

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE LA UNIDAD DE LAVADO, SECADO Y MOLIENDA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE LOMBRIZ

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

LUIS FELIPE TRAVEZ MONGE

luisftravez@gmail.com

DIRECTOR: Ing. Jaime Vargas

jaime.vargas@epn.edu.ec

Quito, Agosto 2010

DECLARACION

Yo, **LUIS FELIPE TRAVEZ MONGE**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normalidad institucional vigente.

Luis Felipe Trávez Monge

CERTIFICACION

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: **LUIS FELIPE TRAVEZ MONGE**, bajo nuestra supervisión.

Ing. Jaime Vargas T.
DIRECTOR

Ing. Jorge Escobar
COLABORADOR

Ing. Orwield Guerrero
COLABORADOR

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme su ayuda a lo largo de mi vida.

El mayor agradecimiento a mis padres Jaime y Mónica, por estar siempre conmigo dándome todo su amor y ayuda, y porque siempre han sido y serán mis modelos a seguir en mi formación.

A mis hermanos y tías por su cariño y apoyo, que en todo momento han estado pendientes de mi desempeño.

A todos los docentes que conforman la Facultad de Ingeniería Mecánica por los conocimientos impartidos, en especial:

Al Ingeniero Jaime Vargas T. por su apoyo, sus enseñanzas, sus oportunos y sabios consejos que hicieron posible la realización de este proyecto de titulación.

Al Ingeniero Jorge Escobar y al Ingeniero Orwield Guerrero por su acertada colaboración.

A mis compañeros de promoción, por su amistad durante los años de estudio en la facultad.

Luis Felipe Trávez Monge

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación lo dedico primeramente a Dios por ser mi confidente y amigo.

A mis padres Jaime y Mónica de quienes me siento muy orgulloso por sus grandes sacrificios, apoyo en todo momento y los ánimos brindados para poder realizar mis estudios universitarios y lograr culminarlos.

A mis hermanos Stalin, Cris y Anthony como muestra del cariño que tengo hacia ellos.

En especial a la memoria de mi querida abuelita Mamá Inés que siempre soñó con ver a sus nietos convertidos en buenos profesionales.

Luis Felipe Trávez Monge

CONTENIDO

CAPÍTULO 1: ENTORNO DEL PROYECTO.....	1
1.1. LA AGRICULTURA EN EL ECUADOR.....	1
1.2. IMPORTANCIA HISTÓRICA DE LA AGRICULTURA EN EL ECUADOR.....	2
1.3. COMPORTAMIENTO DEL PIB AGRÍCOLA Y AGROINDUSTRIAL (1975 -2003).....	3
1.4. ALIMENTACIÓN AGROPECUARIA.....	5
1.4.1. TIPOS DE BALANCEADO.....	6
1.4.2. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BALANCEADO	8
1.4.2.1. Gelatinización de los almidones.....	8
1.4.2.2. Plastificación de las proteínas.....	9
1.4.2.3. Acondicionamiento.....	10
1.4.2.4. Peletizado.....	10
1.4.2.5. Extrusión.....	12
1.4.3. PRODUCCIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO.....	14
1.5. ¿QUÉ ES LA LOMBRICULTURA?.....	19
1.5.1. HISTORIA DE LA LOMBRICULTURA.....	19
1.6. FABRICACIÓN DE HARINA.....	21
1.7. HARINAS DE CARNE.....	22
1.7.1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE HARINAS DE CARNE.....	23
1.7.1.1. Trituración.....	24
1.7.1.2. Cocción.....	25
1.7.1.3. Sedimentación.....	26

1.7.1.4. Prensado.....	26
1.7.1.5. Centrifugación.....	27
1.8. LA HARINA DE LOMBRIZ.....	27
1.8.1. LA HARINA DE LOMBRIZ EN LA PISCICULTURA...	28
1.8.2. PROCESO DE FABRICACIÓN DE HARINA DE LOMBRIZ.....	29
1.8.2.1. Recolección química.....	29
1.8.2.2. Lavado y desaguado.....	29
1.8.2.3. Shock solución salina (beneficio).....	30
1.8.2.4. Secado.....	30
1.8.2.5. Molienda y tamizado.....	30

CAPÍTULO 2: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y ALTERNATIVAS

DE SOLUCIÓN.....	34
2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	34
2.2. TIPOS DE SISTEMAS DE LAVADO, SECADO Y MOLIENDA.	36
2.2.1. SISTEMAS DE LAVADO.....	36
2.2.1.1. Lavado por Inmersión.....	38
2.2.1.2. Lavado por Aspersión.....	40
2.2.1.3. Selección de la Alternativa.....	42
2.2.1. SECADORES.....	42
2.2.2. COMPONENTES DE UN SECADOR.....	43
2.2.2.1. Circulación de aire.....	44
2.2.3. TIPOS DE SECADORES.....	45
2.2.3.1. Secador de horno.....	45
2.2.3.2. Secador de cabina o bandeja.....	46
2.2.3.3. Secador de túnel.....	48

2.2.3.4.	Forma de operación.....	49
2.2.3.5.	Capacidad de producción.....	49
2.2.3.6.	Selección de alternativas.....	50
2.2.4.	TIPOS DE MOLINO.....	51
2.2.4.1.	Molino de martillo.....	51
2.2.4.2.	Molino de rodillo.....	53
2.3.	DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE SECADO.....	54
2.3.1.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN DE LOS EXPERTOS.....	56
2.3.2.	DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR Y MOLINO A UTILIZAR.....	58
2.3.2.1.	Ambiente de trabajo.....	63
2.3.2.2.	Vida útil.....	63
2.3.2.3.	Tamaño.....	63
2.3.2.4.	Materiales.....	64
2.3.2.5.	Parámetros del Diseño.....	64
2.3.2.5.1.	Alimentación de “Broilers”.....	64
2.3.3.	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	67
2.3.4.	ALTERNATIVAS DE TRANSMICIÓN DE MOVIMIENTO PARA EL MOLINO.....	73
2.3.5.	GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	75

CAPITULO 3: DISEÑO DE LA UNIDAD DE LAVADO, SECADO Y

	MOLIENDA.....	77
3.1.	DISEÑO DE LAS UNIDADES PROTOTIPO.....	77
3.1.1.	LAVADORA DE LOMBRICES.....	77
3.1.1.1.	Trazado de Ruta y Dimensiones.....	77

3.1.1.2.	Capacidad de Transporte.....	78
3.1.1.3.	Ancho del transportador.....	78
3.1.1.4.	Cálculo de tensiones.....	78
3.1.1.5.	Cálculo del tensor.....	80
3.1.1.6.	Potencia del motorreductor.....	81
3.1.1.7.	Gráfica de tensiones.....	81
3.1.1.8.	Selección del motorreductor.....	82
3.2.	OPTIMIZACIÓN DEL SECADO DE LOMBRIZ.....	82
3.2.1.	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA.....	83
3.2.2.	LONGITUD DE LA RESISTENCIA.....	84
3.2.3.	CIRCULACIÓN DE AIRE.....	84
3.3.	DISEÑO DEL MOLINO.....	86
3.3.1.	CÁLCULO DEL NÚMERO DE CUCHILLAS.....	87
3.3.2.	DISEÑO DE LA TOLVA DEL ALMACENAMIENTO....	92
3.3.3.	DISEÑO DEL EJE.....	96
3.3.3.1.	Análisis de cargas estáticas.....	97
3.3.3.2.	Factor geométrico de concentración de Esfuerzos.....	100
3.3.3.3.	Resistencia a la fatiga corregida.....	103
3.3.4.	DISEÑO DE LAS LENGUETAS.....	105
3.3.5.	RODAMIENTOS.....	106
3.3.6.	SELECCIÓN DE BANDAS Y POLEAS.....	108
3.3.7.	SELECCIÓN DE TAMICES.....	112
	CAPITULO 4: CONSTRUCCION Y MONTAJE.....	114
4.1.	GENERALIDADES.....	114
4.2.	CONSTRUCCION DE LA UNIDAD.....	114

4.2.1.	REQUERIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCION.....	115
4.2.1.1.	Maquinas y Equipos.....	115
4.2.1.2.	Herramientas.....	115
4.2.1.3.	Instrumentos de Medición y Verificación.....	116
4.2.1.2.	Resumen de Materia Prima.....	116
4.2.1.2.	Listado de Elementos a Construir.....	116
4.3.	HOJAS DE PROCESOS.....	116
4.2.1.	ETAPAS DE CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS.	117
4.4.	PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	117
4.4.1.	VERIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES.....	117
4.4.2.	VERIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES.....	118
4.4.3.	TRABAJO EN VACÍO DE LA MAQUINARIA DISEÑADA	119
4.4.4.	TRABAJO CON CARGA DE LA MAQUINARIA DISEÑADA	119
	CAPITULO 5: COSTO DE FABRICACIÓN.....	121
5.1.	VALORACIÓN ECONÓMICA.....	121
5.2.	COSTOS DE FABRICACIÓN.....	121
5.2.1.	COSTOS DIRECTOS.....	121
5.2.2.	COSTOS INDIRECTOS.....	123
5.2.3.	COSTOS DE DISEÑO.....	124
5.2.4.	COSTO DE INGENIERIA.....	125
5.2.5.	GASTOS IMPREVISTOS.....	125
5.2.6.	COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	126

CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	127
6.1. CONCLUSIONES.....	127
6.2. RECOMENDACIONES.....	128
BIBLIOGRAFÍA.....	129
CONSULTAS WEB.....	130
ANEXOS.....	131

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Evolución del PIB Agrícola en el Ecuador	5
Tabla 1.2: Diferencia entre harinas, peletizar o extruir Alimento Balanceado.....	17
Tabla 1.3: Composición Química de la Harina de Lombriz.....	31
Tabla 1.4: Diferencias nutricionales entre la Harina de Lombriz y la Harina de Pescado.....	33
Tabla 2.1: Capacidad de producción de secadores	50
Tabla 2.2: Selección de Alternativas para el sistema de Lavado.....	50
Tabla 2.3: Producción de Pollos y Gallinas Ponedoras en el Ecuador	60
Tabla 2.4: Principales Productores de Lombriz en la Sierra del Ecuador	62
Tabla 2.5: Principales Productores de Lombriz en la Costa del Ecuador	62
Tabla 2.6: Valor relativo de la harina de lombriz en dieta de parrilleros	65
Tabla 2.7: Parámetros de Diseño.....	67
Tabla 3.1: Factores de Forma I.....	89
Tabla 3.2: Abertura de Tamiz.....	90
Tabla 3.3: Factores de Forma de Cuchillas.....	91
Tabla 3.4: Ángulo de rozamiento estático del grano con la pared....	94
Tabla 3.5: Soporte de pie acoplado a Rodamientos SKFEl	106
Tabla 4.1: Verificación de las Dimensiones principales.....	118
Tabla 4.2: Verificación de los Componentes principales.....	118
Tabla 4.3: Trabajo en vacío del Molino para Harina de Lombriz	119
Tabla 4.4: Trabajo de Maquinaria con Carga.....	120
Tabla 5.1.- Costos de Materia prima.....	122

Tabla 5.2.- Otros costos directos.....	123
Tabla 5.3.- Insumos.....	124
Tabla 5.4.- Materiales e insumos.....	125
Tabla 5.5.- Total general de costos del proyecto.....	126

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1: Evolución del PIB Agrícola.....	4
Gráfico 1.2: Cizallamiento de Balanceado.....	9
Gráfico 1.3: Planta de producción de Alimento Balanceado.....	18
Gráfico 1.4: Esquema de fabricación de harina de carne.....	24
Gráfico 2.1: Configuración Básica de un Secador de Aire Atmosférico	42
Gráfico 2.2: Secador de Horno.....	46
Gráfico 2.3: Secador de Cabina o Bandeja.....	47
Gráfico 2.4: Secador de Túnel.....	48
Gráfico 2.5: Molino de Martillos.....	52
Gráfico 2.6: Molino de Rodillo.....	54
Gráfico 2.7: Proceso de secado de Lombrices.....	55
Gráfico 2.8: Curvas de Secado de Lombriz.....	57
Gráfico 2.9: Comparativo de obtención de proteínas de acuerdo a temperaturas de secado.....	58
Gráfico 2.10: Alimentador de Tornillo para acuicultura.....	68
Gráfico 2.11: Molino Volumétrico de Tornillo.....	69
Gráfico 2.12: Molino para producir masa.....	70
Gráfico 2.13: Molino Barret.....	71
Gráfico 2.14: Molino Extrusor.....	72
Gráfico 2.15: Sistema de Transmisión por Bandas.....	73
Gráfico 2.16: Motoreductor.....	74
Gráfico 2.17: Modelo de Cadena.....	74
Gráfico 2.18: Alternativa de Solución.....	75

Gráfico 2.19: Esquema de Molienda.....	76
Gráfico 3.1: Diagrama de funcionamiento de la banda transportadora	77
Gráfico 3.2: Tensiones en el sistema.....	81
Gráfico 3.3: Diseño de Cuchillas.....	87
Gráfico 3.4: Tamaño de partículas.....	88
Gráfico 3.5: Geometría de Tolvas.....	92
Gráfico 3.6: Valor del ángulo θ	95
Gráfico 3.7: Análisis de cargas estáticas.....	97
Gráfico 3.8: Estructura del rodamiento YEL-210-2F.....	107
Gráfico 3.9: Diagrama de la Polea 160-B-2.....	112
Gráfico 3.10: Malla y/o tamiz.....	113
Gráfico 3.11: Malla y/o tamiz planteado.....	113

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.1: Prensa Peletizadora con acondicionador simple de un solo paso.....	12
Fotografía 1.2: Extrusor completo de tornillo simple con alimentador, acondicionador y cortadora.....	25
Fotografía 2.1: Sistema de Lavado por Inmersión.....	39
Fotografía 2.2: Sistema de Lavado por Aspersión.....	41

RESUMEN

En el transcurso de la vida republicana del Ecuador el fomento a la agrotransformación ha sido casi nulo, llegando que su desarrollo pase desapercibido en cada Gobierno que ha llegado al poder. Es por ello que el presente trabajo de investigación intenta presentar una alternativa técnicamente viable para la industrialización de la producción de Harina de Lombriz en un entorno controlado.

Inicialmente se presentan los antecedentes de realización del trabajo, analizando el desarrollo agroindustrial del Ecuador en la última década de manera general y de manera específica a la industria de alimentación animal, adicionalmente, se parametriza y define los sistemas de producción de harina de lombriz ya desarrollados en otros trabajos de investigación que sirvieron para tener un criterio claro en la realización de este trabajo.

Se realiza un estudio de las diferentes alternativas de diseño de la unidad planteada dentro de este trabajo de investigación. Al realizar dicho estudio se concluye ya con el diseño preliminar de la máquina y su esquema.

Una vez seleccionados los materiales a utilizarse, se procede a realizar los cálculos estructurales de la máquina planteada en función de la carga esperada y los esfuerzos a los que estará sometida en su funcionamiento habitual, así mismo se caracterizan todos los componentes que se requieren para su ensamble y funcionamiento final.

Finalmente se presenta una estimación de los costos de construcción de la unidad diseñada, las conclusiones y recomendaciones que se deben tener en cuenta para el correcto funcionamiento.

PRESENTACIÓN

El presente Proyecto de Titulación, tiene como fin el desarrollar una máquina que permita realizar un correcto procesamiento de la Lombriz hasta obtener harina para que sea utilizada dentro de la crianza y manejo pecuario en los sectores de producción primaria del país.

Con los conocimientos recibidos en la Carrera de Ingeniería Mecánica, se plantea el diseño de la unidad de secado y molienda que estima una vida útil mínima de 5 años, de tal manera que sea consecuente con su periodo de depreciación contable y, además, pueda ser de fácil operación y alta productividad.

Con el desarrollo de este proyecto se presenta los fundamentos teóricos para el diseño, cálculos estructurales y de elementos, funcionalidad de cada una de las piezas y su costo.

CAPÍTULO 1

ENTORNO DEL PROYECTO

1.1. LA AGRICULTURA EN EL ECUADOR

En la antigüedad y en los países en vías de desarrollo, la agricultura era el sector pionero de la riqueza de los pueblos, constituyéndose la actividad campesina en el motor de toda la economía; debido a que, apenas existían otros sectores económicos importantes.

Al aumentar la productividad de los cultivos, se liberó la mano de obra que, a su vez, fue absorbida por otros sectores; dinamizando así la economía, lo que, sumado al proceso de investigación y desarrollo a través de los requerimientos de insumos y de nueva tecnología para la producción agrícola, presiono al desarrollo de varios sectores económicos de la sociedad ecuatoriana. De esto se deriva la importancia del sector agrícola por su interrelación con otros sectores.

Es por ello que se plantea que la cadena agrícola para la economía ecuatoriana, es un motor de crecimiento desequilibrado donde las grandes empresas realizan más inversión que el sector productivo minoritario, de ahí que este factor económico es disparajeo y distinto a lo que debe contribuir con:

- El desarrollo económico global, por el aumento de la producción. Con relación al crecimiento de la demanda interior y exterior.
- El abastecimiento de las reservas de cambio y el equilibrio de la balanza de pagos, donde el país pueda tener mayor presencia en el mercado internacional, puesto que las divisas que proceden de las exportaciones netas pueden permitir la importación de bienes de equipo necesarios para la modernización de los sectores productivos y contribuir en el proceso de

industrialización, ya sea por el abastecimiento de materias primas para las industrias, o por las compras de bienes industriales, hasta, activar la compra de bienes intermedios, necesarios para una industria.

1.2. IMPORTANCIA HISTÓRICA DE LA AGRICULTURA EN EL ECUADOR

La hacienda, se convierte en el eje de la acumulación de riqueza en la época colonial, ya que no representaba gran inversión en capital o tecnología, sino, que era intensiva en mano de obra, consolidándose el estado oligárquico terrateniente; que a su vez fomenta el desarrollo de este sector.

Es, mediante este auge de exportaciones agrícolas que la economía del País pasa a ser dependiente del sector externo, especialmente de Gran Bretaña, nuestro primer principal cliente en la compra de alimentos que sustentaban su modelo de industrialización; surgiendo la primera división internacional del trabajo, donde el país se convierte en un proveedor de productos primarios y materias primas.

El mayor nivel de ingresos en la población europea, como consecuencia de la industrialización, permite que aumente el gasto suntuario, por lo que se incrementa el consumo de chocolate y el incremento de la producción de cacao, en la cual el país mantenía ventajas debido al bajo costo de los factores de producción, llegando a niveles de participación en las exportaciones en un 70% para 1775. En el período comprendido entre 1804 y 1810, se tiene una recuperación de la producción del cacao, el cual representa las tres cuartas partes de los ingresos por exportaciones.

Según Andrés Guerrero¹, la circulación de rentas provenientes del cacao, dinamiza y crea otros sectores en la economía; pues con los grandes beneficios

¹ Andrés Guerrero, **Los oligarcas del cacao**, Editorial El Conejo, Quito- Ecuador, 1980.

del sector agro exportador de la “pepita de oro”, se incursiona en la creación del sector bancario, presionando simultáneamente hacia otros sectores comerciales, logrando acumulación de riqueza, mediante la inserción en otras áreas. La bonanza cacaotera termina al iniciar la Primera Guerra Mundial; lo que llevó al Ecuador a problemas monetarios, y al estancamiento del aparato productivo, lo que revela, la debilidad de una economía dependiente agro-exportadora primaria².

Posteriormente, a fines de la década de los cincuenta, como narra Alberto Acosta³, se dinamiza la producción y exportación del banano, lo que permite salir de la depresión. Este auge bananero fortalece, los sectores comercial y financiero, vinculados a la agro-exportación, amplía la frontera agrícola, se expanden las obras viales y de infraestructura, se da un desarrollo acelerado urbano y mejora el ámbito salarial, robusteciendo el mercado interno. Su posterior crisis en 1965, genera problemas económicos y sociales, en el Ecuador.

Estos ejemplos muestran la falta de desarrollo industrial en el sector agrícola, con el pasar de los años, han ocasionado que la economía ecuatoriana sea inestable y carezca de fundamentos más sólidos que permitan impulsar el desarrollo del país.

1.3. COMPORTAMIENTO DEL PIB AGRÍCOLA Y AGROINDUSTRIAL (1975 -2003)

El comportamiento del PIB Total, es inestable y no presenta una tendencia lineal; sin embargo, representa una estabilidad de acuerdo a un promedio de 5673 millones de dólares y un índice de variación respecto a la desviación estándar de 21.8%, ver gráfico 1.1.

²Manuel Chiriboga, **Auge y crisis de una economía agro – exportadora: El período cacaotero**, vol. 9, Corporación Editora Nacional, Quito- Ecuador, 1988, páginas 99-109.

³ Alberto Acosta, **Breve historia del Ecuador**, Corporación Editora Nacional, Quito- Ecuador, 1997, páginas 81-88.

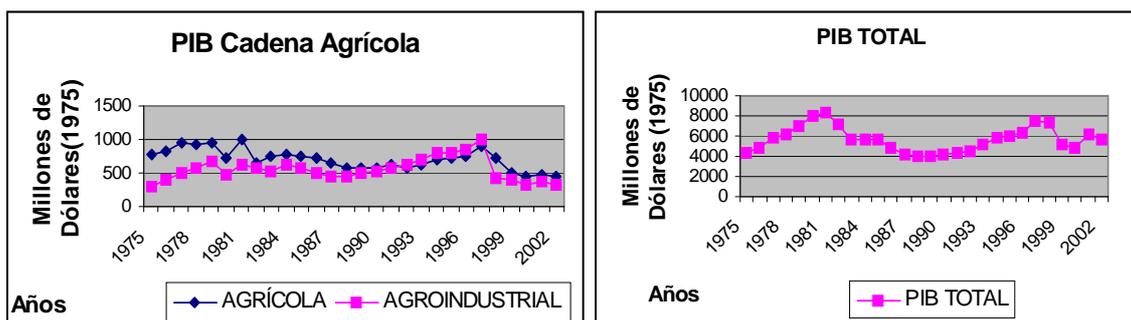


Gráfico 1.1: Evolución del PIB Agrícola

Fuente: Banco Central del Ecuador

Elaboración: Propia

El PIB agroindustrial, tampoco mantiene una tendencia lineal, y presenta un promedio de 551 millones de dólares reales y un índice de variación de 30.4%, El alto grado de variabilidad, se debe a que, desde 1988 hasta 1997, existe una marcada tendencia creciente, dada por una reactivación del sub-sector, como consecuencia de la política de liberalización de mercados externos e industrialización de la economía, seguida por niveles de decrecimiento abrupto equivalente a 58,11%, debido a las continuas crisis políticas, y financieras que enfrentó el País en el cambio de Gobierno del presidente Abdalá Bucaram.

Al contrario, la producción bruta de la rama agrícola, posee una clara tendencia decreciente, cuya producción autónoma, se encuentra en los 25,7 millones de dólares y su pendiente respecto al tiempo es de -0.0125. Adicionalmente, su índice de variabilidad es similar al que enfrenta la Producción Total equivalente a 22,2%.

El peso relativo de la producción agrícola, respecto al Total, se mantiene en promedio del 12,6% y describe una tendencia lineal decreciente; mientras tanto el sector agroindustrial no presenta ningún tipo de tendencia lineal, y su promedio se ubica en 9,9%, ver Tabla 1.1.

Tabla 1.1: Evolución del PIB Agrícola en el Ecuador

PRODUCTO INTERNO BRUTO					
AÑOS	En Millones de Dólares			En Porcentaje del Total	
	TOTAL	AGRÍCOLA	AGROINDUSTRIAL	AGRÍCOLA	AGROINDUSTRIAL
1975	4310	773	307	17,9%	7,1%
1980	7961	720	485	9,0%	6,1%
1985	5637	752	566	13,3%	10,0%
1990	4202	563	519	13,4%	12,3%
1995	6071	723	797	11,9%	13,1%
2000	4782	440	320	9,2%	6,7%
2002	5692	449	328	7,9%	5,8%
Promedio	5673	702	551	12,63%	9,91%
Desv. Est.	1236	156	167	2,68%	2,78%
Variación	21,78%	22,22%	30,35%	21,23%	28,05%

Fuente: Banco Central del Ecuador

Elaboración: Propia

La importancia de la cadena agrícola, radica en el promedio de participación del 22,5% de lo producido nacionalmente durante el período de análisis; es decir, una quinta parte de la producción económica ecuatoriana.

De ahí, que se obtiene que en el periodo de los últimos 25 años el sector agroindustrial no ha tenido un avance significativo dentro del país y su desarrollo integral; obligándonos a una importación constante de productos para producción y consumo dentro de este sector.

1.4. ALIMENTACIÓN AGROPECUARIA

Desde el inicio de la actividad agropecuaria, los pequeños productores, han buscado de manera constante la generación de alternativas que permitan alimentar a sus animales de engorde y que sean asequibles a su bolsillo; es por ello, que contantemente, se buscan nuevos métodos para que su producción e ingresos aumenten.

Al ser un tema netamente agroindustrial, a continuación se indican los tipos de producción, que se presentan dentro de los sistemas de balanceado que existen, como modo de producción dentro del Ecuador:

1.4.1. TIPOS DE BALANCEADO

El alimento Balanceado, es un alimento formulado específicamente; de acuerdo a los requerimientos nutricionales de los animales criados para:

- Producción de carne (pollos parrilleros “broilers”, cerdos, ganado vacuno, peces, conejos, cuyes, langostinos y otros). Lo importante es la conversión a carne, produciendo alimentos altamente nutritivos y fácilmente digeribles. A lo que debe orientarse el proceso productivo; siendo los insumos principales: la harina de pescado, la soya, el maíz, el trigo, las vitaminas, el aceite de pescado, la melaza y otros.
- Alimento para mascotas (perros, gatos y otros). Se orienta, en proporcionar el equilibrio de nutrientes que necesita el animal durante las diferentes etapas de su desarrollo; debiendo considerarse, factores importantes, como la palatabilidad (sabor en la boca del animal); que está influenciada por el olor del mismo.

Para la producción de carne, los productores de alimento balanceado formulan y preparan su propio alimento en la mayoría de empresas, basados en su conocimiento y experiencia sobre el proceso, van haciendo pruebas en granjas experimentales, de las cuales, se obtiene la información para posteriormente ir mejorando las fórmulas para la alimentación de los animales en las granjas de producción.

Los productores de alimento balanceado para mascotas, son empresas que en su mayoría se dedican a la comercialización; siendo un reto conseguir un producto de alta calidad y bajo costo, debido a la competitividad que existe dentro del mercado nacional y externo.

Hay otros sectores de producción que afectan la investigación y desarrollo de alimentos balanceados como producción de huevos, ganadería de leche, animales reproductores en los criaderos; donde lo que interesa, es mantener al animal con los nutrientes básicos.

La producción de balanceados en el Ecuador, está orientada principalmente a abastecer la demanda de los sectores: avícola, camaronero, bovino, porcino y piscícola. De acuerdo a la Asociación de Fabricantes de Alimentos Balanceados (AFABA) y la Corporación Nacional de Avicultores (CONAVE), la producción nacional de balanceados para 2007, se estima en 1.363.621,42 TM, de las cuales, 1.022.716 TM correspondieron a alimentos para aves (75 %) y en orden descendente, 232 mil TM para camarones (16 %) y 109 mil TM para otros (bovinos, porcinos, piscicultura y pavos).

