estructura del cilindro (5) que impedirán la fuga de aire caliente.

El sistema motriz del cilindro, estará compuesto por una de las ruedas traseras de apoyo, la cual se fijará a un eje que pasará a través de un orificio de la tapa posterior (6) y en su extremo se colocará un sistema de transmisión por cadena para el suministro de la potencia proveniente de un motor (15).

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

4.1.5.4.- Succión del aire de calefacción

Haciendo referencia a la (Fig. 4.1.5.1), por la parte inferior de la carcasa (14) se fabricará una canal recolectora de suciedad (16), que ayudará a la succión del aire mediante la conexión de una tubería (17), anclada a un ventilador centrífugo (18), al cual se le dará la potencia generada por un motor (19), a través de un sistema de transmisión por correa (20). Este sistema evacuará el aire polvoriento y húmedo al exterior del recinto.

4.1.5.5.- Descarga de la semilla

Siguiendo haciendo referencia a la (Fig. 4.1.5.1). Después de haber transcurrido 20 min del ciclo de limpieza y deshidratación, el cilindro (13) se retraerá, provocando la inclinación de 5° de la estructura (11) y cilindro de carga (5) avanzando así la semilla hasta una compuerta (21), que abrirá por efecto de un sistema de palanca (22), permitiendo la salida de la semilla a una canal (23), que transportará la misma a un contenedor de recolección (24). Luego de trascurrido el periodo de tiempo para la descarga, el cilindro (13) se extenderá ubicando nuevamente la estructura del cilindro (5) en posición horizontal, cerrando la compuerta de descarga (21) para iniciar otro ciclo del proceso de limpieza y deshidratación de semilla.

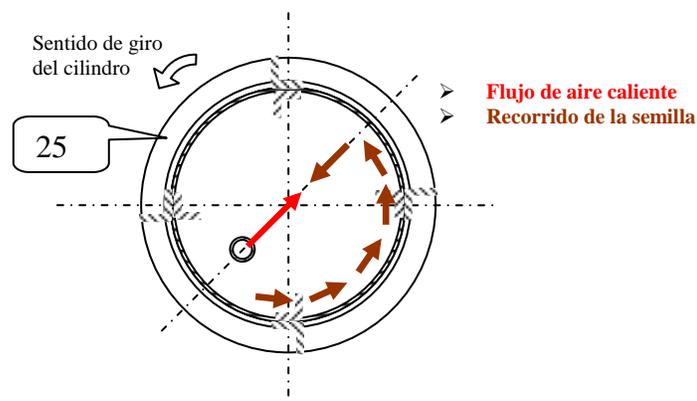
4.1.5.6.- Control automático del proceso

Todo este sistema de limpieza y deshidratación, estará controlado por un sistema de control automático donde una vez introducida la semilla en la tolva de

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

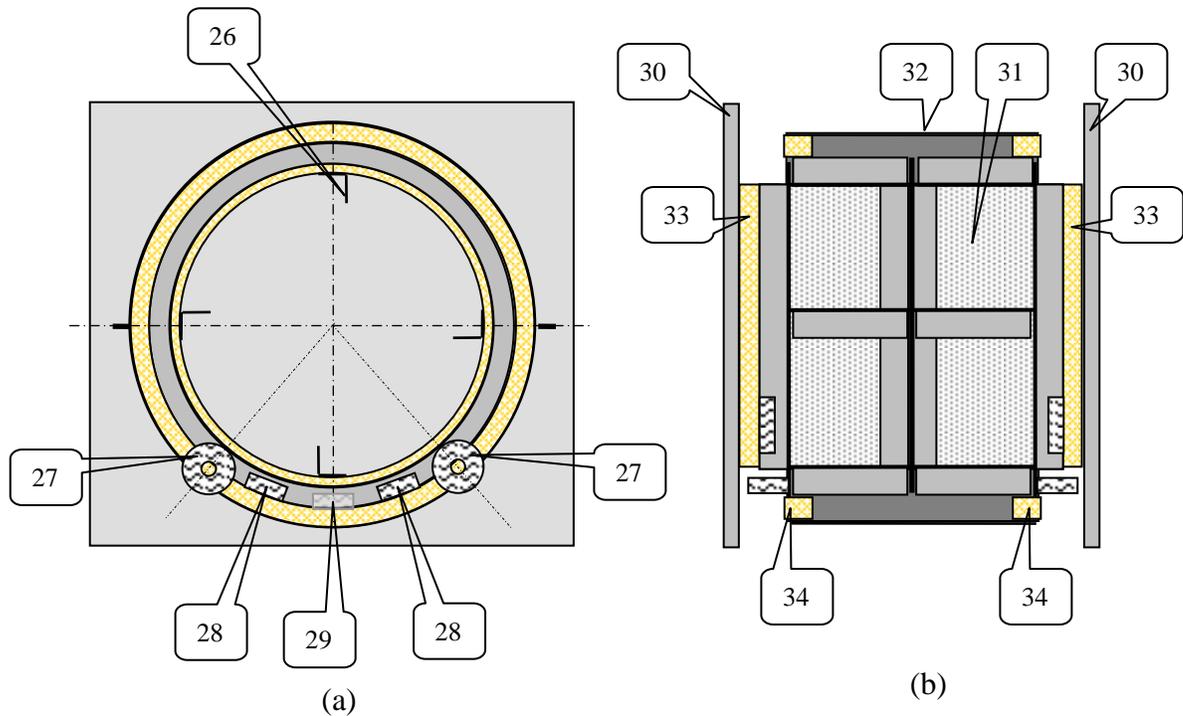
carga (Fig. 4.1.5.1) (1), y encendido los quemadores de gas (9), se procede a presionar un botón del PLC que enviará una señal para arrancar los ventiladores centrífugos (7 y 18) como también el motor (15 Y 19). Una vez puesto en marcha el sistema de calefacción de aire, un sensor térmico registrará la temperatura del aire y cuando esté alrededor de 60 °C, el PLC envía otra señal para retraer el cilindro neumático (4) abriendo la compuerta de carga y una vez que se descarguen los 120 Kg. de semilla dentro del cilindro (5) se envía la señal para que el cilindro (4) se extienda y selle la entrada de carga. Luego, un temporizador comenzará a registrar el tiempo hasta 20 min., después se envía otra señal al cilindro (13) para que se retraiga, inclinando 5° el cilindro (5), permitiendo el avance de la semilla y abriendo la compuerta de descarga, dejando salir los 120 Kg. de semilla hasta una canal (23) para transportarla a un envase recolector (24).

Es importante mencionar que todos los motores y el sistema de calefacción permanecerán en funcionamiento continuo por turno de trabajo de 8 horas diarias. Sólo el vaciado de la semilla en la tolva de carga (1) se efectuará manualmente por un operario que vigilará el desempeño de toda la máquina. El operario será alertado mediante una alarma cuando se inicie la carga del cilindro (5) y otra cuando se descargue la semilla.



Fíg. 4.1.5.2 Esquema del corte transversal del cilindro centrífugo

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO



FUENTE: Los autores

Fig. 4.1.5.3 Esquema del cilindro centrífugo

FUENTE: Los autores

A continuación haremos la comparación de las ventajas y desventajas de las dos soluciones del calentamiento de aire:

Posible Solución del Calentamiento de aire N° 1

Ventajas	Desventajas
.– Sistema económico para construir.	.– Genera gases que pueden afectar el ambiente sino esta regulada la mezcla de gas y aire para una buena combustión.
.– La energía a utilizar es bastante económica (gas).	.– Se requiere un sistema de compresión de aire para la mezcla de aire–gas.
.– No requiere de un alto mantenimiento.	.– Se requiere de un aislante para minimizar perdidas de calor.

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

.- No se requiere una capacidad técnica muy alta para su mantenimiento.	
---	--

Posible Solución del Calentamiento de aire N° 2

Ventajas	Desventajas
.- La transferencia de calor es más homogénea.	.- Alto costo de las resistencias eléctrica.
.- Genera pocos gases	.- Alto costo en el consumo eléctrico.
	.- Alto nivel de conocimiento para su manejo y mantenimiento.
	.- Alto nivel de mantenimiento y chequeo.

Evaluando las dos posibles alternativas del sistema de calentamiento de aire podemos decir que la posible solución de calentamiento de aire N° 1 es la más recomendada ya que posee mayores ventajas que desventajas caso contrario que se observa en la solución N° 2. Por tal motivo se recomienda seleccionar la posible solución del calentamiento de aire N° 1.

En el caso del calentamiento del aire, también buscaremos las ventajas y desventajas de las posibles soluciones del sistema centrífugo:

Posible Solución del Sistema Centrífugo N° 1

Ventajas	Desventajas
.- Sistema de tracción sencillo.	.- Alto desgaste en la correa.
.- No requiere de una calibración precisa.	.- Alto porcentaje de fatiga de la correa transmisora de potencia.
.- Se logra tener los laterales del cilindro libres para el ingreso de las semillas.	.- Si el sistema no esta bien calibrado tendencia a deslizamiento de la correa.
.- Sistema de tracción económico.	.- Chequeos muy frecuentes de la tensión de la correa para evitar latigueos.
	.- Posibilidades de deformación del cilindro por tensión de correa.

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

Posible Solución del Sistema Centrífugo N° 2

Ventajas	Desventajas
.– Sistema de tracción confiable (cadena).	.– Alto mantenimiento del sistema de transmisión flexible (cadena).
.– No requiere de ajustes muy repetidos.	.– Alto costo del sistema de transmisión flexible.
.– Cilindro más estable.	.– Alto nivel de ruido.
.– Alta durabilidad.	.– Dificultad para la carga lateral de la semilla.
	.– Impide el libre movimiento del grano dentro del cilindro, ya que el eje tiene que estar concéntrico al cilindro centrífugo.

Posible Solución del Sistema Centrífugo N° 3

Ventajas	Desventajas
.– Se podría obtener una buena deshidratación de la semilla.	.– Alto costo de fabricación.
	.– Nivel alto para su mantenimiento
	.– Sistema más sofisticado para su funcionamiento
	.– Alto caudal de aire caliente.
	.– Sistema de tracción no confiable.
	.– Costos de mantenimiento muy altos.

Vistas todas las ventajas y desventajas de las tres posibles soluciones se recomienda utilizar un sistema semejante a la posible solución N° 1, ya que es la que nos brinda las mejores ventajas para el funcionamiento general del sistema.

Ahora bien haciendo una descripción más general de la solución y tomando en cuenta toda la máquina deshidratadora podemos tener una idea más detallada para seleccionar finalmente la mejor solución comparando la posible solución N° 1 contra posible solución N° 2 y posible solución N° 3.

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

Posible Solución N° 1

Ventajas	Desventajas
.– El grano esta en contacto directo con el flujo de aire caliente (deshidratación más homogénea).	.– Alto consumo de aire caliente.
.– No requiere de un cilindro centrífugo.	.– Alta pérdida de calor.
.– Las impurezas livianas pueden ser removidas por aspiración.	.– Sistema que requiere de un mantenimiento muy minucioso.
.– Control de flujo de aire y temperatura variable.	.– Ventiladores de alta potencia (eleva costo).
	.– Sistema de controles más costosos.

Posible Solución N° 2

Ventajas	Desventajas
.– Deshidratación homogénea.	.– Utilización de varios ventiladores con un alto consumo eléctrico.
.– Sistema totalmente automatizado.	.– Sofisticado sistema de carga y descarga.
.– Bajo costo en el calentamiento del aire.	.– Alto costo de fabricación.
	.– No se tiene antecedentes de máquinas similares para garantizar un óptimo funcionamiento (Proyecto experimental).

Capítulo IV DESARROLLO DEL TRABAJO

Posible Solución N° 3

Ventajas	Desventajas
.– Calentamiento de aire relativamente económico	.– Control en el mantenimiento regular del cilindro centrífugo.
.– Carga y descarga automatizada.	.– Implementación de sistema neumático para carga y descarga.
.– Sistema motriz del cilindro centrífugo funcional y de relativo bajo costo.	.– Utilización de sellos de Neopreno que pueden tener un alto costo.
.– Versátil para su mantenimiento.	.– Construcción y ensamblaje con un alto índice de precisión.
.– Fácil de operar.	.– Chequeos regulares para su buen funcionamiento.
.– Cumple con la estética.	
.– Deshidratación homogénea de la semilla.	
.– Posibilidades de reemplazo de piezas sin afectar el resto del conjunto.	
.– Materiales de fácil acceso.	

Por todo lo antes expuesto, se verifica que es recomendable seleccionar la solución N° 3, ya que es la que se adapta más a los requerimientos de la empresa y tiene un costo de fabricación dentro de los parámetros aceptables. Dicha solución puede cumplir con todas las exigencias que requiere el proceso, teniendo una producción de alto rendimiento.

CAPÍTULO V**DESARROLLO DE CÁLCULOS****5.1.- ENSAYO PARA CALCULAR EL PESO DE LA SEMILLA**

Inicialmente se recolectaron muestras de semillas ajonjolí y tártago que se encontraban en los depósitos de la empresa Natura Viva, C.A. Ajonjolí por ser una de las semillas más pequeñas y el tártago por la más grande en tamaño al ajonjolí. Después de obtenida las muestras se necesitaba saber el peso de estas, para ello se procedió a tomar un vaso de medidas volumétricas y se colocó una porción de ajonjolí dentro del vaso y se observó que tenía un volumen de 150 ml y se repitió con otro vaso pero con el tártago, resultando tener un volumen de 75 ml de esta semilla. Ya obtenidos estos dos volúmenes se procedió a pesar ambas muestras en una balanza electrónica, arrojando un peso de Ajonjolí de 96,781 gr. y 130,79 gr. de Tártago. Luego se determinó la humedad de la semilla en la Escuela de Ing. Química de la Universidad de Carabobo a través de un método recomendado por COVENIN con un instrumento de medición de humedad. Arrojando un valor del 6 % aproximadamente para ambas semillas.

