



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Modificación de diseño de
máquina peletizadora para
alimentos deshidratados
utilizando energías alternas**

TESIS

Que para obtener el título de

INGENIERO INDUSTRIAL

P R E S E N T A

Ramos Guzmán Miguel Angel

DIRECTOR DE TESIS

M.I. Héctor Miguel Aviña Jiménez



Ciudad Universitaria, CD. MX., 2019

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por todo su amor, comprensión y apoyo, pero sobre todo gracias infinitas por siempre haber estado cuando los necesitaba, para poder ser una persona de provecho y cumplir con esta gran etapa de mi vida.

Agradezco a mi hermana por estar siempre apoyándome incondicionalmente, por cada consejo puntual y oportuno que has sabido darme, por ser uno de los apoyos más importantes que tengo.

Al grupo IIDEA por todo su apoyo, en especial al, Dr. Héctor Miguel por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis que ha logrado en mí que poder terminar mis estudios con éxito.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, sobre todo a la facultada de ingeniería, a sus autoridades y profesores, por abrir sus puertas y darme la confianza necesaria para triunfar en la vida y transmitir sabiduría para mi formación profesional.

Resumen

En esta investigación se propone el diseño de una máquina peletizadora de alimentos deshidratados, cambiando el uso de combustibles fósiles para que se empleen energías alternas como la energía solar y la energía geotérmica, considerando las generalidades de función y comportamiento que deberán tener los elementos que conforman la máquina.

En el primer capítulo se presenta el contexto general para la producción de los pellets de alimento deshidratado centrándose en los de alfalfa, así como su situación actual en el mercado nacional, el cual, al no poder satisfacer la demanda de forraje en regiones áridas y semiáridas del país, ha aumentado la importación de pellets. De igual forma se explica el aprovechamiento de la energía geotérmica y solar en el sistema empleado para la compactación del alimento.

En cuanto al segundo capítulo, se especificarán los principales parámetros que involucran la compactación de los pellets, especificando los principales componentes que componen la máquina peletizadora de acuerdo a la producción deseada. Se seleccionó una matriz plana, con rodillos de compactación móviles, utilizando un reductor de velocidad con tornillo sin fin y una corona con factor de reducción de 10:1, al igual que se describe el acondicionador de materia prima, en el que se empleará agua geotérmica para aumentar la calidad del pellet y el sistema fotovoltaico que utilizará energía solar para generar electricidad disminuyendo así el consumo de la red pública.

Posteriormente, en el tercer capítulo se seleccionarán los elementos más importantes que conformarán la máquina peletizadora para una producción de 300 [kg] por hora. Al realizar el diseño de la máquina, se determinó que los rodillos de compactación tendrán un diámetro de 0.1406 [m], con una matriz de extrusión con 143 orificios; el diámetro del eje principal será de 30.52 [mm] y el diámetro de los ejes de los rodillos de compactación tendrá un diámetro de 34.52 [mm]; la potencia que será requerirá para la compactación es de un motor de 5 [hp].

Por último, el cuarto capítulo englobará un análisis económico de la construcción y puesta en marcha de la máquina peletizadora e implementación de los sistemas que integran las energías renovables, con lo que se determinó que el sistema fotovoltaico reducirá en 43% el consumo eléctrico de la red pública, la inversión del sistema de peletizado se podrá recuperar en un periodo de 2 años.

Índice General

Resumen	I
Índice General	III
Índice de Figuras	IX
Índice de Tablas	XI
Nomenclatura	XIII
Introducción	1
Planteamiento del Problema	3
Objetivo General	3
Objetivos Particulares	3
Capítulo 1. Marco Teórico	5
1.1 Introducción	5
1.2 Pellets	5
1.3 Tipo de Pellets	5
1.3.1 Pellets de madera	5
1.3.2 Pellets de plástico	5
1.3.3 Pellets de alimento	6
1.4 Parámetros que Tienen Una Mayor Influencia en la Fabricación del Pellet	7
1.4.1 Humedad del material	7
1.3.2 Temperatura del material	8
1.4.3 Tamaño de grano	8
1.4.4 Geometría del dado	8
1.4.5 Presión de peletizado	8
1.5 Normatividad de Pellets	9
1.6 Ventajas del Producto	9
1.7 Proceso Para Fabricación de Pellets	10
1.7.1 Deshidratado	10
1.7.2 Molido o granulado	11
1.7.3 Acondicionamiento	11
1.7.4 Peletizado	12
1.7.5 Enfriamiento	13

1.7.6 Tamizado y clasificación	13
1.9 Situación del Pellet de Alfalfa en el Mundo.....	14
1.10 Situación del Pellet de Alfalfa en México.....	15
1.10.2 Producción de pellets de alfalfa en México	16
1.10.3 Producción de granos a nivel nacional	17
1.11 Caracterización de la Región de Implementación del Proyecto.....	17
1.11.1 Determinación de la demanda de alfalfa en la ciudad de Celaya	17
1.12 Patentes de Máquinas Peletizadoras.....	19
1.12.1 Método de peletización de materiales de fricción	19
1.12.2 Método y aparato para hacer alimento en pellets	19
1.12.3 Producción de alimento peletizado	20
1.12.4 Máquina peletizadora y cortadora	21
1.12.5 Método para preparar comida peletizado para animales	21
1.12.6 Molino peletizado.....	22
1.12.7 Peletización por matriz plana	23
1.12.8 Rodillos peletizadores	23
1.12.9 Peletización por extrusión	24
1.12.10 Peletización por moldeado	24
1.12.11 Máquina para formar alimentos comprimidos y productos similares	24
1.13 Tipo de Materiales Usados en las Peletizadoras.....	25
1.13.1 Aceros inoxidable.....	25
1.13.2 Aceros de herramienta	26
1.13.3 Acero estructural	26
1.14 Costo de Peletizadoras de Alimento	26
1.15 Energías Renovables en México	27
1.15.1 Energía solar	29
1.15.1 Energía geotérmica.....	30
1.15.3 Extracción del recurso geotérmico	31
1.15.4 Área considerada para extracción de recurso geotérmico	32
1.16 Conclusiones.....	33
Capítulo 2. Marco Metodológico.....	35

2.1	Introducción	35
2.2	Metodología del Diseño	35
2.3	Tipos de Metodologías de Diseño	36
2.3.1	Método de "tanteos" o iterativo:	36
2.3.2	Método del pensamiento lateral:	36
2.3.3	Método heurístico:	36
2.3.4	Método de la "lluvia de ideas":	36
2.3.5	Método del análisis morfológico:	36
2.4	Fases para Desarrollar un Proyecto de Diseño.	37
2.4.1	Definición estratégica	37
2.4.2	Diseño de concepto	37
2.4.3	Diseño del detalle	37
2.4.4	Validación	37
2.5	Diagrama de Flujo del Proceso	38
2.6	Principio Físico de Peletización	39
2.7	Especificaciones de los Pellets de Acuerdo a la Norma UNE-CEN/TS 14961:2007	40
2.8	Parámetros de Diseño de Peletizadora	40
2.8.1	Potencia axial	40
2.8.2	Potencia motriz	41
2.8.3	Coefficiente de fricción	41
2.8.4	Dimensión del dado	41
2.8.5	Avellanado cónico	42
2.8.6	Cantidad de materia comprimida	42
2.9	Ecuaciones de Diseño	43
2.9.1	Sector de alimentación	43
2.9.2	Sector de extrusión	43
2.9.3	Sector de corte	51
2.9.4	Sector de transmisión de potencia	51
2.10	Aprovechamiento de Energías Renovables	54
2.10.1	Intercambiador de calor	54
2.11	Conclusiones	55

Capítulo 3. Propuesta de Diseño	57
3.1 Introducción	57
3.2 Propuesta de Diseño de Peletizadora	57
3.2.1 Selección de tipo de matriz extrusora	58
3.2.2 Selección de rodillos	61
3.2.3 Selección de reductor de velocidad (Caja de engranajes)	62
3.2.4 Selección de sistema de corte	66
3.3 Dimensionamiento de Componentes	66
3.3.1 Dimensionamiento sector de alimentación	66
3.3.2 Dimensionamiento del sector de extrusión	67
3.3.3 Dimensiones del rodillo de compactación	68
3.3.4 Fuerzas generadas por el giro de los rodillos	69
3.3.5 Factores de producción de pellets	70
3.3.6 Orificios de extrusión	71
3.3.7 Potencia requerida	72
3.4 Diseño del Sector de Transmisión	73
3.4.1 Transmisión de potencia	74
3.4.2 Diseño de eje principal	74
3.4.3 Diseño de eje de rodillo	77
3.4.4 Selección de rodamientos del sistema	79
3.4.5 Trituración de la materia prima	80
3.4.6 Acondicionamiento de materia prima	81
3.5 Conclusiones.....	85
Capítulo 4. Análisis Económico.....	87
4.1 Introducción	87
4.2 Costo del Molino de Martillos	87
4.3 Costo del Acondicionador de Materia Prima	87
4.4 Costo de Fabricación de Peletizadora para biomasa	87
4.4.1 Costo de materiales.....	88
4.4.2 Costo de máquinas/herramientas	89
4.4.3 Costo de mano de obra	89