Con respecto a las investigaciones del Proyecto SICA⁴, se comprueba que, de las más de 60 empresas dedicadas a la fabricación de balanceados, alrededor de 15 controlan el 90% del mercado. Las importaciones de materia prima para balanceados, son efectuadas en forma directa solo por cuatro empresas 60 %, una de las cuales absorbe el 45% del volumen total de las importaciones. Las restantes se abastecen a través de los gremios AFABA (35 %) y CONAVE (5 %).

Se puede decir, que la fabricación de balanceado forma parte en la interacción de la cadena entre agrícola y agropecuaria. Sus intereses están ligados a esta última, más aún, en aquellas empresas con integración vertical. En el pasado, el manejo de las importaciones desde el sector productor de balanceado, se supeditó, en parte al objetivo de controlar posibles alzas en los precios domésticos del maíz duro y de la soya; incluso, en el inicio del proceso de apertura al comercio exterior. Este comportamiento se mantuvo, con el riesgo de afectar seriamente en mediano plazo a la producción local de esas materias primas.

⁴ Proyecto Sistema Nacional de Información de Censo Agropecuario

1.4.2. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BALANCEADO

Según el mercado de balanceados del Ecuador y AFABA, existen dos procesos para elaborar el alimento balanceado producido en Ecuador, que son: peletización y extrusión.

Básicamente el proceso de peletización, se realiza con vapor y alta presión. Su principal características es que es un alimento sumergible en el agua sin perder su consistencia.

En el caso del proceso de extrusión, se añade aceite a ingredientes secos y ésta mezcla húmeda, se extruye a alta temperatura y presión. Las partículas, que finalmente salen de la extrusora, dan al pellet un aspecto poroso y un menor peso por volumen con respecto al alimento compuesto.

Sin embargo, estos procesos básicos tienen, obligatoriamente los procesos químicos siguientes:

1.4.2.1. GELATINIZACIÓN DE LOS ALMIDONES

Los almidones de los granos, están compuestos de tres estructuras, constituidas por unidades de glucosa: amilasa, amilopectina y amilosa ramificada. Los gránulos de almidón, son cristales que tienen áreas organizadas (cristalinas) y áreas relativamente desorganizadas (amorfas).

La gelatinización, se lleva a cabo cuando se aplica suficiente energía, para romper los enlaces de hidrógeno intermoleculares que se encuentran en el área cristalina, compuesta principalmente por amilopectina. Durante este proceso, los gránulos de almidón absorben agua, se expanden linealmente y exudan parte de su fase de gel (amilosa), por lo que se hacen más susceptibles a la degradación enzimática y, aumentan su digestibilidad; como lo muestra el Gráfico 1.2. Al

ocurrir el rompimiento completo de la molécula de almidón, estos almidones simples, se convierten en azúcares y cuando los pellets se enfrían el azúcar, sirve como adhesivo.

Los factores que intervienen durante el proceso son: tiempo, temperatura y humedad; además, la adición de presión y corte mecánico, aceleran el proceso de gelatinización.

El corte, hace que un producto se estire; acelera la gelatinización de los almidones y entre otras reacciones, alinea las moléculas en cadenas largas y pueden depolimerizarlas, causando fragmentación por esfuerzo.

En el Gráfico 1.2, se presenta el proceso de cizallamiento de balanceado que ocurre en su producción.

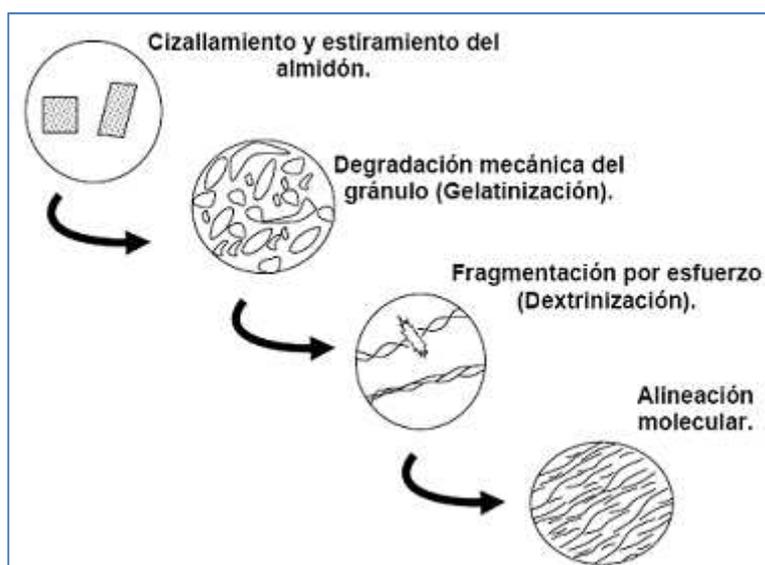


Gráfico 1.2: Cizallamiento de Balanceado

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

1.4.2.2. PLASTIFICACIÓN DE LAS PROTEÍNAS

La plastificación, es una propiedad de algunos cuerpos, al adquirir determinada forma por efecto de alguna fuerza. En el caso de las proteínas, al aplicarse calor,

se desnaturalizan y las moléculas que resultan de la polimerización, forman cadenas de aminoácidos paralelas, unidas por enlaces transversales poco numerosos, los cuales son fáciles de romper aumentando su digestibilidad y absorción en el tracto digestivo.

1.4.2.3. ACONDICIONAMIENTO

Este es un proceso por el cual, se aplica vapor (humedad y calor) y/o presión a la mezcla de alimento balanceado por un periodo específico de tiempo. Es importante, aplicar vapor “seco”, pues la humedad del vapor que ingresa y se mezcla con el producto debe ser mínima, para tener mayor eficiencia en la transferencia de calor, mejorando así el proceso de acondicionamiento.

La temperatura de acondicionamiento, tiene efecto sobre las vitaminas, logrando una degradación de ellas, (esto debe considerarse cuando se preparen las fórmulas alimenticias).

1.4.2.4. PELETIZADO

El peletizado es una operación de moldeo termoplástico en el cual las partículas de una ración, finamente divididas, se integran en un pellet compacto y de fácil manejo, el cual incluye condiciones específicas de humedad, temperatura y presión.

Una vez que el alimento ha sido acondicionado con humedad y temperatura, es forzado a pasar, mediante un rodillo, por un dado de diámetro específico; del cual sale el alimento en forma de “tallarín” para ser cortado al tamaño adecuado. Finalmente, el pellet, debe ser secado para evitar que la humedad afecte al producto final. Al realizar el peletizado, se asegura que los ingredientes previamente mezclados, se compacten para formar un comprimido con tamaño y dureza variable de acuerdo al animal que se desee alimentar; facilitando así su

manejo y mejorando la aceptación y aprovechamiento de éste por parte del animal.

Las principales ventajas de tener un alimento peletizado, son:

- Se produce un alto grado de gelatinización de los almidones, mejorando la conversión del alimento. Esta ventaja es particularmente evidente en la industria avícola.
- Se evita la selección de alimentos o ingredientes favoritos en formulaciones.
- Evita la segregación de ingredientes en el manejo y/o la transportación (hay que evitar las concentraciones excesivas de micro-ingredientes).
- Se aumenta la densidad del producto, esto es útil para el almacenaje y el transporte.
- Se producen pellets cilíndricos y densificados permiten un fácil manejo a granel.
- Se reducen las pérdidas naturales, como las pérdidas debido al viento, siendo esto, más evidente en la alimentación del ganado vacuno.

La Fotografía 1.1, muestra detalles sobre la maquinaria utilizada en el proceso de peletizado:



Fotografía 1.1: Prensa Peletizadora con acondicionador simple de un solo paso

Fuente: Pellet Mill California

Elaboración: Propia

1.4.2.5. EXTRUSIÓN

En este proceso, los ingredientes, son obligados a pasar a través de tornillos cónicos con presión y calor para que salgan por un orificio de diferentes formas a través de una matriz. Los procesos en el extrusor son: cocción, formación, texturización y deshidratación de materiales alimenticios; particularmente aquellos como granos, leguminosas y semillas. Estas operaciones están contenidas en una pieza de equipo compacto, la que desperdicia poca energía y necesita, únicamente una pequeña cantidad de espacio.

El proceso fundamental de extrusión, consiste en un aparato generador de presión, el cual causa, que el producto se mueva como un líquido en un flujo laminar a través de una resistencia. Estos dos componentes, flujo y resistencia, determinan el proceso de extrusión y el tipo de producto a producirse.

La presión y el flujo, pueden ser causados por un número de mecanismos, incluyendo pistones y rodillos. Aunque éstos son utilizados en muchos casos, el uso de tornillos es más importante. Los tornillos, no sólo movilizan el producto

hacia adelante generando presión; sino que también mezclan el producto, ayudando a la generación y transferencia de calor, así como a la texturización y homogenización.

Las principales razones para producir un alimento extruido, son:

- Se puede dar forma a un producto de acuerdo a la matriz que se utilice; esto, es muy importante en la producción de Alimentos Balanceados para mascotas, donde la palatabilidad, que es el sabor en la boca del animal, es influenciada por la forma del alimento.
- Expansión controlada del producto, regulando el volumen del mismo. Esto es muy importante, cuando se produce alimento para peces o camarones. Pues se puede regular la velocidad de hundimiento, permitiendo que un alimento sea flotable, lentamente hundible o hundible.
- Existe más control sobre el desperdicio, lo cual, es muy importante en la producción para minimizar los costos por reproceso.
- Se produce una gelatinización de las proteínas provenientes de los granos, el maíz y el arroz, que son parte de la formulación.
- En el caso de extrusión de soya, permite la texturización de las proteínas y la inactivación de los inhibidores de crecimiento.
- Posibilidad de revestir el producto con grasa hasta 30%, con una considerable mejora del valor nutricional de los alimentos para salmónidos, lo que puede observarse en crecimientos rápidos y mejor conversión alimenticia.
- El producto no se disuelve en agua.

La Fotografía 1.2, muestra detalles sobre la maquinaria utilizada en el proceso de extrusión.



Fotografía 1.2: Extrusor completo de tornillo simple con alimentador, acondicionador y cortadora.

Fuente: Pellet Mill California

Elaboración: Propia

1.4.3. PRODUCCIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO

El objetivo de los productores de Alimento Balanceado, es el de preparar alimento, para abastecer los estándares nutricionales al menor costo posible. La producción de alimento, se basa en fórmulas que son elaboradas por profesionales capacitados como nutricionistas, veterinarios, zootecnistas y otros profesionales con experiencia, en este campo.

El Alimento Balanceado, puede producirse en: harina, peletizado o extruido. Existen parámetros, según los cuales, se decide la forma de preparación del alimento, éstos pueden ser nutricionales, económicos o técnicos. La diferencia más importante entre peletizar o extruir, son los costos de inversión y operación,

si con el peletizado, se garantiza la producción de un alimento de calidad, no es necesario extruir.

En el caso de Alimento Balanceado para mascotas, se conoce que la forma del producto tiene incidencia sobre el sabor en la boca del animal, razón por la cual se tiene preferencia por los productos extruidos.

Para los productores de Alimento Balanceado para pollos parrilleros, las alternativas manejadas son la producción en harina o pellet. Lo usual, es iniciar el proceso con alimento preparado en harina con una inversión mínima; posteriormente, de acuerdo al nivel de ventas, se peletiza (este es el camino que siguen la mayoría de empresas en la actualidad).

A continuación, se presentan algunos casos donde se indica, cuál es el criterio utilizado por los productores:

En la producción de Alimento Balanceado para mascotas (perros, gatos), se debe evaluar la aceptación del animal al alimento, siendo fundamental el sabor en la boca (palatabilidad), porque el animal debe comer el producto que además se obliga a tener la cantidad adecuada de nutrientes. El sabor del alimento, recibe influencias por la fórmula, la calidad de los ingredientes y como se sienten las partículas en la boca. Los perros por lo general prefieren alimentos de alto contenido graso, los gatos, prefieren alimentos con niveles moderados de grasa. La sensación en la boca, es una de las razones por las que los alimentos para mascotas vienen en variedad de formas, lo cual sólo se consigue con la extrusión.

En el caso de la alimentación de porcinos, las pruebas demuestran que los cerdos deben consumir 3.27 kg. de alimento en harina para incrementar 1 kg. de peso; en comparación consumirá 2.87 kg. de pellets para incrementar 1 kg. Se mejora la conversión a carne y se hace en menos tiempo; se recomienda preparar Alimento Balanceado peletizado.

En el caso de alimentación de los pollos parrilleros, un animal come aproximadamente 4.9 kg. de alimento peletizado durante toda su vida, llegando a pesar 2.75 kg. al momento de su venta. Si el animal se alimentara con harina, comería 10% más de alimento y demoraría más tiempo en desarrollar (debe considerarse también el costo del proceso de peletizado). Cuando la demanda de alimento en las granjas es muy grande y la fábrica no abastece la capacidad de producción, al animal se le da alimento en harina.

En la acuicultura, se tienen dos factores primordiales que son: el alimento para los peces, que es un costo importante de la producción, y la calidad del agua, que está muy ligada a la evolución del animal.

De acuerdo a la selección del alimento correcto, los problemas de polución, enfermedades, alta tasa de mortalidad, pueden ser reducidos o eliminados. Se debe contar con el mejor alimento, al mejor precio; para lo cual se requiere de tecnología y procesos combinados con el adecuado conocimiento de cada especie.

El salmón, por ejemplo, tiende a consumir el alimento que se hunde lentamente ante sus ojos; la trucha es más dinámica y busca su alimento en la superficie; el turbot o rodaballo toma su alimento desde el fondo. Si se quieren producir alimentos que tengan velocidad de hundimiento regulada, textura dentro del agua, valores nutricionales exactos, alta digestibilidad por cocción; se debe considerar la extrusión como solución. Pero si el requerimiento, es preparar alimentos que son hundibles; se puede peletizar.

Entre la preparación de alimento en harina, peletizado o extrusión, el producto de mejor calidad es el extruido; pero, debe tenerse la justificación económica o técnica que permita emplearlo; Por ejemplo, en el caso, del alimento para peces, mascotas, existen parámetros necesarios como: la regulación de la expansión o la necesidad de tener diversas formas, los cuales, no pueden obtenerse mediante el proceso convencional en una prensa peletizadora. En el caso de pollos parrilleros

o cerdos; cuestiones de índole técnicas-económicas no justifican la extrusión, siendo lo usual, escoger entre alimento preparado en harina o pellet.

El Alimento Balanceado para aves donde no se prioriza la conversión, como es el caso de las reproductoras, debe ser en harina o peletizado, pero remolido; para lo cual, podría utilizarse un molino o un crumbler o desmoronador, que es similar a un molino de rodillos; para que las aves no consuman muy rápido el alimento.

En la Tabla 1.2, se presenta la diferencia entre harinas, peletizar o extruir Alimento Balanceado

Tabla 1.2: Diferencia entre harinas, peletizado o extrusión de Alimento Balanceado

Ítem	Descripción	HARINA	PELETIZADO	EXTRUSION
1	Procesamiento	En seco	En húmedo	En húmedo o seco
2	Temperatura (° C)	Ambiente	60 – 90° C	70 – 160° C
3	% Humedad	En seco	15.5 – 17%	Hasta 30%
4	% Adición grasa	En seco	20%	30%
5	Maquina	Manual	Peletizadora	Extrusores
6	Costos adquisición	Bajos	Normales	Costosos
7	Esterilidad	Nula	Buena	Excelente
8	Hundimiento		Hundibles	Hundibles o Flotantes
9	Forma del producto	Harina	Cilíndrica	Forma de la matriz
10	Aglutinantes	No	Si	No
11	Digestibilidad	Normal	Buena	Excelente

Fuente: FAO

Elaboración: Propia

Partiendo de ello, se puede plantear de manera estimada; cual debe ser el flujo de producción, en donde participaría la máquina productora de harina de Lombriz, objeto de estudio, en el gráfico 1.3 se muestra el diagrama de una planta modelo de producción de harina y balanceado

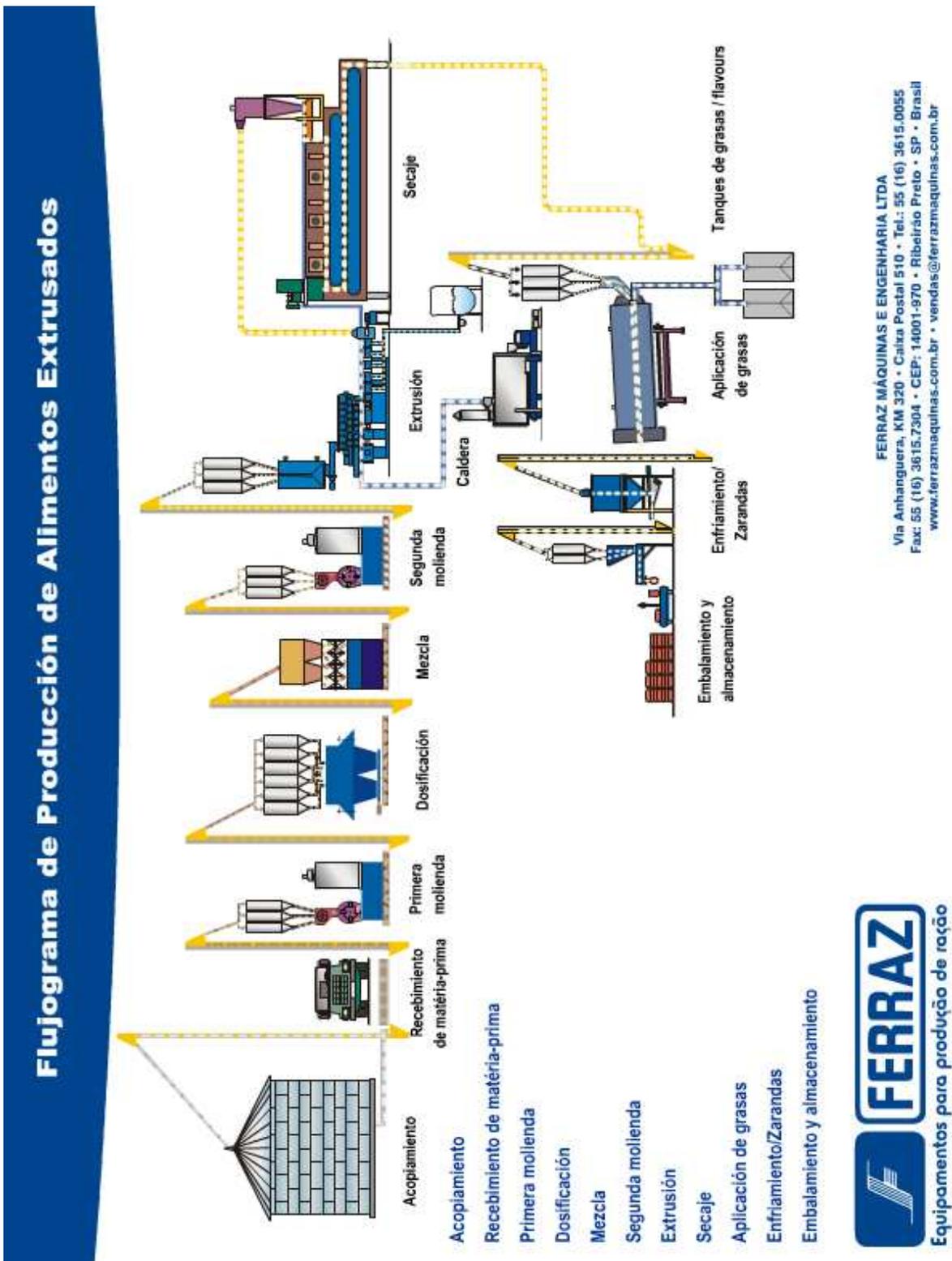


Gráfico 1.3: Planta de produção de Alimento Balanceado

Fuente: www.ferrazmaquinas.com.br

Elaboración: Propia

1.5. ¿QUÉ ES LA LOMBRICULTURA?

Se entiende por Lombricultura, las diversas operaciones relacionadas con la cría y producción de lombrices, y el tratamiento, por medio de éstas, de residuos orgánicos para su reciclaje en forma de abonos y proteínas.

Es una tecnología basada, en la cría intensiva de lombrices para la producción de humus a partir de un sustrato orgánico. Es un proceso de descomposición natural, similar al compostaje, en el que el material orgánico, además de ser atacado por los microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos, levaduras, etc.) existentes en el medio natural; también lo es por el complejo sistema digestivo de la lombriz.

En el intestino de la lombriz, ocurren procesos de fraccionamiento, desdoblamiento, síntesis y enriquecimiento enzimático y microbiano; lo cual tiene como consecuencia, un aumento significativo en la velocidad de degradación y mineralización del residuo, obteniendo un producto de alta calidad.

1.5.1. HISTORIA DE LA LOMBRICULTURA

Aunque la cría intensiva de lombrices de tierra o Lombricultura, parece una actividad nueva, realmente es muy antigua, su historia se remonta a tiempos inmemoriales. La lombriz, siempre ha estado ligada al desarrollo de la humanidad.

El rol de las lombrices en el mejoramiento de las tierras de cultivo, era muy conocido en el Antiguo Egipto. Una gran parte de la fertilidad del valle del Nilo dependía de estos animales. Por eso, los faraones, tenían previstos castigos muy severos a quienes las dañaran o contrabandearan.

El gran filósofo griego Aristóteles, las definió certeramente como "los intestinos de la tierra". Los romanos también supieron apreciar a las lombrices, aunque recién

en el siglo XIX, se explicó científicamente cuál era su verdadera función en el ecosistema⁵.

Aparecen también en notas asiáticas, indias y europeas, referencias de las lombrices. Charles Darwin comenzó a interesarse por las lombrices desde niño, maravillado por la lectura del libro *Natural History of Selborn*.

Sus libros más famosos, "El Origen de las Especies por medio de la Selección Natural" y el "Origen del Hombre", tal vez opacaron un poco a otro, no menos famoso, aparecido en 1881 titulado: "La Formación de la Tierra Vegetal por la Acción de las Lombrices". Esta obra, sería el inicio de una serie de investigaciones que hoy han transformado la lombricultura en una actividad muy importante, que permite mejorar la producción agrícola.

Hay quienes sostienen la aparición de la lombriz como alimento de indios americanos, pero se asegura que Thomas Barret, fue el precursor de la explotación intensiva en California, en el año de 1920. Por la misma época, el suizo Alberto Roth, las trajo de Europa y las utilizaba en labores agrícolas en Argentina.

Hug Carter, en los Estados Unidos inicia en 1947 su propio criadero. Pero la diferencia sustancial con Roth, es que empleó una especie diferente de lombriz, la *Eisenia Foetida*, también conocida como Lombriz Roja Californiana, que por razones de crianza, reproducción, y la variedad de desechos orgánicos que ingiere, ésta lombriz y sus variedades, son las más adecuadas para una producción intensiva de Humus.

Carter, es considerado por muchos como el primer gran criador de lombrices en la edad contemporánea. Supo aplicar las técnicas modernas de cultivo, que con muy ligeras variantes siguen vigentes hoy día

⁵ BOULOGNE, Stephanie y otros, Optimización de la operación de secado de la carne de lombriz (*Eisenia andrei*) para producir harina destinada al consumo animal, Madrid, 2008

En la segunda mitad de la década de los 80, se marca la mayor época expansiva de la lombricultura en Latinoamérica, quizás más acertadamente en Sudamérica.

En casi todos los países, se realiza esta actividad, sin embargo, Colombia, Chile, Perú, Ecuador, Argentina y Brasil son notables por el crecimiento de sus criaderos de lombrices.

En Cuba, la situación político económica que impidió seguir importando fertilizantes químicos, coadyuvó al desarrollo de la lombricultura en gran escala; gracias a los pasos iniciales dados por José Ramón Cuevas.

España, Italia, Australia, India, Estados Unidos de Norteamérica y Canadá se cuentan entre los países en donde la lombricultura se mantenía y extendía con mayor interés. Los principales países productores de América Latina son: Chile, Brasil, Colombia, Argentina y Ecuador. Estos países cuentan con grandes explotaciones industriales de lombriz roja californiana.

Filipinas, es uno de los mayores productores de harina de lombriz para consumo humano, ya que la ausencia de olor y sabor la hace competitiva con la harina de pescado; tanto en calidad, como en precio. En la época actual, muchos países, continúan utilizando técnicas obsoletas de crianza, siempre ligadas a usos del campo por medio del humus, reconociendo que es el mejor fertilizante orgánico que se conoce.

1.6. FABRICACIÓN DE HARINA

El trigo y su domesticación, han acompañado a la humanidad desde tiempos remotos. El primer molino de trigo fue la mandíbula del hombre de las cavernas, que posteriormente perfeccionó el procedimiento machacando los granos con un mazo que golpeaba sobre una piedra.

Los pobladores del Medio Oriente (de los márgenes de los ríos Jordán, Éufrates y Tigris), crearon morteros rudimentarios, con los que molían el trigo inmediatamente después de ser cosechado. Ellos produjeron por primera vez, harina, empleada para hacer el pan cotidiano.

El proceso se perfeccionó considerablemente en el Imperio Romano, en donde se inventó un sistema, que consistía en la molienda por medio de la fricción de dos piedras cónicas, movidas por esclavos, que giraban una sobre la otra para triturar el grano.

De igual manera en Roma se inventó, la rueda de agua, que aprovechaba la fuerza de los ríos y acueductos para moler los granos de trigo. En el siglo V, se perfeccionó el procedimiento, y aparecieron los molinos de esclusas, cuya fuerza motriz era también la hidráulica.

Aunque se cree que aparecieran por primera vez en Asia, en el siglo XII, los molinos de viento –que consistían en un sistema de fricción entre piedras movidas por el viento-, fue hasta el siglo XV que aparecieron en Francia y Holanda, y pronto se extendieron por toda Europa.

La revolución tecnológica de la molinería comienza realmente en 1825, cuando la empresa Ganz lanza el molino de cilindros. En el siglo XX, la energía eléctrica revoluciona la industria de la molinería. Gracias a ésta se incrementa considerablemente la productividad y la eficiencia en su producción alrededor del mundo.

1.7. HARINAS DE CARNE⁶

En los últimos años, ha cambiado varias veces el nombre y la definición de los productos elaborados por la industria de la carne y su procesamiento para obtener harina. La O.M. (Ordenanza Española de Mataderos) del 5 diciembre de 1988,

⁶ Sánchez, Félix, PROCESADO Y CALIDAD DE LAS HARINAS DE CARNE, IX Curso de Especialización FEDNA Barcelona, 2003

relativa a la comercialización de piensos simples, establecía las denominaciones de harina de carne huesosa y harina de carne (Francia) o harina animal (Bélgica).