5.2.- CÁLCULO DEL VOLUMEN QUE OCUPA LA SEMILLA

Ya detectado el porcentaje de humedad contenida en la semilla se procedió a conocer el volumen que ocuparía cada semilla.

$$\text{Ajonjolí: } 96,781 \text{ gr.} = 0,096781 \text{ kgf. y } 150 \text{ ml} = 0,000150 \text{ m}^3$$

$$\text{Tártago: } 130,79 \text{ gr.} = 0,13079 \text{ kgf. y } 75 \text{ ml} = 0,000075 \text{ m}^3$$

Calculando la equivalencia del volumen que ocupará los 120 kg. del proceso

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

requerido por la empresa.

Ajonjolí: Vol. $_{120 \text{ Kg.}} = (120 \text{ Kg.} * 0,000150 \text{ m}^3) / 0,096781 \text{ kg.} = \mathbf{0,185987 \text{ m}^3}$

Tártago: Vol. $_{120 \text{ Kg.}} = (120 \text{ Kg.} * 0,000075 \text{ m}^3) / 0,130790 \text{ kg.} = \mathbf{0,068813 \text{ m}^3}$

Según datos basados en experiencias laborales a lo largo del tiempo, suministrados por el personal de la empresa Natura Viva, pudimos conocer que el volumen de cualquier semilla no debe de ser mayor al 30% del volumen total del cilindro que la contenga, esto se debe a que si se excede de este porcentaje la semilla no se distribuye bien dentro del cilindro centrífugo en el momento que rota y causaría un problema para que la semilla se deshidratara de una manera rápida y homogénea. Por esta razón se toman las siguientes dimensiones del cilindro centrífugo están basadas en el volumen de Ajonjolí.

5.3.- CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL CILINDRO CENTRÍFUGO

Fijando unas dimensiones proporcionales al volumen requerido del cilindro $L = 1\text{m}$ y $D = 1\text{m}$ (Fig. 5.3.1 y 5.3.2) y verificando.

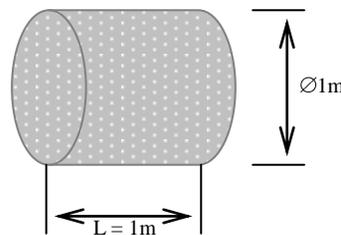


Fig. 5.3.1 Esquema de las dimensiones del cilindro centrífugo

FUENTE: Los autores

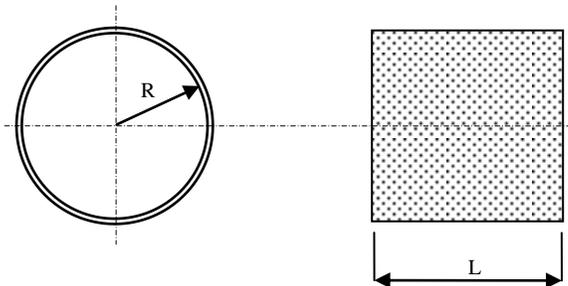


Fig. 5.3.2 Esquema del cilindro de lámina perforada

FUENTE: Los autores

Volumen del cilindro de malla perforada:

$$Volumen_1 = \pi * R^2 * L$$

$$Volumen_1 = \pi * \left(500 \text{ mm} \right)^2 * 1000 \text{ mm} = 785.398.163,4 \text{ mm}^3$$

$$Volumen_1 = 0,785398 \text{ m}^3$$

Cuando se realizó el cálculo para saber el volumen que ocupa 120 kg de Ajonjolí se observó que tiene un volumen de $0,185987 \text{ m}^3$, por lo tanto, se calculó el porcentaje de volumen que ocupa el ajonjolí dentro del volumen del cilindro que contendrá la semilla.

Volumen que ocupa el ajonjolí = 23,7% del la capacidad total de carga del cilindro centrífugo.

Ahora bien si el volumen total del cilindro es de $0,785398 \text{ m}^3$ y tiene una altura de 1 m, se calculará la altura con un volumen de semilla igual a $0,185987 \text{ m}^3$ (Fig. 5.3.3) obteniéndose $h = 0,24 \text{ m}$.

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

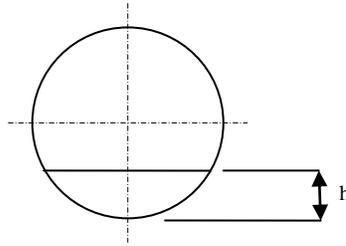


Fig. 5.3.3 Esquema del nivel de la semilla dentro del cilindro centrífugo

FUENTE: Los autores

5.4.- DETERMINANDO LA CANTIDAD DE LAMINAS QUE SE REQUIEREN

Área de pared lateral del cilindro: $2 * \pi * r * l$

$$A_L = 2 * \pi * 0,5 \text{ m} * 1 \text{ m} = 3,141593 \text{ m}^2$$

Área de tapas: $\pi * r^2$

$$A_{\text{Tapas}} = \pi * (0,5 \text{ m})^2 = 0,798 \text{ m}^2$$

Circunferencia del cilindro = $2 * \pi * r = 2 * \pi * 0,5 \text{ m} = 3,14 \text{ m}$

Para la construcción del cilindro se necesitan 2 láminas de 1m x 2m de acero inoxidable con perforaciones de 0,5 mm de diámetro y 0,5 mm de espesor.

5.5.- CÁLCULO DE LA VELOCIDAD CRÍTICA DEL CILINDRO CENTRÍFUGO

La velocidad crítica es la velocidad máxima permitida para garantizar que la semilla contenida dentro del cilindro centrífugo no gire con el mismo, evitando con

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

esto que la semilla se pegue por efecto de la fuerza centrífuga a las paredes del cilindro y viene dada por la siguiente ecuación: (Fuente: Carlos Alberto de Dios, ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION OFICINA REGIONAL PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE Santiago, Chile 1996)

$$V_c = \frac{42,3}{D^{1/2}} \quad \text{Ec. N° 5.2.1}$$

donde:

V_c = Velocidad crítica de giro en rpm.

D = diámetro del cilindro centrífugo = 1 metro

$$V_c = \frac{42,3}{1^{1/2}} = 42,3 \text{ rpm}$$

Calculado esto el cilindro debe girar por debajo de esta velocidad, se recomienda entre 20 a 30 rpm según experiencias de la empresa Natura Viva, C.A. esto permite que la semilla no se pegue a las paredes del cilindro centrífugo.

Cuidado con esto una velocidad muy baja no permitirá a la semilla subir suficiente antes de caer.

5.6.- CÁLCULO DEL PESO DEL CILINDRO CENTRÍFUGO CARGADO

El peso total del cilindro centrífugo está dado por:

$$P_{total} = \sum P_i \quad \text{Ec. N° 5.3.1}$$

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

Donde P_i son los pesos parciales de cada elemento que compone la estructura del cilindro centrífugo:

P_1 = Peso de la semilla

P_2 = Peso de las paletas internas

P_3 = Peso del cilindro de lámina perforada

P_4 = Peso de la estructura de soporte del cilindro de lámina perforada

Es importante mencionar que el peso por soldadura, tornillos, sellos, etc. se despreciará para efectos de estos cálculos.

Como elementos del cilindro centrífugo no giran, por lo tanto no se toman en cuenta.

A continuación se calcularán los pesos parciales del cilindro centrífugo:

5.6.1.- Cálculo de la masa de las semillas P_1

El ciclo de limpieza y deshidratación de la semilla se efectuará con 120 kg de semilla cada 20 min. aprox., por lo tanto:

$$m_1 = 120 \text{ kg}$$

Calculando la fuerza nos se tiene:

$$F_1 = 120 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_1 = 1176 \text{ N}$$

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

5.6.2.- Cálculo del peso de las paletas internas del cilindro centrífugo P₂

Para el diseño de las paletas internas encargadas de mover o arrastrar la semilla, se utilizará cuatro ángulos “L” de 1 ½” x 1/8”, de acero inoxidable ya que nos brinda un área adecuada para el arrastre de la semilla

Como un metro de este ángulo tiene un peso de 1,850 kg, entonces tendríamos que calcular cuanto pesaría los cuatro ángulos de 0,9 m de longitud cada uno.

$$4 \text{ ángulos} \times 900 \text{ mm} = 3600 \text{ mm} = 3,6 \text{ m}$$

Sabiendo que un 1 m. de este ángulo pesa 1,850 kg , entonces 3,6 m pesan 6,66 kg.

$$m_2 = 6,66 \text{ kg}$$

Calculando la fuerza:

$$F_2 = 6,66 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_2 = 65,268 \text{ N}$$

5.6.3.-Cálculo del masa del cilindro de lámina perforada P₃

La lámina perforada que se requiere para la conformación del cilindro, tendrá un área igual a 1m x 3,144 m que es igual a un área de 3,14 m²

Por lo tanto, si 2 m² pesan 8 kg, 3,144 m² , entonces el peso de 3.14 m² es 12,576 kg

P₃ = 12,576 kg y volviendo a calcular la fuerza:

$$F_3 = 12,576 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_3 = 123,25 \text{ N}$$

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

5.6.4.- Cálculo del peso de la estructura de soporte del cilindro de lámina perforada P₄

Para el conformado de la estructura de soporte para el cilindro de lámina perforada se utilizarán cuatro aros fabricados con ángulo “L” de 2” x 3/16” unidos por ocho ángulos iguales de 445 mm de longitud ubicados a 90° cada uno (Fig. 5.6.1). (ver planos anexos)

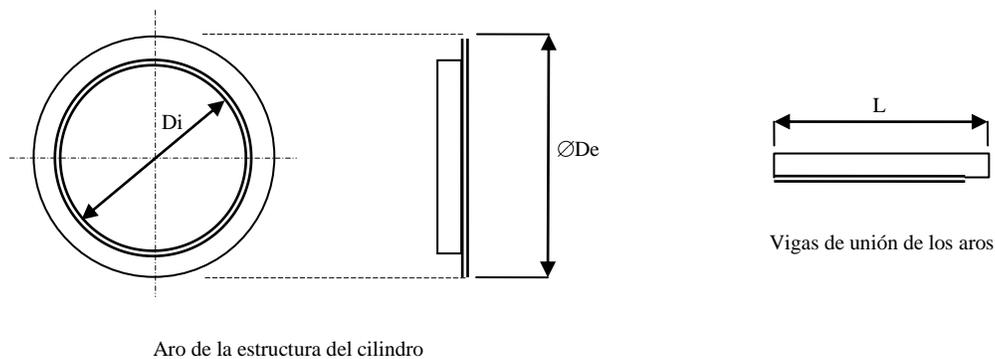


Fig. 5.6.1 Esquema de aros y vigas que conformarán la estructura de soporte del cilindro de lámina perforada

FUENTE: Los autores

La longitud total requerida de ángulo es de:

$$L_{total} = S_{total} + l_{total}$$

$$3460,8 \text{ mm} * 4 \text{ aros} = 13843,2 \text{ mm} = 13,8432 \text{ m}$$

$$445 \text{ mm} * 8 \text{ laterales} = 3560 \text{ mm} = 3,56 \text{ m}$$

Por lo tanto la longitud total es:

$$L_{total} = 13,8432 \text{ m} + 3,56 \text{ m} = 17,40 \text{ m}$$

Y como 1 m del ángulo pesa 3,69 kg el peso de 17,40 m pesa igual a 64,20 kg

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

$m_4 = 64,20 \text{ kg}$ Calculando la fuerza:

$$F_4 = 64,200 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\mathbf{F_4 = 629,16 \text{ N}}$$

Ya calculado cada uno de los pesos y fuerzas parciales, podemos saber el peso total del cilindro de carga centrífugo.

$$P_{total} = 120 \text{ kg} + 6,66 \text{ kg} + 12,576 \text{ kg} + 64,200405 \text{ kg}$$

$$P_{total} = 203,44 \text{ kg}$$

$$F_{total} = 203,44 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{total} = 1993,712 \text{ N}$$

Es importante resaltar que este es el peso que tendrán que soportar las cuatro ruedas de apoyo.

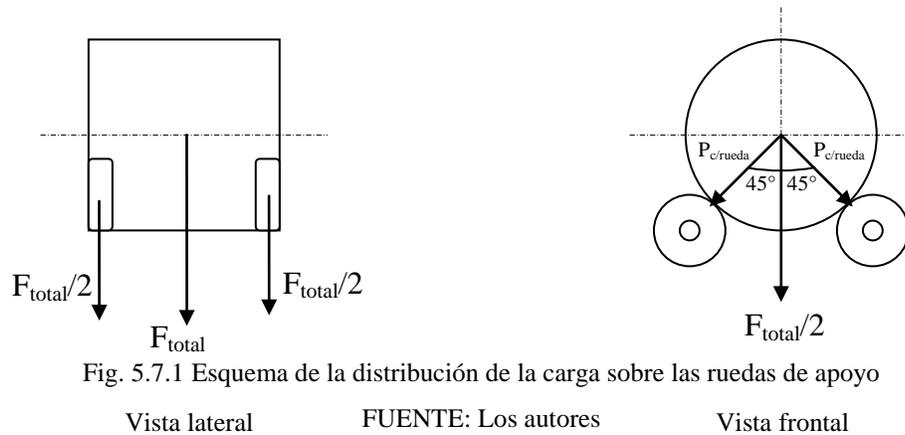
$$\mathbf{m_{total} = 203,44 \text{ kg}}$$

$$\mathbf{F_{total} = 1993,712 \text{ N}}$$

5.7.- DISTRIBUCIÓN DEL PESO TOTAL DEL CILINDRO CENTRÍFUGO SOBRE LAS RUEDAS DE APOYO

Como el cilindro centrífugo estará apoyado sobre cuatro ruedas, se tiene que definir la distribución de carga sobre cada una de estas ruedas de apoyo. Para ello se asumirá lo siguiente (Fig. 5.7.1):

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS



Para obtener el peso que soporta cada rueda $F_{c/rueda}$ se procede a calcular la componente $F_{total/2}$ a 45° :

$$Pc / rueda = \frac{Ptotal}{\cos 45^\circ} = \frac{202,44kg}{\cos 45^\circ} = 143,854kg$$

$$Pc / rueda = 143,85kg$$

$$Fc / rueda = 145,85kg * 9,8m / s^2$$

$$Fc / rueda = 1409,76N$$

$$\mathbf{Pc / rueda = 143,85 kg}$$

$$\mathbf{Fc / rueda = 1409,76 N}$$

5.8.- CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA PARA HACER GIRAR EL CILINDRO CENTRÍFUGO SOBRE LAS RUEDAS DE APOYO

5.8.1.- Cálculo del momento de inercia del cilindro cargado

Para este cálculo se toma el momento de inercia y se asume que el momento más crítico es cuando el cilindro se encuentra detenido y cargado de semilla.