4.4.4 Costo total de construcción	89
4.5 Costo de Intercambiador de Calor de Doble Tubo.....	90
4.6 Reducción de Costos del Proceso con Energía Solar.....	90
4.6.1 Consumo eléctrico del sistema	90
4.6.2 Costo de sistema de paneles solares	91
4.6.3 Análisis de ahorro con sistema Fotovoltaico	91
4.7 Periodo de Recuperación de Inversión del sistema de Peletización	93
4.7.1 Estado de resultados y estado de flujo de efectivo	94
4.7.2 Periodo de recuperación	97
4.8 Conclusiones.....	97
Capítulo 5. Conclusiones	99
5.1 Conclusiones de la Tesis	99
Referencias.....	101
Anexos.....	109
Anexo 1. Plano constructivo de la matriz de extrusión	110
Anexo 2. Plano constructivo del eje principal.....	111
Anexo 3. Plano constructivo del eje de los rodillos de compactación	112
Anexo 4. Plano constructivo de rodillos de compactación	113
Anexo 5. Plano explosivo del rodillo de compactación	114
Anexo 6. Plano constructivo de tolva de alimentación.....	115
Anexo 7. Plano constructivo de salida de la peletizadora	116
Anexo 8. Plano constructivo del contenedor del reductor de velocidad	117
Anexo 9. Plano constructivo de base para la peletizadora	118
Anexo 10. Plano explosivo de la maquina peletizadora	119
Anexo 11. Especificaciones del intercambiador de calor solicitado a HRS	120

Índice de Figuras

Figura 1 Proceso de peletización.....	10
Figura 2 Secador horizontal “Trómel”.....	11
Figura 3 Granuladora de materia.....	11
Figura 4 Molino acondicionador.....	12
Figura 5 Peletizadora vertical.....	12
Figura 6 Peletizadora horizontal.....	13
Figura 7 Enfriador a contra flujo.....	13
Figura 8 Tamiz vibratorio circular.....	14
Figura 9 Tamiz vibratorio lineal.....	14
Figura 10 Porcentaje del valor de la producción por entidad federativa.....	16
Figura 11 Peletización de materiales por fricción.....	19
Figura 12 Peletizadora de alimento matriz circular.....	20
Figura 13 Peletizadora de alimento de tambor giratorio.....	21
Figura 14 Peletizadora de alimento de dado giratorio.....	21
Figura 15 Peletizadora de alimento con rodillos sin fin.....	22
Figura 16 Peletizadora de alimento de matriz giratoria.....	22
Figura 17 Peletizadora de alimento de matriz perforadora.....	23
Figura 18 Peletizadora de alimento de rodillos.....	23
Figura 19 Peletizadora de alimento por extrusión.....	24
Figura 20 Peletizadora de alimento por moldeado.....	24
Figura 21 Peletizadora de alimento horizontal con matriz circular.....	25
Figura 22 Mapa de generación de energía limpia en México.....	28
Figura 23 Estructura de panel fotovoltaico o panel solar.....	29
Figura 24 Paneles solares interconectados a la red eléctrica.....	29
Figura 25 Paneles solares en sistema aislado de la red eléctrica.....	30
Figura 26 Recursos geotérmicos de México.....	31
Figura 27 Pozo geotérmico y su sistema de flujo de circuito cerrado asociado.....	32
Figura 28 Zona considerada para el aprovechamiento de energía geotérmica.....	33
Figura 29 Matriz y rodillo de peletización.....	39
Figura 30 Fuerzas generadas en el proceso de compactación.....	41
Figura 31 Avellanado cónico del dado de extrusión.....	42
Figura 32 Geometría de orificio en la matriz de compactación.....	42
Figura 33 Relación de compresión.....	44
Figura 34 Altura final e inicial para compactación de la materia.....	46
Figura 35 Diámetro de rodillo.....	46
Figura 36 Matriz de extrusión plana.....	60
Figura 37 Matriz fija y rodillos móviles.....	62
Figura 38 Reductor de velocidad tornillo sin fin y corona.....	65
Figura 39 Cuchillas para corte de pellets.....	66
Figura 40 Rodillo de compactación.....	69

Figura 41 Diseño de la matriz de extrusión.	72
Figura 42 Diseño del sistema de corte de pellets.	73
Figura 43 Selección de modelo de reductor.	74
Figura 44 Diagrama de cuerpo libre de eje principal.	75
Figura 45 Diseño de eje principal.	77
Figura 46 Diseño eje de rodillos.	79
Figura 47 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas.	79
Figura 48 Rodamientos de una hilera de rodillos cilíndricos.	80
Figura 49 Molino de rodillos.	81
Figura 50 Acondicionador de materia prima.	82
Figura 51 Esquema de acondicionador térmico.	83
Figura 52 Intercambiador de calor de tubos concéntricos.	90

Índice de Tablas

Tabla 1 Especificaciones de secado de alimentos	6
Tabla 2 Producción de granos a nivel nacional	17
Tabla 3 Resumen de animales consumidores de alfalfa	18
Tabla 4 Demanda de forraje para animales en el estado de Guanajuato	18
Tabla 5 Costo de peletizadoras de alta potencia	26
Tabla 6 Costo de peletizadoras de baja potencia	27
Tabla 7 Diagrama de flujo de proceso	38
Tabla 8 Especificaciones y propiedades de los pellets	40
Tabla 9 Factores para selección de matriz	58
Tabla 10 Ventajas y desventajas de los tipos de matriz extrusora	58
Tabla 11 Ponderación de criterios para selección de matriz de extrusión.	59
Tabla 12 Matriz de selección para matriz de extrusión.	60
Tabla 13 Ponderación de criterios para selección de rodillos de peletización	61
Tabla 14 Matriz de selección para los rodillos de peletización	62
Tabla 15 Ponderación de criterios para selección de reductor de velocidad	64
Tabla 16 Matriz de selección para el reductor de velocidad	65
Tabla 17 Número mínimo de dientes para engranes	75
Tabla 18 Molinos de martillo de la marca Rotex Master	81
Tabla 19 Acondicionador de la FAMSUN	82
Tabla 21 Costo de molino de martillo seleccionado	87
Tabla 22 Costo de acondicionador de materia prima	87
Tabla 23 Costo de materiales de la peletizadora de alimento	88
Tabla 24 Costo de maquinaria para la construcción de peletizadora	89
Tabla 25 Costos de mano de obra para construcción de peletizadora	89
Tabla 26 Costo total de construcción de máquina peletizadora	89
Tabla 27 Costo de acondicionador de materia prima	90
Tabla 28 Consumo de Energía Eléctrica para los componentes del sistema de compactación de alimento	91
Tabla 29 Costo del sistema interconectado a la red eléctrica de paneles solares	91
Tabla 30 Consumo eléctrico con tarifa GDMTH y Con sistema foto voltaico	92
Tabla 31 Análisis de retorno de inversión para el sistema fotovoltaico	93
Tabla 32 Costos fijos anuales para el sistema de peletización	94
Tabla 33 Costos variables presentes para la producción de 1 [kg] de pellets	94
Tabla 34 Resumen de costos fijos y variables para producir de 1 [kg] de pellets de alfalfa	94
Tabla 35 Demanda estimada de producto durante los primeros 10 años de producción	95
Tabla 39 Flujo de efectivo total que se tendrá en el sistema en cada periodo durante 10 años en operación	96
Tabla 38 Aumento o disminución del capital neto de trabajo que se tendrá en el sistema en cada periodo durante 10 años en operación	96
Tabla 37 Flujo operativo que se tendrá en el sistema en cada periodo durante 10 años en operación	96
Tabla 36 Estado de resultados del sistema para 10 años en operación	96

Tabla 40 Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno obtenidos del flujo de efectivo tota97
Tabla 41 Periodo de Recuperación de inversión para el Proyecto de pellets97