La O.M. del 4 octubre de 1989, que modifica el anexo parte B de la del 5 diciembre de 1988, crea la denominación “harina de subproductos de Matadero”. Posteriormente, la O.M. del 30 Abril de 1993; por la que se establece la lista de los principales ingredientes para la preparación de piensos compuestos, de acuerdo con la directiva 92/87/CEE del 26 octubre de 1992, vuelve a las denominaciones harina de carne y harina de carne y huesos y los define como “producto obtenido por calentamiento, desecación y molturación de animales terrestres de sangre caliente, enteros, o de partes de éstos, de los que la grasa podrá haber sido parcialmente extraída o eliminada por medios físicos.

El producto, para su procesamiento, debe estar prácticamente exento de cascos, cuernos, cerdas, pelos y plumas, así como del contenido del aparato digestivo (contenido mínimo de proteína bruta 50% en materia seca)”. Para la harina de carne y huesos, la definición excluye el término calentamiento y la referencia al contenido mínimo de proteína ruta. La O.M.⁷, establece que los productos con más de 13% de grasa en materia seca, deberán denominarse ricos en grasas.

1.7.1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE HARINAS DE CARNE

El transporte de las materias primas, se realiza en vehículos estancos e isoterms; dedicados a este fin, de forma exclusiva. Disponen de sistemas de carga Mecánicos y descarga basculante. Las materias primas se basculan sobre tolvas semienterradas, construidas en acero dulce o inoxidable, dotadas de dispositivos de transporte tipo tornillo sin fin. Dependiendo del tamaño de la tolva, los sin fines de descarga, pueden ser dobles, triples o de más elementos. Las tolvas, deben permitir almacenar la capacidad de tratamiento de la fábrica durante 24-48 horas.

⁷ Ordenanza Española de Mataderos

El proceso general de fabricación se muestra en el Gráfico 1.4.

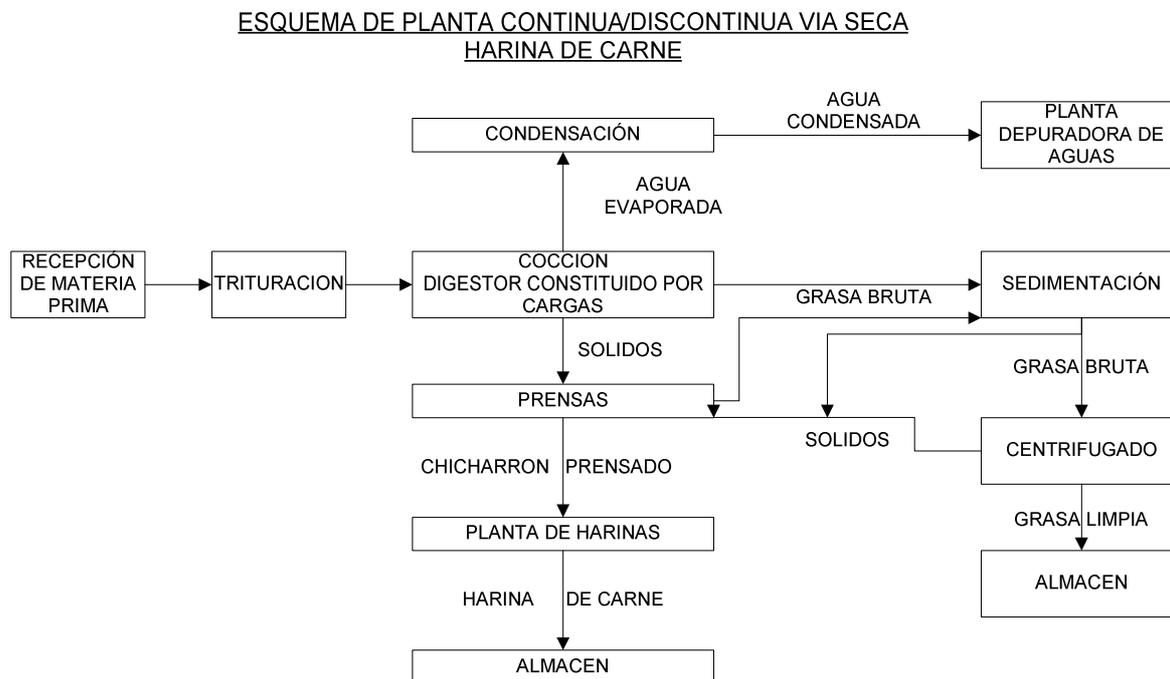


Gráfico 1.4: Esquema de fabricación de harina de carne

Fuente: IX Curso de Especialización FEDNA – Barcelona

Elaboración: Propia

1.7.1.1. TRITURACIÓN

Esta operación, tiene por objeto reducir los fragmentos de las materias primas a unas dimensiones que permitan un tratamiento térmico uniforme, completo y al menor costo.

Se considera, que el tamaño máximo de los fragmentos no debe superar los 50mm de diámetro; lo cual permite, estandarizar el tratamiento térmico de las materias primas, dada la gran variedad de tamaños de las diferentes piezas. En el caso de que entre las materias primas, haya cadáveres de animales, la trituration se hace en dos fases, pretrituration y trituration fina. Si la materia prima proviene de despojos de matadero, se puede realizar la trituration directamente al tamaño de partícula adecuado.

Las trituradoras, constan de una parte móvil, accionada por un motor y una parte fija sujeta a la estructura soporte. Ambas, poseen cuchillas que encajan unas con otras. La distancia entre éstas, determina el tamaño de partícula. La forma, disposición y velocidades de las cuchillas son variables. La entrada del triturador, está protegida por imanes, para evitar los problemas que pueden ocasionar a la instalación la presencia de piezas metálicas.

1.7.1.2. COCCIÓN

En esta operación, se realiza el procesado térmico de las materias primas. Existen varios sistemas de tratamiento: por vía seca, por vía húmeda, en ambos casos por cargas, proceso discontinuo o en proceso continuo.

En los procesos por vía seca, la humedad de la materia prima se elimina totalmente por evaporación aplicando calor y en los procesos por vía húmeda, la eliminación de humedad, se hace parcialmente, por medio de centrifugación o decantación y finalmente por evaporación.

El objetivo de todos los sistemas de tratamiento, es alcanzar 133 °C como mínimo en el interior de los fragmentos de materia prima, de diámetro inferior a 50 mm durante 20 min., a una presión de 3 bares, para conseguir la esterilización del material tratado y la fusión de la grasa contenida en el mismo, para facilitar su separación posterior. La necesidad de alcanzar 133 °C a 3 bares de presión, ha dado lugar a disputas entre la administración comunitaria y las organizaciones de fabricantes de harina de carne, que desean que la frase "... a 3 bares de presión" se sustituya por "... o 3 bares de presión", para no excluir los procesos continuos que alcanzan esa temperatura, pero a presión atmosférica.

1.7.1.3. SEDIMENTACIÓN

Es la operación que tiene por objeto, la separación de los sólidos y los líquidos obtenidos al final del proceso de cocción. Al acabar la cocción, en el proceso de

vía seca por cargas, se produce la eliminación de humedad y queda un chicharrón, material sólido impregnado de grasa y una parte líquida que es grasa.

En el proceso continuo por vía seca, la humedad se va eliminando a medida que el material a tratar avanza desde la entrada a la salida; obteniéndose también chicharrón y grasa.

En el proceso discontinuo por vía seca, la separación de chicharrón y grasa se produce pasando la mezcla de ambos por una tolva equipada con chapas perforadas, que permiten escurrir parte de la grasa. En el proceso continuo por vía seca, la mezcla se pasa por un tornillo sin fin dotado de carcasa de chapa perforada y con la rosca del sin fin de paso decreciente, para producir un aumento de presión y favorecer la separación de la grasa. El chicharrón pasa a la operación siguiente y lo mismo la grasa, que contiene partículas sólidas en suspensión.

1.7.1.4. PRENSADO

Esta operación, permite eliminar gran parte de la grasa que impregna el chicharrón, para obtener una harina de carne con un contenido de grasa que facilite la manipulación del producto en la fábrica. El chicharrón entra a la prensa con 25-30% de grasa y se obtiene un producto con 12-15%.

Las prensas, son máquinas muy robustas que constan de un eje de forma cónica; equipado con una hélice discontinua de paso decreciente alojada en un tamiz tubular, que provoca una fuerte elevación de presión en el chicharrón al avanzar a lo largo del eje de la prensa, que puede llegar a alcanzar los 200 kg/cm² a la salida. La grasa se separa a través del matiz y el tornillo hace salir la torta prensada.

1.7.1.5. CENTRIFUGACIÓN

La separación fina de sólidos y líquidos, se lleva a cabo en la operación de centrifugación. En los procesos por vía seca, en la prensa y la sedimentación se separa los chicharrones de la grasa y, en los procesos por vía húmeda, se separan los chicharrones húmedos de la mezcla de grasa y agua.

En ambos casos, la grasa de prensa o de sedimentación y la mezcla de agua y grasa se centrifuga para separar: la grasa, el agua y las partículas de chicharrón en suspensión en la grasa de entrada para su reincorporación a la harina de carne.

1.8. LA HARINA DE LOMBRIZ

Actualmente, se reconoce que la lombricultura es un recurso biotecnológico de elevado interés ecológico y nutricional. Esta biotecnología utiliza una especie de lombriz domesticada denominada *Eisenia foetida* (Lumbricidae), con dos objetivos principales, primero, como una alternativa el reciclaje de desechos orgánicos de diferentes fuentes y, segundo como una fuente de proteína no convencional de bajo costo.

La harina de lombriz se caracteriza por un elevado contenido de proteínas (> 60% p/p, base seca) de interés nutricional; ya que proporciona aminoácidos esenciales para la dieta humana. La obtención a un bajo costo de la harina de lombriz rica en proteínas se debe a que las lombrices se alimentan de desechos orgánicos, crecen a una alta velocidad y se multiplican rápidamente.

Sin embargo, a lo largo de la historia contemporánea, es importante resaltar que el prejuicio cultural y la falta de información de los beneficios que presenta esta lombriz, son los que no han permitido su utilización oficial en el campo alimenticio

humano. Sin embargo, algunos países orientales tales como China, Japón, Filipinas, Taiwán, etc., la han incorporado al consumo humano⁸.

De acuerdo a varios investigadores, de la lombriz roja californiana, no sólo se obtiene carne rica en proteínas, sino también los aminoácidos esenciales, entre ellos es importante mencionar a la lisina, aminoácido que suele estar ausente en los alimentos básicos. El contenido de este aminoácido en la harina de lombriz es significativo (5,9% p/p), ya que satisface los requerimientos para niños entre 2-5 años exigidos por la FAO/OMS.

1.8.1. LA HARINA DE LOMBRIZ EN LA PISCICULTURA

El alimento para peces, representa hasta un 40% de los costos operacionales de las pisciculturas comerciales, en general, la expansión en la acuicultura, ha incrementado los precios drásticamente en los últimos años, por la escasez de recursos marinos.

El mayor costo lo refleja la harina de pescado, materia prima de referencia, por lo cual han surgido numerosas investigaciones; con la finalidad de evaluar alternativas viables de sustitución de la misma, en la manufactura de dietas para peces.

La proteína para los peces, es uno de los componentes energéticos más importantes a considerar y por consiguiente, se debe tomar en cuenta las fuentes posibles de ésta a ser usadas en sus dietas. Sin embargo, en la actualidad ha surgido el uso de la harina de lombriz considerando, que esta harina es desodorizada y decolorada, con lo que se la puede incorporar a cualquier dieta alimenticia, y, como se mencionó en el punto anterior, e incluso la humana. El procedimiento de cosecha, desaguado, beneficio y secado de las lombrices, para ser trasformada en harina, es técnicamente factible de llevarse a cabo a escala industrial.

⁸ Proyecto FODEPAL-FAO

Esto conlleva a la correcta explotación de la ventaja producida por el alta tasa reproductiva de esta especie, que asegura en cierta medida la disponibilidad continua de individuos, para tener una producción de harina que pueda satisfacer los requerimientos del mercado.

1.8.2. PROCESO DE FABRICACIÓN DE HARINA DE LOMBRIZ

1.8.2.1. RECOLECCIÓN QUÍMICA:

Se mejora el material alimenticio recolectado, el cual contiene una alta densidad poblacional de lombrices, con algún producto químico irritante, que provoca una fuga acelerada de las lombrices, cayendo a un recipiente con agua.

1.8.2.2. LAVADO Y DESAGUADO:

Las lombrices, así recolectadas, son sometidas a profusos lavados. Luego, se trasladan a otro recipiente oscuro, lleno de agua y que tenga un sistema de aire insuflado. Con esto se pretende, que la lombriz tenga suficiente oxígeno en su hábitat y pueda vivir en él durante su permanencia. La temperatura se mantiene de 18°C y allí permanecen las lombrices por 24 horas. Se emplean productos químicos (purgante en baja concentración) que permiten que las lombrices evacúen totalmente el contenido del tracto intestinal y por otro lado permiten, que aumente la densidad de la solución para que las eyecciones floten y sean retiradas. El tracto intestinal se muestra blanco, diferente a la coloración inicial oscura. Se realiza un lavado con agua potable y se inicia el siguiente paso.

1.8.2.3. SHOCK SOLUCIÓN SALINA (BENEFICIO):

Las lombrices son colocadas en una solución salina, NaCl al 4%, en donde mueren entre 5 y 10 minutos después. El impacto que produce esta solución salina, les genera un shock que hace que secreten el fluido celomático de un color amarillo y olor fuerte, que de no ser extraído, imprimiría al producto final características negativas.

1.8.2.4. SECADO:

Luego, son lavadas abundantemente y colocadas en bandejas de metal para su secado en un horno de aire seco con circulación entre 80-85°C, el material alcanza una temperatura de entre 38-50°C.

1.8.2.5. MOLIENDA Y TAMIZADO:

La carne de lombriz seca, es molida en un molino de cuchillos y el producto tamizado en una malla 60; de tal forma, que se obtiene un polvo de color pardo claro y de olor característico.

La harina de lombriz, ha demostrado ser un alimento de alto valor nutricional para peces y otros animales. Según sus aspectos nutricionales, es de destacar que, presenta niveles de aminoácidos equivalentes a los obtenidos para harinas de otras fuentes alimenticias. Además, de los requerimientos de lisina y otros aminoácidos esenciales como se puede observar en la Tabla 1.3:

Tabla 1.3: Composición Química de la Harina de Lombriz

Elemento	Base húmeda (%)
Proteínas (A)	66.8 +/- 3.2
Lípidos (B)	8.8 +/- 0.9
Humedad	7.3 +/- 0.7
Cenizas	8.4 +/- 0.6
Fibra cruda	1.3 +/- 0.8
Carbohidratos	1.2 +/- 0.2
N.N.P (C)	5.7 +/- 0.4
Otros constituyentes	0.5 +/-0.3

Fuente: AROLDO ARÉVALO-PINEDO, Obtención, evaluación físico-química y almacenamiento de la "harina de lombriz" de tierra (*Eisenia foetida*)

Elaboración: Propia

Los resultados obtenidos en términos del perfil aminoacídico de la harina de lombriz, indican que ésta es deficiente, tan solo en Triptófano y Metionina, mientras que comparada con la harina de pescado es deficiente en Triptófano y Cisteína (Valenzuela, op. Cit). Así, la proteína al igual que los aminoácidos, son esenciales para el hombre, como para los peces en general y esta potencialidad, puede ser destinada a fines de gran valor, como la alimentación animal.

En la Tabla 1.4 se presenta una comparación simple entre la harina de lombriz y la harina de pescado y se encuentran las siguientes diferencias:

Tabla 1.4: Diferencias nutricionales entre la Harina de Lombriz y la Harina de Pescado

Aminoácido	Gramos de aminoácido por 100gr. de proteína	
	Harina de <i>E. foetida</i>	Harina de pescado
Lisina	12.51	7.89
Histidina	2.51	2.41
Arginina	7.03	5.88
Triptófano	0.29	1.12
Acido aspártico	11.01	11.79
Treonina	3.76	4.36
Serina	3.3	3.76
Acido glutámico	13.57	14.94
Prolina	4.47	4.43
Glicina	5.22	5.98
Alanina	5.54	0.72
Cisteína	4.23	1.04
Valina	6.14	5.36
Metionina	1.53	3.08
Isoleucina	4.73	4.63
Leucina	7.39	7.79
Tirosina	3.23	3.03
Fenilalanina	3.54	3.87

Fuente: AROLDO ARÉVALO-PINEDO, Obtención, evaluación físico-química y almacenamiento de la "harina de lombriz" de tierra (*Eisenia foetida*)

Elaboración: Propia

Como se pudo observar a través de la realización de este primer capítulo, el sector agrícola, a pesar de no contar con un impulso real de manera estatal; es un componente importante dentro de la economía nacional en donde la búsqueda del conocimiento se ha convertido en un elemento que da valor a las iniciativas empresariales.

En los últimos años, los sistemas de alimentación animal han tomado un realce significativo donde la Zootecnia ha desarrollado métodos, ideas y tecnología realmente útiles para el sector de la alimentación agrícola. De ahí, se desprende la necesidad de presentar alternativas de solución mecánicas que permitan plasmar la investigación en la práctica a un costo asequible y alta productividad, en el siguiente capítulo, se hablará de la producción en sí de harina de lombriz y su factibilidad en la tecnificación.

CAPÍTULO 2

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Como se menciona en el capítulo anterior, actualmente, se reconoce que la lombricultura es un recurso biotecnológico de elevado interés ecológico y nutricional.

La obtención a un bajo costo de la harina de lombriz rica en proteínas, se debe a que las lombrices se alimentan de desechos orgánicos, crecen a una alta velocidad y se multiplican rápidamente. Es importante resaltar, que el prejuicio cultural y la falta de información de los beneficios que presenta esta lombriz, son los que no han permitido su utilización oficial en el campo alimenticio humano. Sin embargo, algunos países orientales tales como; China, Japón, Filipinas, Taiwán, etc., la han incorporado al consumo humano.

De la lombriz roja californiana, no sólo se obtiene carne rica en proteínas, sino también los aminoácidos esenciales, entre ellos, es importante mencionar a la lisina, aminoácido que suele estar ausente en los alimentos básicos. El contenido de este aminoácido en la harina de lombriz, es significativo (5,9% p/p), ya que satisface los requerimientos para niños entre 2-5 años exigidos por la FAO/OMS.

La lombricultura como disciplina agroindustrial, ha logrado despertar la atención de innumerables inversionistas en el mundo; atraído principalmente, por la sencillez y economía del proceso de reciclar los residuos orgánicos que se producen en todos los niveles y estratos de la sociedad moderna, obteniendo beneficios productivos, higiénicos, ambientales y ecológicos. En efecto, las lombrices transforman la materia orgánica en humus, un abono natural

balanceado de alta calidad, y a su vez las lombrices por su alta tasa reproductiva, pueden proveer carne que puede ser transformada en harina. Esta harina es un ingrediente de alto valor nutricional aprovechable en la alimentación animal.

De ahí, que se hace necesario desarrollar una alternativa de inversión para la tecnificación del proceso de secado, que en la actualidad existe en el mercado y no se encuentra adaptado a la realidad del proceso productivo que tiene como producto la harina de lombriz.

El objetivo de la investigación, es optimizar dos procesos realizados durante la producción de harina de lombriz, el primero, la optimización del secado y el segundo la molienda para la obtención de producto final, para ello, se ha tomado como ejemplo, el proceso de elaboración de harina de pescado ya utilizada en la nutrición animal.

Por definición, el secado es la operación que elimina, por evaporación, el agua de una materia húmeda (sólida o líquida). Numerosos productos alimenticios, son secados en el momento de su transformación y/o conservación. Se trata de convertir productos perecederos, en productos estables debido a la disminución de la actividad del agua.

Los dos principales problemas vinculados al secado son: el riesgo de alteración de la forma, la textura y de la calidad nutricional y organoléptica del producto, y el segundo es el consumo energético de la operación, que puede ser considerable.

Los métodos y procesos de secado, pueden clasificarse de diferentes maneras. Estos procesos pueden dividirse:

1. Por lotes, cuando el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un periodo de tiempo,
2. En forma continua, donde el material se añade sin interrupción al equipo de secado y, se obtiene material seco con régimen continuo.

También, pueden clasificarse de acuerdo a las condiciones físicas usadas para proporcionar calor y extraer vapor de agua:

1. En la primera categoría, el calor se suministra por contacto directo con aire caliente a presión atmosférica, y el vapor de agua se elimina por medio del mismo aire,
2. En el secado al vacío, la evaporación del agua se verifica con más rapidez a presiones bajas, y el calor se suministra, indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación,
3. En el secado por congelación, el agua se sublima directamente del material congelado (liofilización).

2.2. TIPOS DE SISTEMAS DE LAVADO, SECADO Y MOLIENDA

2.2.1. SISTEMAS DE LAVADO

El sistema de lavado por humedad, resulta más eficaz para la eliminación de tierra firmemente adherida a algunos productos vegetales como zanahorias y otras raíces y para la eliminación de polvo y residuos de pesticidas de verduras y frutas blandas, al tener que tratar con un animal cuyo hábitat es muy similar al de las raíces se propone utilizar este principio para su limpieza.

Este método de limpieza no origina polvo, deteriora menos los alimentos y permite el uso de detergentes y sustancias esterilizantes a diversas temperaturas.

Inconvenientes: emplea grandes cantidades de agua que se convierte en un efluente molesto y muy polucionado que exige un tratamiento caro antes de su vertido final. Las superficies húmedas se alteran con mayor rapidez que las secas,

de tal modo que la limpieza húmeda exige a menudo tratamiento post-procesado casos como el escurrido y el secado.

Además cuando se emplean estos procedimientos de limpieza en húmedo ha de prestarse atención muy cuidadosa a la gestión, conservación y calidad del agua y a la higienización de la planta con el fin de evitar la recontaminación.

Entre los métodos de limpieza más utilizados en la actualidad se encuentran: la inmersión, el lavado por aspersion, el lavado por flotación y la limpieza ultrasónica.

El lavado es un punto de fundamental importancia en la elaboración de cualquier tipo de alimento, sea este para el consumo humano o animal. El método depende del tipo de alimento que se procese⁹.

El objetivo principal del lavado y/o limpieza es eliminar tierra y restos vegetales. Al mismo tiempo, mediante este proceso se logra una importante disminución de la carga microbiana que las materias primas traen superficialmente.

La modalidad más utilizada consiste en pasarlas a través de una lluvia, mediante picos aspersores, sin embargo, existen otro tipo de alimentos que reciben tratamientos diferentes en su lavado, en el caso de los tomates, debido a que son relativamente frágiles, reciben un lavado por inmersión en un tanque con agua. En estas condiciones el material más denso, como la tierra, se hunde y las hojas flotan libremente, mientras que los frutos se mantienen en suspensión. Posteriormente los tomates se extraen del tanque por un transportador de rodillos y se hacen pasar bajo rociadores de agua.

En estos procesos es de fundamental importancia que el agua sea renovada continuamente para que no se transforme en un caldo de cultivo a raíz de los sucesivos lavados.

⁹ Guía de Buenas Prácticas para la Elaboración de Alimentos, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Gobierno de Argentina, 2005

Otros sistemas combinan el lavado por aspersión e inmersión en un mismo mecanismo con excelentes resultados.

2.2.1.1. LAVADO POR INMERSIÓN

Es el método más simple de la limpieza húmeda y con frecuencia constituye una etapa preliminar de la limpieza de tubérculos y otros alimentos muy sucios. La tierra adherida se ablanda y en parte se desprende junto con las piedras, arena y otras sustancias abrasivas que pueden dañar la maquinaria utilizada en las siguientes etapas. Para la inmersión se utilizan depósitos de metal, cemento liso u otros materiales que permitan una limpieza y desinfección frecuentes. No se puede utilizar en su construcción materiales absorbentes como madera, disponen en el fondo de vías de descarga protegidas pro rejillas para eliminar las tierras densas y en los laterales, para la eliminación de los detritos ligeros que flotan.

Se puede mejorar la eficacia de la limpieza por inmersión:

- Desplazando el agua por medio de agitadores de hélice alojados en el depósito o
- Moviendo el producto en el seno del agua por medio de paletas de movimiento lento.

Estos procedimientos tienden a deteriorar los productos delicados. También se puede agitar haciendo burbujear aire procedimiento útil para productos delicados como fresas, espárragos,... o para productos que atrapan la basura en su interior como espinacas o apio.

Con el objeto de economizar agua y reducir el volumen de efluentes los depósitos de inmersión se alimentan con agua ligeramente contaminada procedente de

etapas de lavado anteriores. En esta reutilización contra corriente de agua de lavado es esencial un riguroso control microbiológico y cambiar regularmente el agua de inmersión. Para disminuir la carga microbiana en los tanques se suele clorar el agua, en la Fotografía 2.1, se muestra un ejemplo de un sistema de lavado por inmersión.



Fotografía 2.1: Sistema de Lavado por Inmersión

Fuente: Ingemaq Chile

Elaboración: Propia

Ventajas del uso:

- Permite el diseño de batches de producción de gran capacidad
- Permite diseño de diferentes capacidades
- Bajo Costo
- Permite el uso u acondicionamiento de la materia prima con aditivos.
- Alimentación el producto: Única y centrada o múltiple y repartida.

Desventajas:

- Requiere supervisión para su uso
- Uso excesivo de agua.
- En el caso de utilizar algún aditivo genera mayor cantidad de efluentes.
- Alta intervención del operario.

2.2.1.2. LAVADO POR ASPERSIÓN

Probablemente sea el método de lavado húmedo más utilizado.

Consiste en exponer las superficies del alimento a duchas de agua. La eficacia del lavado depende de los siguientes factores: presión, volumen y temperatura del agua, distancia del producto al chorro, tiempo de exposición del alimento a la ducha y número de chorros de aspersión utilizados.

Es conveniente utilizar el volumen de agua pequeño y a presión elevada no obstante estas pueden dañar las frutas maduras y blandas o las hortalizas delicadas.

Tipos de lavadoras por aspersión:

- Lavadora de tambor y aspersión:

Consiste en un tambor de barras o rodillos metálicos separados de forma que retengan los alimentos y dejen pasar los destrios o residuos. El tambor gira lentamente y en posición inclinada, estos dos factores controlan tanto el movimiento del alimento en el tambor como la duración del ciclo de lavado. El cilindro cuenta con un tubo central de aspersión con cabezales aspersores o rendijas a través de las que se dispersa el agua.

- Lavadora de cinta y aspersión:

Consiste en un transportador, por ejemplo una cinta continua perforada, que desplaza los alimentos bajo un banco de aspersores de agua, con productos casi esféricos como manzanas se mejora el contacto utilizando rodillos que hagan girar la fruta bajo las duchas. Para mover las piezas pequeñas se utilizan sistemas de transporte vibratorio.