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

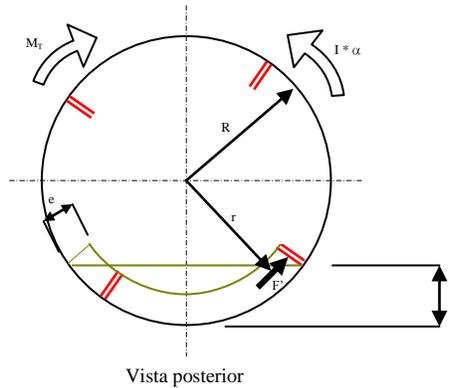


Fig. 5.8.1 Esquema de la porción de semillas que ejercen fuerza sobre las paletas interiores

FUENTE: Los autores (ver planos anexos)

Con base en el esquema anterior (Fig. 5.8.1) se puede decir que:

$$Mt - F' * \left(R - \frac{e}{2} \right) = It * \alpha \quad \text{Ec. N° 5.8.1}$$

Despejando Mt, resulta:

$$Mt = F' * \left(R - \frac{e}{2} \right) + It * \alpha$$

Donde: Mt = Momento de inercia total del cilindro centrífugo

F' = Fuerza que ejerce la semilla sobre la paleta interior

R = Radio del cilindro

r = Brazo de giro

e = Ancho de la paleta interior

It = Inercia total del cilindro centrífugo

α = Aceleración angular del cilindro centrífugo

5.8.2.- Cálculo de la aceleración angular del cilindro centrífugo

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

Se asume que la velocidad de giro del cilindro estará en 35,2 rpm, ya que la máxima recomendada por la empresa es de 30 rpm y la crítica es 42,3rpm.

$$\omega = 35,2 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi}{1rev} * \frac{1min}{60seg}$$

$$\omega = 1,842523 \frac{rad}{seg}$$

También se asume un tiempo de estabilización del motor igual a $T_{est} = 5$ seg., según recomendaciones de los fabricantes entonces se tiene que:

$$\omega_f = \omega_o + \alpha * T_{est} \quad \text{Ec. N° 5.8.2.1}$$

Como la ω_o es igual a cero resulta que:

$$\omega_f = \alpha * T_{est}$$

Despejando α de la ecuación:

$$\alpha = \frac{\omega_f}{T_{est}} = \frac{1,842523 \frac{rad}{seg}}{5seg}$$

$$\alpha = 0,368505 \frac{rad}{s^2}$$

$$\alpha = 0,368505 \text{ rad} / s^2$$

5.8.3.- Cálculo de la fuerza F' que ejerce la porción de semilla sobre el área de la paleta interna

Para este cálculo tendremos que definir el volumen de semilla que arrastrará la paleta interior del cilindro centrífugo. En el siguiente esquema (Fig. 5.8.4) podremos observar tal volumen.

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

Se tiene el área de la sección de la paleta que arrastrará a la semilla A_p ,

$$A_p = e * L = 0,0381 \text{ m} * 1 \text{ m} = 0,0381 \text{ m}^2$$

Donde A_p : Área de la paleta

e : ancho de la paleta

L : largo de la paleta

5.8.4.- Cálculo del volumen de semilla que arrastra la paleta interior

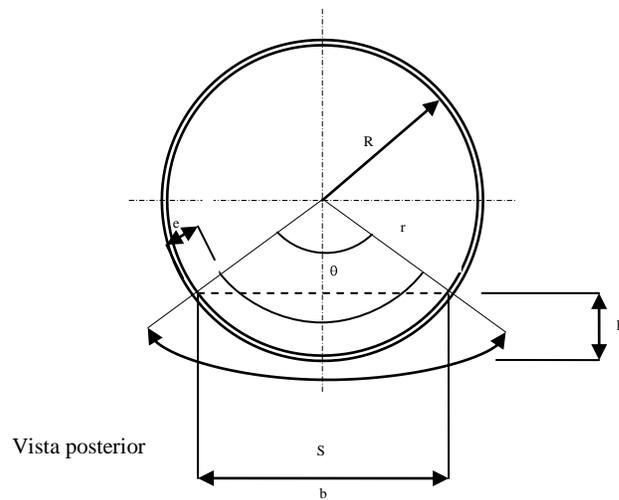


Fig. 5.8.4. Esquema de dimensiones del sector de semilla que ejerce presión sobre las paletas internas del cilindro centrífugo

FUENTE: Los autores (ver planos anexos)

Refiriéndonos al anterior esquema (Fig. 5.8.4) podremos definir cada una de las variables que ahí se observan:

$R = 0,5 \text{ m}$ (Radio interior del cilindro)

$r = 0,4619 \text{ m}$ (Dist. del centro del cilindro hasta el extremo de la paleta)

$L = 1 \text{ m}$ (Longitud del cilindro)

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

$e = 0,0381$ m (Espesor de la porción de semilla)

$h = 0,24$ m (Altura o nivel de la semilla dentro del cilindro)

$b =$ Distancia desde extremo a extremo de la semilla.

$$R = \frac{h}{2} + \frac{b^2}{8 * h} \Rightarrow 0,5 \text{ m} = \frac{0,24 \text{ m}}{2} + \frac{b^2}{8 * 0,24 \text{ m}}$$

Despejando **$b = 0,85$ m**

Luego podemos calcular el ángulo θ

$$b = 2 * R * \text{sen} \frac{\theta}{2} \Rightarrow 0,8542 \text{ m} = 2 * 0,5 \text{ m} * \text{sen} \frac{\theta}{2}$$

Despejando **$\theta = 117,343^\circ$**

$$S = \frac{R * \pi * \alpha}{180^\circ} = \frac{0,5 \text{ m} * \pi * 117,303^\circ}{180^\circ} = 1,02 \text{ m}$$

$$\mathbf{S = 1,02 \text{ m}}$$

Después de obtenidos todos estos valores procederemos a calcular el área de la sección transversal del volumen ocupado por la semilla a desplazar:

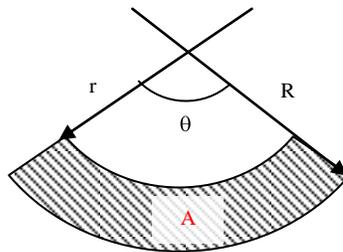


Fig. 5.8.5 Esquema área transversal del volumen de semilla que ejercen fuerza sobre las paletas internas

FUENTE: Los autores

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

Tomando el área de un segmento de círculo (Fig. 5.8.5) $A = A_2 - A_1$, entonces calculando cada una de estas áreas tendremos lo siguiente:

$$A_1 = \frac{r^2 * \pi * \theta}{360^\circ} = \frac{0,4619m^2 * \pi * 117,343^\circ}{360^\circ} = 0,218474 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{R^2 * \pi * \theta}{360^\circ} = \frac{0,5m^2 * \pi * 117,343^\circ}{360^\circ} = 0,256003 \text{ m}^2$$

$$A = 0,256003 \text{ m}^2 - 0,218474 \text{ m}^2$$

$$A = 0,037529 \text{ m}^2$$

Como ya conocemos el área A, entonces podemos obtener el volumen que será igual a:

$$Vol = A * L = 0,0375 \text{ m}^2 * 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Vol.} = \mathbf{0,034 \text{ m}^3}$$

5.8.5.- Cálculo del peso de la porción de semilla que desplazará la paleta interior

Se Sabe que 120 kg de semilla tiene un volumen igual a 0,185987 m³ entonces con una simple regla de tres se puede saber el peso para un volumen de semilla igual a 0,033776 m³

$$m = \frac{120 \text{ kg} * 0,033776 \text{ m}^3}{0,185987 \text{ m}^3} = 21,792491 \text{ kg}$$

$$\mathbf{m = 21,79 \text{ kg}}$$

Por último obtendremos la fuerza F' con la siguiente ecuación:

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

$$F' = m * \alpha = 21,792491 \text{ kg} * 0,368505 \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2} = 8,030642 \text{ N}$$

$$\mathbf{F' = 8,03 \text{ N}}$$

5.8.6- Cálculo de la inercia del cilindro centrífugo

Para este cálculo tendremos que decir que la inercia total del cilindro centrífugo será igual a la sumatoria de las inercias parciales de cada elemento que lo integra.

$$I_{\text{total}} = \sum I_i \qquad \text{Ec. N}^\circ \text{ 5.8.6.1}$$

5.8.6.1.- Cálculo del momento de inercia del cilindro de lámina perforada

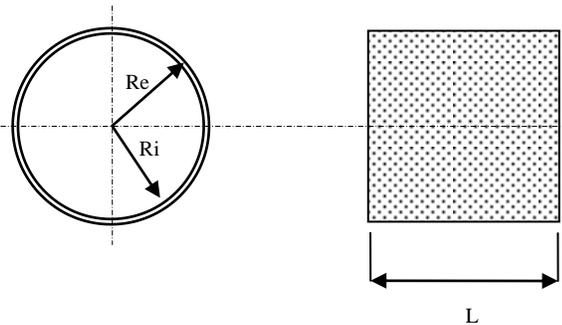


Fig. 5.8.6.1.1 Esquema del cilindro de lámina perforada

FUENTE: Los autores

Donde: $R_i = 0,5 \text{ m}$

$R_e = 0,505 \text{ m}$

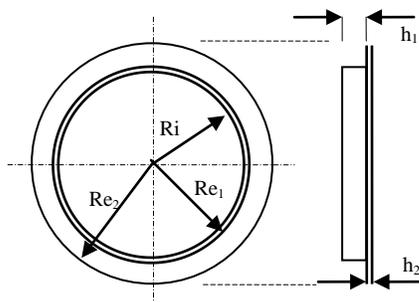
$L = 1 \text{ m}$

$P_3 = 12,576 \text{ kg}$

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

$$I_1 = \frac{1}{2} * P_3 * (Re^2 + Ri^2) = \frac{1}{2} * 12,576 \text{ kg} * (0,505m^2 + 0,5m^2) = 3,175597 \text{ kg} * m^2$$

5.8.6.2.- Cálculo del momento de inercia de los aros de ángulo “L”



Aro de la estructura del cilindro

Donde:

$$Ri = 0,51 \text{ m}$$

$$Re_1 = 0,501 \text{ m}$$

$$Re_2 = 0,55 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,046 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,0047 \text{ m}$$

Fig. 5.8.6.2.1 Esquema de los aros que conforman la estructura del cilindro centrífugo

FUENTE: Los autores

$$I_2 = \frac{1}{2} * m * (Ri^2 + Re_1^2) + (Re_1^2 + Re_2^2)$$

$$I_2 = \frac{12,76689 \text{ kg}}{2} * (0,5005m^2 + 0,505263m^2) + (0,505263m^2 + 0,5513m^2)$$

$$I_2 = 6,79 \text{ kg} * m^2$$

Visto que se utilizarán 4 aros, la I_2 tiene que ser multiplicada por cuatro, resultando

$$I_{2total} = I_2 * 4aros = 6,798455 \text{ kg} * m^2 * 4aros \Rightarrow I_{2total} = 27,19 \text{ kgm}^2$$