Nomenclatura

VARIABLES DE FÓRMULAS

A_{dado}	Área del dado para peletizar
A_{orif}	Área del orificio
$a_{\text{extrusion}}$	Aceleración en el interior del dado de la matriz
a_{rodillo}	Aceleración normal del rodillo
a_{rodillo}	Ancho del rodillo
CH	Porcentaje de humedad de los pellets
C_R	Factor de confiabilidad deseado
C_p	Calor específico del fluido caliente
C_{pH2H}	Calor específico del agua
C_{pa}	Calor específico de la materia prima
C_s	Factor de tamaño
D_E	Diámetro del eje de transmisión de potencia
D_{EP}	Diámetro del eje Principal
D_{ER}	Diámetro del eje para la porta rodillos
d_p	Diámetro del pellet
Ec	Energía cinética
Ep	Energía potencial
F_{Comp}	Fuerza de compactación de los rodillos
F_R	Fuerza de fricción en el interior del dado
H	Altura de la tolva
h_f	Altura final después de pasar el rodillo
h_i	Altura inicial de la biomasa antes de pasar el rodillo
i	Relación de reducción
I_{rodillos}	Inercia del rodillo
K_t	Factor de concentración de esfuerzos que se presenten
L	Longitud de contacto del rodillo
l	Longitud recta del orificio de compactación
LTDM	Diferencia Media Logarítmica de la Temperatura
L_p	Longitud del pellet
M	Momento flector máximo presente en el eje
MP	Materia Prima
$m_{\text{Produccion}}$	Producción deseada para la tolva
m_{Rodillo}	Masa del rodillo
m_{aserrin}	Factor de sobreproducción
N	Revoluciones por minuto a las que gira el eje
N_D	Factor de diseño dependiendo a que fuerzas se encuentre sometido
N_g	Número de dientes de la corona
$N_{\text{orificios}}$	Número de orificios de extrusión
N_{rodillos}	Número de rodillos que se tendrá

N_w	Número de dientes del tornillo sin fin
n_1	Velocidad proveniente del motor
n_2	Velocidad necesaria para la compactación
P_0	Presión del material comprimido en las paredes
$P_{Cuchillas}$	Potencia necesaria para el corte de los pellets
$P_{Cuchillas}$	Potencia requerida por las cuchillas para el corte de los pellets
$P_{Rodillos}$	Potencia requerida por los rodillos para la compactación
P_{Total}	Potencia total requerida para la producción de los pellets
P_f	Presión adicional para vencer la fricción
$P_{inicial}$	Peso Inicial del pellet (húmedo)
P_m	Potencia transmitida por el eje del motor
P_r	Presión que ejercen los rodillos
P_{seco}	Peso final del pellet (seco)
\dot{Q}	Flujo de calor transferido entre el fluido frío y caliente
Q_{vol}	Flujo volumétrico de producción
R	Radio mayor de la tolva
r	Radio menor de la tolva
R_{Bio}	Presión de resistencia de la biomasa
R_c	Módulo de cizalladura
RC	Relación de compresión
R_p	Radio del pellet
$r_{rodillos}$	Radio del rodillo
S	Superficie del material en el cual se ejercerá la presión
S'_n	Resistencia a la fatiga modificada del material
S_n	Resistencia a la fatiga del material
S_y	Resistencia a la fluencia del material
T	Par de Torción generado por la transmisión de potencia
$T_{h,i}$	Temperatura de entrada del agua al acondicionador
$T_{h,o}$	Temperatura de salida del agua del acondicionador
T_E	Par de torción del eje
T_{IAC}	Temperatura de entrada del agua al intercambiador
T_{OAC}	Temperatura de salida del agua del intercambiador
T_{IAG}	Temperatura de entrada del agua geotérmica
T_{OAG}	Temperatura de salida del agua geotérmica
T_{PE}	Temperatura de entrada de la materia prima al acondicionador
T_{PS}	Temperatura de salida de la materia prima del acondicionador
$t_{extruccion}$	Tiempo para que el pellet tenga la longitud apropiada
$V_{extrusion}$	Velocidad de extrusión del pellet
V_{pellet}	Volumen que tendrá el pellet
$V_{rodillo}$	Volumen del rodillo
V_{Tolva}	Volumen de la tolva cónica
V_{tan}	Velocidad tangencial del rodillo
v_0	Velocidad inicial de extrusión del pellet
ν_p	Coefficiente de Poisson

W_r	Fuerza producida por la transmisión
W_{tg}	Fuerza tangencial de la corona
α	Aceleración de giro
ε_x	Deformación de la extrusión
θ	Ángulo del área de trabajo para el agujero
λ	Ángulo de avance
μ	Coefficiente de fricción de la biomasa y el acero
μ_l	Viscosidad dinámica a temperatura de saturación
ρ_{acero}	Densidad del acero
$\rho_{alfalfa}$	Densidad de la harina de alfalfa
ρ_l	Densidad temperatura de película del líquido
ρ_{pellet}	Densidad de 1 m ³ de pellets
\emptyset	Ángulo de presión por número mínimo de dientes de tornillo sin fin
$\omega_{rodillo}$	Velocidad de giro del rodillo
ΔT	Diferencia de temperatura del fluido caliente
ΔT_p	Diferencia de temperatura de la materia prima al recibir energía del agua
ΔT_{H_2O}	Diferencia de temperatura del fluido en contacto con la materia prima
\dot{m}	Flujo másico del fluido caliente
\dot{m}_{PI}	Flujo másico de la materia prima antes de ingresar al acondicionador
\dot{m}_{pf}	Flujo másico de la materia prima después de ingresar al acondicionador
\dot{m}_{H_2O}	Flujo másico del fluido que ingresa al colector
\bar{Y}_f	Módulo de elasticidad para el caso de biomasa

SIGLAS Y ABREVIACIONES

AIE	Agencia Internacional de la Energía
AISI	Instituto Americano del Hierro y El Acero
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
CA	Corriente Directa
CAPEX	Capital Expenditure (Inversiones de Capital)
CD	Corriente Alterna
CEM	Condiciones Estándar de Medida
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CIMAV	Centro de Investigación en Materiales Avanzados
COFUPRO	Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce A.C.
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CTN	Capital de Trabajo Neto
EBT	Earnings Before Taxes (Utilidad Antes de Impuestos)
FV	Fotovoltaico
GDMTH	Gran Demanda en Media Tención Horaria
HSP	Horas Solar Pico
IIDEA	Instituto de Ingeniería Desalación y Energías Alternas

INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
MEM	Mercado Eléctrico Mayorista
SAGARPA	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
TIR	Tasa Interna de Retorno
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
VPN	Valor Presente Neto

Introducción

En las actuales condiciones de globalización, la calidad de los productos y de los servicios se está constituyendo en una escala mínima óptima que define la posibilidad de pertenencia en los mercados. Estos son cada vez más competitivos y las exigencias de fabricación de alimentos se hacen cada vez mayores, las empresas se enfrentan a nuevos desafíos para satisfacer las necesidades de sus clientes (Tolosa, 2010).

El uso y fabricación de los alimentos balanceados, en general, tiene un constante crecimiento y desarrollo tecnológico, motivado por los avances en el campo de la nutrición y la genética de las especies animales explotadas comercialmente como fuentes de proteínas para la alimentación humana. Factores propios de la época moderna, como son la globalización de la economía y la permanente preocupación por el medio ambiente, obliga a que los productores sean cada vez más eficientes. Por lo tanto, un buen alimento balanceado, no solo debe satisfacer los requerimientos nutricionales de la especie animal, sino además debe garantizar no ser portador de bacterias, hongos, toxinas y virus, cuya presencia puede tener consecuencias fatales para los intereses del productor (Merizalde Guerra Federico, 2005).

El surgimiento de la industria forrajera en México comenzó con la conquista de los españoles, ya que éstos, al momento de colonizar el continente americano, trajeron todas sus costumbres y animales lo cual creó un sistema de fabricación de forrajes para sus animales, en especial a sus caballos. Estos “sistemas” industriales tienen su gran época de desarrollo y establecimiento en los grandes latifundios y posteriormente en las haciendas. Por esta razón, el forraje en México ha estado presente desde los orígenes de su historia y lo ha ido acompañando a través de los años, con sus adelantos e innovaciones tecnológicas.

Los productos tradicionales de forrajes poseen limitaciones de manipulación, de almacenamiento y también al momento de su transporte a largas distancias, lo que ha determinado que se hayan buscado alternativas para superar estos problemas y de esta manera, lograr un producto con mejores propiedades. En este marco es que surgen los productos de pellet y cubos, y como producto intermedio, la harina (Ramos, 2012).

Los pellets de forraje no abundan en el mercado nacional, debido a que en general no hay una producción muy desarrollada. Con respecto al desarrollo de tecnología nacional para la industrialización, ésta es escasa por no ser un tema muy explorado, además de que el acceso a esa tecnología es muy costoso, Por tal motivo, es fundamental analizar y considerar las distintas tecnologías de proceso aplicables a su procesamiento con el objetivo de otorgar un valor agregado a este recurso, así como para obtener otros alimentos de alta calidad, estables todo el año y aplicables a una amplia gama de dietas productivas.

Planteamiento del Problema

En la actualidad, la globalización es un factor importante para la producción de alimentos, con lo que se ha incrementado la demanda de animales de granja para consumo humano, debido a esto, en el mundo se han desarrollado los pellets que cumplen con las necesidades de los animales, además de ser un recurso que resiste el transporte y almacenamiento.

En la actualidad se ha desarrollado una gran cantidad de avances en el área de la peletización, pero estos avances sólo se presentan en países con un desarrollo mayor. En el caso de México esta área de la industria ha sido descuidada e incluso olvidada a tal grado que no se cuentan con ninguna patente en el desarrollo de esta tecnología, sólo el país es un ente que se encarga de importar los pellets de otros con la tecnología adecuada.