Un ejemplo de un sistema de lavado de cinta y aspersion es el que se muestra en la Fotografía 2.2



Fotografía 2.2: Sistema de Lavado por Aspersion

Fuente: Ingemaq Chile

Elaboración: Propia

Ventajas del uso:

- Permite sistemas de producción continua
- Permite adaptación de herramientas de escurrimiento en el área de trabajo.
- Permite mayor área de riego y optimización del agua a través del riego uniforme
- Permite la adición de soluciones
- Reduce la intervención del operario en la producción

Desventajas:

- Alto costo de implementación inicial
- Requiere manejo de efluentes

2.2.1.3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Tabla 2.1: Selección de Alternativas para el sistema de Lavado

Aspecto Alternativa	Factor	Inmersión		Aspersión	
Facilidad de trabajo	10	8	8	8	8
Facilidad de Construcción	9	8	7,2	7	6,3
Costos de Fabricación	8	8	6,4	7	5,6
Ensamble de la estructura	8	7	5,6	8	6,4
Mantenimiento	7	5	3,5	7	4,9
Costo de recubrimiento	9	6	5,4	7	6,3
Costo de material	7	6	4,2	6	4,2
Total			40,3		41,7

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

Como se puede observar de acuerdo al análisis de selección de alternativas en la tabla 2.1 la solución más pertinente para el diseño del sistema de lavado es el sistema por Aspersión.

2.2.2. SECADORES

El propósito principal de la deshidratación de alimentos, es prolongar la durabilidad del producto final o preparar el alimento, para un procesado posterior como es el caso de las lombrices. 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.

La configuración básica de un secador de aire atmosférico, es una cámara especial donde el alimento es colocado, y este, está equipado con un sistema generador de aire caliente y una serie de conductos que permiten la circulación del aire caliente alrededor y, a través del alimento. El agua es removida de la superficie del producto y llevada hacia afuera en una sola operación. El aire es calentado mientras entra al secador por medio de intercambios de calor, haciendo uso de resistencias eléctricas o combinación directa con gases de combustión de

escape¹⁰. Este tipo de secadores, es usado ampliamente en el proceso de manufactura de galletas, fruta seca y rebanadas de vegetales, y fabricación de alimento para animales; como es el caso de la Harina de Lombriz.

2.2.3. COMPONENTES DE UN SECADOR

La configuración básica de un secador, consiste de un sistema que genere aire caliente; el cual puede estar compuesto de un ventilador y de una serie de hilo de resistencias eléctricas de Nicrom (Níquel-Cromo), para generar calor, también debe de contar con un colector y un alimentador. Sin embargo para propósitos educacionales, son comunes los secadores sin alimentador ya que las cantidades de alimento a deshidratar son menores.

El arreglo final de estos componentes, es característico de cada tipo de secador. En el gráfico 2.1, se muestra el esquema básico de un secador:

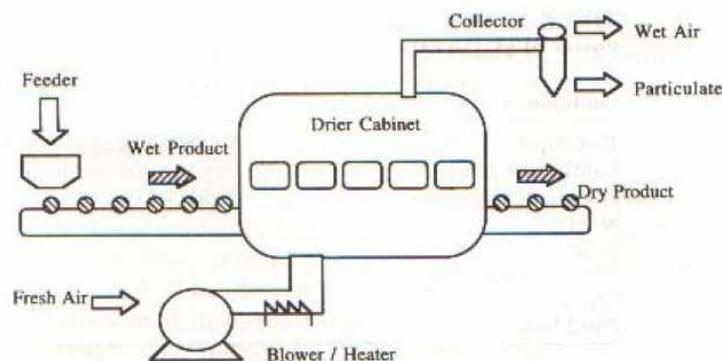


Gráfico 2.1: Configuración Básica de un Secador de Aire Atmosférico

Fuente: Cánovas, Barbosa G., Dehydration of Foods, Chapman and Hall. 1996. 1ª edición.

Elaboración: Propia

1. Generador de Aire: los secadores de aire deben de contar con un sistema que permita la entrada de aire a diferentes velocidades de flujo, por eso, se

¹⁰ Canova's, Barbosa G., Dehydration of Foods, Chapman and Hall. 1996. 1ª edición.

utilizan ventiladores o motores que se usan en los sistemas de refrigeración y también extractores de aire, los cuales son polarizados de manera inversa para trabajar como generadores de aire.

2. Calefactor: en calefactores directos, el aire es calentado cuando se combina con gases de combustión de escape. En calefactores indirectos en aire o producto, es calentado a través de placas de resistencias eléctricas. El costo de los calentadores directos es más bajo que los indirectos, pero algunos productos se llegan a dañar o contaminar debido a los gases.
3. Alimentador: los alimentadores o “feeders” más comunes utilizados en los secadores para sólidos húmedos, son los transportadores de tornillo, mesas rotantes y bandejas vibratorias. En algunos casos se tienen que utilizar alimentadores especiales en secadores de cama ancha, para asegurar la expansión uniforme del alimento.

Otros componentes que son utilizados en los secadores, para verificar el estado dentro del mismo son: termómetros de mercurio, medidores de presión y humedad, y básculas que miden la pérdida de agua del alimento.

Por lo general, los secadores que se utilizan en los laboratorios de investigación, cuentan con todos estos elementos, con el propósito de hacer pruebas y de monitorear el comportamiento del secador y del alimento que se está deshidratando.

2.2.3.1. CIRCULACIÓN DE AIRE

El aire circula dentro del secador, con el fin de eliminar la humedad evaporada del producto. Esta circulación, se logra por dos métodos: circulación forzada y por convección natural.

Circulación forzada:

El aire, es movido por un ventilador que consume energía mecánica o eléctrica. Este tipo de circulación, facilita el diseño en el caso de los equipos de tamaño grande; además de facilitar el control del proceso de secado. Usando este tipo de circulación, se pueden obtener velocidades de circulación de aire entre 0.5 y 1 m/s. La principal desventaja de la circulación forzada, es el hecho de que se debe disponer de una fuente de energía eléctrica.

Circulación por convección natural:

El aire es movido por las diferencias de temperatura entre las distintas partes del equipo, que promueven, la convección térmica del aire. Este tipo de circulación se hace más difícil de incorporar con equipos grandes. Para equipos pequeños o medianos, se pueden lograr velocidades de aire de 0.4 a 1 m/s al interior de la cámara; pero en equipos grandes, esta velocidad no sobrepasa los 0.1 a 0.3 m/s.

2.2.4. TIPOS DE SECADORES

A continuación, se describen de manera simplificada algunos tipos de secadores que se utilizan en procesos de secado, así como sus ventajas y desventajas.

2.2.4.1. SECADOR DE HORNO

Granos, frutas y vegetales, pueden ser procesados usando este tipo de secador. Este consiste en una construcción de dos secciones con un piso con ranuras que separa la sección de secado, con la sección de calefacción. El gráfico 2.2, muestra un ejemplo de un secador de este tipo. El producto es colocado sobre una placa ranurada y el aire caliente es llevado de la sección baja hacia la sección de secado a través de la placa.

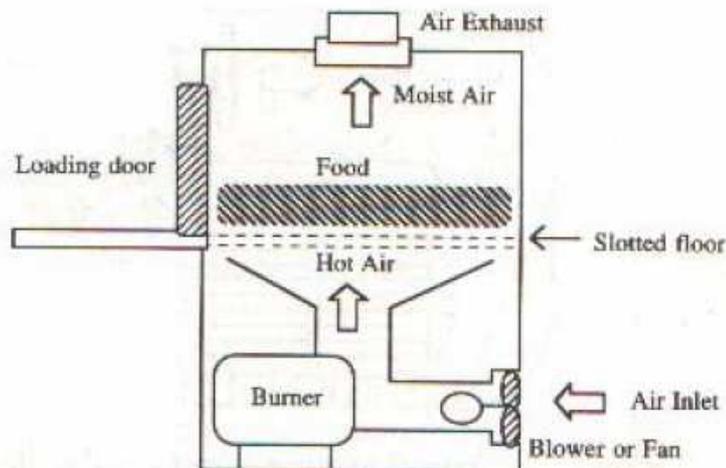


Gráfico 2.2: Secador de Horno

Fuente: Ibidem

Elaboración: Propia

Ventajas del uso:

- El secado uniforme para superficies pequeñas.
- Fácil alimentación del producto.
- Al ser calentador directo, se aprovecha mejor el calor generado para el secado.

Desventajas:

- Debido al contacto directo del calor de la llama con la materia a secar, esta se contamina.
- Si el aire caliente pasa al través del piso ranurado, el número de bandejas se limita debido a la excesiva caída de presión.
- Se necesita una superficie grande para abarcar una gran cantidad de materia a secar.

2.2.4.2. SECADOR DE CABINA O BANDEJA

Este tipo de secador, se caracteriza por tener una serie de bandejas en donde es colocado el alimento. Las bandejas se colocan dentro de un compartimiento del secador, en donde es expuesto al aire caliente. El secador cuenta con un

ventilador y una serie de resistencias eléctricas a la entrada, que permiten generar aire caliente, el cual es llevado a través de la sección de bandejas. El gráfico 2.3 muestra un ejemplo de secador de bandeja.

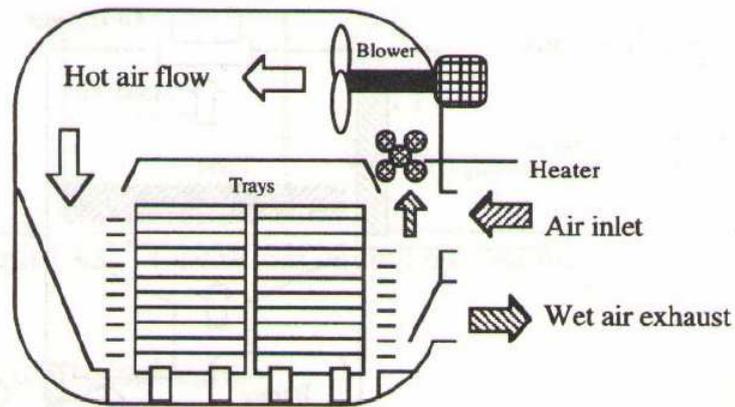


Gráfico 2.3: Secador de Cabina o Bandeja

Fuente: Ibidem

Elaboración: Autor

Ventajas del uso:

- Posibilidad de utilizar sistemas de calefacción directa ó indirecta.
- Fácil alimentación del producto (bandejas).
- La materia a secar se introduce en forma sólida ó en capas delgadas (1 a 6cm de espesor) en una bandeja.
- Una superficie grande de secado se compensa con una torre de varias bandejas.

Desventajas:

- Pérdida de calor para el secado, al utilizar calentadores indirectos.
- Adoptar la configuración o forma adecuada del secador para realizar una recirculación del aire caliente.
- Debido al flujo paralelo del aire entre las bandejas, el secado tiende a ser no uniforme.

2.2.4.3. SECADOR DE TÚNEL

Este tipo de secadores; los cuales se caracterizan por tener más de 24 metros de largo y una sección rectangular de casi 2 metros * 2 metros, consisten de una cabina equipada con rieles para mover unas cajoneras a lo largo de la cámara de secado. Un sistema de calefacción calienta el aire que entra a la cámara y este circula a través de las cajoneras con alimentos. En el Gráfico 2.4, se puede observar el funcionamiento de este tipo de secador.

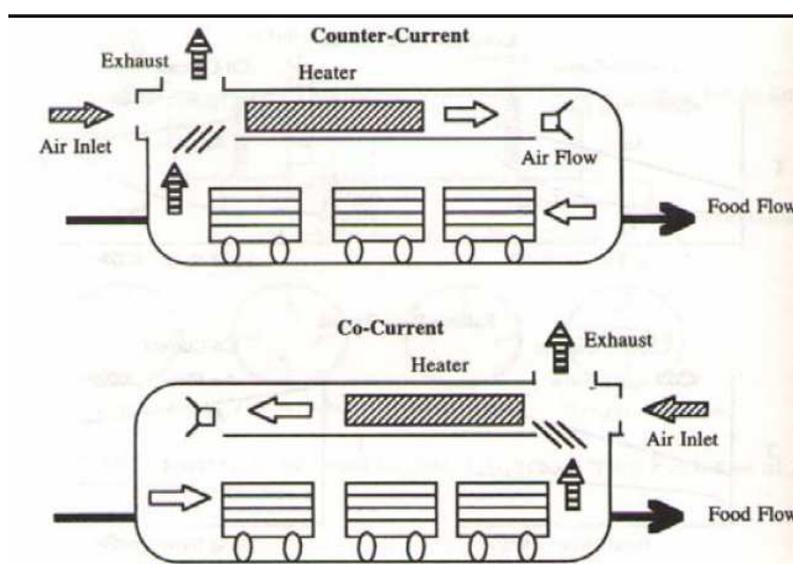


Gráfico 2.4: Secador de Túnel

Fuente: Ibidem

Elaboración Propia

Ventajas del uso:

- Posibilidad de utilizar sistemas de calefacción directa ó indirecta.
- Fácil alimentación del producto en la cámara de secado.
- El secado del producto es uniforme por el movimiento del producto.

Desventajas:

- Para secar materia con grandes cantidades de humedad el movimiento del transportador resulta muy lento.
- Se necesita un espacio físico muy largo para secar grandes cantidades.

2.2.4.4. FORMA DE OPERACIÓN

De acuerdo al investigador Cánovas, la forma de operar un secador, da lugar a dos alternativas:

Secado en tandas:

El producto es cargado en una sola tanda y la misma no se retira hasta que esté completamente seca. Todo el producto dentro del secador, va pasando de un estado húmedo, a un estado seco en forma paulatina. Permite un diseño más sencillo del proceso de carga y movimiento del producto dentro del equipo; por lo que resulta apropiado en secadores pequeños y medianos.

Secado continuo:

El producto, se va cargando y descargando en tandas parciales. Dentro del mismo secador, se encuentran una parte de producto húmedo y otra casi seca. El período entre cargas de las tandas, varía de acuerdo al diseño. En algunos casos la carga y descarga parcial, se realiza una vez al día. En otros casos, se puede llevar a cabo varias veces en el mismo día. Estos secadores pueden ser de convección natural o forzada.

2.2.4.5. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

La capacidad de producción, se define con relación al peso del producto fresco total, que se alimenta para ser secado. En general, cada tipo de secador solar, tiene un funcionamiento más apropiado en cierto rango de capacidad de producción. En la Tabla 2.1, se describen las características de algunos tipos de secadores más comunes, según la capacidad de su producción.

Tabla 2.1: Capacidad de producción de secadores

Capacidad de Producción	Modo de Calentamiento	Circulación de Aire	Forma de Operación
Pequeña o baja.	Directo	Convección Natural	En tanda
Baja o media	Directo	Acción del Viento	En tanda
		Convección Natural	En tanda
	Indirecto	Convección Natural	En tanda
En tanda	Indirecto	Forzada	En tanda
	Mixto o Indirecto	Convección Forzada	Continúa

Fuente: Ibidem

Elaboración: Propia

2.2.4.6. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Tabla 2.2: Selección de Alternativas para el sistema de Secado

Aspecto Alternativa	Factor	Horno		Bandejas		Túnel	
Facilidad de trabajo	10	8	8	8	8	8	8
Facilidad de Construcción	9	7	6,3	7	6,3	6	5,4
Costos de Fabricación	8	5	4	8	6,4	5	4
Ensamble de la estructura	8	6	4,8	7	5,6	5	4
Mantenimiento	7	6	4,2	6	4,2	6	4,2
Costo de material	7	6	4,2	7	4,9	5	3,5
Total			31,5		35,4		29,1

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

De acuerdo a lo que se ha podido analizar en lo que respecta al secador, se planteará un diseño basado en el planteamiento de secado por bandejas.

2.2.5. TIPOS DE MOLINO

2.2.5.1. MOLINO DE MARTILLO

El equipo más utilizado en la reducción de tamaño en la industria de alimentos balanceados, es el molino de martillos. El molino de martillos, reduce de tamaño las partículas, por impacto. La alta velocidad de los martillos, produce energía cinética, que se disipa en el material causándole desintegración. Las fuerzas de rozamiento, también pueden formar parte en la reducción de tamaño.

Este molino consta de una tolva alimentación con mecanismo de regulación de martillos fijos u oscilantes montados en un eje de rotación, de una criba y de un sistema de descarga, que puede ser por gravedad o por medio de un ventilador. Además por seguridad, debe tener un electroimán que impida la entrada de piezas metálicas que puedan dañar el molino.

La finura del molido, es controlada principalmente por el tamaño de los orificios de la malla; aunque también influyen las RPM del motor y la velocidad de alimentación.

La criba a través de la cual pasa el producto molido va montada debajo, sobre o alrededor de los martillos (estos no deben tocarla). La criba posee agujeros entre 0,75 mm y 1,0 mm.

Con una granulometría (tamaño de las partículas) fina, se consigue una mejor distribución de las partículas de los ingredientes usados en la fórmula haciendo que el consumidor final asimile de mejor forma los mismos.

En el Gráfico 2.5 se presenta un ejemplo de diagrama de un molino de martillo.

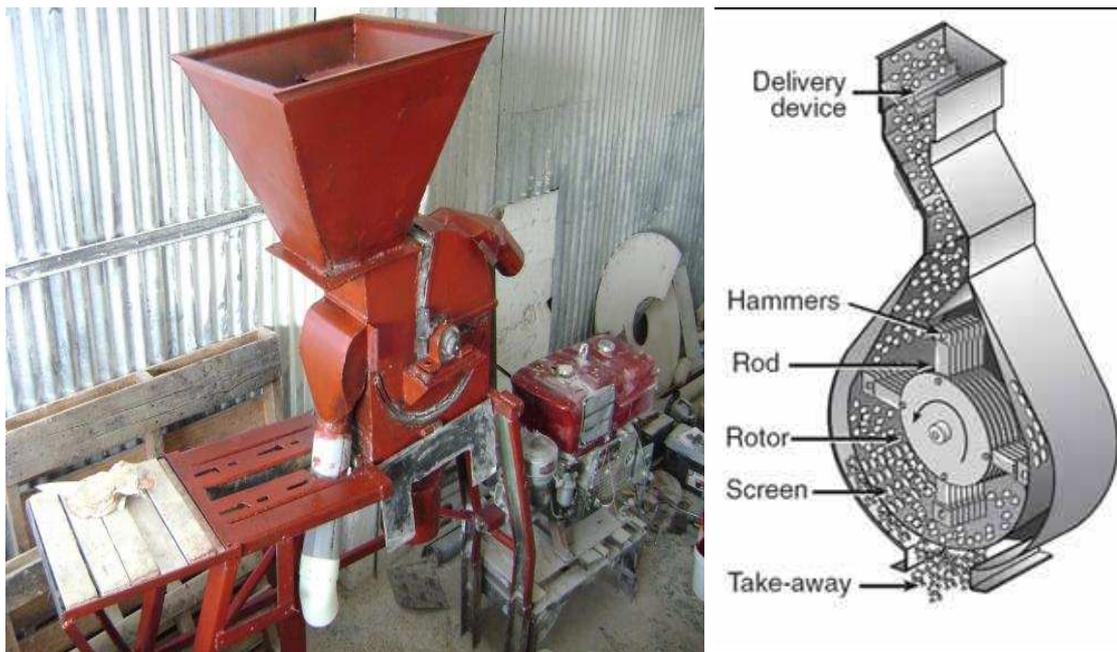


Gráfico 2.5: Molino de Martillos

Fuente: EDITORIAL GUSTAVO GILI, S.A. Manual del Ingeniero, Academia UTTE de Berlín. Barcelona.

Elaboración: Propia

Ventajas del uso:

- Muele indistintamente cualquier tipo de productos, simplificando el equipo a instalar en la fábrica (materias <<nobles>> y subproductos).
- Fácil manejo por el personal y requiere poca atención por parte de mantenimiento.
- Costo de la inversión inicial menor.
- La producción horaria, con una buena alimentación de material, evacuación del molido y control del estado de tamices y martillos, es mayor en el molino de martillos.
- Velocidad de giro: 3000 rpm, 1500 rpm o variable.
- Alimentación el producto: Única y centrada o múltiple y repartida.

Desventajas:

- Desgaste no uniforme de los martillos si no se dispone de un sistema de inversión de frecuencia para que el molido sea en los sentidos de rotación.
- Cambio de tamices.

2.2.5.2. MOLINO DE RODILLO

Este tipo de molinos, derivados del término inglés "roller mills", ofrece la ambigüedad de que no siempre son rodillos los que actúan como cuerpos moledores, puesto que dentro de este grupo se incluyen molinos que funcionan con bolas en vez de rodillos.

La definición que da la norma alemana DIN 24100 en la parte 2 "trituration primaria": "denominación de maquinaria" es la siguiente: "Máquina con pista de molienda circular. Sobre ella se mueven los cuerpos moledores (rodillos o bolas). Los cuerpos moledores presionan por su propio peso, por fuerza centrífuga, por resortes o por sistemas hidráulicos o neumáticos a la pista de molienda. Se pueden accionar tanto las pistas como los cuerpos moledores".

El origen del molino de rodillos hay que verlo en el molino de muelas verticales; ya utilizado en la antigüedad, en el cual los cuerpos moledores eran piedras unidas entre sí y colocadas sobre una pista circular. Las piedras, molían por su propio peso. En la mayoría de los casos, se utilizaban para moler trigo, pero también olivas y es muy probable que también se llegara a moler minerales.

Los molinos de rodillos, Gráfico 2.6, tradicionalmente suelen ser molinos de barrido por aire y normalmente tienen en su interior separadores de aire; por tanto son utilizados para moler muy fino, en circuito cerrado, secando simultáneamente el material (Molinos secaderos).

Entre los materiales que se pueden moler con este tipo de molinos, pueden citarse los siguientes: caliza, cal calcinada, talco, bauxita, magnesita, fosfatos, feldespato, baritas y otros como carbón, grafito y hasta pellets de turba. Desde hace algunos años, también se utilizan para la molienda de materiales muy duros y porosos y a la vez abrasivos, como son las escorias y el Clinker.

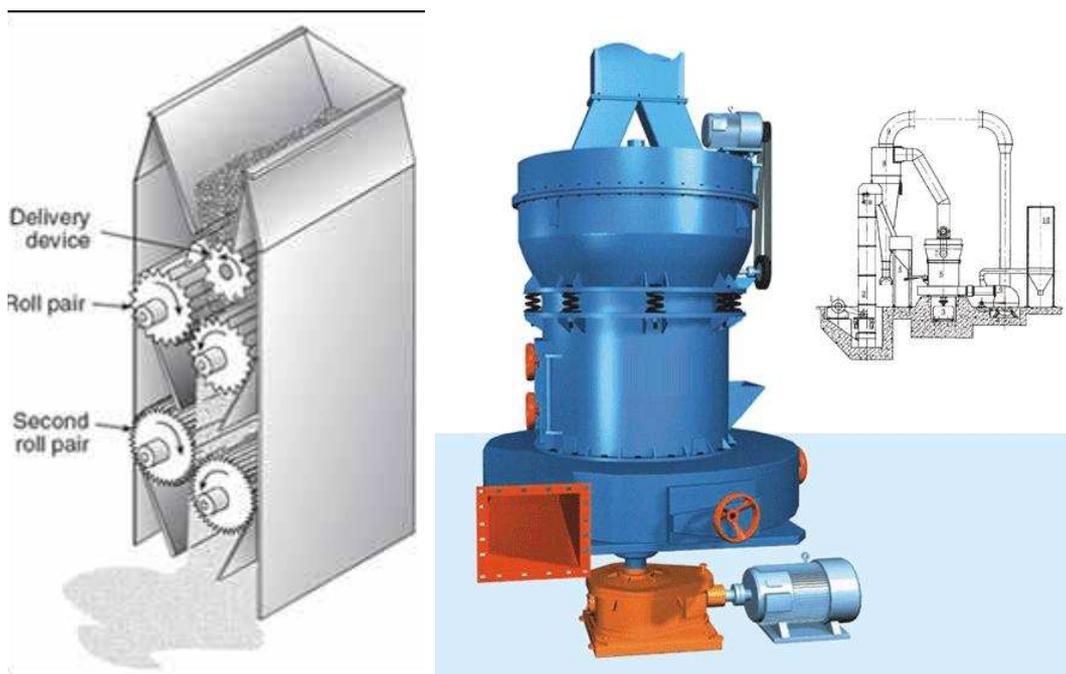


Gráfico 2.6: Molino de Rodillo

Fuente: Ibidem

Elaboración: Propia

Ventajas de uso:

- Permite que la cáscara se retire del grano.
- Un rodillo está sostenido por un soporte fijo, el otro se coloca en paralelo por medio de un resorte ajustable, de modo que la separación y, por lo tanto, la textura de molienda pueda ser adaptada.

Desventajas de uso

- Los cambios de camisas de los rodillos por su desgaste o por necesidad de obtener distintas granulometrías son más costosas que los cambios de tamices.

2.3. DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE SECADO

En el caso de la determinación de las Curvas de Secado, el presente trabajo se va a remitir a lo realizado por los autores Boulogne, Stephanie; Márquez, Elil; García, Yohn; Medina, Ana y Cayot, Philippe ENSBANA Dijon - Francia, 2

Departamento de Ciencias de los Alimentos, Grupo Ecología y Nutrición, Facultad de Farmacia y Bioanálisis, Escuela de Ingeniería. Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes – Venezuela quienes ya realizaron un estudio primario acerca de las curvas de secado de la lombriz basado de manera pragmática en un laboratorio de la Universidad guardando el proceso mostrado en el Gráfico 2.7.

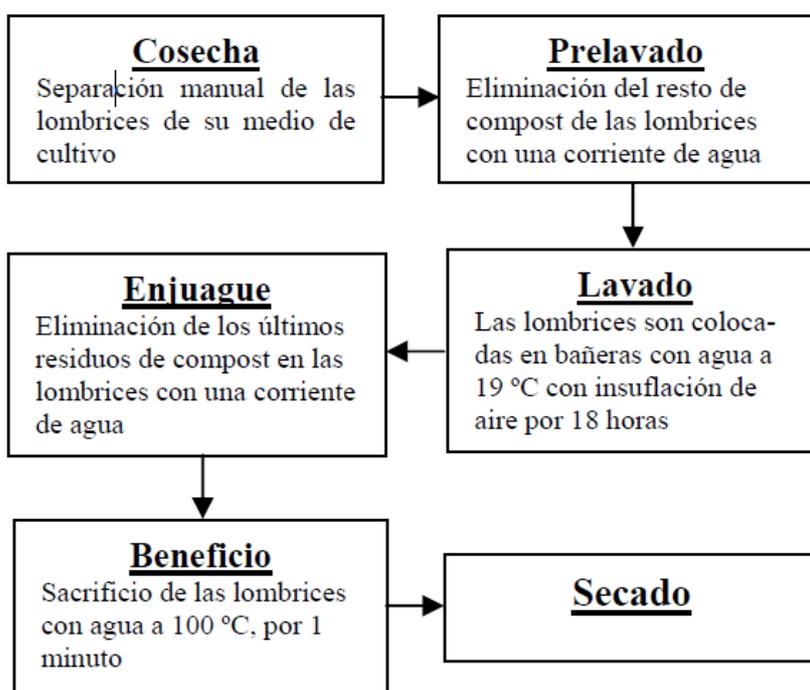


Gráfico 2.7: Proceso de secado de Lombrices

Fuente: AROLDO ARÉVALO-PINEDO, Obtención, evaluación físico-química y almacenamiento de la "harina de lombriz" de tierra (*Eisenia foetida*)

Elaboración: Propia

A continuación, se detalla de manera superficial el proceso realizado en la investigación de los expertos citados anteriormente, para determinar las curvas de secado de la lombriz:

2.3.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN DE LOS EXPERTOS

En el Gráfico 2.8 se muestran los resultados de las cinéticas de secado para las distintas temperaturas, en la estufa con ventilación y del mismo modo para el secador de bandejas a 60 °C, en ellas se puede observar, que el menor tiempo de secado hasta alcanzar la humedad de 12%, lo presentaron las muestras a temperaturas de 80 y 100 °C con un tiempo de 80 y 70 minutos respectivamente.