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

5.8.6.3.- Cálculo del momento de inercia de los ángulos “L” axiales exteriores

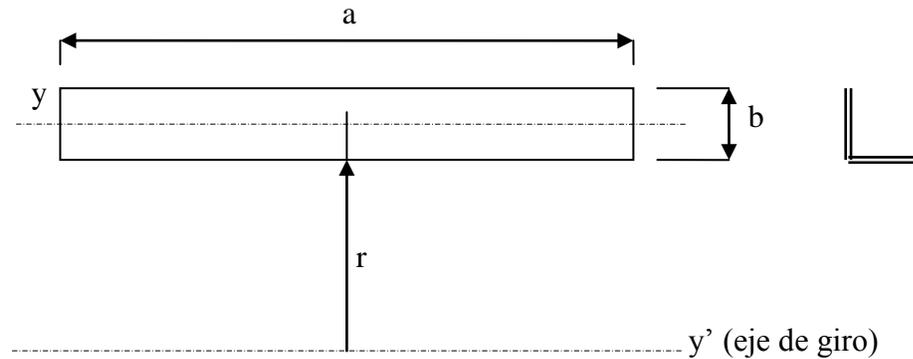


Fig. 5.8.6.3.1 Esquema de los ángulos que unen los aros del cilindro centrífugo

FUENTE: Los autores

$$m = 1,642 \text{ kg}$$

$$a = 0,45 \text{ m}$$

$$b = 0,051 \text{ m}$$

$$r = 0,50 \text{ m}$$

$$I_y = \frac{m}{12} * \left(\frac{b}{2}\right)^2 = \frac{1,642 \text{ kg}}{12} * \left(\frac{0,051 \text{ m}}{2}\right)^2 = 0,000088 \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$I_y' = I_y + m * \left(r + \frac{b}{2}\right)^2 = 0,000088 \text{ kg} * \text{m}^2 + 1,641605 \text{ kg} * \left(0,5005 \text{ m} + 0,0255 \text{ m}\right)^2$$

$$I_y' = 0,454 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Como son ocho ángulos que sujetan los cuatro aros la inercia I_y' se tendrá que multiplicar por ocho

$$I_y'_{total} = 0,45 \text{ kg} * \text{m}^2 * 8$$

$$I_y'_{total} = 3,63 \text{ kg} * \text{m}^2$$

5.8.6.4.- Cálculo del momento de inercia de las paletas interiores

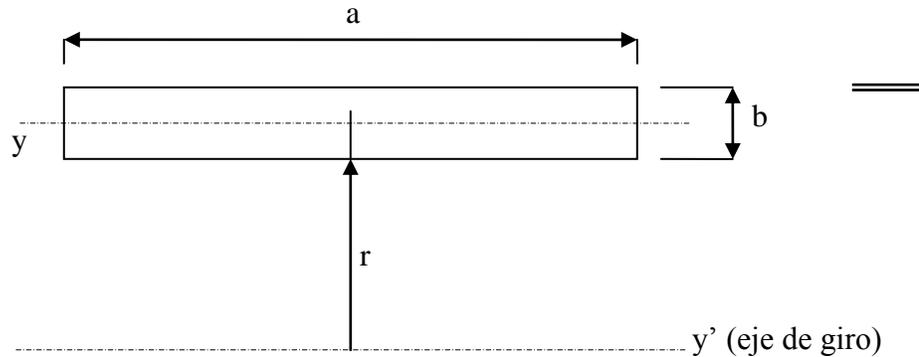


Fig. 5.8.6.4.1 Esquema de las paletas internas del cilindro centrífugo

FUENTE: Los autores (ver planos anexos)

$$m = 1,67 \text{ kg}$$

$$b = 0,031 \text{ m}$$

$$a = 0,90 \text{ m}$$

$$r = 0,50 \text{ m} - b$$

$$I_y = \frac{m}{12} * \left(\frac{b}{2}\right)^2 = \frac{1,67 \text{ kg}}{12} * \left(\frac{0,0381 \text{ m}}{2}\right)^2 = 0,00005 \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$I_{y'} = I_y + m * \left(r + \frac{b}{2}\right)^2 = 0,00005 \text{ kg} * \text{m}^2 + 1,665 \text{ kg} * \left(0,4619 \text{ m} + 0,0195 \text{ m}\right)^2$$

$$I_{y'} = 0,39 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Se utilizarán cuatro paletas para mover la semilla por ello se tiene que multiplicar la inercia $I_{y'}$ por cuatro.

$$I_{y' \text{ total}} = 0,385 \text{ kg} * \text{m}^2 * 4 \text{ paletas}$$

$$I_{y' \text{ total}} = 1,54 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

5.8.6.5.- Cálculo del momento de inercia de la semilla

Es importante tener en cuenta que sólo el volumen de semilla que arrastra las paletas, es la porción que producirá un momento de inercia, ya que el otro volumen de semilla resbala sin provocar momento de inercia.

5.8.7.- Cálculo de la inercia total

Ahora bien, ya obtenido todos los momentos de inercias podremos calcular el momento de inercia total del cilindro centrífugo.

$$I_{\text{total}} = 3,175597 \text{ kg}\cdot\text{m}^2 + 27,193818 \text{ kg}\cdot\text{m}^2 + 1,540744 \text{ kg}\cdot\text{m}^2 + 3,632864 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

$$I_{\text{total}} = 35,54 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

5.8.8.- Selección del motor

Sustituyendo todos los valores en la ecuación de momento de inercia tendremos:

$$M_t = 8,030642 \text{ Nm} * \left(0,5\text{m} - \frac{0,0381\text{m}}{2} \right) + 35,543023 \text{ kgm}^2 * 0,418879 \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2}$$

$$M_t = 18,75 \text{ Nm}$$

Ya obtenido M_t procederemos a calcular la potencia requerida:

$$Pot_{\text{reg}} = M_t * \omega = 18,750563 \text{ Nm} * 1,842523 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$\text{Pot}_{\text{req}} = 34,548344 \text{ W} * 1 \text{ hp} / 745,69 \text{ W}$$

$$\text{Pot}_{\text{req}} = 0,046 \text{ hp}$$

$$\text{Pot}_{\text{real}} = 0,046 \text{ hp} / 0,9$$

$$\text{Pot}_{\text{real}} = 0,052 \text{ hp}$$

Con $\text{Pot}_{\text{real}} = 0,0515 \text{ hp}$ y $N = 35,19 \text{ rpm}$ (rpm seg {un especificaciones de motor y caja reductora comercial) se selecciona un motor y su caja reductora.

Motor Vemat trifásico tipo VTB63B 0,18kW = ¼ hp, 60 hz, 1750 rpm, asíncrono, 220 v.

Caja reductora Motovario NMRV 030 1750 rpm /175 rpm 90° (ver anexo n°)

5.9.- CÁLCULO DEL SISTEMA MOTRIZ DEL CILINDRO CENTRÍFUGO

Este sistema está compuesto por un motor reductor que acciona la rueda motriz, mediante un eje que está unido a través de unas chavetas los cuales se observaran en las siguientes figuras.

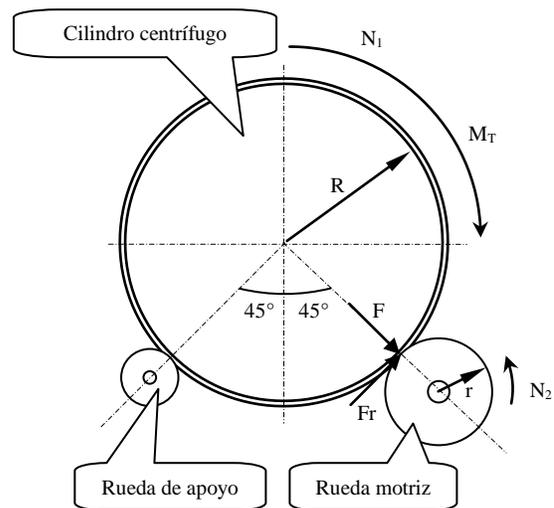


Fig. 5.9.1 Esquema de la motricidad del cilindro centrífugo

FUENTE: Los autores

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

Haciendo referencia a la Fig. 5.9.1, se observa que la rueda motriz tendrá mayor diámetro que las tres restantes de apoyos, esto es para minimizar el posible deslizamiento entre la rueda y la superficie de contacto, aprovechar mayor torque y facilitar la ubicación de los rodamientos de apoyo para el eje que portara esta rueda.

$$F = 1.409,76 \text{ N}$$

$$R = 0,51 \text{ m}$$

$$r = 8'' = 0,10 \text{ m}$$

$$N_1 = 35,19 \text{ rpm}$$

$$N_2 = ?$$

Por la relación de transmisión entre el cilindro centrífugo y la rueda motriz:

$$\frac{R}{r} = \frac{N_2}{N_1} \quad \text{Ec. N° 5.9.1}$$

Despejando N_2 , nos queda:

$$N_2 = N_1 * \frac{R}{r} = 35,19 \text{ rpm} * \left(\frac{0,51 \text{ m}}{0,10 \text{ m}} \right)$$

$$N_2 = 175 \text{ rpm}$$

Calculando la fuerza de roce de la rueda motriz y asumiendo el coeficiente de fricción del acero inoxidable por ser el más desfavorable igual a $\mu \approx 0,10$ no queda:

$$Fr = \mu * F = 0,10 * 1409,76 \text{ N} = 140,976 \text{ N}$$

$$Fr = 140,975 \text{ N}$$

5.9.1.- Calculando el momento torsor de la rueda motriz

$$M_T = F' * R$$

despejando F' de la ecuación

$$F' = \frac{M_T}{R} = \frac{28,24 \text{ N} * m}{0,51 \text{ m}}$$

$$F' = 55,9 \text{ N}$$

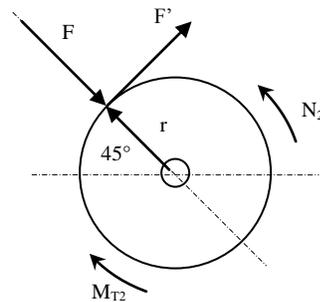


Fig. 5.9.1.1 Esquema de la rueda motriz

FUENTE: Los autores

$$M_{T2} = F' * r = 55,9 \text{ N} * 0,11 \text{ m}$$

$$M_{T2} = 5,68 \text{ N} * m$$

$$M_{T2} = 5,68 \text{ N} * m$$

5.9.2.- Diseño del eje de potencia de la rueda motriz

Como ya conocemos el momento torsor M_{T2} y la fuerza F podemos seguir calculando el eje motriz, pero antes tenemos que seleccionar la rueda motriz a utilizar.

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

Con $F = 1409,76 \text{ N}$ se seleccionó una rueda marca METALARTE serie AP de $\text{Ø}8''$ la cual tiene un hueco pasante de $\text{Ø}1''$ para alojar el eje, con banda de rodamiento de poliuretano de alto rendimiento, vulcanizada al rin de hierro fundido con un tratamiento especial para alta resistencia al despegue.

Ya seleccionada la rueda motriz pasaremos al diseño del eje.

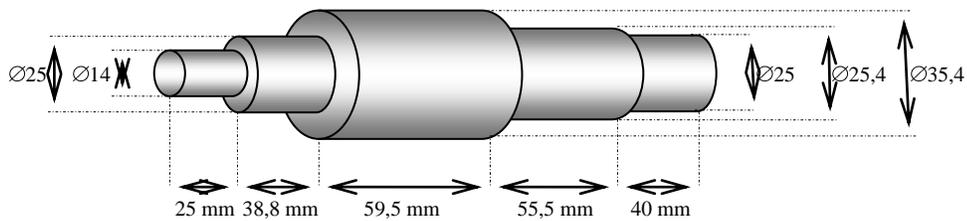


Fig. 5.9.2.1 Esquema de las dimensiones del eje motriz

FUENTE: Los autores

5.9.2.1.- Diagrama de cuerpo libre del eje motriz

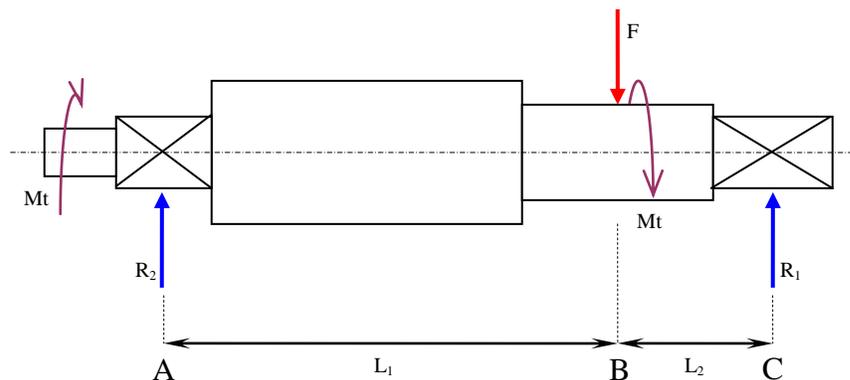


Fig. 5.9.2.1.1 Esquema de las fuerzas actuantes sobre el eje motriz

FUENTE: Los autores

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

$$L_1 = 106,65 \text{ mm}$$

$$L_2 = 47,55 \text{ mm}$$

$$F = 1409,76 \text{ N}$$

$$M_t = 56,8 \text{ N}\cdot\text{m}$$

5.9.2.2.- Cálculo de las reacciones R1 y R2

Haciendo una sumatoria de momento:

$$\sum M_c : -L_2 * F + (L_1 + L_2) * R_2 = 0 \quad \text{Ec. N}^\circ \text{ 5.9.2.2.1}$$

Despejando R₂ de la ecuación anterior y sustituyendo nos queda:

$$R_2 = \frac{L_2 * F}{(L_1 + L_2)} = \frac{47,55 \text{ mm} * 1409,76 \text{ N}}{(106,65 \text{ mm} + 47,55 \text{ mm})}$$

$$R_2 = 434,721712 \text{ N}$$

Y ahora haciendo sumatoria de fuerzas:

$$\sum F : -R_1 + F - R_2 = 0 \quad \text{Ec. N}^\circ \text{ 5.9.2.2.2}$$

Despejando R₁ y sustituyendo:

$$R_1 = F - R_2 = 1409,76 \text{ N} - 434,721712 \text{ N}$$

$$R_1 = 975,038288 \text{ N}$$

$$\mathbf{R_1 = 975,04 \text{ N}}$$

$$R_2 = 434,72 \text{ N}$$

5.9.2.3.- Diagrama de corte y momento flector

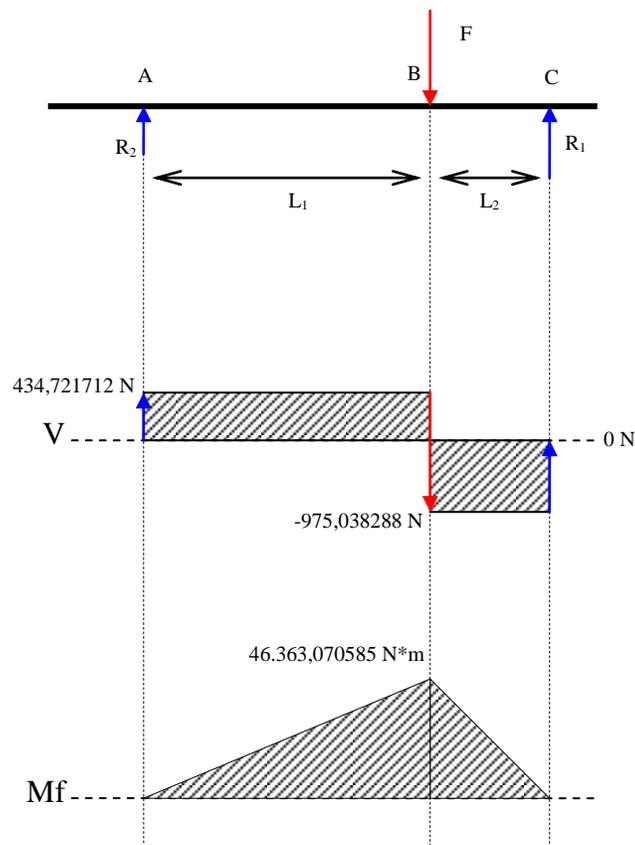


Fig. 5.9.2.3.1 Diagrama de corte y momento flector

FUENTE: Los autores

Estudiando los resultados del diagrama de corte y momento flector, podemos observar que el punto B es el crítico, ya que existe el $M_{f\text{máx}}$, por lo tanto, será el punto de estudio.