Con este estudio se pretende desarrollar una tecnología en el área de la peletización de alimentos que contara con el uso de energías renovables como la geotermia y solar, con el fin de evitar desechar gases contaminantes provenientes de combustibles comerciales, además de presentar una máquina para que el país pueda comenzar a desarrollarse en esta área y empiece a producir pellets de grado alimenticio.

Objetivo General

Diseñar una máquina peletizadora de alimentos deshidratados, empleando energías renovables en el proceso de trituración y compactación de la materia prima para la producción de pellets.

Objetivos Particulares

- Analizar el proceso de peletizado e identificar los factores más importantes para la producción de pellets.
- Diseño de máquina peletizadora para una producción de 300 kilogramos por hora y utilizar un intercambiador de tubos concéntricos para la utilización de energía geotérmica en el acondicionamiento de la materia prima para los pellets.
- Implementar las energías renovables geotérmica y solar en el sistema de peletizado de alimentos deshidratados.
- Realizar un análisis económico de la producción de pellets de alfalfa, e implementar una reducción de costos en el consumo eléctrico al emplear paneles solares.

Capítulo 1. Marco Teórico

1.1 Introducción

Este capítulo permitirá conocer y entender los conceptos básicos que tendrán parte en el desarrollo del proyecto. Primero se partirá con la definición del pellet y las variantes en la industria, de igual manera se determinarán los parámetros que afectan la calidad de producción de los pellets de acuerdo a las normas que se especificarán.

Posteriormente se describirá el proceso que se seguirá para la producción de pellets desde la recepción de la materia prima hasta el empaqueo para su almacenamiento y distribución. Para entender mejor el funcionamiento de las peletizadoras se presentarán patentes de las máquinas y sus variantes. Se realizará un estudio del mercado actual en el mundo acerca de la producción y distribución de pellets de alfalfa. En el caso de México se realizará el estudio de su producción de granos y de alfalfa para el posible campo del mercado donde se podrían comercializar pellets no solo de alfalfa sino de otros granos de producción nacional. Por último, se conceptualizará acerca de las energías renovables existentes tanto en el mundo como las que se producen actualmente en México.

1.2 Pellets

El proceso de peletización se define como el moldeado de una masa de pequeñas partículas (alimento en harina, madera o plástico) en partículas más grandes o pellets, mediante procedimientos mecánicos, presión, calor y humedad. La formación del pellet ocurre en el punto donde entran en contacto los rodillos y el dado o matriz de salida. Todas las demás actividades, tales como acondicionamiento, enfriamiento, etc., dan apoyo al punto de contacto (Paulino J. A., 2013).

1.3 Tipo de Pellets

1.3.1 Pellets de madera

Son un biocombustible sólido fabricado con base en partículas de madera, son pequeños cilindros de madera residual (aserrines y virutas), secados de manera natural y comprimidos a altas presiones y sin otros aditivos, teniendo como resultado final un muy bajo contenido de agua. Los pellets necesitan poco espacio para su almacenamiento y tienen un alto poder calorífico. Normalmente sus medidas son de 6 a 8 [mm] de diámetro y 10 a 40 [mm] de longitud.

En general, un buen pellet de madera presenta menos de un 10 % de humedad y una durabilidad mecánica mayor del 97.5 %. Considerando un poder calorífico cercano a 4,300 [kcal/kg], puede establecerse que de 2 a 2,2 [kg] de pellets equivalen energéticamente a un litro de gasóleo (Navarra, 2015).

1.3.2 Pellets de plástico

Los pellets plásticos son gránulos de plástico que corresponden a la forma principal de las resinas plásticas que son producidas y comercializadas, se encuentran entre los residuos más abundantes en las costas del mundo. Los pellets pueden ser de varias formas ovoides, esféricas y tamaños de 1 mm cilíndricos a 5 mm, generalmente blancas, transparentes o colores claros en función de su composición química y su propósito final (Sánchez, 2015).

1.3.3 Pellets de alimento

Son estructuras cilíndricas, que según sea el tipo de alimento fabricado, tendrán diferente diámetro y longitud, temperaturas y tiempos para secado de algunas frutas y verduras para poder hacer la harina (sol, 2007).

Tabla 1 Especificaciones de secado de alimentos (sol, 2007)

Alimento	Humedad Fresco (%)	Húmeda Final (%)	Temperatura (°C)	Tiempo de Secado (horas)
Frutas				
Piña	85	10	55-65	10-21
Manzana	84	14	55-65	5-12
Albaricoque	87	18 a 24	55-65	10-18
Plátano	80	15	55-65	8-12
Pera	80	10	55-65	8-12
Dátil	75	14	55-65	5-7
Higo	78	15	55-65	5-7
Mango	85	12 a 16	55-65	10-20
Naranja	86	8 a 12	55-65	8-20
Papaya	85	13	55-65	10-18
Uva	80	15 a 20	55-65	12-21
Melocotón	85	18	55-65	8-16
Fresas	85	10	55-65	7-15
Cáscara de naranja	65	8	8-16	8-16
Verduras				
Zanahoria	70	5	55-70	6-8
Pimiento	87	8	55-70	8-12
Apio	94	12	55-70	6-10
Patata	75	12	55-70	8-30
Berenjena	90	10	55-70	6-18
Brócoli	90	6	55-70	6-18
Coliflor	95	6	55-70	6-16
Cebolla	80	4	55-70	8-14
Champiñones	85	9	55-70	6-16
Alimento Animales				
Alfalfa	80	9	70-80	20
Avena Forraje	14	14	-	-
Maíz grano	30	14	-	-
Sorgo Grano	14.5	14.5	-	-
Trigo Grano	15.5	15.5	-	-
Cebada Grano	12	12	-	-

Al igual que se pueden fabricar pellets de frutas y verduras para consumo humano, se pueden fabricar pellets para consumo animal, siendo la alfalfa la más comercializada para los animales.

Pellets de alfalfa:

Los pellets de alfalfa son un producto que se obtiene por la compresión de alfalfa seleccionada, en forma granulada de 7 a 8 [mm]. Debido a su contenido de humedad cercano al 9 % es un alimento que garantiza una excelente digestibilidad, máxima palatabilidad y aprovechamiento de todos sus componentes nutricionales. Por otro lado, su tamaño permite regular con mayor facilidad el consumo diario sin generar desperdicios como en el caso de la cebada, la avena y los vegetales. Además, presenta notables ventajas de almacenamiento, está menos expuesto al deterioro ambiental y ataque de insectos u hongos, por lo que permite la conservación del producto por largos periodos de tiempo sin que sus propiedades físico-químicas y nutricionales se vean afectadas (Jhon Daivis Lopez Pillpe, 2016).

1.4 Parámetros que Tienen Una Mayor Influencia en la Fabricación del Pellet

1.4.1 Humedad del material

El agua tiene un rol crucial en el proceso de peletizado. Se ha descubierto que es el factor que ejerce mayor influencia sobre la calidad de los pellets. El agua contenida dentro de la biomasa actúa simultáneamente como un agente aglomerador y como lubricante. Esto contribuirá a que se generen fuerzas de Van der Waals al incrementar el área de contacto entre las partículas.

Adicionalmente el agua ayuda al proceso de adhesión cuando se encuentran componentes solubles en agua como por ejemplo azúcares, proteínas o almidones. Varios estudios han encontrado que la durabilidad de los aglomerados aumenta a medida que se incrementa el contenido de humedad de la biomasa hasta que se alcanza un punto óptimo, después del cual la durabilidad comienza a disminuir.

En general, se han obtenido buenos resultados con humedades del 8 al 15 % aunque el rango óptimo depende de la biomasa específica usada, encontrándose valores de 10 a 15 %, para paja de trigo 8 a 9 % y alfalfa 11 a 12 % para subproductos del maíz, entre otros. A humedades mayores al 25 % se ha encontrado que el proceso de densificación se dificulta, probablemente, por la incompresibilidad del agua; ya que la humedad atrapada dentro de las partículas puede prevenir el aplastamiento completo del producto y, por ende, la liberación de aglomerantes naturales contenidos dentro de las partículas. Para poder determinar el contenido de humedad se utiliza la siguiente ecuación (Saad, 2016):

$$CH = \left(\frac{P_{inicial} - P_{seco}}{P_{seco}} \right) 100\% \quad \text{EC. 1}$$

Humedad de los pellets (Arpi Trujillo & Calderon Toral, 2010)

Donde:

CH: Porcentaje de humedad de los pellets

$P_{inicial}$: Peso Inicial del pellet húmedo

P_{seco} : Peso Final del Pellet (seco)

1.3.2 Temperatura del material

Durante el proceso de peletizado se genera un aumento en la temperatura de la biomasa debido a la fricción entre partículas y con las paredes. La gran mayoría de autores están de acuerdo en que se observa un aumento en la calidad de los pellets cuando el proceso se realiza a temperaturas mayores a 60 [°C] independientemente del tipo de biomasa estudiada.