En la prueba ANOVA para las tres temperaturas estudiadas en la estufa con ventilación y se reporta que hay diferencia significativa de la influencia de la temperatura sobre el secado de la lombrices con un intervalo de confianza del 95% ($P=0,00 < 0,05$) y la prueba DUNCAN muestra que los tres valores de tiempo obtenidos para conseguir la humedad de 12 %, son diferentes y que, a medida que aumenta la temperatura de secado disminuye el tiempo en alcanzar la humedad requerida.

Ambos tipos de secadores, también fueron comparados (estufa ventilada y secador de bandejas a 60 °C). La prueba de STUDENT muestra que no hay diferencia significativa entre estos dos tipos secadores ($P=0,328 > 0,05$). Por lo tanto, no hay influencia del tipo de secador sobre el tiempo de secado.

En los análisis de proteínas, comprueba que la degradación de las mismas, es casi nula, ya que todas las muestras, presentaron el mismo orden de magnitud. Se realizó la prueba de STUDENT la cual, mostró que no hay diferencias significativas entre el contenido de proteínas de las harinas obtenidas, con los diferentes tipos de secadores ($P=0,862 > 0,05$).

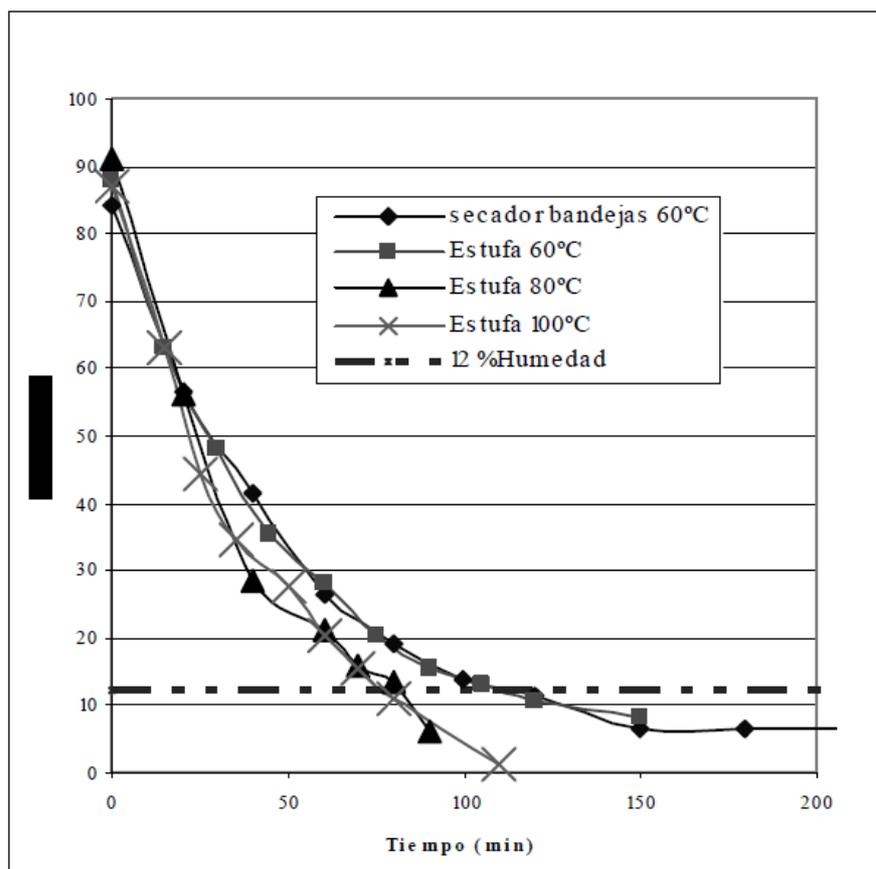


Gráfico 2.8: Curvas de Secado de Lombriz

Fuente: BOULOGNE, Stephanie y otros, Optimización de la operación de secado de la carne de lombriz (*Eisenia andrei*) para producir harina destinada al consumo animal, Madrid, 2008

Elaboración: Propia

Para conocer el efecto de la temperatura sobre el contenido de proteínas de las harinas, se realizó la prueba ANOVA en donde la hipótesis de igualdad de las medias, fue aceptada y, se determina que no hay diferencia significativa entre los resultados ($P=0,222 > 0,05$), como consecuencia, la temperatura de secado no tiene influencia significativa en el contenido de proteínas, ver Gráfico 2.9.

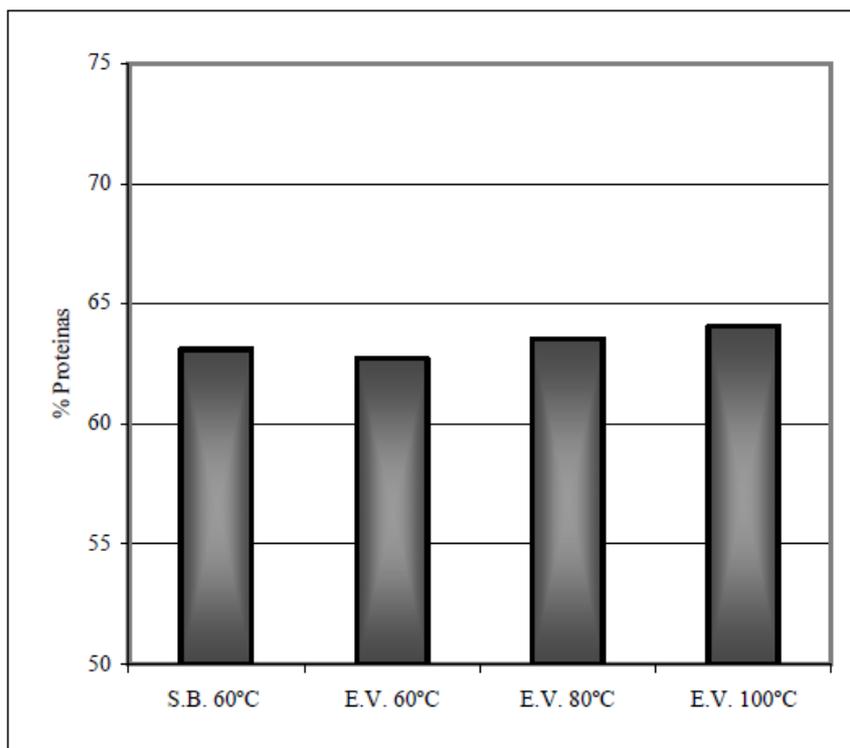


Gráfico 2.9: Comparativo de obtención de proteínas de acuerdo a temperaturas de secado

Fuente: BOULOGNE, Stephanie y otros, Optimización de la operación de secado de la carne de lombriz (*Eisenia andrei*) para producir harina destinada al consumo animal, Madrid, 2008

Elaboración: Propia

2.3.2. DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR Y MOLINO A UTILIZAR

Se trata de una carne roja; siendo una fuente de proteínas de bajo costo, de la que se obtiene harina con una gran cantidad de proteína y aminoácidos esenciales. La carne de la lombriz, se transforma, mediante distintos sistemas de secado, en una harina de altísimo valor proteico. Esta harina, se utiliza en alimentación humana, como complemento proteico en la elaboración de hamburguesas, picadillos y embutidos.

En alimentación animal, se emplea para preparar alimentos balanceados, aunque su riqueza mineral, es inferior a las harinas de pescado y su contenido en fibra es muy reducido.

Si la cosecha de lombriz, se destina a la producción de harina; es necesario separar las lombrices de su medio, empleando una malla de alambre tejido y posteriormente someterlas a baños especiales para eliminar bacterias y hongos indeseables.

Por último, son secadas al sol y molidas. El resultado final es un polvo de color amarillento que contiene de 60-82% de proteína animal es necesario de 8-10 kg de lombrices vivas para producir 1 kg de harina.

De acuerdo a lo que se ha podido observar en el capítulo primero del presente proyecto de investigación, uno de los principales mercados a los que se encuentra enfocada la producción de Balanceado dentro del Ecuador, es el mercado Avícola, el mismo que ha tenido un desarrollo importante en la última década.

Los beneficios que han sido encontrados en el uso de harina de lombriz dentro de la alimentación de pollos, entre otros han sido los siguientes: En gallinas ponedoras, determinaron el aumento de producción de huevos. En pollos parrilleros "broilers" observaron aumento de peso y mayor desarrollo de pechuga y muslo, con aumento de la masa muscular. Estas observaciones fueron confirmadas por el "Poultry Research Center" de Edimburgo.

En estos ensayos los pollos crecieron muy bien con buen peso ganado por unidad de alimento y excelente retención de nitrógeno alimentados con harina de lombriz, con niveles en la dieta, de 75-215 gr/kg de ración.

De acuerdo a la Organización Mundial del Alimentos (FAO en sus siglas en inglés), basados en información proporcionada por la Corporación Nacional de Avicultores del Ecuador CONAVE, la población de aves de corral en el país¹¹ es:

- 18.850.808 pollos Broilers en 1.223 Granjas X ciclo
- 1.550.971 Reprod. pesadas 41 Granjas
- 123.200 Reprod. livianas en 10 Granjas
- 7'940.606 Ponedoras Comerciales en 284 Granja.

La distribución de esta población de aves por provincia es muy heterogénea tendiendo a tener una polarización entre las provincias de Pichincha, El Oro y Manabí en donde concentran el 47,34% de las granjas en estado de producción plena, esto se puede en la tabla 2.3:

Tabla 2.3: Producción de Pollos y Gallinas Ponedoras en el Ecuador

Provincia	Número de UPAS	de Capacidad de Broilers	Número de Animales
Azuay	70	465,6	192,235
Bolívar	4	56,8	40,2
Cañar	44	427,15	234,35
Carchi	12	607,5	488
Cotopaxi	15	164	65,5
Chimborazo	38	1,414,000	1,201,870
El Oro	206	2,299,975	890,105
Esmeraldas	4	71,7	52,1
Guayas	80	7,639,800	5,951,900
Imbabura	68	1,960,180	776,623
Loja	61	558,85	251,96
Los Ríos	31	524,6	352,88
Manabí	127	1,733,350	759,76
Morona	15	39,135	11,5

¹¹ <http://www.rlc.fao.org/es/prioridades/transfron/aviar/paises/ecu.htm>

Santiago				
Napo		11	46,5	25,6
Pastaza		26	383,7	278,8
Pichincha		246	7,694,050	5,581,259
Tungurahua		62	667,8	398,35
Zamora		54	47,54	12,479
Chinchiipe				
Sucumbíos		7	49,9	19,707
Orellana		28	59,06	35,33
Zonas	en	14	1,472,000	1,230,300
conflicto 2)				

Fuente: FAO

Elaboración: Propia

De acuerdo a este planteamiento la principal cantidad de posibles beneficiarios del uso de los sistemas de producción de harina de Lombriz serían las provincias antes mencionadas.

Sin embargo para determinar la aplicación real de la máquina propuesta es necesario determinar dónde existen sistemas de producción de Lombriz ya establecidos con el fin de que se tenga la materia prima suficiente para la operación de la maquinaria.

De acuerdo a los investigadores Miguel Cueva Estrada y Patricio Salazar Benitez, en su proyecto “Lombricultura en la Península de Santa Elena para promover el cultivo de productos agrícolas con sello verde en base a lombricompuestos” los principales productores de Lombrices en el país se encuentran señalados en las tablas 2.4 y 2.5:

Tabla 2.4: Principales Productores de Lombriz en la Sierra del Ecuador

PRODUCTOR	UBICACIÓN DE INSTALACIONES	COMPRADORES	NUMERO DE CAMAS	TONS DE HUMUS AL AÑO	HAS. ABASTECIDAS AL AÑO
S.C.I.C. Lombricultura	Quito	floricultores horticultores	200	3048	245
Ec. Héctor Salvatierra	Ambato	agricultores en general	50	762	61
Proyecto El Inca	San Miguel/Riobamba	floricultores horticultores ganaderos	120	2745	220
Municipio y Universidad de Loja	Loja	agricultores en general	40	609	49
TOTAL			410	7164	575

Fuente: Lombricultura en la Península de Santa Elena para promover el cultivo de productos agrícolas con sello verde en base a lombricompuestos

Elaboración: Miguel Cueva Estrada y Patricio Salazar Benitez

Tabla 2.5: Principales Productores de Lombriz en la Costa del Ecuador

PRODUCTOR	UBICACIÓN DE INSTALACIONES	COMPRADORES	NUMERO DE CAMAS	TONS DE HUMUS AL AÑO	HAS. ABASTECIDAS AL AÑO
Conservera Guayas	Km14 Via Daule	autoconsumo	200	3048	245
Manuel Navía	Cerecita Via la Costa	Vecinos	40	609	49

Fuente: Lombricultura en la Península de Santa Elena para promover el cultivo de productos agrícolas con sello verde en base a lombricompuestos

Elaboración: Miguel Cueva Estrada y Patricio Salazar Benitez

De ahí que se puede encontrar que los principales centros de producción de igual manera se encuentran distribuidos en los sectores Sierra y Costa del país, es por ello que el diseño de la maquinaria tiene que considerar los ambientes de trabajo más adversos como lo son los ambientes con humedad como la Costa Ecuatoriana, de ahí que parte de sus parámetros de funcionamiento deberán ser:

2.3.2.1. AMBIENTE DE TRABAJO:

Para determinar el ambiente de trabajo se ha planteado el funcionamiento en lugares con condiciones adversas de uso de materiales metálicos, es así que como la maquinaria debería soportar una temperatura promedio de 25 °C y una humedad relativa promedio del 75%.

Se debe tener en cuenta que la máquina va a ser manipulada por un operario humano, a quien se debe ofrecer seguridad contra accidentes.

2.3.2.2. VIDA ÚTIL

La máquina está diseñada para vida infinita, el número de ciclos que debe soportar la máquina, sin fallar, debe ser mayor a 10^6 , por lo que se realiza los cálculos de los elementos a falla por fatiga.

2.3.2.3. TAMAÑO

El tamaño de la maquinaria debe ser planteado con de acuerdo al tamaño de la unidad de producción donde se desarrolla la actividad productiva, es por ello que en primera instancia se desarrollará el diseño de la misma para auto sustentar a las unidades productivas de broilers de pequeña escala, es decir UPAs (Unidades de Producción Agrícola) de una extensión inferior a 5 hectáreas y producción media anual de 120.000 pollos parilleros o "broilers".

2.3.2.4. MATERIALES

Se considera el uso de acero inoxidable para las partes donde existe un contacto directo con la semilla del cacao para evitar su influencia en la calidad del producto, además se debe verificar la resistencia de los materiales que estén expuestos a cargas que puedan hacer fallar el diseño.

2.3.2.5. PARÁMETROS DEL DISEÑO

Continuando con la determinación de la producción requerida para los elementos de la maquinaria, primero es necesario tomar en referencia el tipo de alimentación que requiere el mercado principal.

2.3.2.5.1. ALIMENTACIÓN DE “BROILERS”

La velocidad de crecimiento de los broilers continúa aumentando. El peso de mercado se alcanza 0,75 d antes cada año. Esto se ha conseguido en parte por un mejor conocimiento de las necesidades y porque más nutrientes se dirigen hacia crecimiento y menos hacia conservación. Sin embargo, estas velocidades de crecimiento más altas llevan otros problemas asociados. Actualmente se considera que la máxima velocidad de crecimiento del broiler no es siempre la más rentable.

Por ejemplo, la mayoría de los problemas de patas y de mortalidad debidos al síndrome de la muerte súbita y ascitis están relacionados directamente con la velocidad de crecimiento. Programas de alimentación dirigidos a ralentizar el crecimiento pueden ser beneficiosos en términos de kg de peso vivo comercializados por metro cuadrado de nave.

Otra área de interés actual en la nutrición del broiler es el efecto de la dieta sobre la composición de las presas y la producción de carne. Dado que el número de presas que son deshuesadas y posteriormente procesadas de una forma

determinada sigue aumentando, es evidente que deben desarrollarse programas de alimentación que permitan aumentar la rentabilidad.

En el pasado los trabajos de investigación se centraban en los cambios nutricionales para reducir el contenido en grasa de la presa. Recientemente el énfasis ha cambiado hacia maximizar la producción de carne, especialmente de pechuga.

Tabla 2.6: Valor relativo de la harina de lombriz en dieta de parrilleros

Proporción de aminoácidos (en %) de:					
Harina de Lombriz	harina de carne	cereales	Requerimientos (gr/kg. corporal)	Aminoácidos limitantes	Calidad química
50	0	50	21.8	arginina	92
60	0	40	20.9	arginina	96
70	0	30	20.1	arginina	100
80	0	20	19.3	arginina	103
90	0	10	20.5	treonina	98
0	50	50	23.6	lisina	85
0	60	40	22.6	histidina	89
0	70	30	22.8	isoleucina	88
0	80	20	24.5	isoleucina	82
0	90	10	26.4	isoleucina	76
Cereales: mezcla de trigo y cebada					

Fuente: Mekada, H., Hayashi N. (1979). Performance the growing and laying chickens fed diets, containing earthworms.

Elaboración: Autor

Estos antecedentes han provocado que varios expertos (los pioneros fueron los científicos Hoshi y Mekada en el año de 1978) realicen experimentos en función de cuál es el efecto de la Harina de Lombriz en su alimentación y cual es el aporte

de éste producto en los aminoácidos esenciales para el crecimiento y desarrollo productivo de los “Broilers”.

Considerando que el aminoácido de mejor calidad para la alimentación de los Broilers es la arginina, en la tabla anterior, la composición mas productiva para la producción de pollos parrilleros es la siguiente¹²:

- Peso promedio del Broiler: 1,5 – 1,8 kg
- Ración: 200 g.
- Porcentaje de proteína: 20%
- Composición de Proteína:
 - 30% de Harina de Lombriz
 - 70% de Harina de Soja

Conociendo estos valores y uniéndolos con lo planteado como mercado posible de la maquinaria:

- Tamaño de la UPA: ≤ 5 hectáreas
- Cantidad de Broilers: 120.000 anualmente (10.000 mensualmente)

Se obtiene que la capacidad de la maquinaria debe ser aproximadamente:

- $10.000 \text{ aves} * 0,2 \text{ kg c/ave} = 2000 \text{ kg/día}$
- el 30% del 20% = 6% harina de lombriz
- $2000 \text{ kg.} * 0,06 (6\%) = 120 \text{ kg de harina lombriz/día}$

Es por ello que el requerimiento de producción por hora deberá ser:

- $120 \text{ kg/día} / 8 \text{ horas diarias de operación} = 15 \text{ kg/h}$
- Número de granjas a ser atendidas= 6
- Producción neta requerida = 90 Kg/h

¹² Mekada, H., Hayashi N. (1979). Performance the growing and laying chickens fed diets, containing earthworms.

Consolidando esta información obtenida los parámetros del diseño de la máquina son (Tabla 2.7):

Tabla 2.7: Parámetros de Diseño

Temperatura	25°C
Humedad	75% de Humedad Relativa
Vida útil	Se plantea de vida útil infinita
Tamaño de UPA objetivo	≤ 5 hectáreas
Aves x UPA	120.000 anuales (10.000 mensualmente)
Requerimiento de Harina de Lombriz	120 kg por día
Granjas a ser atendidas con la máquina	6
Productividad requerida	90 kg/h

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

2.3.3. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Para el desarrollo del estudio de las alternativas de solución, se revisan patentes y equipos comerciales, en los cuales se hace alusión a procesos continuos y, cuyo material de trabajo son harinas o masas como la de la Lombriz seca. Se pudo constatar en todos los casos, el uso de los llamados husillos o tornillos para lograr la condición de continuidad. Adicionalmente, se advirtió que existen diversos tipos, acordes con el material que van a conducir y que la configuración geométrica del elemento de corte es crucial para asegurar un flujo correcto de producción.

En el Gráfico 2.10, se muestra un alimentador de tornillo de la marca Aquastar para la alimentación de peces. Consiste en una tolva con capacidades que van de 10 a 60 Kg.. Los rpm del tornillo son regulables; el tornillo esta hecho de acero inoxidable y la alimentación, es a través de una tubería desde 1 m hasta los 2 m. No hay más datos técnicos del equipo.

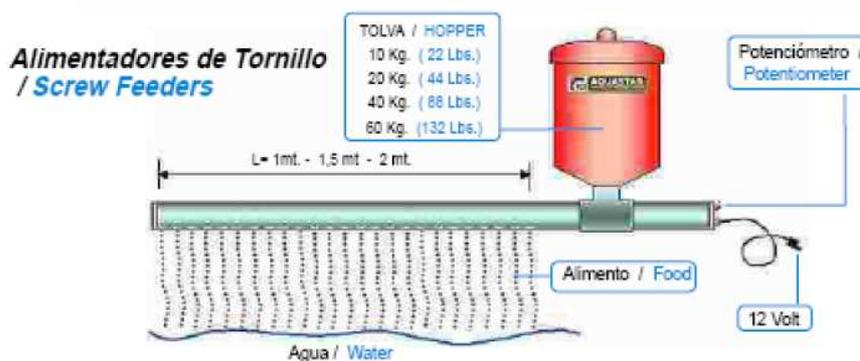


Gráfico 2.10: Alimentador de Tornillo para acuicultura

Fuente: USAID (Agencia de cooperación de Estados Unidos de América para el Desarrollo)

Elaboración: Propia

En el Gráfico 2.11, se tiene un alimentador de tipo volumétrico para harina de trigo que corresponde a un folleto comercial de la USAID (United States Agency International Development); consiste en una tolva de alimentación y un tornillo con un retromezclador que tiene la función de agitar la harina de trigo para mezclarla con otros productos. La toma de potencia, es mediante un motor acoplado a un reductor; sin embargo el flujo es conducido a una descarga para ensacar la harina producida. No hay datos técnicos acerca del sistema.

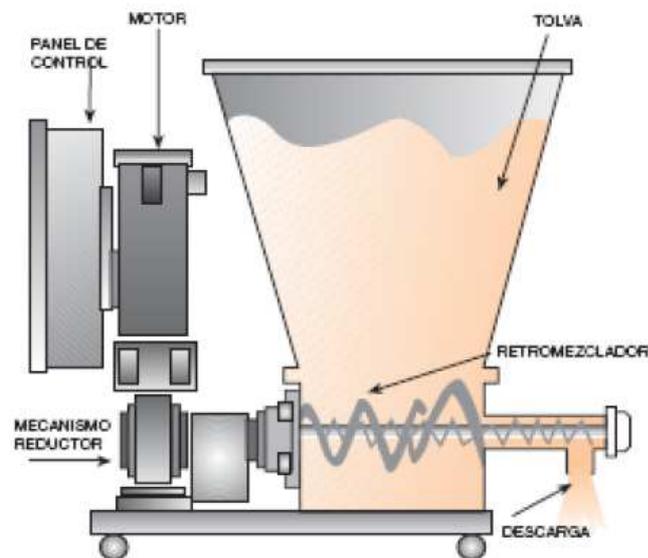


Gráfico 2.11: Molino Volumétrico de Tornillo

Fuente: Ibidem

Elaboración: Propia

Las lombrices, debido a su composición químico-biológica, poseen propiedades mecánicas no lineales, es decir, cambian debido a parámetros como el tiempo, temperatura, humedad y presión. En cuanto a los procesos más comunes que hacen uso de tornillos se tienen:

- alimentación
- transporte
- extrusión

Existe una gran variedad de molinos para producción de harinas y materiales similares, sin embargo, son pocos los que forman parte de un proceso integral, es decir, que cumplan con una función adicional a la de trituración. A continuación, se hace referencia a las patentes relacionadas.

En la patente US4221340, Dos Santos (1980), describe un método y aparato para producir masa. Indica que el método y aparato es para el procesamiento de maíz crudo y seco, para obtener masa para manufacturar tortillas y productos similares.

El aparato (Gráfico 2.12) ilustra el uso de un tornillo seccionado en dos partes. La sección del tornillo numerada como 15^a, tiene sesgo opuesto a la sección 15^b. Esta característica hace posible que los materiales alimentados por las tolvas numeradas como 13 y 14, viajen hacia el centro del tornillo, en donde se encuentra una placa perforada por donde la masa es forzada a fluir.

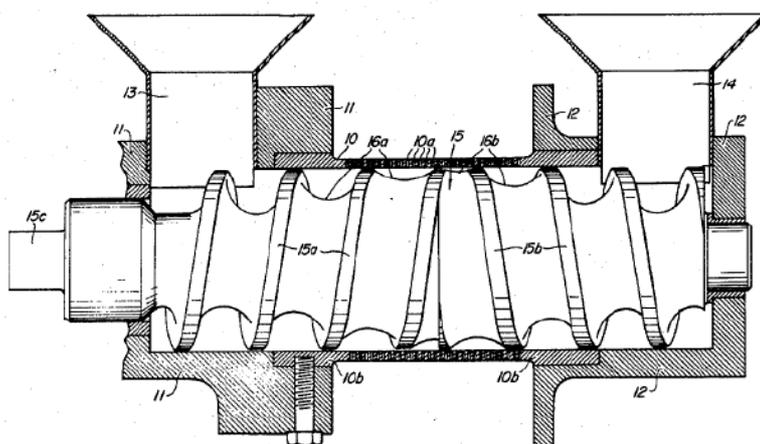


Gráfico 2.12: Molino para producir masa

Fuente: Patente US4221340, Dos Santos (1980)

Elaboración: Patente US4221340, Dos Santos (1980)

En la patente US4685628, Berrett (1987), describe un mecanismo para molienda de piezas de carne con hueso, aves y pescado. Estas piezas, descenden a través de una tolva para ser transportadas por un par de tornillos alimentadores hacia una abertura, esto se puede observar en el Gráfico 2.13.