5.9.2.4.- Comprobación de la resistencia del eje motriz

Para estos cálculos nos basaremos en los procedimientos especificados en el libro de Faies de Diseño de Elementos de Máquinas.

Para el estudio del eje se realizarán cálculos por deformación angular y flexión Lateral, ya que son los más significativos en este caso. Como la velocidad de giro es muy baja no tomaremos en cuenta la velocidad crítica y como no existen fuerzas axiales tampoco tomaremos el estudio por pandeo.

$$F = 1409,76 \text{ N}$$

$$R_1 = 975,04 \text{ N}$$

$$R_2 = 434,72 \text{ N}$$

$$L_1 = 106,65 \text{ mm}$$

$$L_2 = 47,55 \text{ mm}$$

$$M_{\text{torsor}} = 28,24 \text{ N*m}$$

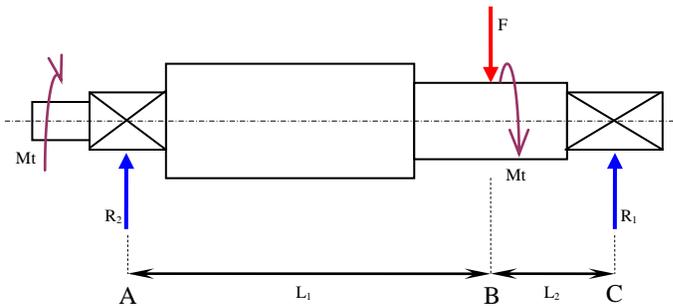


Fig. 5.9.2.4.1 Esquema de las fuerzas en el eje

FUENTE: Los autores

El momento de torsión transmitido por la rueda debe ser:

$$T_B = \frac{71620 * CV}{n} = \frac{71620 * 0,253475}{175 \text{ rpm}} \text{ CV} = 103,74 \text{ N*m}$$

Este momento torsor en el eje es entre A y B.

$$F_B = 1409,76 \text{ N} = 143,76 \text{ kgf}$$

$$M_{f\text{m}\acute{a}x} = 45363,071 \text{ N.mm} = 472,77 \text{ kgf * cm}$$

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

Según la tabla AT10 del Faires Diseño de Elemento de Máquinas, hallamos el acero 1040 estirado en frío.

$$S_u = 6749 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad S_y = 4148 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad S'_n = \frac{6749 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{2}$$

Donde: S_u = Resistencia máxima

S_y = Punto de fluencia en tracción

S'_n = Límite de fatiga

Necesitamos incluir un coeficiente de tamaño, por ejemplo, 0,85; hay un chavetero en la sección B, para el cual $K_f = 1,6$ y $K_{fs} = 1,3$ según tabla AT 13 del Faires.

$$S_{ms} = \frac{T_c}{J} = \frac{103,74 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}}{\frac{\pi * D^3}{16}}$$

$$\text{Supongamos: } S_{ns} = 0,6 * 3374,5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 2024,7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$S_{ys} = 0,6 * 4148 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 2488,8 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$S_m = 0, \text{ por tanto } S_a = \frac{M_c}{I} = \frac{472,773503 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}}{\frac{\pi * D^3}{32}}$$

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

$$Se = \frac{Sn}{Sy} * Sm + Kf * Sa = 0 + \frac{1,6 * 472,77 \frac{kg}{cm} * 32}{\pi * D^3}$$

Supongamos un par torsor constante; $Sas = 0$

$$Ses = \frac{Sns}{Sys} * Sms + Kfs * Sa = \frac{2024,7 * 103,736 * 16}{2488,8 * \pi * D^3} + 0$$

$$\text{Sustituyendo en } \frac{1}{N} = \left[\left(\frac{Se}{Sn} \right)^2 + \left(\frac{Ses}{Sns} \right)^2 \right]^{1/2}$$

y asumiendo eje macizo.

$$\frac{1}{1,8} = \left[\left(\frac{1,6 * 472,773503 * 32}{0,85 * 3374,5 * \pi * D^3} \right)^2 + \left(\frac{2024,7 * 103,73645 * 16}{2024,7 * 2488,8 * \pi * D^2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{1}{1,8} = \left[\left(\frac{8,439073}{\pi * D^3} \right)^2 + \left(\frac{0,666901}{\pi * D^2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Despejando D, nos queda $D = 1,696$ cm. el cual cumple con el eje diseñado anteriormente.

Debido a que el menor diámetro permitido para la fabricación del eje motriz es $D = 1,696$ cm., se puede observar que tendremos diámetros superiores de acuerdo a los elementos que porta dicho eje, como lo son la rueda motriz, rodamientos, etc.

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

5.9.2.5.- Diseño de la chaveta de la rueda motriz

Para estos cálculos nos basaremos en los procedimientos del libro Shigley Diseño en Ingeniería Mecánica.

Como la rueda motriz tiene un rin de hierro colado y se tiene que acoplar a un eje de $\varnothing 1''$ de material 1040, el cual tiene que transmitir $\frac{1}{4}$ hp a 175 rpm, se utilizara una chaveta plana de material C1020 acabado en frío. Se prevé que la transmisión esté sometida a vibraciones muy pequeñas, por lo que parece razonable un factor de seguridad de 1,75.

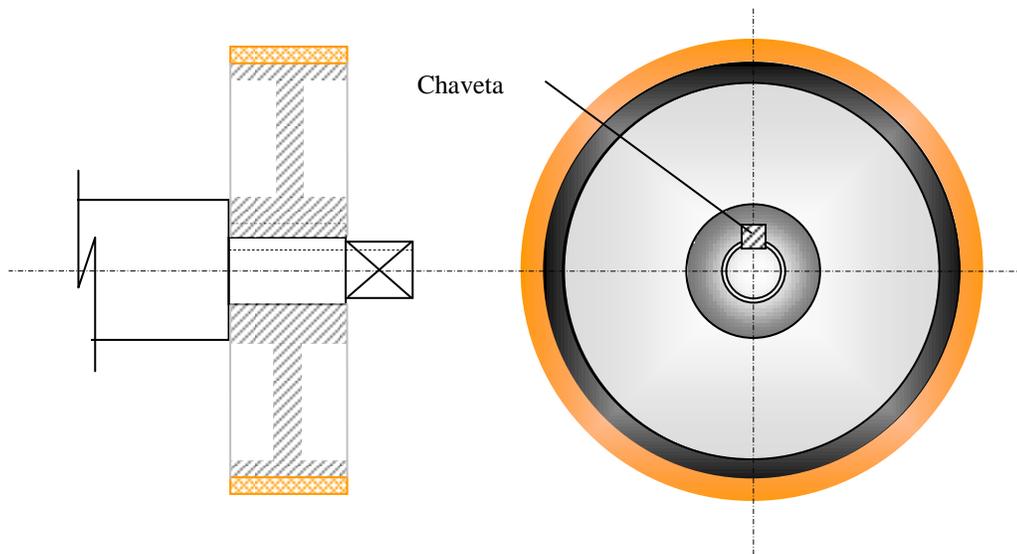


Fig. 5.9.2.5.1 Esquema representativo de la rueda motriz

FUENTE: Los autores

De la tabla AT 7 (Faires Diseño de elementos de máquinas) tenemos que, para C1020, deducimos $S_y = 66$ Ksi; así, puesto que la resistencia a la compresión del hierro colado y del acero 1040 es mayor que la del material de la chaveta, los esfuerzos de cálculo son:

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

$$S_s = \frac{0,50 * 66}{1,75} = 18,857 \text{ Ksi}$$

Este es el esfuerzo cortante y para calcular el esfuerzo de compresión tendremos:

$$S_c = \frac{66}{1,75} = 37,714 \text{ Ksi}$$

Ahora bien, tendremos que calcular el par transmitido por la siguiente ecuación:

$$T = \frac{63.000 * CV}{n} = \frac{63.000 * 0,253475 \text{ CV}}{175} = 91,251 \text{ pulg-lb}$$

De la tabla AT19 (Faires Diseño de elementos de máquinas), escogemos una chaveta de $b = \frac{1}{4}$ pulg. y $t = \frac{3}{16}$ pulg. para eje de 1 pulg. de diámetro de donde se deduce:

$$L = \frac{2 * T}{S_s * b * D} = \frac{2 * 0,091251}{18,85 * 0,25 * 1} = 0,04 \text{ pulg} = 1,02 \text{ mm}$$

Cizalladura

$$L = \frac{4 * T}{S_c * t * D} = \frac{4 * 0,091251}{37,7 * 0,1875 * 1} = 0,05 \text{ pulg} = 1,27 \text{ mm}$$

Compresión

Empleando $L = 0,05$ pulg. con sección transversal de $\frac{1}{4} \times \frac{3}{16}$ pulg. Podemos seleccionar una chaveta con L igual al ancho de la rueda motriz $55,5 \text{ mm} \gg 0,05$ pulg. con una sección transversal de $\frac{1}{4} \times \frac{3}{16}$ pulga el cual estaríamos cumpliendo con el factor estética del diseño.

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

5.9.2.6.- Diseño de la chaveta para el acople del eje al motor reductor

Para este diseño tomaremos las dimensiones de la caja reductora seleccionada que tendría unas dimensiones iguales a $b = 5 \text{ mm}$, $t = 5 \text{ mm}$ y $L = 21 \text{ mm}$.

5.10.- CÁLCULO DEL EJE DE APOYO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL CILINDRO CENTRÍFUGO

Tomando de la tabla AT 7 Pág. 744 del Faies un material Acero AISI 1020 recocido con $\sigma_u = 4007 \text{ kg/cm}^2$, $\tau_{pc} = 3023 \text{ kg/cm}^2$ y un factor de seguridad de $F_s = 3$ y sabiendo que dicho eje soportará una carga de aproximadamente 300 kg procederemos al cálculo por corte puro.

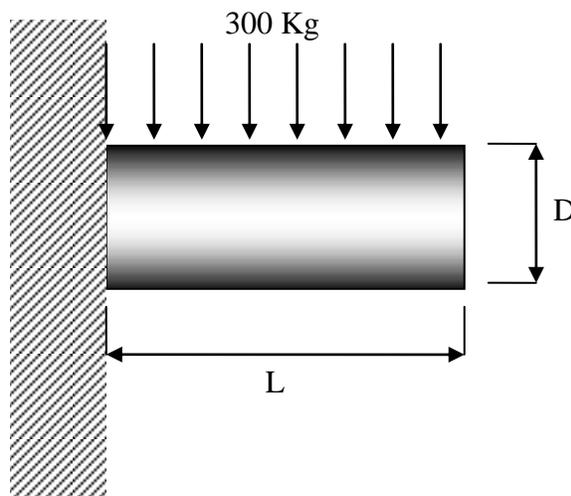


Fig. 5.10.1 Esquema de distribución de carga del eje de apoyo

FUENTE: Los autores

Donde:

D = diámetro del eje

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

L = longitud del eje = 10 cm de acuerdo con el diseño del tubo estructural 80 x 80 mm de soporte.

$$\tau = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. N}^\circ \text{ 5.10.1}$$

Donde:

P = carga a soportar = 300 Kg

A = área transversal del eje = $(\pi/4)*D^2$

$$\tau \text{ admisible} = \frac{\tau_{pc}}{Fs} = \frac{3023 \frac{kg}{cm^2}}{3} = 1008 \frac{kg}{cm^2}$$

Como $\tau \leq \tau$ admisible, entonces:

$$\tau = \frac{300kg}{\frac{\pi}{4} * D^2}$$

Despejando D y sustituyendo en τ admisible se tiene:

$$1008 \frac{kg}{cm^2} = \frac{300kg}{\frac{\pi}{4} * D^2} \Rightarrow D = \frac{300kg}{\frac{\pi}{4} * 1008 \frac{kg}{cm^2}} = 0,2526 \text{ cm}$$

$$D = 0,50262 \text{ cm}$$

Visto el diámetro mínimo que debe tener el eje se escoge una barra de ½ pulg = 1,27 cm.