El efecto de la temperatura sobre la calidad del pellet se vuelve especialmente importante cuando se trabaja por encima de la temperatura de transición vítrea de los polímeros que conforman la biomasa, como hemicelulosa, celulosa y lignina; ya que permite una deformación plástica de los granos facilitando el flujo de la biomasa por los canales de peletizado y un mejor contacto entre partículas que facilita la formación de puentes sólidos entre ellas.

También el aumento de la temperatura ayuda a la aglomeración de partículas especialmente en presencia de agua ya que la combinación de las dos induce una gran gama de efectos físicos y químicos tales como el ablandamiento térmico de la biomasa, la desnaturalización de proteínas, gelatinización de almidones, solubilización y la consecutiva recristalización de azúcares y sales (Saad, 2016).

1.4.3 Tamaño de grano

El tamaño de grano es un factor importante para la durabilidad de los pellets. Generalmente entre más fino el tamaño de grano, mayor es la durabilidad, ya que entre menor sea su tamaño, mayor es el área superficial de contacto del grano, lo que ayuda a la peletización. Ciertamente, cuando se busca un tamaño de grano ideal lo que se hace es encontrar un balance entre la calidad del pellet y el costo de moler el material, ya que entre menor es el tamaño de grano mayor es el costo de la molienda. Las partículas de tamaños de grano mayores a 1 [mm] actuaran como puntos de quiebre predeterminados en el pellet, por lo que es recomendable trabajar con tamaños de grano menores a 1 [mm] (Saad, 2016).

1.4.4 Geometría del dado

El dado es una parte fija de una máquina peletizadora, por lo que en general es uno de los parámetros que menos se manipula. Haciendo experimentos con diferentes tamaños de dado, varios autores han encontrado que, a medida que se disminuye el diámetro del pellet, aumenta su durabilidad. Lo mismo sucede a medida que se incrementa la relación largo/diámetro (Saad, 2016).

1.4.5 Presión de peletizado

Debido a que uno de los principales objetivos de la peletización es el incremento de la densidad a granel de la biomasa, la presión a la que se realiza la peletización es, a su vez, uno de los parámetros fundamentales a tener en consideración. La presión de peletizado es la que está directamente encargada de compactar la biomasa para aglomerar las partículas y, de esta manera, mejorar la densidad de la biomasa. Entre mayor sea la presión de peletización, la densidad de los pellets aumentara, por lo que se busca realizar que el proceso se realice con la máxima presión posible. La única limitante física a tener en cuenta es que para un determinado tamaño de dado y biomasa hay una presión límite después de la cual no se observa un cambio significativo en la densidad del pellet (Saad, 2016).

1.5 Normatividad de Pellets

En México, a la fecha no existe normatividad desarrollada sobre pellets, mientras que, en los países europeos, donde su uso es común, existen una amplia gama de normas:

-Austria. Tiene tres normativas de pellets en función de la calidad del producto, del transporte y del almacenamiento (Industrial, 2007):

- ÖNORM M 7135: Especificaciones de los pellets y briquetas de madera con o sin corteza.
- ÖNORM M 7136: Requerimientos de calidad de la logística y transporte de los pellets de madera.
- ÖNORM M 7137: Requerimiento de calidad del almacenamiento del consumidor final de pellets de madera.

- Suecia (Industrial, 2007):

- SS 18 71 20 Especifica las características de tres clases de pellets en función del tamaño y de la cantidad de cenizas que generan.

- Alemania (Industrial, 2007):

- DIN 51731, de pellets y briquetas y la DIN Plus que es específica de pellets de gran calidad para calderas que sólo trabajan con pellets.

- Italia (Industrial, 2007):

- CTI R04/05 establece los parámetros de calidad de los pellets de biomasa con fines energéticos. Establece 4 categorías en función del origen.

1.6 Ventajas del Producto

- Provee una calidad nutricional consistente, con un alto valor nutritivo, manteniendo un buen estado del pellet y evitando pérdidas del mismo.
- Se puede manejar mecánicamente, reduciendo los riesgos de accidentes y heridas al personal.
- Es fácil de manejar y limpio, reduciendo la mano de obra en un 85%. El tamaño compacto de los pellets facilita el trabajo de alimentar al animal, además de ser fácil de transportar.
- No hay residuos durante el transporte y distribución. Tampoco los desechos son significativos cuando se alimenta a los animales en el suelo. Al contrario de la alfalfa convencional, que se desperdicia en gran parte, ya sea volándose por el viento o porque el animal come solo las partes que le gustan, la alfalfa en pellet es consumida totalmente sin dejar restos. Las pérdidas en los pellets es sólo la décima parte de las pérdidas del fardo.
- Se produce un gran ahorro en transporte y superficie de almacenamiento, debido a la reducción de espacios requeridos por peso.
- Se puede controlar perfectamente lo suministrado e ingerido a comparación de la alfalfa suelta. Se evita la selectividad en el consumo por parte del animal.
- Los alimentos paletizados poseen muchas más etapas en el proceso productivo que los que los fardos, pacas, o rollos por lo que el valor del kg de producto es más alto (Mansilla Darío, 2014).

1.7 Proceso Para Fabricación de Pellets

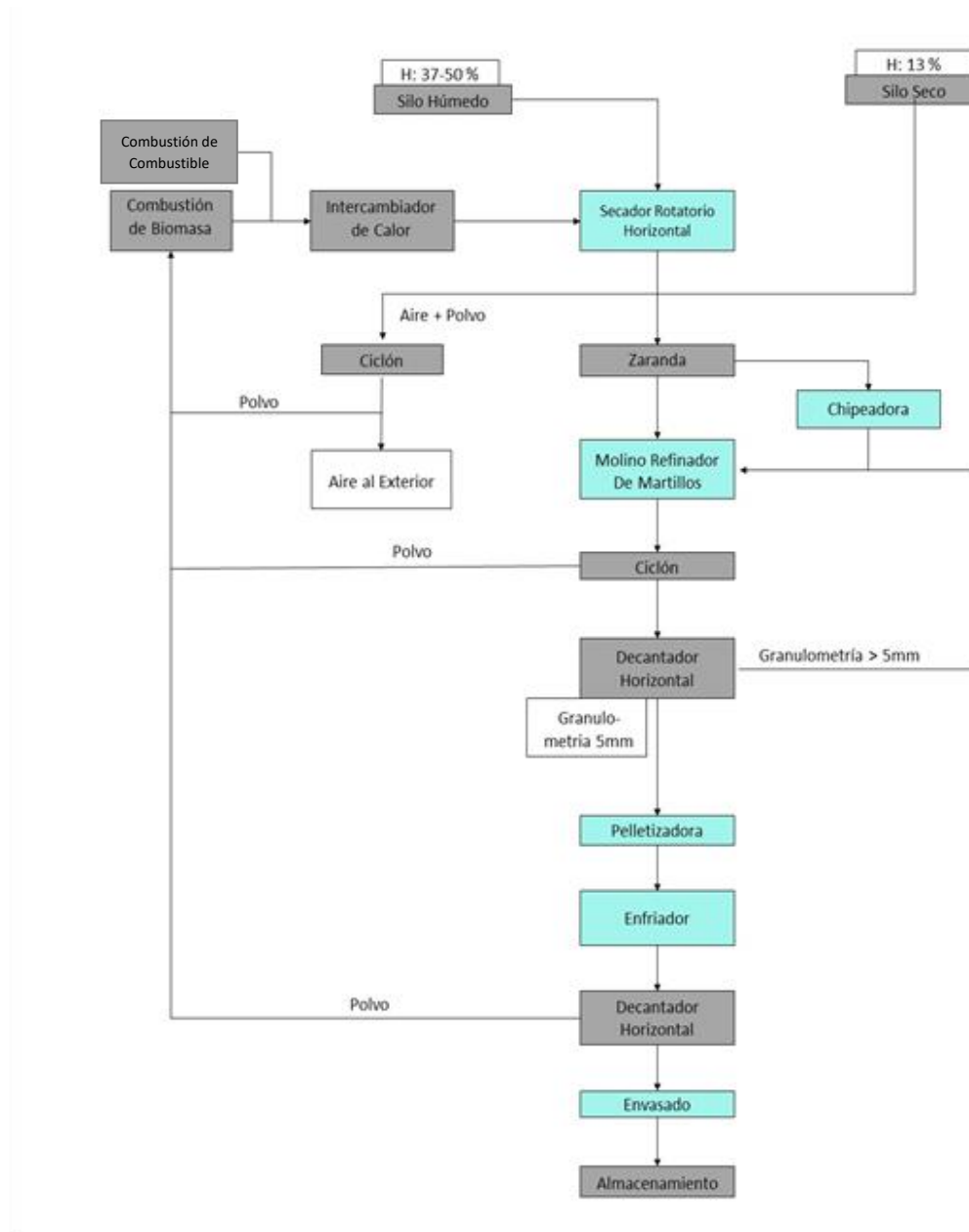


Figura 1 Proceso de peletización (Barbieri, 2009)

1.7.1 Deshidratado

El proceso de deshidratación de la alfalfa se realiza básicamente en dos etapas: la primera, en el campo y la segunda, en fábrica. Cuando la producción de alfalfa está destinada a la deshidratación, la alfalfa recién cortada es sometida a un proceso de pre-henificado en el campo, en el que se mantiene en el sitio durante 24 - 48 horas para que pierda gran parte de su humedad, situándose en torno al 30 %. A continuación, es recogida mediante carros picadores y trasladada a las plantas deshidratadoras.