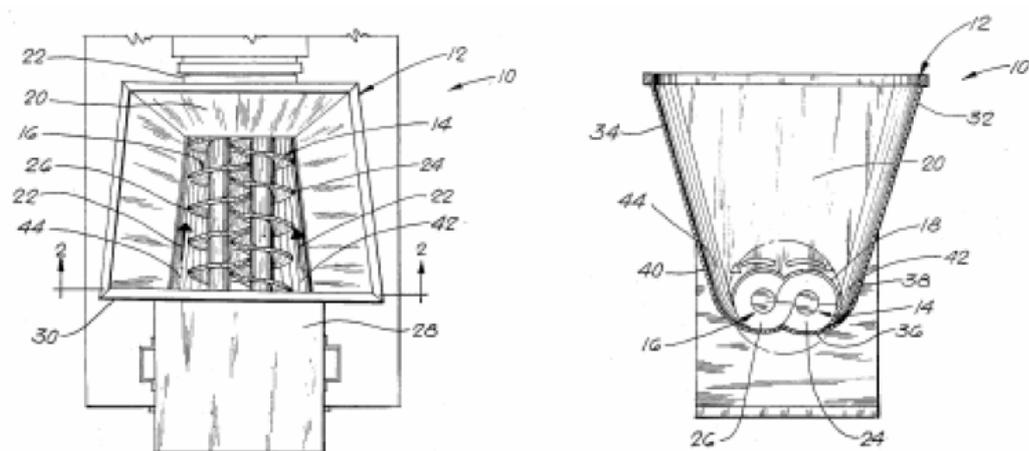


Gráfico 2.13: Molino Barret

Fuente: Patente US4685628, Berrett (1987)

Elaboración: Patente US4685628, Berrett (1987)

La tolva tiene paredes que convergen hacia los tornillos. Los tornillos alimentadores tienen giro opuesto, para hacer fluir la alimentación del material hacia la dirección de salida.

La patente menciona, que es preferible tener hélices traslapadas y con sesgo opuesto; además recomienda, que roten en direcciones opuestas para que transporten al material.

En la patente US5558886, Martínez (1996), se describe un aparato de extrusión para preparar harina fresca instantánea. Se indica que la masa, podría ser preparada en cortos tiempos de procesamiento, con bajo consumo de energía y sin generación de desecho, mediante la extrusión del material obtenido en su molienda, esto se puede observar en el Gráfico 2.14.

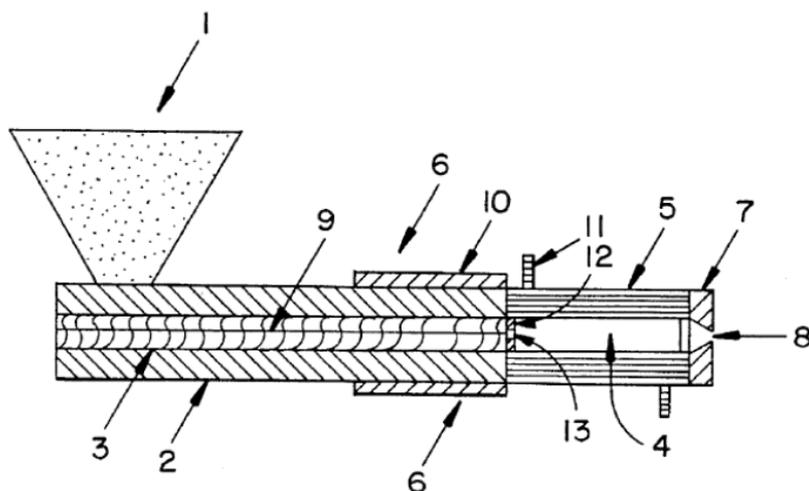


Gráfico 2.14: Molino Extrusor

Fuente: Patente US5558886, Martínez (1996)

Elaboración: Patente US5558886, Martínez (1996)

La patente indica, que los ingredientes son ingresados por la tolva (número 1). La mezcla, es transportada a presión por el tornillo marcado con el número 9. Durante el transporte, la mezcla es calentada homogéneamente mediante una chaqueta de calentamiento (número 10). Posteriormente, la masa cocida, es enfriada por una chaqueta de enfriamiento (número 5), y se hace fluir a través de un dado (número 7), para, finalmente ser expelida por la abertura marcada con el número 8.

La invención, menciona contenidos de humedad de la masa de hasta 58%. La temperatura de cocción en la chaqueta de calentamiento, es de 80 °C. La temperatura para enfriar en la chaqueta de enfriamiento, mencionan que es preferible entre los 50 °C y los 55 °C. La velocidad de giro del tornillo es de 35 rpm. El tiempo de residencia del material, es de 1.5 minutos y la relación de compresión del material, es de 4.

2.3.4. ALTERNATIVAS DE TRANSMICIÓN DE MOVIMIENTO PARA EL MOLINO

El molino necesita de un motor que habitualmente para estos propósitos es uno eléctrico, el mismo que debe transmitirle al eje del molino su giro y potencia, esto que se lo logra con un adecuado sistema de transmisión.

ALTERNATIVA 1: TRANSMISIÓN POR MEDIO DE BANDA

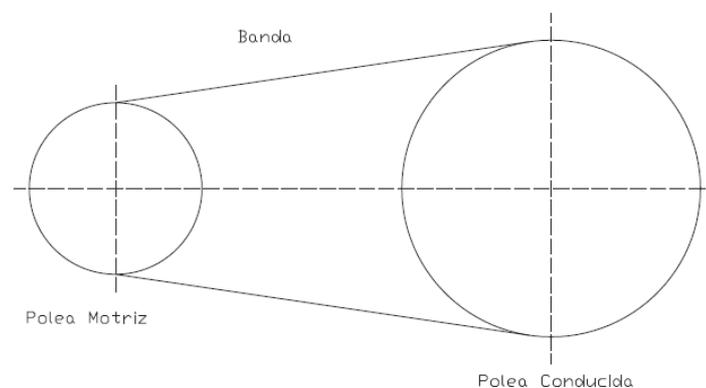


Gráfico 2.15: Sistema de Transmisión por Bandas

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

Ventajas de uso:

- Transmisión sencilla y de bajo costo.
- Funcionamiento de la transmisión es suave y sin ruidos.
- Transmiten potencia para grandes distancias entre centros.

Desventajas:

- Existen muchas pérdidas de potencia (3 – 5 %).
- Se reduce su potencia cuando es sometido a grandes cargas.
- Grandes dimensiones exteriores.
- Longevidad relativamente baja.

ALTERNATIVA 2: MOTORREDUCTORES



Gráfico 2.16: Motoreductor

Fuente: WEG

Elaboración: Propia

Ventajas de uso:

- Poca pérdida de potencia.
- Producción de ruido mínimo
- Reducción del espacio físico necesario para montaje.

Desventajas:

- Alto costo.
- Riesgos de desalineaciones con los demás elementos conducidos.

ALTERNATIVA 3: TRANSMISIÓN POR MEDIO DE CADENAS

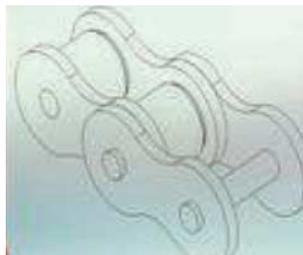


Gráfico 2.17: Modelo de Cadena

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

Ventajas de su uso:

- Considerables distancias entre árboles de transmisión.
- Se utiliza para transmisiones de dos o más ejes paralelos.

Desventajas:

- Existen pérdidas de potencia (2 - 3%).
- Costo elevado.
- Necesidad de un montaje y desmontaje minucioso.

2.3.5. GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Estudiando los tipos de molino que generan el mismo producto resultante, el presente diseño considera una estructura similar al principio de Molino de Garret cuya diagramación inicial se la encuentra en el Gráfico 2.18:

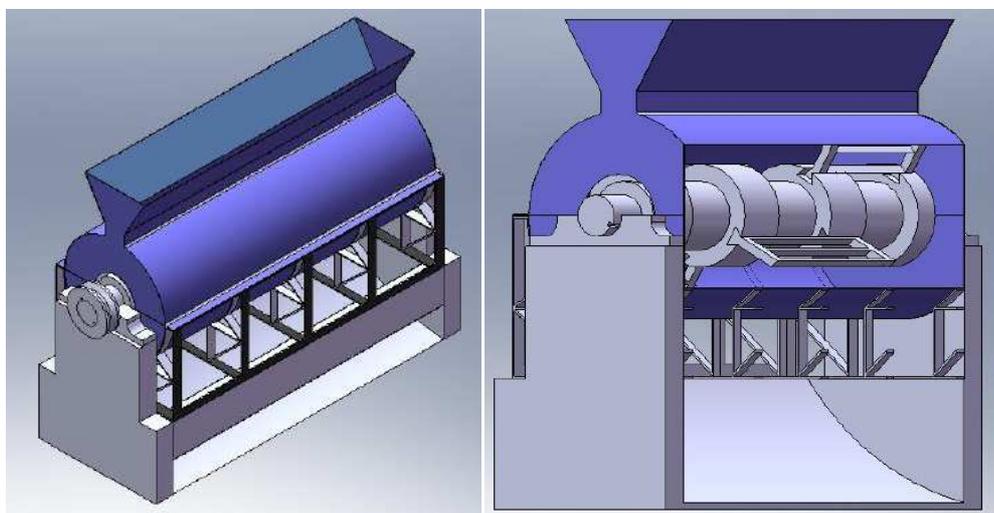


Gráfico 2.18: Alternativa de Solución

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

Con ello, el esquema de molienda (Gráfico 2.19), es el siguiente:

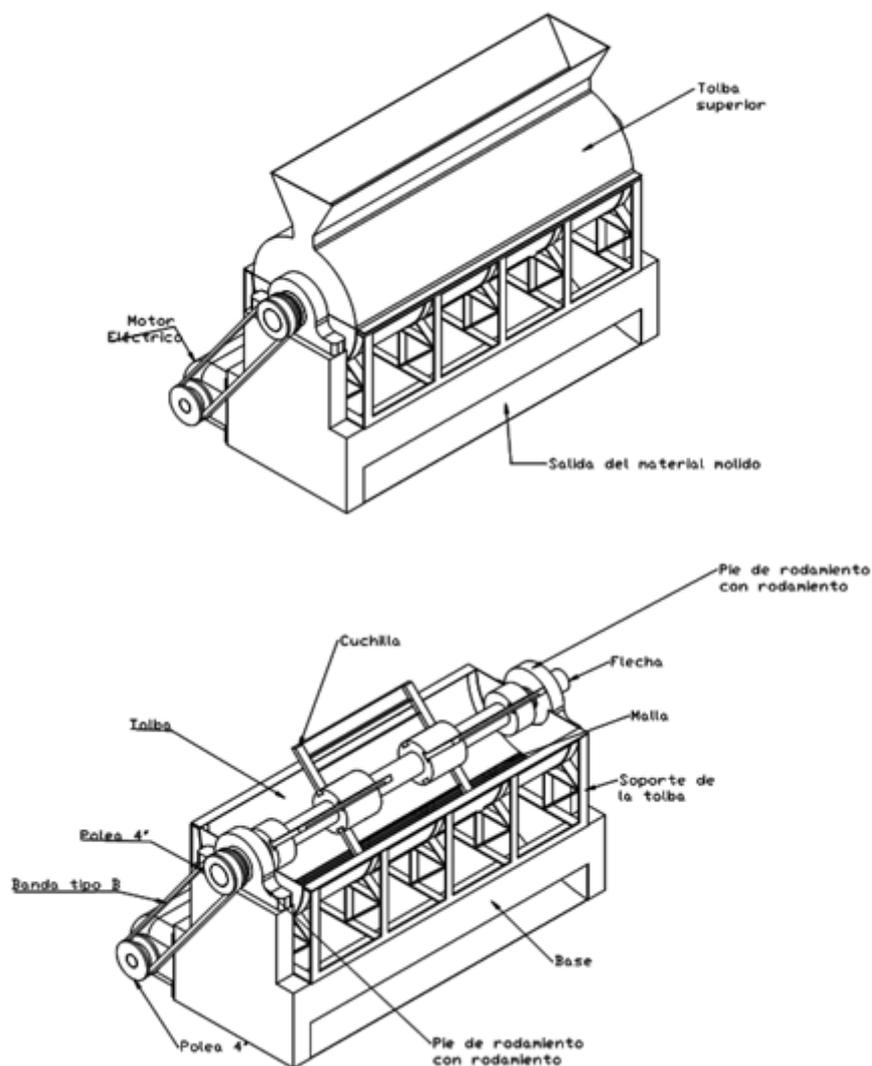


Gráfico 2.19: Esquema de Molienda

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

De acuerdo con Harper¹³ y con el catalogo 1090 de Martin Sprocket and Gear Inc., la parte central de la maquinaria es el eje de transmisión de movimiento a los cortadores. De esta forma, se decide adaptar una disposición mecánica de componentes semejante a la de las patentes. La configuración geométrica de las piezas de la maquinaria deberán guardar los principios enunciados en el siguiente capítulo.

¹³ Mott, R.L. 1992. Diseño de Elementos de Máquinas. Segunda edición. Prentice Hall

CAPITULO 3

DISEÑO DE LA UNIDAD DE LAVADO, SECADO Y MOLIENDA

3.1. DISEÑO DE LAS UNIDADES PROTOTIPO

3.1.1. LAVADORA DE LOMBRICES

De acuerdo a lo que se puede observar en el capítulo primero del presente documento, se requiere de un lavado con agua a leve presión para garantizar la total limpieza del producto, por lo que en esta etapa se utilizara un transportador mediante bandas.

3.1.1.1. TRAZADO DE RUTA Y DIMENSIONES

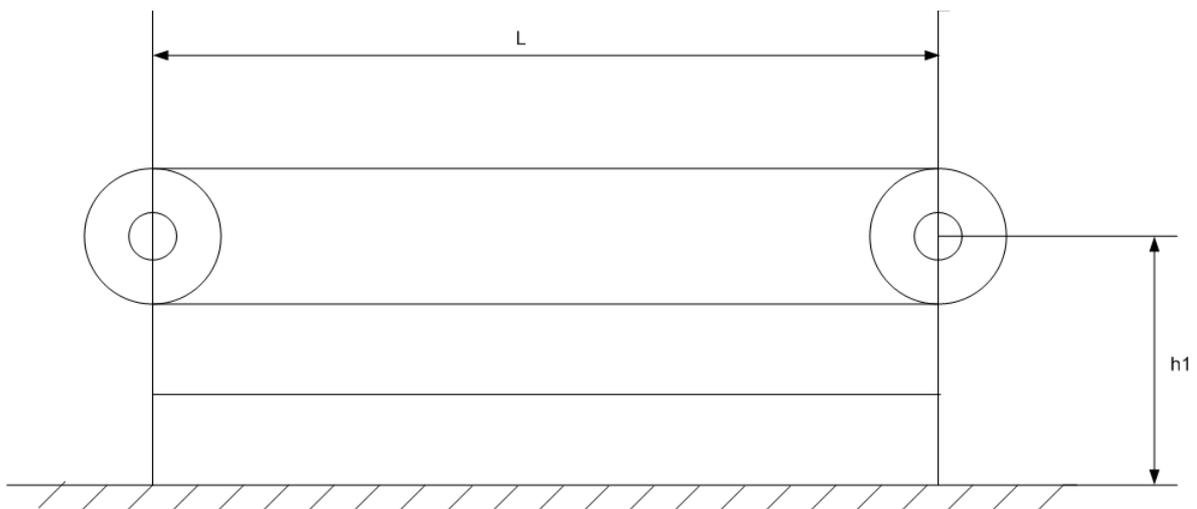


Gráfico 3.1: Diagrama de funcionamiento de la banda transportadora

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

Donde:

h1=h2: altura de descarga	(1 m)
h1: altura de carga	(1 m)
L: longitud de transporte	(3.35 m)
α : ángulo de transporte	(0 °)
v= velocidad del transportador	(0,1 m/s) valor asumido

3.1.1.2. CAPACIDAD DE TRANSPORTE

$$Q' = \frac{0,18}{1.102} = 0.1633m^3/h$$

3.1.1.3. ANCHO DEL TRANSPORTADOR

El transportador está conformado por una banda de transportación tipo malla que permita evacuar las impurezas de las lombrices y su transmisión de movimiento se realizará mediante un sistema motriz con un motorreductor, el ancho definido para su operación es de 50 cm

3.1.1.4. CÁLCULO DE TENSIONES

- Zona de Retorno

En esta zona la tensión está dada por:

$$T_2 = T_1 + [(qc' + qr) * L_H - (qc' + qr) * H]$$

Donde:

L_H = longitud horizontal o proyección del transportador

H= altura de pendiente

Reemplazando los valores de tiene la siguiente ecuación:

$$T_2 = T_1 + 27,58$$

- Zona Curvilínea

En esta zona de reenvío las tensiones son iguales debido a que es una transmisión de movimiento por bandas la que se va a utilizar.

$$T_3 = T_2$$

- Zona de Carga

En esta zona el Transportador recibe la las lombrices desde el lombricario mismas que alimentarán todo el sistema

$$T_4 = T_3 + \frac{C_1 * Q * v}{36}$$

Siendo:

$$1.3 \leq C_1 \leq 1.5$$

Dónde:

C_1 = Factor de mayorización (se toma $C_1=1,5$)

Q= Volumen de Lombrices que ingresan (t/h)

v= velocidad del transportador (0,1 m/s)

Por lo que se tiene la siguiente ecuación:

$$T_4 = T_3 + 0,00075$$

Además en esta zona se puede también establecer la siguiente ecuación:

$$T_5 = T_4 + (qc + qc' + qr) * L_H + (qc + qc' + qr) * H$$

Por lo que se obtiene:

$$T_5 = T_4 + 29,50$$

- En la polea motriz

Aquí se tiene una relación de tensiones lado tenso – lado flojo que va de 2 a 3, por lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$T_5 = 3 * T_1$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones tenemos los siguientes valores de tensiones:

$$T_1 = 28,58 \text{ kg.} \quad [\text{T min}]$$

$$T_2 = 56,16 \text{ kg.}$$

$$T_3 = 56,16 \text{ kg.}$$

$$T_4 = 56,16 \text{ kg.}$$

$$T_5 = 85,74 \text{ kg.} \quad [\text{T máx.}]$$

3.1.1.5. CÁLCULO DEL TENSOR

Por motivo de espacio y de ubicación se toma un tensor de tornillo.

$$T_t = T_3 + T_2$$

Por lo tanto:

$$T_t = 112,32 \text{ kg}$$

Tensor TIPO ZT4-2107 SERIE: 2000 NORMAL DUTY, tomado del catálogo de la REXNORD.

3.1.1.6. POTENCIA DEL MOTORREDUCTOR

De acuerdo a la ecuación

$$H = \frac{F \cdot v}{75 \cdot \eta} [cv]$$

Se tiene:

$$F = T_5 - T_1$$

$$n = \text{rendimiento motor eléctrico [80-90]\%} \quad (0,8)$$

Por lo tanto:

$$H = 0,09cv \quad (0,06 kw)$$

3.1.1.7. GRÁFICA DE TENSIONES

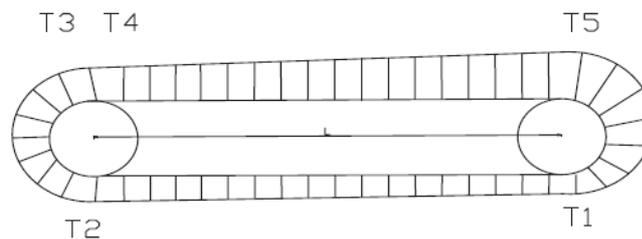


Gráfico 3.2: Tensiones en el sistema

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

3.1.1.8. SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR

La selección está en función de la potencia requerida y la velocidad de avance del transportador, según el catálogo de motorreductores SEW tenemos:

MARCA:	SEW
TIPO:	R 57 DT71C4
POTENCIA:	0,33 HP
VELOCIDAD DE SALIDA:	19 rpm
TORQUE:	1090 lb-in
FACTOR DE SERVICIO:	3,7
OHL (Fra.):	1790
RATIO (i):	89,71

Para la realización del lavado se plantea colocar un aspersor de agua en el inicio de la banda de transportación, al ser un proceso planteado en condiciones previamente establecidas, se tiene que el caudal de agua necesario para realizar el lavado es el siguiente:

PRESIÓN DE TRABAJO:	12,75 kgf/cm ²
CAUDAL PLANTEADO:	0,7 lps (2,52 m ³ /h).
RUGOSIDAD ABSOLUTA (Ks):	0,0015 mm

3.2. OPTIMIZACIÓN DEL SECADO DE LOMBRIZ

El sistema de secado propuesto, consiste en la cama de secado en base a la aplicación de aire caliente, para extraer la humedad de la lombriz que será

procesada, es por ello que se asume la aplicación de resistencia en un entorno cerrado que permita tener una temperatura de secado uniforme y controlada, de acuerdo a las curvas de secado del animal.

3.2.1. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA

Se desea alcanzar un 12% de humedad de las lombrices, es decir que del peso en agua del total de lombrices, será necesario extraer el 88%.

Peso del material = 10 Kg

% de agua = 80 % Presente en las lombrices

% de agua a secar = 88 % Para extraer de las lombrices

Masa de agua a

secar = 7,04 Kg

Temp. de secado = 80 °C

tiempo(t) = 1 h

$h_{fg80^{\circ}\text{C}}$ = 2304 Kj/kg

$$Q = (m_{\text{agua}} \cdot h_{fg80^{\circ}\text{C}}) / t$$

$$Q = 16220,16 \text{ Kj/h}$$

$$Q = 18432/3600 \text{ Kj/s}$$

$$Q = 4,5056 \text{ Kw}$$

3.2.2. LONGITUD DE LA RESISTENCIA

Comercialmente, se sabe que los diámetros comerciales disponibles para resistencias tubulares, son de: 1/4", 5/16", 3/8" 7/16", 1/2" , alimentación de 120v, 240v, 440v potencia de calentamiento proporcional a la longitud, aproximadamente 10 watts x cm. lineal, en acero inoxidable, 18 watts x cm. lineal en incoloy.

$$\begin{aligned} \text{Factor por pérdidas} &= 1,5 \\ Q_{\text{necesario}} &= Q * \text{Factor por pérdidas} \\ Q_{\text{necesario}} &= 6,7584 \\ \text{Longitud de la resistencia} &= \text{watts}/10 \text{ cm} \\ \text{Longitud de la resistencia} &= 675,84 \text{ cm} \\ \text{Longitud de la resistencia} &= 6,7584 \text{ m} \end{aligned}$$

Serán necesarios 7 metros de resistencia tubular, que funcionarán a 220 V para ahorrar gastos por energía eléctrica.

3.2.3. CIRCULACIÓN DE AIRE.

El calor obliga a la humedad presente en los gusanos a salir, pero esta humedad permanece presente en el aire, para optimizar el secador es necesario renovar el aire presente en la cámara, para evitar que este esté saturado de humedad y garantizar un adecuado secado.

Entonces, se establece un “número de renovaciones de aire”, que es el número de veces que en un tiempo determinado se ha cambiado totalmente el volumen de aire presente.

Los ventiladores comerciales, tienen para su selección su capacidad en CFM, pies cúbicos por minuto, así que se trabaja con estas unidades.

$$\text{Tiempo} = 1 \text{ h} \qquad 1\text{m} = 3,28 \text{ ft}$$

$$\text{Longitud} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 1,5 \text{ m} \qquad \text{Volumen} = 31,76 \text{ ft}^3$$

$$\text{Alto} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 0,9 \text{ m}^3$$

Cálculo del caudal

$$\text{Cambios Hora} = 3$$

$$\text{Caudal} = \frac{(\text{volumen} * \text{Cambios Hora})}{60} \text{ min}$$

$$\text{Caudal} = 1,59 \text{ CFM}$$

El caudal es muy pequeño, el aire caliente tiende a subir, así que se dejará un deflector en su parte superior para que se genere presión negativa, y deflectores a los costados a fin de que ingrese aire, la presión negativa obligará al aire que se encuentre en el exterior a entrar.

Una vez concluido el diseño, se realizan los correspondientes planos de taller y de montaje, los mismos que se presentan en los Anexos Ay B.

3.3. DISEÑO DEL MOLINO

De acuerdo a lo planteado, la Lombriz, entra al sistema de molienda con una humedad inferior al 2% aproximadamente, además su condición física es un tanto porosa y que tiende a desmoronarse.

Según datos que se ha obtenido por el estudio del investigador Aroldo Arévalo, citado en el capítulo anterior, la lombriz necesita una presión de aproximadamente 22000 kg/m²; esto si se considera que en la molienda a la lombriz se le somete a un proceso semejante al corte.

El producto final del procesamiento de la Harina de Lombriz, se requiere que sea una sémula lo más fina posible, mientras se alcance lo mencionado, serán mayores las utilidades que se le pueden dar tanto para el consumo humano y o para la alimentación de los Broilers.

El molino está provisto de una tolva de almacenamiento y abastecimiento de Lombriz seca, un sistema de molienda formado por un eje, placas con los pasadores de soporte para la distribución de las cuchillas separadas por su eje; además el molino consta con un tamiz para filtrado de la granulación, carcasa del molino, chumaceras, rodamientos, poleas y el motor eléctrico que proporciona la potencia y giro del conjunto de molienda.

Como antecedente para este punto del estudio, los cálculos se realizarán en función de la siguiente información:

- Material escogido para flecha AISI 1045
- Largo 1000 mm,
- Diámetro menor de la flecha 50 mm,

Para el movimiento de la flecha, se necesitará de un motor eléctrico, estos motores tienen una velocidad angular nominal de 1750 RPM, valor con el que se trabajará para la realización de los cálculos correspondientes.

3.3.1. CÁLCULO DEL NÚMERO DE CUCHILLAS

Para el cálculo del número de cuchillas, es necesario conocer la potencia necesaria que debe tener el motor del molino, en el caso del caudal se tomará como referencia lo obtenido como requerimiento en el capítulo anterior del documento, es decir 100Kg/h.

De acuerdo a Arévalo, la se conoce que la densidad de la lombriz es 924.6kg/m^3 . Entonces el caudal en toneladas que molerá el molino, es:

$$\delta = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{m}{\delta}$$

$$V = \frac{100}{924.6} = 0.1082\text{m}^3$$

De esto se obtiene que el caudal del Molino planteado es de 0.1082 m^3

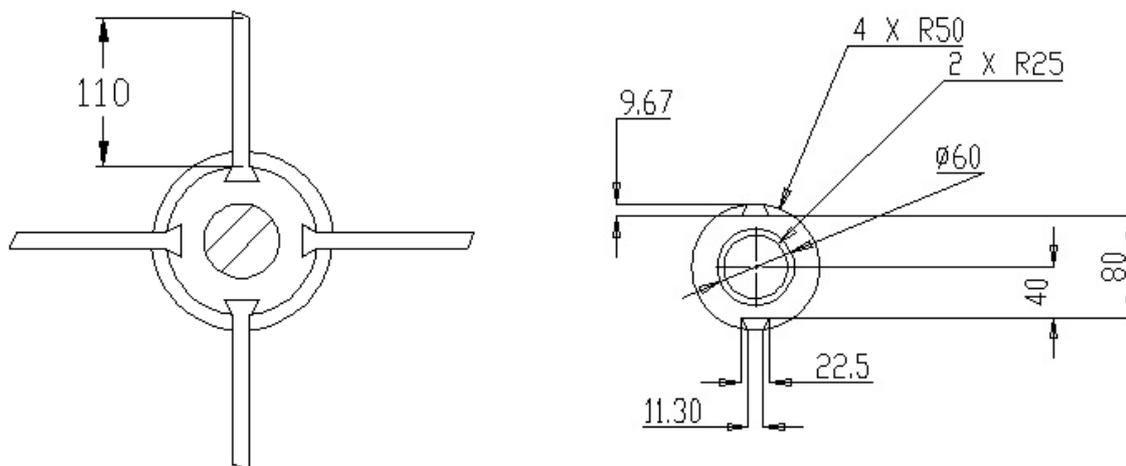


Gráfico 3.3: Diseño de Cuchillas

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

Se puede calcular la potencia necesaria mediante la fórmula siguiente:

$$N = (0.1 + 0.15) \cdot i \cdot Q$$

N: Potencia del motor, en CV.

i: Grado de desmenuzamiento.