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

5.11.- CÁLCULO DE LOS TORNILLOS DE FIJACIÓN DEL BALANCÍN

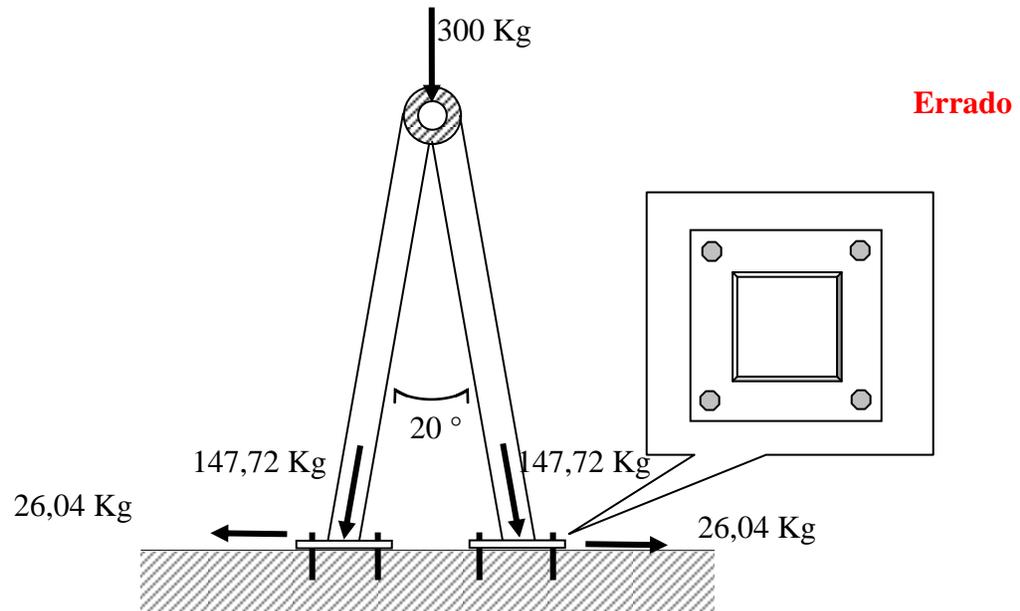


Fig. 5.11.1. Esquema de la distribución de carga en el balancín

FUENTE: Los autores

Primero tendremos que calcular la fuerza horizontal que soportará cada tornillo.

$$\text{Cos } 10^\circ = \frac{F_y}{150\text{kg}} \Rightarrow F_y = 147,7 \text{ Kg}$$

$$\text{Sen } 10^\circ = \frac{F_x}{150\text{kg}} \Rightarrow F_x = 26,04 \text{ Kg}$$

Como son cuatro tornillos los que sujetan cada pata del balancín se tiene que dividir la carga horizontal entre cuatro.

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

$$F_{x'} = \frac{26,04 \text{ kg}}{4} = 6,51 \text{ kg} \text{ (Fuerza aplicada a cada tornillo)}$$

Luego seleccionamos el material de los tornillos, para elegir τ y después dividirlo entre un factor de seguridad.

Acero AISI C1020 con $\tau = 3023 \text{ kg/cm}^2$ y un $F_s = 3$

$$\frac{\tau}{3} = \frac{F_{x'}}{\frac{\pi}{4} * d^2}$$

$$\frac{\pi * \tau}{12} = \frac{F_{x'}}{d^2} \Rightarrow D^2 = \frac{12 * F_{x'}}{\pi * \tau} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{12 * F_{x'}}{\pi * \frac{\tau}{3}}}$$

$$D = \sqrt{\frac{12 * 6,51 \text{ kg}}{3023 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}} \Rightarrow D = 0,16 \text{ cm}$$

Se puede apreciar que el diámetro del tornillo que se calculó da muy bajo, esto se debe a que la fuerza horizontal ejercida en ellos es muy pequeña $F_{x'} = 6,51 \text{ kg}$.

5.12.-CÁLCULOS TERMODINÁMICOS DE LA MÁQUINA DESHIDRATADORA

Para esta parte térmica nos basaremos en procedimientos y fórmulas de la literatura de **Castillo Niño, A. (1984). Almacenamiento de granos Aspectos técnicos y económicos (2ª ed.). Bogotá**, la cual explica y demuestra todos aquellos cálculos relacionados con el secado de granos que aplicaremos a continuación.

Las condiciones de operación de la máquina deshidratadora serán las siguientes:

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

Capacidad de secado: 360 kg/hr de Ajonjolí

Humedad relativa de entrada del grano: 15% (información suministrada por el proveedor de la materia prima)

Extracción de humedad: 5% máxima requerida para no quemar el grano.

Condiciones ambientales críticas: Tbs = 20 °C, Tbh = 18 °C (Ver tabla 5.1)

Fecha de inicio del muestreo: 29/07/2003

Lugar de muestreo: Empresa NATURA VIVA, C.A. Tinaquillo

Altitud: 418 m.s.n.m

Presión atmosférica: 0,963378 bar

Presión de vapor: 24,1610531 mbar

Presión de vapor sat.: 27,2649099 mbar

Día	Hora	Clíma	Tbs °C	Tbh °C
1	08:00 a.m.	Lluvioso	22	20
	11:30 a.m.	Cielo despejado	25	24
	05:00 p.m.	Cielo despejado	25	24
2	08:00 a.m.	Cielo despejado	22	21
	11:30 a.m.	Lluvioso	24	23
	05:00 p.m.	Lluvioso	24	22
3	08:00 a.m.	Cielo despejado	22	20
	11:30 a.m.	Cielo despejado	22	21
	05:00 p.m.	Cielo despejado	20	18
4	08:00 a.m.	Cielo Nublado	20	19
	11:30 a.m.	Lluvioso	21	20
	05:00 p.m.	Lluvioso	21	19
5	08:00 a.m.	Cielo despejado	22	20
	11:30 a.m.	Cielo despejado	25	24
	05:00 a.m.	Lluvioso	22	21
Temp. Máx.			25	24
Temp. Min.			20	18
Temp. Prom.			22,5	21,1

Tabla 5.12.1 Temperatura atmosférica

FUENTE: Los autores

La tabla anterior se obtuvo de un ensayo de temperatura tanto de bulbo seco como de bulbo húmedo, durante un período de cinco días continuo, en el cual se registraron tres lecturas por día para luego poder obtener la condición crítica del aire ambiental donde estará ubicada la nueva máquina limpiadora y deshidratadora. En

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

dicha tabla se puede observar también el estado del clima cuando se leyó cada temperatura, como la altitud del lugar y sus distintas presiones.

5.12.1.- Cálculo de la evaporación de agua

Entrada del grano: 360 kg de ajonjolí con 15% de humedad, esto sería igual a 306 kg de ajonjolí y 54 kg de H₂O.

Como la materia seca es de 306 kg, que equivale a un 90%, tenemos que el 100% es igual a 340 kg de materia al final del secado, y como 340 kg – 306 kg dan 34 kg de materia húmeda, equivalente al 10% de la materia total.

Ahora bien, tendremos que definir cuanta cantidad se deshidrato, por lo tanto, restándole a la cantidad inicial de grano 306 kg la cantidad final de 340 kg nos daría el 5% de materia deshidratada que sería igual a 20 kg de agua equivalente a 20 lt de agua aproximadamente.

Luego podremos decir que el peso del agua evaporada será igual a 20 kg de agua/hr que es igual a 0,33 kg de agua / min.

Si se tiene un tiempo de ciclo de 20 min. la máquina tendrá una capacidad de evaporar:

$$0,33 \frac{\text{kg de agua}}{\text{min}} * \frac{20 \text{ min}}{\text{ciclo}} = 6,6 \frac{\text{kg de agua}}{\text{ciclo}}$$

Ya que en cada ciclo se deshidratan 120 kg de semilla.

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

5.12.2.- Cálculo de las condiciones del aire

$$T_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C} = 68 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_{s_1} = 18 \text{ } ^\circ\text{C} = 64,4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T' = 32 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$H_{R_1} = 88,6 \text{ } \%$$

$$H_{abs_1} = 0,0136$$

$$hfg_1 = 1055,3 \frac{BTU}{LB}$$

Donde:

T_1 = Temperatura bulbo seco

T_s = Temperatura de saturación

T' = Datum para el agua

H_R = Humedad relativa

H_{abs} = Humedad absoluta

Se verifica la entalpía h_1 del punto 1, la cual viene definida por la siguiente expresión:

$$h_1 = 0,24 * T_1 + H_{abs_1} * [0,45 * (T_1 - T_{s_1}) + hfg_1 + (T_{s_1} - T')]$$

$$h_1 = 0,24 * 68^\circ\text{F} + 0,0136 * \left[0,45 * (68^\circ\text{F} - 64,4^\circ\text{F}) + 1055,3 \frac{Btu}{lb} + (64,4^\circ\text{F} - 32^\circ\text{F}) \right]$$

$$h_1 = 31,14 \frac{Btu}{lb_s}$$

5.12.3.- Cálculo del calentamiento del aire

$$T_2 = 70 \text{ } ^\circ\text{C} = 158 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_s = 64,4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$H_{abs_2} = H_{abs_1} = 0,0136$$

$$hfg_2 = 1003,55 \text{ Btu/lb}$$

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

$$h_2 = 0.24 * 158^\circ F + 0,0136 * \left[0.45 * (58 - 64,4) + 1003,55 \frac{Btu}{lb} + (64,4 - 32) \right]$$

$$h_2 = 52,58 \frac{Btu}{lb_s}$$

Ya conocida la entalpía del punto 2 podemos ir a la carta psicrométrica y leer la humedad absoluta $H_{abs} = 0,02925$

5.12.4.- Cálculo de la humedad desplazada

$$H_{abs} - H_{abs_2} = 0,02925 - 0,0136 = 0,01565$$

Tomando el 70% de la eficiencia, según datos obtenidos de proyectos de diseño de máquinas secadoras (Empresa FAINCA, C.A.) $0,7 * 0,01565 = 0,010955$

$$\text{Humedad desplazada} = 0,011$$

Con esta humedad vamos a la carta psicrométrica y conseguimos la ubicación del punto 3 (salida del aire) $H_{abs_3} = 0,0136 + 0,010955 = 0,0245$ con $T_{bs_3} = 42,5^\circ C$

5.12.5.- Cálculo de la cantidad de aire requerida

$$C = \frac{\text{Cantidad_agua_evaporada}}{\text{Humedad_desplazada}}$$

$$C = \frac{0,33 \frac{kg - H_2O}{min}}{0,010955}$$

$$C = 30,12 \frac{kg}{min}$$

Tomando una densidad de aire igual a $14,2 \text{ lb. /pie}^3 = 1,13 \text{ kg/m}^3$

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

$$C = \frac{30,12 \frac{\text{kg}}{\text{min}}}{1,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 26,7 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \text{ de aire}$$

Cantidad de aire requerida = 26,7 m³/min de aire = 942,9 cfm

5.12.6.- Cálculo de la cantidad de calor necesaria

$$Q_T = Q_p + Q_h + Q_v + Q_a \quad \text{Ec. N}^\circ \text{ 5.12.6.1}$$

Donde:

Qp = Calor requerido para calentar el producto en base seca.

Qh = Calor requerido para calentar el agua asociada.

Qv = Calor requerido para evaporar el agua desplazada de la semilla.

Qa = Calor requerido para calentar el aire de secado.

5.12.6.1.- Cálculo del calor para calentar el producto en base seca (Qp)

$$Q_p = W * C_p * \Delta T \quad \text{Ec. N}^\circ \text{ 5.12.6.1.1}$$

Donde:

W = peso del producto a calentar = 360 kg/hr de ajonjolí

Cp = calor específico del producto = 0,531

ΔT = diferencia de temperatura = $T_1 - T_2 = 70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$

$$Q_p = 360 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} * 0,531 * 50^\circ\text{C} = 9.558 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

5.12.6.2.- Cálculo del calor para calentar el agua asociada (Qh)

$$Qh = Wh * Cp * \Delta T \quad \text{Ec. N° 5.12.6.2.1}$$

Donde:

Wh = peso del agua asociada = 54 kg de H₂O

Cp = calor específico del agua = 1

ΔT = diferencia de temperatura = 50 °C

$$Qh = 54kg * 1 * 50^{\circ}C = 2.700 \frac{kcal}{hr}$$

5.12.6.3.- Cálculo para evaporar el agua a desplazar (Qv, Calor latente)

$$Qv = We * hfg \quad \text{Ec. N° 5.12.6.3.1}$$

Donde:

We = peso del agua a evaporar = 20 kg de agua

Hfg = calor latente del agua a T₂ = 70 °C = 572,7 kcal/kg

$$Qv = 20kg * 572,7 \frac{kcal}{hr} = 11.454 \frac{kcal}{hr}$$

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

5.12.6.4.- Cálculo del calor para calentar el aire de secado (Qa)

$$QA = Wa * Cp * \Delta T \quad \text{Ec. N° 5.12.6.4.1}$$

Donde:

Wa = peso del aire a calentar = $30,12323 * 60 = 1.807,4$ kg/hr

Cp = calor específico del aire = 0,24

ΔT = diferencia de temperatura = 50 °C

$$Qa = 1.807,4 \frac{kg}{hr} * 50 \text{ °C} = 21.688,72632 \frac{kcal}{hr}$$

5.12.6.5.- Potencial total consumida

Por lo tanto el consumo de calor total será:

$$Q_T = (9.558 + 2.700 + 11.454 + 21.688,7) \frac{kcal}{hr}$$

$$Q_T = 45.400,7 \frac{kcal}{hr} = 180.164,54 \frac{Btu}{hr}$$

Es importante destacar que este valor de Q_T es similar al obtenido de la información dada por la empresa, la cual nos informo que para este tipo de secado requeríamos de aproximadamente 35.000 kcal / hr para poder deshidratar 120 kg de semilla en 20 min.