A lo largo de todo el proceso de deshidratado, y con diferentes equipos, existen sistemas de detección y eliminación de cualquier objeto metálico que hubiese podido recolectarse en el campo. El producto permanece en el trómel de secado de 5 a 10 minutos, alcanzando temperaturas por encima de 250 ° (A.B. Rodríguez, 1992).

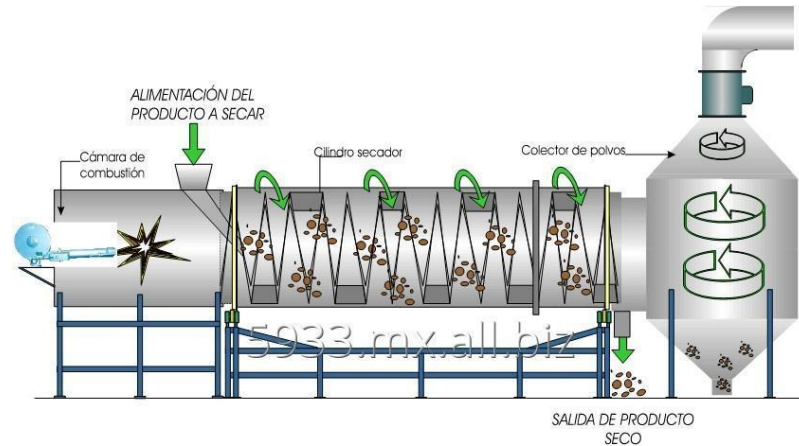


Figura 2 Secador horizontal "Trómel" (Ingeniería-Calor y Manufactura, 2009)

1.7.2 Molido o granulado

En este proceso la materia prima tiene que ser llevada a un tamaño o granulometría de al menos el diámetro del pellet a producir. Normalmente se usa en este proceso un molino de martillo y lo que se busca es conseguir un material lo más uniforme posible (Barbieri, 2009).

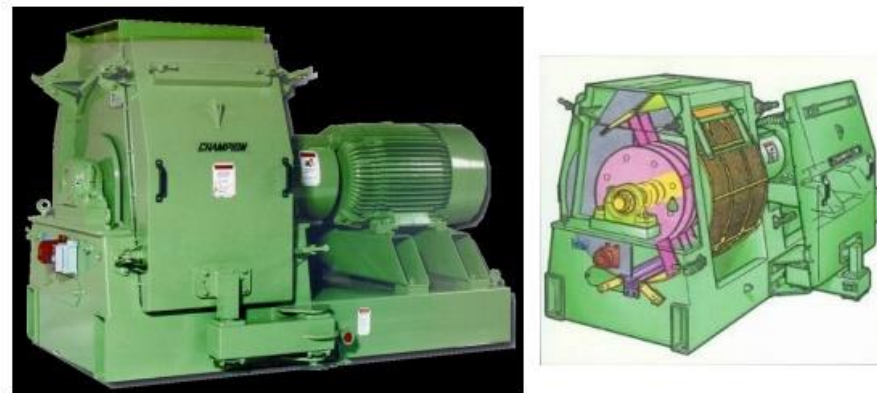


Figura 3 Granuladora de materia (Barbieri, 2009)

1.7.3 Acondicionamiento

Muchos investigadores y profesionales han probado una y otra vez que la durabilidad del pellet y la eficiencia del peletizado puede mejorarse sustancialmente mediante el acondicionamiento adecuado de la harina con inyección de agua. El fluido saca a la superficie las partículas de la harina del pellet y los aceites naturales más comunes en la mayoría de los granos que proporcionan lubricación al dado de salida de los pellets, lo que reduce el desgaste del dado mismo y del ensamblaje de rodillos, además de aumentar las tasas de producción (Arbeláez, 2011).

Para los parámetros de calidad del Pellet se recomienda que la adición del fluido no deba sobrepasar los 25 [m/s] y debe ser calentado hasta 90 [°C] durante un rango de tiempo de 45-90 [s], con el fin de lograr una cocción del alimento de manera saludable (Julián Escobar Atehortúa, 2010).

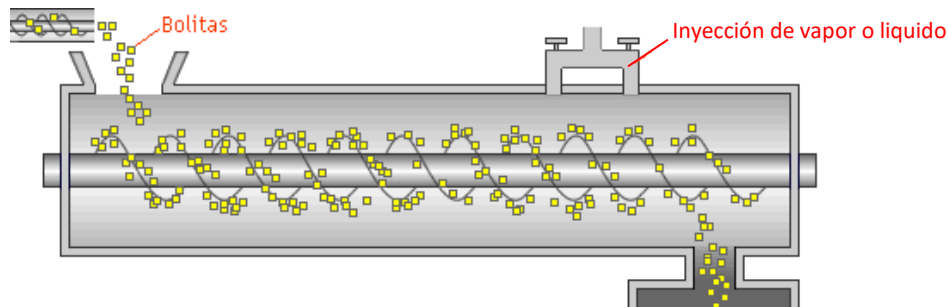


Figura 4 Molino acondicionador (TLV, 2012)

1.7.4 Peletizado

Los procesos de peletizado se llevan a cabo mediante el uso de un sistema de rodillos que ejercen presión sobre los residuos situados sobre una matriz metálica, dotada de orificios de calibre variable (0.5 a 2.5 [cm]) según el tamaño deseado de los pellets. El número de los rodillos oscila (dependiendo del modelo) entre 2 y 5 unidades.

En función de la forma de la placa o matriz empleada, se puede distinguir dos tipos de peletizadoras. Por un lado, en el Sistema Alemán, la matriz donde se deposita el producto a paletizar es plana. Sobre el producto pasa uno o varios rodillos que le obligan a pasar entre los orificios que posee la matriz de peletizado, de ese modo la materia prima.

Por otra parte, en la peletizadora de matriz anular o Sistema Americano, la matriz tiene forma de corona circular agujereada, con un espesor determinado sobre la cual giran excéntricamente uno o varios rodillos. La matriz es una pieza estática y sufre las mayores abrasiones, debido a que los rodillos interiores presionan el material produciendo la densificación en las canaletas (A.B. Rodríguez, 1992).



Figura 5 Peletizadora vertical (Barbieri, 2009)



Figura 6 Peletizadora horizontal (Barbieri, 2009)

1.7.5 Enfriamiento

Los enfriadores de pellets pueden ser verticales u horizontales. Siendo estos últimos más adecuados para reducir el volumen de las piezas defectuosas y producción de finos debidos al golpeteo. Sin embargo, los enfriadores horizontales, a diferencia de los verticales, necesitan un gran espacio para su instalación.

Esta etapa es muy importante en todo el proceso de producción de pellets. Luego de la compresión o peletización, la temperatura de los pellets es alta (usualmente de 90 °C aprox.). El enfriado estabiliza a los pellets y endurece la lignina derretida en la superficie de los pellets (A.B. Rodríguez, 1992).

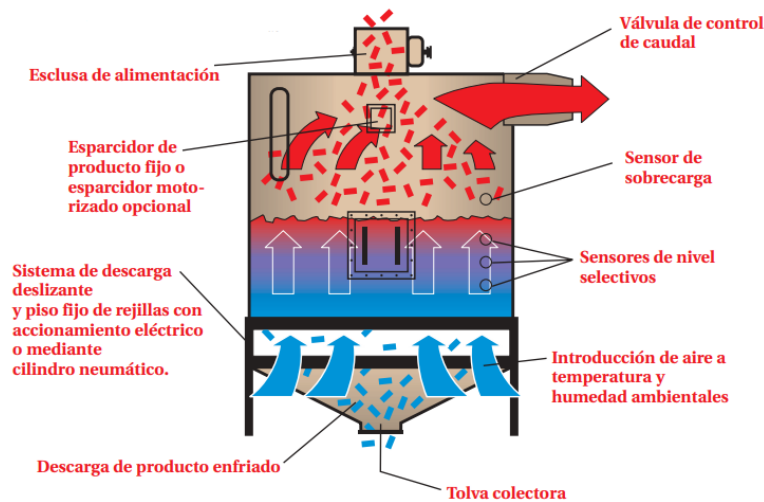


Figura 7 Enfriador a contra flujo (OP><FLO, 2005)

1.7.6 Tamizado y clasificación

En el tamizado el polvo de la materia prima, mezclado entre los pellets, es separado y devuelto al proceso de peletizado. El tamizado y clasificado es usualmente realizado con un tamizador con sistema de vibrado para asegurar un producto homogéneo para evitar que no cause problemas en el manejo y traslado del producto (A.B. Rodríguez, 1992).