Q: Caudal del molino, en t/h.

El grado de desmenuzamiento es la relación de la mayor dimensión lineal del material antes de su subdivisión (D_{max}), a la mayor dimensión lineal del material desmenuzado (d_{max}).

TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS: si las partículas tienen la misma dimensión el tamaño lo especifica cualquier lado de la misma. En el caso de que sean partículas irregulares, es decir, tengan una dimensión más grande que otra, su tamaño se determina tomando en cuenta la "segunda dimensión" principal más grande.



Gráfico 3.4: Tamaño de partículas

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

Igualmente, se puede utilizar el llamado "Diámetro promedio equivalente" ($D_{p,e}$), se define como, el diámetro de una esfera que tiene la misma relación volumen-superficie de la partícula real; esto es:

$$D_{pe} = \frac{D_p}{\lambda}$$

Se busca la semejanza que tiene la partícula con una de forma regular a la que si se le puede medir el diámetro directamente. Para nuestro caso $D_p=6\text{mm}$ aproximadamente, donde las lombrices tienden a una forma de cilindro. La tabla 3.1 proporciona el factor de forma para hallar un diámetro promedio efectivo de producción.

Tabla 3.1: Factores de Forma

Material	Factor de forma, λ	Material	Factor de forma, λ
Esferas, cubos, cilindros ($L=D_p$)	1.0	Arena de Cantos vivos	1.5
Arena de cantos lisos	1.2	Vidrio Triturado	1.5
Polvo de Carbón	1.4	Escamas de mica	3.6

Fuente: García, José Isidro, Fundamentos del Diseño Mecánico, Universidad del Valle, 2004

Elaboración: Propia

Entonces el diámetro promedio efectivo es:

$$D_{pc} = \frac{6\text{mm}}{1.0} = 6\text{mm}$$

El tamaño de las partículas que se desea es de 0.104 mm, para un tamiz Tyler 150, como se puede apreciar en la tabla 3.2

Tabla 3.2: Abertura de Tamiz

MALLA	ABERTURA DE TAMIZ (mm)
3	6,68
4	4,699
6	3,377
8	2,362
10	1,651
14	1,168
20	0,833
28	0,589
35	0,417
48	0,295
65	0,208
100	0,147
150	0,104
200	0,074

Fuente: García, José Isidro, Fundamentos del Diseño Mecánico, Universidad del Valle, 2004

Elaboración: Propia

Conociendo esto el grado de desmenuzamiento es:

$$i = \frac{6mm}{0.104mm} = 57.692$$

$$N=(0.13)*57.692*0.1082=0.000811 \text{ KW}= 0.604 \text{ HP} \cong 1 \text{ HP}$$

Adicional a la ecuación anterior, para la potencia del motor se tiene la siguiente:

$$N = \frac{G * R^2 * n^3 * e * f}{8 * 100000 * \eta}$$

G: Peso de una cuchilla, en kg.

R: Radio del círculo que describe la cuchilla, en m.

n: Número de vueltas por minuto del rotor, asumido 1750 rpm.

e: Número de cuchillas.

f: Factor dependiente de la velocidad de rotación de las cuchillas, cuyos valores figuran en la tabla XII.

Tabla 3.3: Factores de Forma para cuchillas

Velocidad tangencial m/seg	Factor f
17	0,0220
20	0,0160
23	0,0100
26	0,0080
30	0,0030
40	0,0015

Fuente: García, José Isidro, Fundamentos del Diseño Mecánico, Universidad del Valle, 2004

Elaboración: Propia

$$v = 1750 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi rad}{1 rev} * \frac{1 min}{60s} * 0.11m \cong 20.1586 \frac{m}{s}$$

n= Rendimiento mecánico de la transmisión (por pérdidas de trabajo en la misma)

$n_{mecanica}$ = eficiencia mecánica asumida de 0,8.

Se asume que la cuchilla cuenta con una densidad aproximada de 7900kg/m³.

Asumiendo a la cuchilla, como una platina se tiene su peso de:

$$w_m = 0.03 * 0.076 * 0.006m^3 * 7900kg/m^3 \approx 0.1081kg$$

El número de cuchillas, entonces son:

$$e = \frac{N * 8 * 100000 * 0.8}{G * R^2 * n^3 * f}$$

$$e = \frac{1 * 8 * 100000 * 0.8}{0.1081 * 0.11^2 * 1750^3 * 0.012} = 7,608053 \cong 8$$

Entonces serán 8 cuchillas que estarán distribuidas a lo largo de la flecha planteada y el motor se ha planteado con una potencia de 11/2 HP

3.3.2. DISEÑO DE LA TOLVA DE ALMACENAMIENTO

Con la carga que resulta desde el secador por hora se calcula la masa de Lombriz seca que se va almacenar en la tolva y abastecer al molino por hora, tomando en cuenta que estos molinos pueden moler tranquilamente 100 Kg por hora.

$$Q = \frac{100kg}{h} * \frac{12\%}{80\%} = 15kg/h$$

Entonces se construye una tolva para 50kg de lombriz seca, en caso de aumentar la capacidad de molienda. La tolva será entonces diseñada en base a una carga requerida a ser molida en un intervalo de tiempo adecuado. Con la suposición si en una hora se puede moler un promedio de 100 Kg/h, para nuestra conveniencia la tolva debe suministrar 15kg cada 10 minutos al molino.

Se tiene la densidad de la lombriz seca:

$$\delta_l = 1026.7 \text{ kg/m}^3$$

Volumen que ocupa esa carga en la tolva, es:

$$V = \frac{15kg}{1.0267kg/m^3} = 14.61m^3$$

Además la configuración geométrica usual de tolvas en los molinos, es tipo tolva plana; entonces el caudal que debe suministrar la tolva al molino es:

$$V = \frac{15kg}{10min} = 1.5 \frac{kg}{min}$$

En la figura siguiente se puede apreciar los tipos de tolvas y la disposición del ángulo con la vertical θ , para tomar en cuenta en la descarga del material.

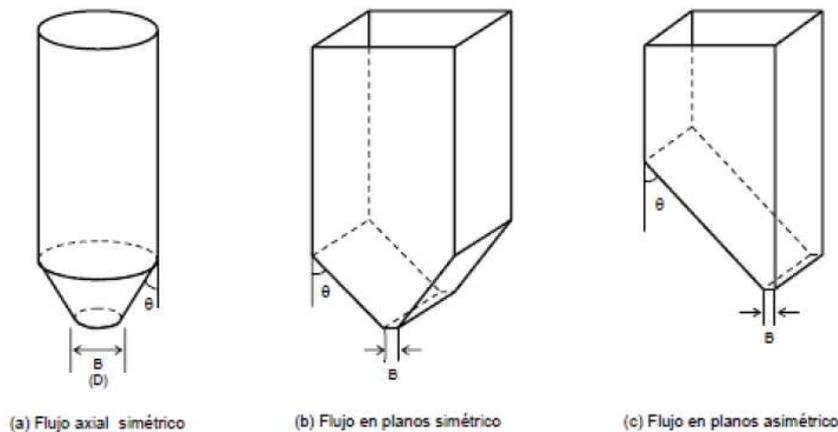


Gráfico 3.5: Geometría de Tolvas

Fuente: García, José Isidro, Fundamentos del Diseño Mecánico, Universidad del Valle, 2004

Elaboración: Propia

En el gráfico 3.6, se muestran los valores que pueden tener tanto el ángulo θ con la vertical, como el ángulo de fricción del material con la pared ϕ y el ángulo efectivo de fricción interna δ .

Si el ángulo con la vertical se tomara de 65° , esto sería cuando la materia a moler no presente un ángulo de fricción con la pared de la tolva, $\phi=0^\circ$, lo que es un imposible. Pero se toma el valor que puede provocar el maíz con la pared de una

chapa galvanizada puesto que es la máxima que se dispone en tablas, la misma que sería $\phi=20.3^\circ$, según la tabla XIV, para ajustarlo con la materia prima a utilizar.

Tabla 3.4: Ángulo de rozamiento estático del grano con la pared.

CEREAL	SUPERFICIE				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Cebada	12,5	11,30°	17,20°	29,70°	27,00°
	14,4	18,80°	21,30°	31,80°	28,80°
Semilla de lino	8,6	13,00°	18,80°	16,20°	19,80°
	11,4	14,00°	23,30°	24,70°	28,00°
Coiza	8,7	11,30°	18,80°	18,80°	18,80°
	12,5	13,00°	19,80°	19,80°	20,80°
Maíz	9,0	13,50°	17,20°	30,50°	31,80°
	12,2	20,30°	20,30°	34,20°	33,00°
Soja	9,0	10,20°	19,80°	25,20°	20,30°
	11,0	11,30°	23,30°	28,80°	24,50°
	13,4				
Trigo	10,6		17,20°		28,80°
	11,5	8,00°		27,50°	27,00°
	13,0	15,00°	20,80°	28,80°	27,00°
	13,6	18,20°		34,20°	34,60°

(1) Contenido de humedad. (2) Chapa galvanizada. (3) Madera de abeto. (4) Revestimiento con paleta metálica. (5) Madera de baja densidad.

Fuente: García, José Isidro, Fundamentos del Diseño Mecánico, Universidad del Valle, 2004

Elaboración: Propia

Descarga Natural en Silos

Los límites de flujo en masa y flujo tipo embudo para tolvas cónicas y para tolvas planas dependen del ángulo con la vertical θ , el ángulo efectivo de fricción interna δ y el ángulo de fricción con la pared ϕ

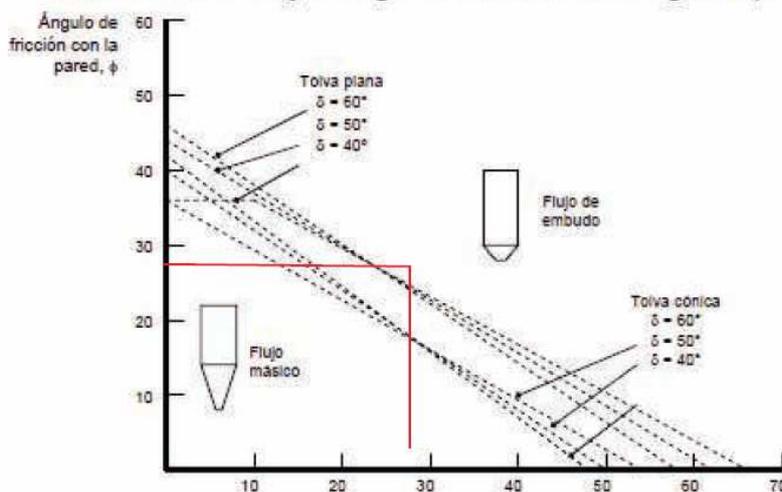


Gráfico 3.6: Valor del ángulo θ

Fuente: García, José Isidro, Fundamentos del Diseño Mecánico, Universidad del Valle, 2004

Elaboración: Propia

Según la figura anterior se tendría un ángulo con la vertical de $\theta=28^\circ$ con cualquier ángulo efectivo de fricción interna $\delta=60^\circ, 50^\circ, 40^\circ$ para tolvas de flujo en planos, pero por cuestiones de asegurar la descarga de la lombriz desde la tolva al molino, se toma $\theta=25^\circ$, anteriormente mencionado.

Soporte de la Tolva

En el caso del soporte de la tolva planteada, será construida con platinas de acero AISI 1020, la estructura soportará el peso de la tolva de acero inoxidable, 3,45 kg.

3.3.3. DISEÑO DEL EJE

De acuerdo al trabajo que realizarán los elementos dentro del diseño de la maquinaria, los cálculos de torque y fuerza son:

De

TORQUE

Potencia =	1 1/2	HP
Diámetro de polea motor =	4	plg
Diámetro de polea eje =	4	plg

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Torque} \times \text{Velocidad Angular}}{9550}$$

$$\text{Torque} = \frac{\text{Potencia} \times 9550}{\text{Velocidad Angular}} = F \times r$$

Potencia =	1,12	W
Velocidad del motor =	1750	RPM
Velocidad del eje =	1750	RPM
Radio de la polea =	0,0508	m

$$\text{Torque} = 6,098357 \text{ N.m} = F \times r$$

$$F = \frac{\text{Torque}}{\text{radio}}$$

$$F = 120,0464 \text{ N}$$

El motor eléctrico de 1½ Hp, aplicará entonces una fuerza de 120N sobre la flecha determinada para el eje.

3.3.3.1. ANÁLISIS DE CARGAS ESTÁTICAS

En el gráfico 3.15, se observa claramente la distribución del peso del eje, el peso de las cuchillas, la fuerza ejercida sobre la flecha a causa del motor eléctrico, y el peso de la polea que guiará una banda.

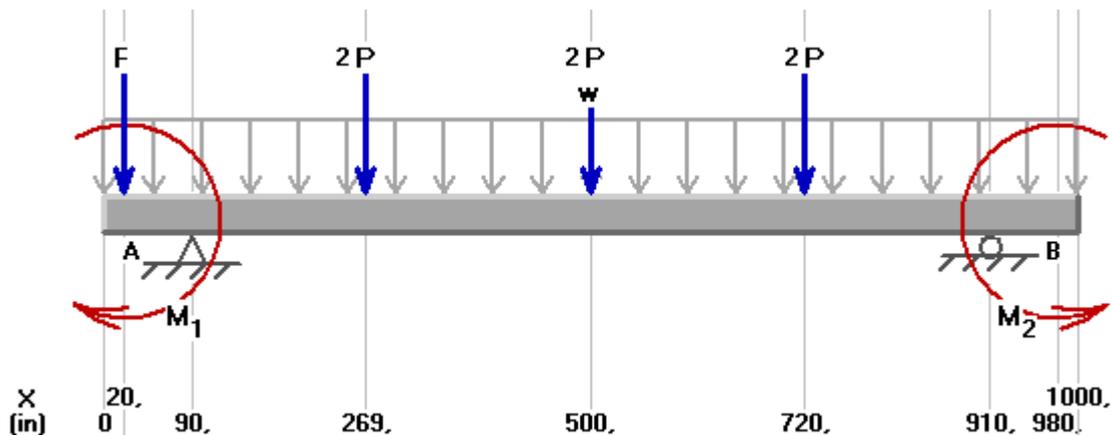


Gráfico 3.7: Análisis de cargas estáticas

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

De ahí que considerando los elementos que ejercerán momentos y tensiones en el eje se obtiene:

Polea	$m_p = 1,8 \text{ kg}$	$P_p = 17,6 \text{ N}$
Cuchilla	$m_c = 1,5 \text{ kg}$	$P = 15,1 \text{ N}$
Eje	$W = 76 \text{ kg}$	$W = 745 \text{ N}$
		$F = 120 \text{ N}$
		$x_1 = 0,09 \text{ m}$
		$x_2 = 0,26 \text{ m}$

$$x_3 = 0,5 \text{ m}$$

$$x_4 = 0,75 \text{ m}$$

$$x_5 = 0,91 \text{ m}$$

Dónde :

P_p = Peso de la polea

P = Peso de la cuchilla

W = Peso del eje

X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 = Distancias desde el punto A hasta los centros de masa.

$$\Sigma F_y = 0$$

$$0 = A_y + B_y - P_p - F - 2P - 2P - W - 2P$$

$$H = P_p + F + 6P + W$$

$$H = 973$$

$$0 = A_y + B_y - H \quad \text{Ec. 1}$$

$$\Sigma M_y = 0$$

$$0 = A_y \cdot x_1 - 2P \cdot x_2 - 2P \cdot x_3 - w \cdot x_3 - 2P \cdot x_4 + B_y \cdot x_5$$

$$0 = A_y \cdot x_1 + B_y \cdot x_5 - 2P(x_2 + x_3 + x_4) - w \cdot x_3$$

$$J = 2P(x_2 + x_3 + x_4) + w \cdot x_3$$

$$J = 418$$

$$0 = A_y \cdot x_1 + B_y \cdot x_5 - J \quad \text{Ec. 2}$$

Reemplazo Ec.2 en Ec.1

$$\text{Ec. 1 } A_y = H - B_y$$

(H -

$$\text{Ec. 2 } 0 = B_y \cdot x_1 + B_y \cdot x_5 - J$$

Hx1 -

$$0 = B_y x_1 + B_y \cdot x_5 - J$$

$$0 = Hx_1 - B_y(x_1 - x_5) - J$$

$$B_y = \frac{H \cdot x_1 - J}{x_1 - x_5} \quad A_y = H - \frac{H \cdot x_1 - J}{x_1 - x_5}$$

$$B_y = 403 \text{ N} \quad A_y = 570 \text{ N}$$

De los resultados obtenidos se puede ver que el punto A, es el crítico y donde se debe tener cuidado en la selección del elemento de rodamiento.

Cálculo de esfuerzos

Diámetro menor del eje	
50	mm

Cortante puro

$$F_m = 120,05 \text{ N}$$

$$W = m \cdot g / A$$

$$F_p = 38 \cdot 9,8 \text{ N} = 372 \text{ N}$$

$$F_T = F_m + W$$

$$F_T = 492,4 \text{ N}$$

$$T_{\max} = 6,10 \text{ N.m}$$

$$d = 0,085 \text{ m}$$

$$s = \frac{F}{A}$$

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$A = 1963,495 \text{ mm}^2$$

$$s = 0,2508 \text{ MPa}$$

Cortante en torsión

Cortante en flexión

$$T = \frac{T_{\max} \times r}{I}$$

$$s = \frac{M \times r}{I}$$

$$\begin{aligned}
 I &= p \cdot d^4 \cdot 1/64 & M &= F \cdot d \\
 I &= 3,068E-07 \text{ m}^4 & M &= 41,8579 \text{ N.m} \\
 \tau &= 496938,85 \text{ N/m}^2 & s &= 3410892 \text{ N/m}^2 \\
 T &= 0,4969388 \text{ MPa} & S &= 3,41089 \text{ MPa} \\
 T_m &= 0,2484694 \text{ MPa} & S_m &= 1,70545 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tensión cortante producida por
esfuerzos cortantes

$$t_{\max} = \frac{4V}{3A}$$

$$A = \pi \cdot r^2 \quad \text{mm}^2$$

$$A = 1963,495$$

$$t_{\max} = 0,3344 \text{ MPa}$$

Tensión cortante producida
por momentos torsores

$$t_{\max} = \frac{16T}{\pi \cdot d^3}$$

$$T = 6,098 \quad \text{N.m}$$

$$t_{\max} = 248469,4231 \text{ N/m}^2$$

$$t_{\max} = 0,248469423 \text{ MPa}$$

3.3.3.2. FACTOR GEOMÉTRICO DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS

El cambio de sección inmediato en el modelo propuesto, irá de 50 mm a 60 mm

$$D = 0,3 \quad r/d = 0,02$$

$$d = 0,25$$

$$r = 0,005$$

$$D/d = 1,2$$

Factor de concentración de esfuerzo a torsión

$$k_{ts} = A \cdot (r/d)^b$$

$$k_{ts} = \mathbf{2,799}$$

D/d	A	b
2	0,8633	-0,2387
1,33	0,849	-0,2316
1,2	0,8343	-0,2165
1,09	0,9034	-0,1269

Factor de concentración de esfuerzo a flexión

$$K_t = A \cdot (r/d)^b$$

$$K_t = \mathbf{2,278}$$

D/d	A	b
2	0,9088	-0,286
1,5	0,9384	-0,2576
1,2	0,971	-0,218
1,1	0,9512	-0,2376

Número de ciclos esperados

$$\text{Años} = 5$$

$$\text{Meses} = 12$$

$$\text{Días al mes} = 20$$

Horas

$$\text{diarias} = 8$$

$$\text{RPM} = 1750$$

$$N = \text{RPM} \cdot \text{Horas diarias} \cdot 60 \text{min} \cdot \text{días al mes} \cdot \text{Meses} \cdot \text{años}$$

$$N = 1\text{E}+09, \text{ entonces } S'e = 0,5 S_{ut}$$

Componentes alternantes y medios de los esfuerzos

$$s_a = K_f \cdot s \qquad K_f = 2,207$$

$$s_a = 7,526 \text{ MPa}$$

$$s_m = 3,763 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = K_{fs} \cdot \tau$$

$$\tau_a = 1,341 \text{ MPa} \qquad k_{fs} = 2,699$$

$$\tau_m = 0,671 \text{ MPa}$$

Esfuerzos efectivos de Von Mises

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_{xa}^2 + \sigma_{ya}^2 - \sigma_{xa}\sigma_{ya} + 3\tau_{xya}^2}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_{xm}^2 + \sigma_{ym}^2 - \sigma_{xm}\sigma_{ym} + 3\tau_{xym}^2}$$

$$s'_a = (7,56^2 + 3 \cdot (1,34)^2)^{1/2}$$

$$s'_a = (3,76^2 + 3 \cdot (0,7)^2)^{1/2}$$

$$s'_a = 7,87 \quad \text{MPa}$$

$$s'_a = 3,94 \quad \text{MPa}$$

3.3.3.2.1.

Eje de acero AISI

1045

Sut = 565 MPa

Syt = 310 MPa

$$S'e = 0,9 \cdot Sut = 508,5$$

$$C_{\text{carga}} = 1 \quad \text{Ya que no existen cargas axiales}$$

$$C_{\text{tamaño}} = 1,189 \cdot d^{-0,097} = 0,81354534$$

$$C_{\text{superficial}} = 0,9 \quad \text{Pulido comercial}$$

$$C_{\text{temperatura}} = 1 \quad \text{Temperatura inferior a } 450^\circ\text{C}$$

$$C_{\text{confiabilidad}} = 0,814 \quad \text{Confiability del 99\%}$$

$$S_e = C_{\text{carga}} \cdot C_{\text{tamaño}} \cdot C_{\text{superficial}} \cdot C_{\text{temperatura}} \cdot C_{\text{confiabilidad}}$$

$$S_e = 303,067688 \quad \text{MPa}$$

Cálculo del factor de seguridad

Relación cuando A es
constante

$$A = s_a / s_m$$

$$A = 2$$

Esfuerzo medio

$$S_m = \frac{1}{\left(\frac{A}{S_e} + \frac{1}{S_{ut}} \right)}$$

$$S_e = 303,067688 \quad \text{MPa}$$

$$S_{ut} = 310 \quad \text{MPa}$$

$$S_m = 101,78125 \quad \text{MPa}$$

$$n = S_m / s_m$$

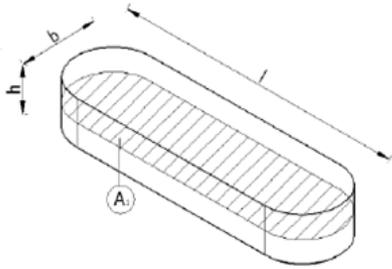
$$n = 27,0461503$$

En base al factor de seguridad encontrado, se puede decir que el eje está diseñado para vida infinita.

3.3.4. DISEÑO DE LAS LENGUETAS

Con el fin de contar con uniformidad en la compra y trabajo de material, para las chavetas también se utilizará AISI 1045

Chavetas a cortante



$$\tau_{xy} = Ft/A = \frac{2T/d}{b(l-b) + (\pi \cdot b^2) \cdot 1/4}$$

$$\tau_{xy} = 14,596 \text{ M Pa}$$

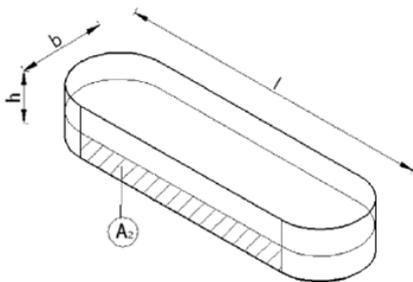
$$s' = (3 \cdot \tau^2_{xy})^{1/2}$$

$$s' = 25,2810 \text{ M Pa}$$

$$b = 5 \text{ mm} \quad h = 5 \text{ mm}$$

$$d = 12 \text{ mm} \quad l = 15 \text{ mm}$$

Chavetas a compresión



$$s_x = Ft/A = \frac{2T/d}{b(l-b)} = s'$$

$$s' = 20,328 \text{ M Pa}$$

El factor de seguridad en su diseño CS, se calculará con el Sy del material, en este caso 310 MPa.

$$CS = 310 / 25,28 = 12,26$$

3.3.5. RODAMIENTOS

Se ha seleccionado un soporte de pie con rodamiento acoplado a la mesa, para facilitar la instalación.

Tabla 3.5: Soporte de pie acoplado a Rodamientos SKF EI

Soportes de pie con rodamientos Y, soporte de fundición, anillo de fijación excéntrico											
Dimensiones					Capacidades de carga		Velocidad límite con eje de tolerancia h6	Masa	Designaciones	Soporte	Rodamiento
d	A	H	H ₁	L	C	C ₀					
mm					kN		rpm	kg	-		
41,275	48,3	105,6	52,4	187	33,2	21,6	4300	2,54	SYH 1.5/8 WF	SYH 509 U	YEL 209-110-2F
42,862	48	107	54	187	33,2	21,6	4300	2,3	SY 1.11/16 FM	SY 509 U	YET 209-111
42,862	48	107	54	187	33,2	21,6	4300	2,42	SY 1.11/16 WF	SY 509 U	YEL 209-111-2F
42,862	48,3	105,6	52,4	187	33,2	21,6	4300	2,4	SYH 1.11/16 FM	SYH 509 U	YET 209-111
42,862	48,3	105,6	52,4	187	33,2	21,6	4300	2,52	SYH 1.11/16 WF	SYH 509 U	YEL 209-111-2F
44,45	48	107	54	187	33,2	21,6	4300	2,26	SY 1.3/4 FM	SY 509 U	YET 209-112
44,45	48	107	54	187	33,2	21,6	4300	2,4	SY 1.3/4 WF	SY 509 U	YEL 209-112-2F
44,45	48,3	105,6	52,4	187	33,2	21,6	4300	2,36	SYH 1.3/4 FM	SYH 509 U	YET 209-112
44,45	48,3	105,6	52,4	187	33,2	21,6	4300	2,47	SYH 1.3/4 WF	SYH 509 U	YEL 209-112-2F
45	48	107,5	54	187	33,2	21,6	4300	2,25	SY 45 WF	SY 509 M	YET 209
45	48	107,5	54	187	33,2	21,6	4300	2,35	SY 45 FM	SY 509 M	YEL 209-2F
49,212	54	113,4	55,58	203	35,1	23,2	4000	2,75	SYH 1.15/16 FM	SYH 510 U	YET 210-115
49,212	54	113,4	55,58	203	35,1	23,2	4000	2,93	SYH 1.15/16 WF	SYH 510 U	YEL 210-115-2F
49,212	54	114	57,2	203	35,1	23,2	4000	2,77	SY 1.15/16 FM	SY 510 U	YET 210-115
49,212	54	114	57,2	203	35,1	23,2	4000	2,93	SY 1.15/16 WF	SY 510 U	YEL 210-115-2F
50	54	114,5	57,2	203	35,1	23,2	4000	2,75	SY 50 FM	SY 510 M	YET 210
50	54	114,5	57,2	203	35,1	23,2	4000	3,9	SY 50 WF	SY 510 M	YEL 210-2F
50,8	60	127	63,5	219	43,6	29	3600	3,75	SY 2. FM	SY 511 U	YET 211-200
50,8	60	127	63,5	219	43,6	29	3600	3,2	SY 2. WF	SY 511 U	YEL 211-200-2F
50,8	60,4	126,5	61,93	219,1	43,6	29	3600	3,75	SYH 2. FM	SYH 511 U	YET 211-200
50,8	60,4	126,5	61,93	219,1	43,6	29	3600	4,05	SYH 2. WF	SYH 511 U	YEL 211-200-2F
55	60	126	63,5	219	43,6	29	3600	3,65	SY 55 FM	SY 511 M	YET 211
55	60	126	63,5	219	43,6	29	3600	3,9	SY 55 WF	SY 511 M	YEL 211-2F
55,563	60	127	63,5	219	43,6	29	3600	3,6	SY 2.3/16 FM	SY 511 U	YET 211-203
55,563	60	127	63,5	219	43,6	29	3600	3,85	SY 2.3/16 WF	SY 511 U	YEL 211-203-2F

Fuente: SKF

Elaboración: Autor

El rodamiento seleccionado, resiste fuerzas alternantes de hasta 35 KN, puede girar sin problemas hasta 4000 RPM, y pesa 3,9Kg.