Ahora bien, podemos saber el calor necesario para calentar el aire de secado que es igual a **$Qa = 21.688,7$ kcal/hr = $86.067,82$ Btu/hr**

5.12.6.6.- Cálculo de la cantidad de gas a consumir

$$\text{Consumo_de_gas} = \frac{Q_a}{\text{Poder_calorico_del_gas}} \quad \text{Ec. N° 5.12.6.6.1}$$

Poder calórico del gas = 50.596,09 Btu/kg

$$\text{Consumo_de_gas} = \frac{86.067,82 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}}{50.596,09 \frac{\text{Btu}}{\text{kg}}} = 1,7 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

$$\text{Consumo de gas} = \frac{1,7 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}}{1,8814 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,9 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} * \frac{35,31 \text{pie}^3}{1 \text{m}^3} * \frac{1 \text{hr}}{60 \text{min}} = 0,53 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}$$

$$\text{Consumo de gas propano} = 0,53 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}$$

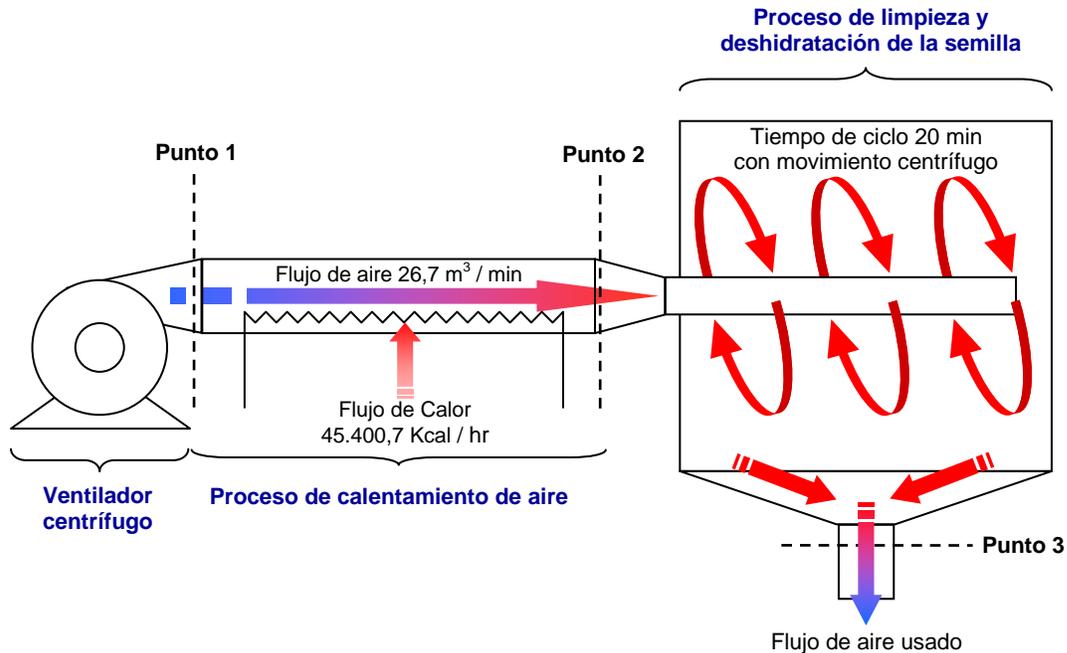


Fig. 5.12.6.6.1 Esquema de flujo de aire

FUENTE: Los autores

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

5.13.- DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA

El sistema de control automático, esta compuesto de una serie de elementos eléctricos y neumáticos capaces de actuar de manera sincronizada. Este sistema depende de cilindros normalizados, electroválvulas, temporizadores, guardamotores, sirena, reguladores y sensores de temperatura.

El cilindro es un pistón de doble efecto de diámetro de embolo de 63 mm según especificaciones técnicas (Pág.10 Manual de Festo) con capacidad de avance para el trabajo de elevar y descender el cilindro centrifugo de carga, el cual se desplaza lentamente por la carga y desalojo del fluido de manera gradual y controlada por los reguladores ubicados en las tomas del cilindro normalizado.

El fluido (aire) estará suministrado a una presión de funcionamiento de 10 bar según especificaciones técnicas (Manual Festo Pág. 102-1 sección A-2) y es controlado por medio de dos electroválvulas del tipo MFH-5-1/8-B con bobina incorporada.

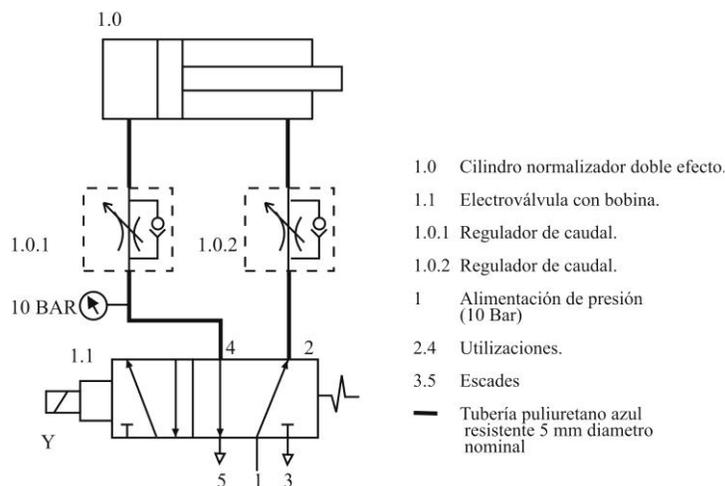
El sistema se energizará a través de dos interruptores del tipo guardamotores de pulsadores independientes para el arranque (p1, p2) y la parada (p3, p4). El proceso de mover el cilindro centrífugo de carga y la puesta en funcionamiento del ventilador, gracias al motor primario y secundario, es inmediata, sin embargo el de carga y descarga (elevar y descender) dependen del sensor de temperatura el cual envía la señal al obtener una temperatura adecuada del proceso, y permite mantener el sistema energizado por completo sin importar posteriormente variaciones de la misma.

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

5.13.1.- Sistema neumático de control

Haciendo referencia al esquema de la Fig. 5.13.1 podemos describir inicialmente el sistema neumático de control, integrado por un cilindro neumático de doble efecto (1.0) el cual estará controlado por dos válvulas reguladoras (1.0.1 y 1.0.2). Estas válvulas permitirán tener un ascenso y descenso controlado y amortiguado con la finalidad de que el cilindro neumático no tenga movimientos bruscos ni golpe al momento del ascenso o descenso del mismo. El ascenso y descenso de este cilindro neumático estará gobernado por una electroválvula (1.1) que a su vez estará regulada por un sistema eléctrico de control Fig. 5.13.2. Es importante resaltar que la máquina limpiadora y deshidratadora tendrá dos de estos sistemas neumáticos de control, uno para cerrar y abrir la compuerta de carga del cilindro centrífugo de la máquina y otro que permitirá la inclinación de dicho cilindro centrífugo al momento de la descarga de las semillas una vez concluido el ciclo de limpieza y deshidratación (cada 20 min. aprox.)

SISTEMA DE CONTROL (Esquema Neumático)



Referencia: Fluido aire comprimido filtrado, sin lubricación

Fig. 5.13.1 Sistema neumático de control

FUENTE: Los autores

Capítulo V DESARROLLO DE CÁLCULOS

5.13.2.- Sistema eléctrico de control

Ahora bien, teniendo como referencia la Fig. 5.13.2 podemos proceder a la explicación del sistema que controlará todo el funcionamiento automatizado de la máquina limpiadora y deshidratadora de semillas oleaginosas.

Para iniciar el proceso tendremos que pulsar tanto el pulsador p1 como p3, los cuales energizarán las bobinas Ko y cerrando los interruptores Ko,, inmediatamente esto energiza las bobinas K3 y K4 que la cuales accionan los motores M1 y M2 ya entran K3 y K4.

El motor M1 está encargado de dar movimiento rotacional al cilindro centrifugo de carga a través de una rueda motriz, y el motor M2 se encarga de mover el ventilador que suministra el flujo de aire para la deshidratación, justamente en este momento el sensor de temperatura T ubicado en el cilindro centrifugo, empezará a registrar la temperatura del aire circulante que ha entrado. Una vez que este sensor registre 70°C se energizan los temporizadores T1 y T2.

El temporizador T1 controla la apertura y cierre de la compuerta de carga del cilindro centrifugo y el T2 controla la activación del pistón neumático que permitirá la inclinación del cilindro centrifugo para descargar las semillas, a través de los accionamientos de las electrovalvulas Y1 y Y2.

En el momento que la electrovalvula conmuta para permitir que el pistón neumático que inclina el cilindro enciende una sirena S que alertará al operario que se inicia la descarga de la semilla y una vez concluido el tiempo configurado para la descarga, automáticamente el pistón neumático se extiende devolviendo a su posición horizontal al cilindro centrifugo y desactiva la sirena S.

Por último, concluido el periodo de tiempo laboral diario se puede desenergizar la máquina pulsando P2 Y P4 apagando así los motores y deteniendo el suministro de aire.

*Capítulo VI ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE FABRICACIÓN Y
BENEFICIOS ECONÓMICOS*

CAPÍTULO VI

**ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE FABRICACIÓN Y BENEFICIOS
ECONÓMICOS**

6.1.- CÁLCULO DE LA INVERSIÓN INICIAL

En toda investigación se debe conocer el rendimiento financiero de una inversión que ocurrirá en el futuro, el cual es uno de los problemas que enfrenta un profesional en el desarrollo de un proyecto, debido a que deben tomarse en cuenta muchos factores y condiciones que intervienen en el estudio económico, a tal punto, que en muchos casos de estudio por si solo constituye un proyecto de grado en ingeniería.

No obstante, se debe estimar la rentabilidad para tener una idea acerca del rendimiento económico del proyecto; de la siguiente manera, se evaluarán y compararán los costos que se generarán por producto seco tanto del sistema diseñado como los del sistema actual basándose el análisis principalmente en los costos operacionales por concepto de consumo de potencia, mantenimiento, mano de obra, depreciación (solo equipo nuevo). El costo inicial de la máquina nueva es de 387.600 Bs. según presupuesto emitido por Fabrinox, C.A. rif: j29387053-0

6.2. COSTOS OPERACIONALES

6.2.1. COSTO POR CONSUMO ELÉCTRICO

El costo generado por este concepto se determinó tanto para la máquina que actualmente se usa como para la nueva, de la siguiente manera:

**Capítulo VI ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE FABRICACIÓN Y
BENEFICIOS ECONÓMICOS**

A) Máquina nueva

El gasto por consumo eléctrico viene representado por los 2 motores instalados, uno para el ventilador centrífugo y otro para el sistema de potencia del cilindro centrífugo.

Para los mismos se determinó el consumo eléctrico mensual y anual de acuerdo a su permanencia en uso.

A.1) Cálculo del tiempo de operación para el motor del ventilador centrífugo

• **Horas de trabajo por día**

$$Hd = \text{Tiempo por ciclo} * \text{Números de ciclos por día}$$

$$Hd = 20 \frac{\text{min}}{\text{ciclo}} * 24 \frac{\text{ciclos}}{\text{día}} * \frac{1 \text{hr}}{60 \text{min}} = 8 \frac{\text{hr}}{\text{día}}$$

El ciclo comprende el proceso completo carga, secado y descarga.

• **Cálculo de los días de trabajo por mes**

$$dm = \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ hr}} * \frac{1 \text{ sem}}{44 \text{ h}} * \frac{1 \text{ mes}}{4 \text{ sem}} = 22 \frac{\text{días}}{\text{mes}}$$

Según lo establece el artículo 195 de la ley Orgánica del trabajo gaceta oficial N° 39.334

• **Cálculo del costo eléctrico mensual del motor cilindro centrífugo**

$$Cem1 = \text{Potencia motor (hp)} * Hd * dm * \text{Tarifa} \left(\frac{\text{Bs.}}{\text{hp} * \text{hr}} \right)$$

$$Cem1 = 0,25 \text{ hp} * 8 \frac{\text{hr}}{\text{día}} * 22 \frac{\text{días}}{\text{mes}} * 0,17 \frac{\text{Bs.}}{\text{hp} * \text{hr}} = 7,48 \frac{\text{Bs.}}{\text{mes}}$$

**Capítulo VI ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE FABRICACIÓN Y
BENEFICIOS ECONÓMICOS**

- **Cálculo del costo eléctrico mensual del motor del ventilador centrífugo**

$$Cem2 = Potencia\ motor\ (hp) * Hd * dm * Tarifa \left(\frac{Bs.}{hp * hr} \right)$$

$$Cem2 = 1hp * 8 \frac{hr}{día} * 22 \frac{días}{mes} * 0,17 \frac{Bs.}{hp * hr} = 29.92 \frac{Bs.}{mes}$$

Ahora teniendo el consumo mensual de los 2 motores se podrá calcular el consumo eléctrico total mensual y anual:

$$Cem = Cem1 + Cem2$$

$$Cem = 7,48 + 29.92 = 37.4 \frac{Bs.}{mes}$$

Calculando el gasto anual tenemos: $448.80 \frac{Bs.}{Año}$

La tarifa de consumo eléctrico de Bs./h fue tomada del recibo de pago emitido por oficina comercial de Corpoelec de Tinaquillo.