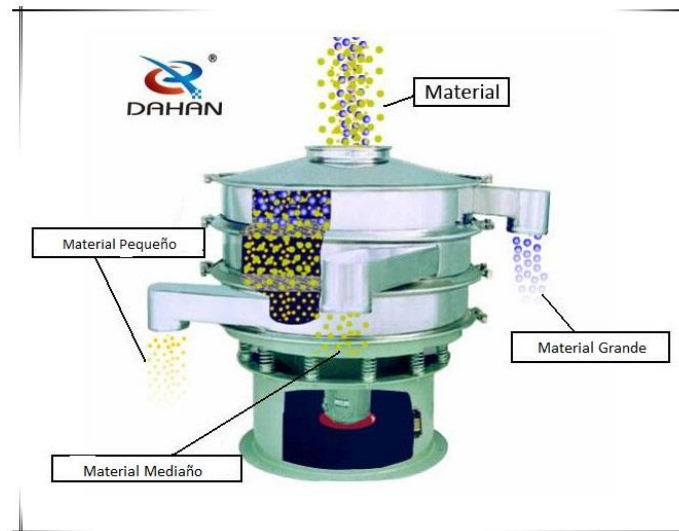


Figura 8 Tamiz vibratorio circular (DAHAN,2008)

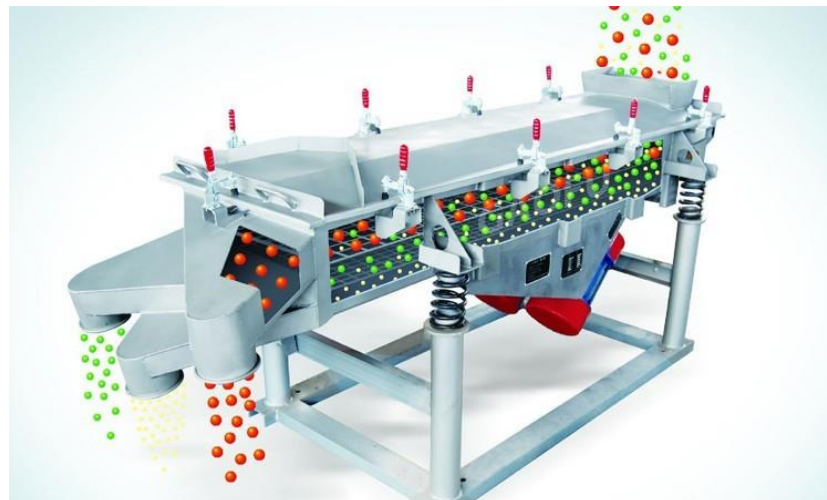


Figura 9 Tamiz vibratorio lineal (yongqing, 2006)

1.9 Situación del Pellet de Alfalfa en el Mundo

La alfalfa es un cultivo muy extendido en los países de clima templado. La importancia del cultivo de la alfalfa va desde su interés como fuente natural de proteínas, fibra, vitaminas y minerales, así como su contribución paisajística y utilidad como cultivo conservacionista de la fauna. Además de la importante reducción energética que supone la fijación simbiótica del nitrógeno para el propio cultivo y para los siguientes en las rotaciones de las que forma parte, es una especie distribuida extensamente en las zonas templadas del mundo, tales como: Estados Unidos de América, Canadá meridional, Europa, China, América Latina meridional y Sudáfrica.

La alfalfa en la actualidad, en su mayor parte, se cosecha para la producción de fardos y rollos, ambos con bajo valor agregado, elevado costo de transporte y sin posibilidades de exportación por la relación peso - volumen. Los pellets de alfalfa son productos de excelente conservación; volumen y transporte reducido, con demanda en aumento en los mercados extranjeros, especialmente los países asiáticos, árabes y de Europa del Este. Por otro lado, teniendo en cuenta los problemas derivados de la alimentación animal con proteínas animales que producen el conocido mal de la “vaca loca”, se permite vislumbrar un importante aumento en el consumo de cubos y pellets para los próximos años en casi todo el mundo, a continuación, se encuentran los principales proveedores de pellets a nivel mundial (Industrial, 2007).

- ALFA-TEC.
- SHAFTER.
- ALBERTA DEHYDRATING CO.
- CHAMPION HAY PROCESSORS.
- DALZIEL ENTERPRISES.
- FALHER ALFALFA.
- GREEN ACRES ALFALFA FRAMS.
- LAKESHORE FORAGE.
- LEGAL ALFALFA PRODUCTS.
- NORTHEN FORAGE.
- PADDLE VALLEY PRODUCTS.
- TIROL DEHYDRATERS.
- TRANSFEEDERS.
- CTRA. DE TUDEL.
- ALFALFA OSES RESANO SA. & ESPAÑOLA DE FORRAJES.

1.10 Situación del Pellet de Alfalfa en México

1.10.1 Producción de alfalfa en México

El cultivo de alfalfa en México ha ocupado, en los últimos 10 años, un promedio anual de 30 millones 950 mil toneladas, bajo condiciones de riego, los principales estados productores son: Chihuahua, Hidalgo, Guanajuato, Baja California, Coahuila, San Luis Potosí, Puebla y Querétaro. 26 estados de la república reportan alfalfa dentro de su estructura agrícola. A continuación, se encuentran los principales estados productores de alfalfa (SAGARPA, 2018).

- Chihuahua
- Hidalgo
- Guanajuato
- Durango
- Baja California
- Sonora

- San Luis Potosí
- Coahuila
- Puebla
- Zacatecas



Figura 10 Porcentaje del valor de la producción por entidad federativa (SAGARPA, 2018)

El mercado de la alfalfa es mayoritariamente regional, las zonas de producción se ubican cercanas a las cuencas lecheras o donde existen hatos o rebaños para el consumo del forraje, el establecimiento de las siembras generalmente ha estado asociado al desarrollo de la ganadería. Uno de los problemas fundamentales que impiden el desarrollo de la industria ganadera nacional es la escasez de forraje, esta se acentúa en las zonas áridas y semiáridas de México. Estas representan el 52 % de la superficie del territorio nacional (Contreras, 2008).

La alfalfa es un insumo básico para la producción de leche y carne. Estos productos de consumo final, han tenido una demanda creciente y la tendencia es de aumento en los próximos años, se tienen estimaciones de que en el ámbito mundial el consumo de leche y productos lácteos pasará de 76 kilogramos por persona al año registrado en el periodo 1995/97 a 82 kilogramos en el 2015 y a 91 kilogramos en el 2030. En el caso de la carne la demanda pasará de 35 [kg]/persona año en el periodo 1995/97 a 40 [kg] en el 2015 y a 44 en el 2030. Se cree que la producción de leche y carne se incrementara en sistemas de producción más intensivos, reduciendo las explotaciones de carácter extensivo en libre pastoreo, por lo tanto, la demanda de alfalfa, seguramente, ira en crecimiento, dado sus ventajosas características forrajeras (COFUPRO, 2015).

1.10.2 Producción de pellets de alfalfa en México

Los pellets de alfalfa no abundan en el mercado nacional, debido a que, en general no hay una producción muy desarrollada. Con respecto a la creación de tecnología a nivel nacional para la industrialización, es escasa por no ser un tema muy explorado y el acceso a esa tecnología es muy costoso. Resulta una alternativa interesante, ya que se puede dar un gran valor agregado a una especie forrajera muy común, al ser una opción más para utilizar como suplemento proteico.

De igual forma, México no figura en las importaciones de pellets realizadas por la Unión Europea ni por ningún otro mercado, a pesar de ser un país rico en gran variedad de recursos 100 % renovables de biomasa; tales como bosques y agricultura a gran escala (CONACYT, 2015).

1.10.3 Producción de granos a nivel nacional

Además de la alfalfa, existen diversos granos y hierbas que se utilizan para la producción y consumo de animales, para que tengan una mejor nutrición y desarrollo, a continuación, se muestra una tabla de la producción de alguno de estos granos en México en el año 2017 (SIAP, 2017).

Tabla 2 Producción de granos a nivel nacional (SIAP, 2017)

Producto	Superficie Sembrada [ha]	Superficie Cosechada [ha]	Producción [ton]
Alfalfa Verde	15,001,402.18	14,667,899.48	557,380,180.2
Avena Forraje Verde	630,628.24	625,420.50	9,682,821.31
Maíz grano	7,540,942.12	7,327,501.43	27,762,480.90
Sorgo Grano	1,456,329.81	1,427,801.49	4,853,109.66
Trigo Grano	661,744.20	661,449.70	3,503,520.87
Cebada Grano	361,472.85	354,756.63	1,008,158.23

A nivel nacional, los estados que ocupan el primer lugar en producción de los granos y oleaginosas son: Sonora en cártamo (57 % de la producción nacional), trigo (44 %) y canola (27 %); Tamaulipas en girasol (52 %), soya (49 %) y sorgo (37 %); Chihuahua en avena (69 %); Guanajuato en cebada (31 %); Zacatecas en frijol (28 %); Veracruz en arroz (23 %) y Sinaloa en maíz (17 %). Cabe destacar que los cultivos cuya producción se encuentra altamente concentrada en un solo estado son: avena, cártamo, girasol y soya; en contraste, el maíz y el frijol son los únicos cultivos que se producen en todos los estados del país (SAGARPA, 2017).