Soportes de pie con rodamientos Y, soporte de fundición, anillo de fijación excéntrico, rodamientos métricos												
Dimensiones					Capacidades de carga dinámica estática		Velocidad límite	Masa	Designaciones		Soporte	Rod
d	A	H	H ₁	L	C	C ₀	con eje de tolerancia h6	Unidad de rodamiento				
mm					kN		rpm	kg	-			
50	54	114,5	57,2	203	35,1	23,2	4000	3,9	SY 50 WF		SY 510 M	YEL

Prisionero
Par de apriete recomendado [Nm] M 10x1
Tamaño de la llave hexagonal [mm] 16,5

Tapa
ECY 210

Gráfico 3.8: Estructura del rodamiento YEL-210-2F

Fuente: SKF

Elaboración: Propia

El soporte de pie tiene una base de 20x3,5 cm; esta área estará en contacto con la base o estructura soporte de la máquina.

$$F_{\max} = 492,446$$

$$\text{Ancho del soporte de rodamiento} = 3,5$$

$$\begin{aligned} \text{Longitud del soporte de} \\ \text{rodamiento.} &= 20 \end{aligned}$$

$$\text{Área que ejercerá fuerza} = 70 \text{ mm}^2$$

$$\text{Carga} = 7,03495 \text{ MPa}$$

Para las cuchillas se utilizará acero Acero AISI 1070, que se usa para fabricación de cuchillas. Se utilizará una platina de este material, previamente afilado para el uso.

3.3.6. SELECCIÓN DE BANDAS Y POLEAS

a) Datos:

Pot = 1.5 HP= 1.52 CV.

Nm= 1750 rpm. Velocidad del motor.

Nc=1750rpm. Velocidad del molino.

b) Factor de Potencia.

C = 1.2. Factor de corrección.

Pc: Potencia corregida.

$P_c = C * P = 1.2 (1.52 \text{ CV}) = 1.82 \text{ CV}$

Pc= 1.82 CV.

c) Relación de transmisión "K".

En el caso del presente diseño los diámetros primitivos de las poleas son iguales

$$D = K * d$$

Donde:

D = diámetro primitivo polea mayor (unidad conducida)

d = diámetro primitivo polea menor (unidad motriz)

$$K = \frac{1750}{1750} = 1$$

De acuerdo a las poleas elegidas, existe un ángulo de garganta =340, el diámetro primitivo mínimo va de 125 a 190 mm de la polea motriz.

Del catálogo se dispone de los diámetros:

$d = D = 160$ mm, siendo según el catálogo uno de los más recomendados.

d) Distancia entre centros "I".

Como $1 < k < 3$, entonces

$$I = \frac{(k + 1) + d}{2} + d$$

$$I = \frac{(1 + 1) * 160}{2} + 160$$

$I = 320$ mm

e) Longitud primitiva de la banda "L".

$$L = 2I + 1.57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4I}$$

$$L = 2(320) + 1.57(160 + 160) + \frac{(160 - 160)^2}{4 * 320}$$

$$L = 1142.4 \text{ mm}$$

f) En la tabla, se toma el tipo de banda y su longitud nominal recomendada "L".

Sección: B (mm17x11)

Tipo: B45

Long. Primitiva: 1186 mm

$L' = 1186$ mm

g) Corrección de distancia entre centros “I”

Como se tiene $L > L'$, entonces la distancia entre centros corregida está dada por la siguiente ecuación:

$$I' = I + \frac{L' - L}{2}$$

$$I' = 320 + \frac{1186 - 1142.4}{2}$$

$$I' = 341.8mm$$

h) Determinación de los arcos de contacto de la polea.

$$\gamma = 180 - 57 \left(\frac{D - d}{I'} \right)$$

$$\gamma = 180 - 57 \left(\frac{0}{415.84} \right)$$

$$\gamma = 180^\circ$$

i) Determinación de la potencia transmisible por Banda “Pa”.

$$Pa = (Ph + Pd)C\gamma * Cl$$

Donde:

Pb, Pa: Prestaciones de servicio de las correas trapezoidales.

Pb: Prestación base

Pa: Prestación artificio.

C : Factor de corrección para arcos de contacto inferiores a 180°.

Cl : Factor de corrección en función del tipo de correa.

$$Ph = 1.52$$

$$Pa = 0$$

$$C_{\gamma} = 1$$

$$Cl = 0.85$$

$$Pa = (1.52) * 1 * 0.85$$

$$Pa = 1.29CV$$

j) Cálculo del N.- de Bandas.

$$\#Bandas = \frac{Pc}{Pa}$$

$$\#Bandas = \frac{1.52}{1.27}$$

$$\#Bandas = 1.17 \approx 2$$

Se elige colocar dos bandas con el fin de que el diseño pueda soportar una mayor vida útil.

k) Selección de las Poleas.

Del catálogo Astand Pulley, se seleccionó 2 poleas 160-B-2 de las siguientes características.

Catálogo n.	d_p	d_e	Tipo	d_b	l	S_1	S_2	Masa (kg)
6 1/2 B2F	154.1	165.1	40U	63	30	-	14	2.8

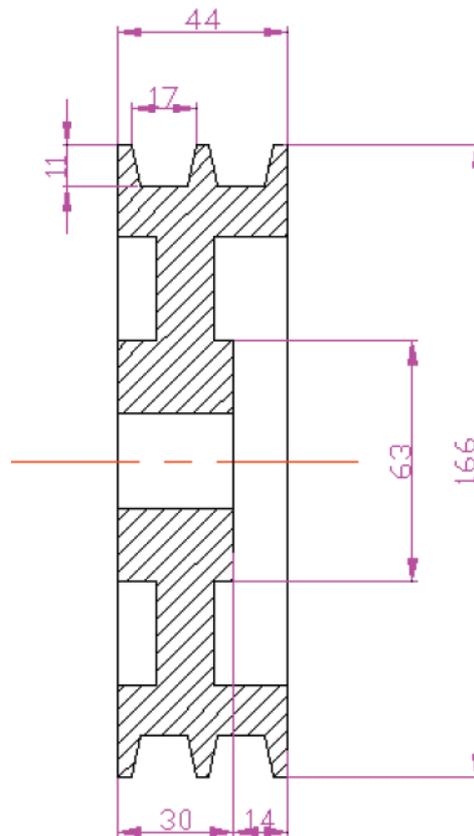


Gráfico 3.9: Diagrama de la Polea 160-B-2

Fuente: Stand Pulley

Elaboración: Propia

3.3.7. SELECCIÓN DE TAMICES

El uso y selección de las mallas y/o tamices es muy importante para asegurar el tamaño final de las partículas de harina de Lombriz que generan las cuchillas del molino; donde el diámetro de las perforaciones, la separación de las mismas y el espesor en que serán ejecutadas son factores que pueden determinar la eficiencia del sistema de molienda. El diámetro de las perforaciones y el espacio entre ellas debe ser igual o mayor al espesor de la lámina de acero.

Para seleccionar la o las mallas se debe:

- Determinar el número de tamices necesarios.

- Especificar el tipo de material.
- Determinar el espesor en milímetros.
- Indicar el diámetro de las perforaciones y la distancia entre los centros de las mismas, en milímetros.

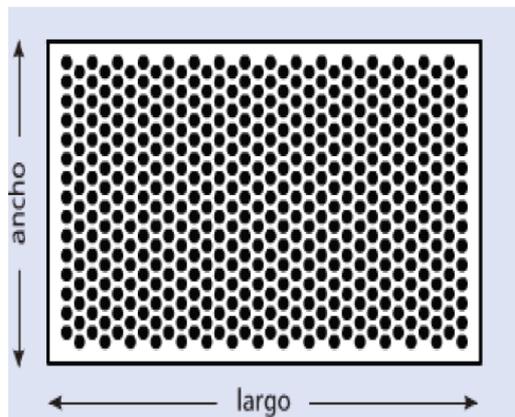


Gráfico 3.10: Malla y/o tamiz

Fuente: García, José Isidro, Fundamentos del Diseño Mecánico, Universidad del Valle, 2004

Elaboración: Propia

Para el caso del molino planteado se ha dimensionado la malla de la siguiente manera:

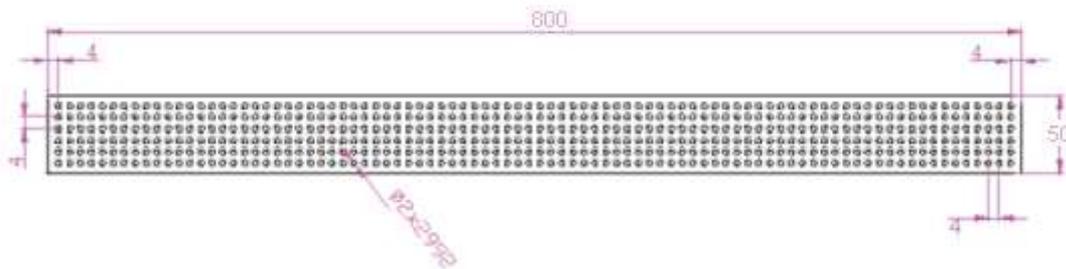


Gráfico 3.11: Malla y/o tamiz planteado

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

4.1. GENERALIDADES

La construcción de la unidad de secado y molienda, se la debe realizar en un taller mecánico industrial, donde existan todos los equipos necesarios para la construcción de cada uno de los elementos que conforman la máquina.

Los elementos que conforman la unidad de secado y molienda, se los construye de acuerdo con los planos de taller

Un factor importante que se debe tomar en cuenta, es el de obtener en el mercado local la materia prima y los elementos que conforman la unidad.

4.2. CONSTRUCCIÓN DE LA UNIDAD

Para la construcción de las máquinas de secado y molienda, se requiere determinar:

- Requerimientos para la construcción
- Máquinas y equipos
- Herramientas
- Instrumentos de medición y verificación
- Materia prima
- Elementos normalizados
- Elementos seleccionados
- Elementos a construir.
- Hojas de proceso

Los procesos de construcción son tales que, la construcción de la unidad puede realizarse en cualquier taller que tenga los equipos básicos, ya que no es necesario contar con equipos de alta tecnología o mano de obra calificada, la construcción para esta máquina básicamente incluyen procesos de corte, torneado, soldadura y doblado.

4.2.1. REQUERIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

Para realizar la construcción de cada uno de los elementos que conforman la máquina lavadora de zanahoria se requiere: máquinas, equipos, herramientas, materiales, instrumentos, etc. Los que se detallan a continuación:

4.2.1.1. MÁQUINAS Y EQUIPOS

- Dobladora
- Cizalla
- Fresadora
- Esmeril
- Torno
- Soldadora Eléctrica
- Equipo de Pintura

4.2.1.2. HERRAMIENTAS

- Brocas
- Útiles para tornear.
- Escuadras
- Limas
- Martillo
- Llaves
- Rayador
- Sierra de arco

4.2.1.3. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y VERIFICACIÓN

- Calibrador pie de rey
- Compás
- Nivel
- Flexómetro
- Escuadra

4.2.1.4. RESUMEN DE MATERIA PRIMA

- Eje de acero AISI 1045 de 80mm de diámetro
- Plancha de Acero A-36, diversos espesores.
- Platinas de Acero, diversas medidas.
- Hierro Fundido

4.2.1.5. LISTADO DE ELEMENTOS A CONSTRUIR.

- Eje: Anexo Planos
- Cuchilla: Anexo Planos
- Tolva: Anexo Planos
- Soporte de Tolva : Anexo Planos
- Base:Anexo Planos

4.3. HOJAS DE PROCESOS

Para la construcción de la unidad, es necesario disponer de los procedimientos de fabricación de los diferentes elementos a construirse. En el Anexo A, se presentan las hojas de procesos para la construcción algunos de los elementos que conforman la unidad.

4.3.1. ETAPAS DE CONTRUCCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

La construcción de cualquiera de las estructuras que conforman la unidad se la efectúa en el siguiente orden:

- a. Pedido de materia prima.
- b. Trazado sobre perfiles. Utilizar planos del Anexo B.
- c. Construcción de elementos. Utilizar Anexo A.
- d. Armado de la estructura (Puntos de suelda)
- e. Verificación de dimensiones, perpendicularidad, paralelismo y estabilidad.
- f. Cordón definitivo de soldadura
- g. Eliminación de defectos y pintura.

4.4. PROTOCOLO DE PRUEBAS

Una vez que se construyan las máquinas para la molienda y secado de Lombriz, se debe realizar una serie de pruebas que verifiquen su funcionamiento. Estas pruebas se detallan en un protocolo de pruebas que verifica los siguientes aspectos:

- Control de dimensiones
- Pruebas de funcionamiento en Vacío
- Prueba de funcionamiento con carga
- Capacidad
- Velocidad de lavado
- Inspección visual de juntas empernadas

4.4.1. VERIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES

Realizar las mediciones necesarias en las máquinas construidas para comparar con las dimensiones de las máquinas diseñadas, según la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Verificación de las Dimensiones principales

Dimensiones Principales				
Dimensión	Diseño	Prototipo	Aceptación	
			Si	No
Largo Total (mm)				
Ancho Total (mm)				
Altura Total (mm)				

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

4.4.2. VERIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES

Se debe verificar varios componentes que por su importancia en el funcionamiento, requieren ser probados antes de iniciar el trabajo, , según la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Verificación de los Componentes principales

Verificación de los componentes principales			
Maquina	Molino		
Elemento	Funcionamiento		
	Bueno	Regular	Malo
Eje de transmisión			
Cuchillas			
Motor			
Bandas de Transmisión			

Verificación de los componentes principales			
Maquina	Secador		
Elemento	Funcionamiento		
	Bueno	Regular	Malo
Resistencias			
Ventilador			

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

4.4.3. TRABAJO EN VACÍO DE LA MAQUINARIA DISEÑADA

En esta prueba, se verifica el normal funcionamiento del molino y secador sin carga es decir sin lombrices, , según la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Trabajo en vacío del Molino para Harina de Lombriz

Tiempo (min)	Sistema o Elemento									
	Eje de transmisión		Cuchillas		Motor		Bandas de Transmisión		Sistema de Secado	
	Falla	No Falla	Falla	No Falla	Falla	No Falla	Falla	No Falla	Falla	No Falla
5										
10										
15										
20										
25										
30										

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

4.4.4. TRABAJO CON CARGA DE LA MAQUINARIA DISEÑADA

En esta prueba, se verifica la capacidad y calidad de trabajo de la maquinaria diseñada, , según la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Trabajo de Maquinaria con Carga

Secado de Lombriz			
Tiempo (min)	Calidad del Secado		Capacidad de Secado
	Buena	Mala	Kg/min
5			
10			
15			
20			
25			
30			

Molienda de Lombriz			
Tiempo (min)	Calidad del Gránulo		Capacidad de Secado
	Buena	Mala	Kg/min
5			
10			
15			
20			
25			
30			

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

CAPITULO 5

COSTO DE FABRICACIÓN

5.1. VALORACIÓN ECONÓMICA

Conociendo ya los parámetros del diseño planteado, a continuación se presenta una proyección de los costos que implicaría la construcción de la máquina, en función de sus parámetros de diseño.

5.2. COSTOS DE FABRICACIÓN

Para realizar el análisis es preciso cotizar los precios de todos los componentes que se utilizarán en el desarrollo de la máquina. La cotización se realizará de la forma más precisa posible.

Es importante aclarar que esta cotización es una estimación ya que algunos componentes como los que se presentan cambian en función de su disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

5.2.1. COSTOS DIRECTOS

Los costos directos, son los que pueden medirse y asignarse de una manera razonable a una producción o actividad de trabajo específico. La mano de obra y los costos de material directamente asociada con un producto, servicio, o actividad de construcción son costos directos. Por ejemplo, los materiales necesarios para hacer unas tijeras serian un costo directo¹⁴.

¹⁴ <http://ingenieriaeconomicaapuntes.blogspot.com/2009/02/costos-directos-indiscretos-y-generales.html>

Como se indicó en el párrafo anterior, los costos directos en lo que se refiere a la construcción de la maquinaria, se encuentran centrados en los elementos que serán parte de ensamble de la misma, su distribución se encuentra planteada en la Tabla 5.1:

Tabla 5.1.- Costos de Materia prima.

Descripción	Cantidad utilizada	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Eje de acero AISI 1045 de 80mm de diámetro	1 m	30,80	30,80
Platinas de 30x5 en AISI 1045	1 (3 metros)	10,00	10,00
Platinas de 30x3 en AISI 1020	1 (3 metros)	7,00	7,00
Platinas de 20x3 en AISI 1070	1 (3 metros)	2,50	2,50
Soporte de pie con rodamiento	2	52,40	104,80
Plancha de acero inoxidable en 1,5	1	155	155,00
Plancha de tol galvanizado de 0,7 mm	3	25	75,00
Plancha de tol galvanizado de 1,5 mm	2	48	96,00
Remaches	100	0,02	2,00
Hierro fundido para mesa	200kg	1,25	250,00
Poleas de hierro de 4"	2	7,00	14,00
Motor eléctrico de 1,5 hp	1	210	210,00
Banda tipo B	1	8,25	8,25
Cable encauchetado 3x12	5 m	4,75	23,75
Malla de acero 1 m ²	1	25	25
Resistencia tubular.	7m	17,25	120,75
		Subtotal 1	1134,85

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

Los demás costos directos, serán planteados a partir de los trabajos y tratamientos adicionales que se requieren para la fabricación de la maquinaria,

como lo es el torneado de piezas y elementos y la fundición de materiales grises, estos costos se encuentran desagregados en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2.- Otros costos directos.

Descripción	Costo total (USD)
Torno	120,00
Fundición con molde	270,00
Subtotal 2	390,00

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

5.2.2. COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos, son aquellos difíciles de atribuir o asignar a una producción o actividad de trabajo específica. El término normalmente se refiere a tipos de costo que implicarían demasiado esfuerzo para asignarlos a una producción específica. En este tratamiento son costos asignados a través de una fórmula seleccionada a la producción o a las actividades de trabajo. Por ejemplo, los de herramientas comunes, suministros generales y mantenimiento de equipo en una planta se tratan como costos indirectos.

En lo que se refiere a costos indirectos, de acuerdo al planteamiento de ingeniería, son aquellos que representan a los elementos con los que se realizarán sobre los componentes de la unidad a fabricarse, de ahí que en torno al presente trabajo de investigación los costos son según la Tabla 5.3.:

Tabla 5.3.- Insumos.

Descripción	Cantidad utilizada	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Sierra de corte	3	1,50	4,50
Soldadura	2 kilos	5,00	14,00
Pintura	1 galón	8,00	8,00
Brocha	2	0,74	1,48
Lija	2	0,42	0,84
Tornillos de 3/8x1	30	0,05	1,50
Tuercas para tornillo de 3x8	60	0,02	1,20
Arandelas	60	0,01	0,60
		Subtotal 3	32,12

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

5.2.3. COSTOS DE DISEÑO

Con el fin de conocer de manera real el costo total de fabricación de la máquina diseñada, en la Tabla 5.4, se presenta una valoración de los costos de diseño incurridos para el desarrollo del presente trabajo de investigación tanto en su parte de investigación, cálculo, diseño y uso de herramientas informáticas.

Este rubro es muy importante puesto que coloca en la balanza de costos un componente generalmente no asumido por el inversor y que lo supone intrínseco en el costeo de los componentes anteriores, sin embargo, en la práctica si no existiesen estos rubros planteados, no existiría la maquinaria.

Tabla 5.4.- Materiales e insumos.

Descripción	Costo total (USD)
Materiales de oficina	30,00
Transporte terrestre	60,00
Tinta de impresora	50,00
Servicios básicos (teléfono, agua potable, electricidad, otros)	80,00
Copias	30,00
Internet	160,00
Subtotal 4	410,00

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

5.2.4. COSTOS DE INGENIERÍA

Corresponde al costo debido al tiempo que los ingenieros han dedicado para el diseño de la máquina. Aproximadamente se emplean 60 horas

Este costo constituye el valor económico debido al valor conocimiento del ingeniero para diseñar y seleccionar los elementos de la máquina.

Un ingeniero con experiencia en diseño de Maquinaria Alimenticia debe percibir un mínimo de 20 dólares por hora. El tiempo necesario para el diseño es aproximadamente 60 horas, por lo tanto el costo por diseño es: 1200 dólares.

5.2.5. GASTOS IMPREVISTOS

Se relacionan principalmente con los costos de movilización de las personas y transporte de materiales. Se estima estos costos aproximadamente en 100 dólares.

5.2.6. COSTO TOTAL DEL PROYECTO

El costo total de la construcción de la maquinaria está planteado como la suma de los valores correspondientes a los costos directos con los costos indirectos. Conociendo ya los componentes del costo total del proyecto, en la Tabla 5.5, se presenta su valor total y su distribución por rubro de investigación.

El costo de producción, es alto por ser un prototipo, pero al hablar de una producción en serie el costo se abarataría sustancialmente.

Tabla 5.5.- Total general de costos del proyecto.

		Concepto	Costo (USD)
Costos directos		Materia prima	1134,85
		Otros	390,00
Costos indirectos	De fabricación	Insumos	32,12
	De estudio	Materiales e insumos	410,00
	De Diseño	Costos de Ingeniería	1200,00
		Imprevistos	100,00
		Total (USD)	3266,97

Fuente: Autor

Elaboración: Propia

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Al finalizar el desarrollo del diseño de la unidad de secado y molienda para el proceso de obtención de harina de lombriz, se presentan los siguientes juicios valorativos que se detallan de la siguiente manera:

- En nuestro país, a pesar de ser un país con riqueza agrícola, específicamente en el área agroindustrial, no hay la preocupación ni el interés para diseñar y construir maquinaria para la obtención de harinas para balanceado, llegando a ser tan importante este aspecto, que los principales productores no cuentan con unidades de fabricación nacional.
- El objetivo principal se ha cumplido; al diseñar la unidad de secado y molienda para el proceso de obtención de harina de lombriz, que satisface con los parámetros funcionales y requerimientos operacionales planteados al inicio de este trabajo.
- Los planos para la posterior construcción, se presentan en forma clara y cumpliendo con las normas de dibujo, con todas las indicaciones necesarias para la construcción de la máquina.
- El funcionamiento, puede ser controlado por personal principiante siempre y cuando las condiciones de operación hayan sido previamente controladas.
- Los elementos de la máquina secadora, se puede construir en cualquier taller mecánico, su construcción es sencilla y fácil.

- La adaptación de elementos intercambiables como las cuchillas para el corte, son de mayor utilidad que los elementos fijos ya que permiten un mejor mantenimiento y reducen la posibilidad de destrucción de elementos claves de diseño como el eje.

6.2. RECOMENDACIONES

- Como se manipula alimentos se recomienda utilizar pintura exterior, fondo anticorrosivo, con acabado en sintético; en el interior se debe utilizar epóxica apta para inmersión permanente en agua.
- Se recomienda poner énfasis en la precisión de las dimensiones en la construcción de los elementos de acople, de tal forma que al ensamblar las máquinas no exista problemas.
- Realizar un mantenimiento general de la unidad de secado y molienda de forma periódica, para evitar que los elementos sufran desgastes prematuros.
- Se sugiere continuar con este tipo de proyectos orientados a mejorar la agroindustria, facilitando el trabajo y mejorando la producción agraria.
- Se deben seguir todas las recomendaciones de seguridad industrial, para realizar los distintos trabajos en las máquinas herramientas utilizadas cuando se construya la máquina.
- Difundir este tipo de proyectos en el medio de los pequeños productores agrícolas y en el medio agroindustrial.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrés Guerrero, Los oligarcas del cacao, Editorial El Conejo, Quito-Ecuador, 1980.
- Manuel Chiriboga, Auge y crisis de una economía agro – exportadora: El período cacaotero, vol. 9, Corporación Editora Nacional, Quito- Ecuador, 1988, páginas 99-109.
- Alberto Acosta, Breve historia del Ecuador, Corporación Editora Nacional, Quito- Ecuador, 1997, páginas 81-88
- BOULOGNE, Stephanie y otros, Optimización de la operación de secado de la carne de lombriz (*Eisenia andrei*) para producir harina destinada al consumo animal, Madrid, 2008
- Sánchez, Félix, PROCESADO Y CALIDAD DE LAS HARINAS DE CARNE, IX Curso de Especialización FEDNA Barcelona, 2003
- Canova's, Barbosa G., Dehydration of Foods, Chapman and Hall. 1996. 1ª edición.
- Mott, R.L. 1992. Diseño de Elementos de Máquinas. Segunda edición. Prentice Hall
- García, José Isidro, Fundamentos del Diseño Mecánico, Universidad del Valle, 2004

CONSULTAS WEB

- <http://www.acerosdelvalles.com/p22.htm>
- <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201045.pdf>
- http://www.indura.net/file/file_2182_cat_prod.pdf
- <http://www.elprisma.com/apuntes/apuntes.asp?categoria=605>
- http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/chavetas/

ANEXOS

ANEXO 1
CATÁLOGOS DE ACERO

ANEXO 2
CATÁLOGO BANDA DE TRANSPORTACIÓN

ANEXO 3
CATÁLOGO MOTORREDUCTOR

ANEXO 4
HOJAS DE PROCESO

ANEXO 5

PLANOS

- Molino
- Secador
- Lavador
- Eje
- Cuchilla
- Tolva
- Tolva Superior
- Soporte de Tolva
- Base