B) Máquina actual

Esta máquina posee tres motores, uno para mover el ventilador del suministro de aire, uno para mover los dos ventiladores de extracción de aire y otro acoplado al sistema de potencia del cilindro centrífugo:

B.1) Cálculo del tiempo de operación para los tres motores

- **Horas de trabajo por día**
-

Capítulo VI ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE FABRICACIÓN Y BENEFICIOS ECONÓMICOS

El tiempo de ciclo es carga, secado y descarga:

$$Hd = \text{Tiempo por ciclo} * \text{Números de ciclo por día}$$

$$Hd = 20 \frac{\text{min}}{\text{ciclo}} * 24 \frac{\text{ciclos}}{\text{día}} * \frac{1 \text{hr}}{60 \text{min}} = 8 \frac{\text{hr}}{\text{día}}$$

- **Cálculo de los días de trabajo por mes**

$$dm = \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ hr}} * \frac{1 \text{ sem}}{44 \text{ h}} * \frac{1 \text{ mes}}{4 \text{ sem}} = 22 \frac{\text{días}}{\text{mes}}$$

- **Cálculo del costo eléctrico mensual**

$$Ceb = \text{Potencia motor (hp)} * Hd * dm * \text{Tarifa} \left(\frac{\text{Bs.}}{\text{hp} * \text{hr}} \right)$$

$$Ceb = 2 \text{hp} * 8 \frac{\text{hr}}{\text{día}} * 22 \frac{\text{días}}{\text{mes}} * 0,17 \frac{\text{Bs.}}{\text{hp} * \text{hr}} = 59,84 \frac{\text{Bs.}}{\text{mes}}$$

Calculando el gasto anual tenemos: 718,08 $\frac{\text{Bs.}}{\text{Año}}$

6.2.2. COSTO DE MANO DE OBRA

A) Máquina Nueva

Para el control del proceso, solo será necesario un operador con un sueldo mensual de mil ochocientos bolívares a los cuales se les debe considerar beneficios contractuales, por tanto usaremos un factor de 1,5 para tomar en cuenta dichos beneficios, por tanto el costo por concepto de mano de obra (Cmo) es:

Capítulo VI ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE FABRICACIÓN Y BENEFICIOS ECONÓMICOS

$$C_{mo} = 1,5 * 1.800 \frac{Bs.}{mes} = 2.700 \frac{Bs.}{mes} \rightarrow 32.400 \frac{Bs.}{Año}$$

B) Máquina actual

El sistema actual es operado por un operario con un sueldo mensual de mil ochocientos bolívares, lo cual se le debe tomar en cuenta los beneficios contractuales por tanto usaremos un factor de 1,5 para considerar los mismos como Costo de mano de obra.

$$C_{mo} = 1,5 * 1.800 \frac{Bs.}{mes} = 2.700 \frac{Bs.}{mes} \rightarrow 32.400 \frac{Bs.}{Año}$$

6.2.3. COSTO POR MANTENIMIENTO

A) Máquina nueva

En función al plan de mantenimiento realizado se tiene que los costos mensuales y anuales por este concepto son los siguientes:

N° de operación	Actividad a realizar	Costo de la actividad (Bs.)
1	Lubricación de motores de potencia (2 veces por mes)	20
2	Lubricación de rodamientos (2 veces por mes)	10
3	Cambio de aceite moto reductor principal (Cada 6 meses)	300
4	Cambio de filtro ventilador (Cada 6 meses)	300
5	Lubricación de partes móviles (Cada 3 meses)	50
6	Mantenimiento de los cilindros neumáticos (Cada 6 meses)	2.000
7	Mantenimientos varios extras(anual)	200
TOTAL		2.880

Tabla N° 6.2.3.1 Costos de mantenimiento de máquina nueva.

Capítulo VI ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE FABRICACIÓN Y BENEFICIOS ECONÓMICOS

FUENTE: Los Autores

Ahora calculando el costo de mantenimiento anual tenemos: $6.340 \frac{Bs.}{Año}$

B) Máquina actual

El valor del costo por mantenimiento de esta máquina fue suministrado por el departamento de mantenimiento de la empresa NATURA VIVA, C.A. el cual es de

$2.500 \frac{Bs.}{Año}$

6.2.4. COSTO POR DEPRECIACIÓN (Cd):

Este concepto sólo se le calculará a la máquina nueva, tomando en cuenta la inversión inicial de 387.600,00 bolívares y una depreciación lineal a diez años, se obtiene que:

$$Cd = \frac{387.600}{10} = 38.760 \frac{Bs.}{Año}$$

6.3. CÁLCULO DE PRODUCCIÓN ANUAL

A) Máquina nueva

El sistema diseñado es totalmente automático, tendrá la capacidad de secar 120 kg de semilla cada veinte minutos, tomando en cuenta que laborarán jornadas de ocho horas, tomando un año de doscientos veinte y dos días de trabajo, la producción anual (Pa) será:

Capítulo VI ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE FABRICACIÓN Y BENEFICIOS ECONÓMICOS

$$Pa = \frac{120 \text{ kg}}{20 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} * \frac{8 \text{ hr}}{1 \text{ día}} * \frac{222 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 639.360 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

B) Máquina actual

El sistema actual tiene una capacidad de secar 30 kg cada 20 minutos, laborando jornadas de ocho horas y tomando un año de doscientos veinte y dos días de trabajo, la producción anual (Pa) será:

$$Pa = \frac{30 \text{ kg}}{20 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} * \frac{8 \text{ hr}}{1 \text{ día}} * \frac{222 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 159.840 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

Comparando ambos valores de productividad anual, se puede observar que la nueva máquina es mucho más eficiente que la actual, en un valor de 300 % lo cual reflejaría muchísimos más beneficios al año para la empresa. A continuación se presenta una gráfica comparativa entre las producciones de ambas máquinas:

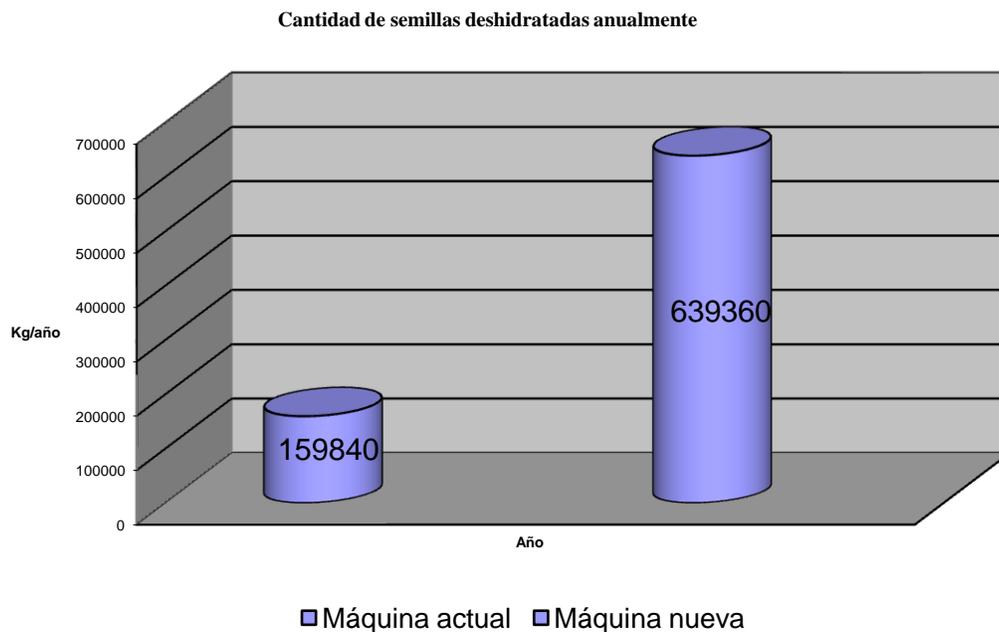


Fig. 6.3.1 Gráfica comparativa de producción anual

**Capítulo VI ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE FABRICACIÓN Y
BENEFICIOS ECONÓMICOS**

FUENTE: Los autores

6.4. COSTO POR KILOGRAMO DE SEMILLA SECADA

A) Máquina nueva

Se calculará como la razón entre la sumatoria de todos los costos obtenidos anteriormente, y la producción anual, de la siguiente manera:

$$Cu = \frac{Cm + Cmo + Cem + Cd}{Pa} = \frac{6.340. + 32.400 + 448.80 + 38.760}{639.360}$$

$$Cu = 0,12 \frac{Bs.}{kg}$$

Cm: Costo de mantenimiento

Cmo: Costo de mano de obra

Cem: Costo de consumo eléctrico

Cd: Costo de depreciación

Pa: Producción anual

B) Máquina Actual

$$Ct = \frac{Cm + Cmo + Cet}{Pa} = \frac{2.500 + 32.400 + 718.08}{159.840} = 0,22 \frac{Bs.}{kg}$$

Comparando el costo por kilogramo de semilla seca se puede observar que en la nueva máquina dicho costo representa 46% menos al que se genera en la máquina actual, lo cual reflejaría más beneficios al año para la empresa. A continuación se presenta una gráfica comparativa entre los costos por secado o costo por kg (Bs. / kg.) de ambas máquinas:

Capítulo VI ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE FABRICACIÓN Y BENEFICIOS ECONÓMICOS

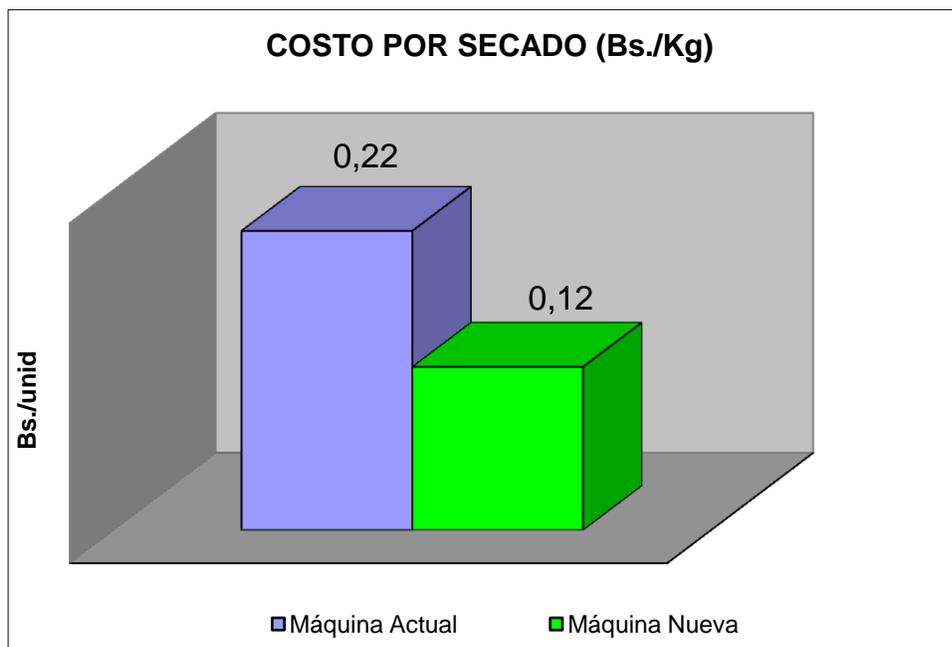


Figura N° 6.4.1 Gráfica comparativa de los costos por secado.

FUENTE: Los autores

CAPÍTULO VII**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES****7.1.- CONCLUSIONES**

La cantidad de producción de semillas secas, procesada por la máquina limpiadora y deshidratadora diseñada aumentará un 300% con respecto a la máquina actual de secado.

La máquina diseñada es más fácil de operar que la máquina actual, y no requiere de la experiencia de un operario específico; además de que sólo requiere de un operario que supervise y cargue los 120 kg de semilla en la tolva de carga, y no requiere incremento de operarios.

El tiempo de carga y descarga disminuye con respecto a la máquina actual, debido a la automatización del sistema.

La máquina diseñada brinda una mejora en la eficiencia de secado, garantizando a la empresa que el producto deshidratado, sale dentro de los parámetros de secado, exigidos según experiencias del mercado.

La máquina cumple con todas las restricciones y criterios de diseño planteados en el estudio preliminar.

Debido a la automatización del proceso en la máquina diseñada, se brinda mayor seguridad al operario de la máquina, debido a que su puesto de trabajo es fijo.

Capítulo VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La máquina diseñada es capaz de operar continuamente en un periodo de 8 hr al día, la cual corresponde a una jornada de trabajo diario.

El dispositivo diseñado está en capacidad de trabajar con distintos tipos de semillas oleaginosas, cuyo peso no sea superior a 120 kg.

Se logró un diseño con buena estética y usando los materiales adecuados para el manejo de alimento.

En el diseño de la nueva máquina se cumple con todos los objetivos planteados al comienzo de este proyecto.

7.2.- RECOMENDACIONES

Para la construcción de la máquina diseñada se recomienda un cuidadoso proceso de fabricación y ensamblaje para cada uno de sus componentes, ya que es necesario garantizar la rigidez de la estructura, así como el correcto funcionamiento de cada una de las partes de la máquina.

Es conveniente que la máxima temperatura de calentamiento sea 70 °C, ya que esto garantiza el buen estado de la semilla al final de la deshidratación.

Es recomendable no exceder el límite de carga para el cual fue diseñada la máquina (120 kg por ciclo), ya que si se excede dicho valor es muy probable que sufran los elementos y equipos que la conforman.

Capítulo VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar un historial de fallas de la máquina diseñada, para garantizar el correcto funcionamiento de la misma, para evitar paradas inesperadas de dicho sistema mecánico.

Se recomienda un montaje y cuidadosa instalación de los elementos de control automáticos (equipos, sensores, entre otros.), ya que éstos determinarán cada uno de los movimientos de la máquina.

Por último, es recomendable establecer un plan de mantenimiento preventivo para garantizar el buen estado de cada elemento que integra la máquina diseñada.