Los granos, de igual forma que la alfalfa, son un elemento con los que se pueden producir pellets en su mayor parte para la alimentación de animales. Los animales, los cuales se nutren con estos comprimidos, son empleados en su mayoría para la generación de productos de consumo humano, como son las vacas de las que se obtiene carne y producción de leche, ovejas, cabras, aves de corral y caballos, se alimenta a estos animales con pellets ya que los nutrientes que contienen las materias primas se mantienen y al momento de su transporte y distribución se tiene un costo menor que con materia prima sin ser procesada.

1.11 Caracterización de la Región de Implementación del Proyecto

El proyecto se instalará en el estado de Guanajuato en los alrededores de la ciudad de Celaya, puesto que en esta región se encuentran los pozos en donde se obtendrá el recurso geotérmico para nuestro proceso. Se centrará nuestro análisis en la producción de pellets de forraje específicamente en la alfalfa.

1.11.1 Determinación de la demanda de alfalfa en la ciudad de Celaya

En el Centro y Norte de México, la alfalfa es un cultivo muy popular entre los agricultores, teniendo un papel muy importante en la producción de leche en estabulación y en la elaboración de concentrados alimenticios para aves, ganado de engorda y equinos.

A continuación, se presentará un resumen de los animales que se alimentan principalmente de forrajes y el número de cabezas en pie en el estado de Guanajuato en el año 2018.

Tabla 3 Resumen de animales consumidores de alfalfa (SIAP, 2018)

	Bobino	Porcino	Ovino	Caprino	Ave
Participación en el Total Nacional	2.8 %	5.6 %	4.4 %	6.3 %	4.3 %
Cabezas al Año (Miles)	950	958	390	554	22,568

Con los datos anteriores es posible determinar el consumo de forraje para los animales, considerando el porcentaje de materia que ingiere cada animal al día:

Una vaca con un peso promedio de 500 [kg] consume 50 [kg] de forraje al día = 18,250 [kg] al año

Un cerdo con un peso de 76 a 100 [kg] consume 3 [kg] de alimento al día = 1,095 [kg] al año

Una oveja con un peso promedio 100 [kg] consume 3 [kg] de alimento al día = 1,095 [kg] al año

Una cabra con un peso promedio de 90 [kg] consume 2 [kg] de alimento al día = 730 [kg] al año

Una gallina con un peso promedio de 2.5 [kg] consume 120 [g] de alimento al día = 43.8 [kg] al año

Con la información anterior se puede determinar la demanda de forraje que necesita los animales para su desarrollo adecuado por mes en el estado de Guanajuato.

Tabla 4 Demanda de forraje para animales en el estado de Guanajuato

	Bobino	Porcino	Ovino	Caprino	Ave	Total
Consumo de Forraje al Año por una Cabeza [kg]	18,250	1,095	1,095	730	43.8	
Cabezas al Mes (unidad)	79,167.00	79,833.00	32,500.00	46,167.00	1,880,670.00	
Consumo de Forraje Total al Mes [ton]	120,399.81	7,284.76	2,965.63	2,808.5	6,864.45	140,323.15

De acuerdo a la Infografía Agroalimentaria del estado de Guanajuato elaborado por el SIAP, la ciudad de Celaya es el 4° municipio líder en producción en la actividad pecuaria o ganadera con un 6.1 % de la producción del estado, por lo que de las 140,323.15 toneladas de demanda de forraje para la entidad de Guanajuato, la ciudad de Celaya tiene una demanda de 8,559.71 toneladas mensuales de forraje.

1.12 Patentes de Máquinas Peletizadoras

A continuación, se presenta un compendio de patentes a partir de las cuales se exploran las posibilidades de producción del pellet.

1.12.1 Método de peletización de materiales de fricción

Provee un método de peletización de materiales de fricción que hace posible dar una forma preliminar de los materiales de fricción. El método de peletización incluye los pasos que se describen a continuación: Una tolva (110) que almacena la materia prima, posee un tornillo sinfín de cinta (112) que facilita el transporte de la mezcla hacia el alimentador (120), que consiste en un tornillo sinfín (122).

La presión generada por dos rodillos (130) proporciona la preforma que luego se dirige hacia los molinos cortadores (142,144). Después de ser reducidos en su longitud, el material pasa a un graduador (150) que, mediante la acción de unos platos compresores (152) y por medio de una rejilla (154) se lleva el pellet a la forma requerida. Entre las características principales de operación encontramos la capacidad de presionar el material contra una matriz sin adicionarle calor, donde los materiales son mezclados con 0.1 a 5 % peso de solvente para luego cortar el material comprimido y endurecido (Tokio Patente nº 7648659, 2010).

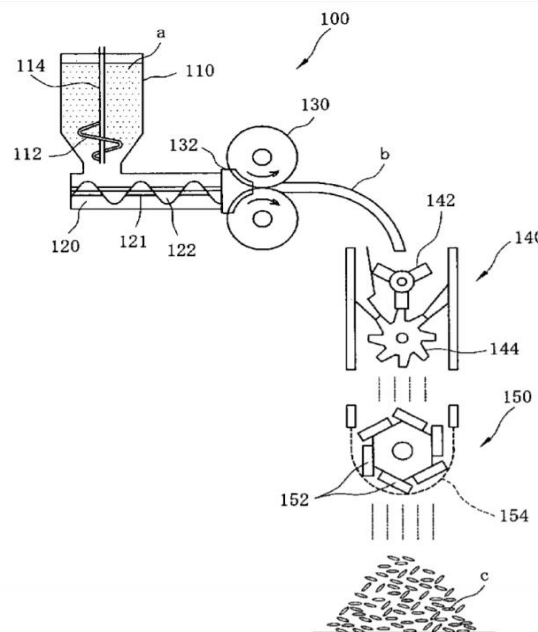


Figura 11 Peletización de materiales por fricción (Tokio Patente nº 7648659, 2010)

1.12.2 Método y aparato para hacer alimento en pellets

El material ingresa por una tolva (2) y es llevado por un alimentador de paletas (3) hacia un acondicionador (4) en el cual se ingresa un fluido por unos conductos (5), el material ingresa (6) hacia la matriz (7) donde los rodillos (9,10) presiona el material al interior de los agujeros de la matriz, que luego son cortador por cuchillas (14,15) que le dan el tamaño requerido para luego ser llevados hacia la salida (17) de donde se dispondrá un sistema de recolección (Switzerland Patente nº 4817517, 1989).

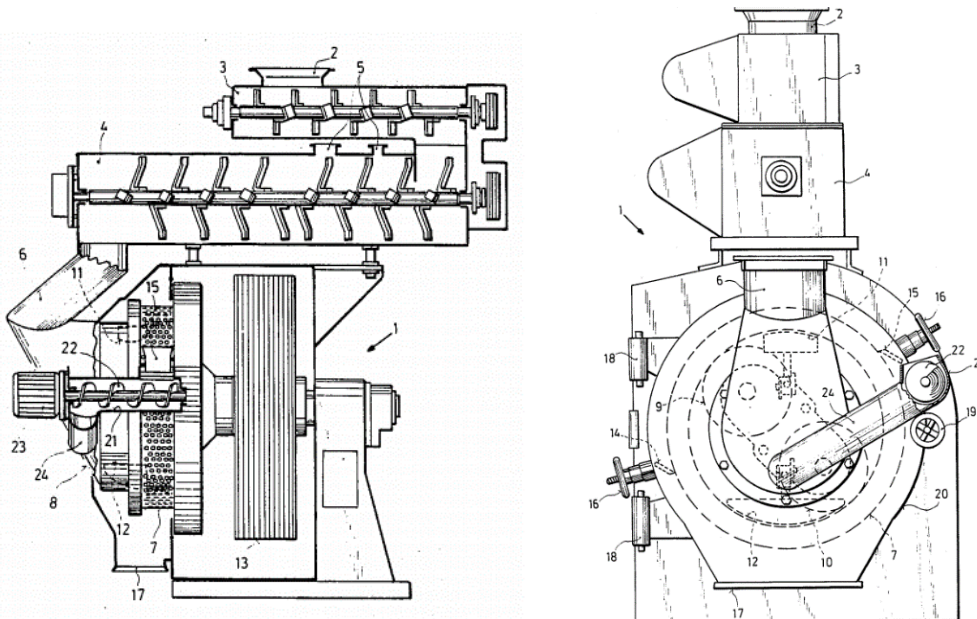
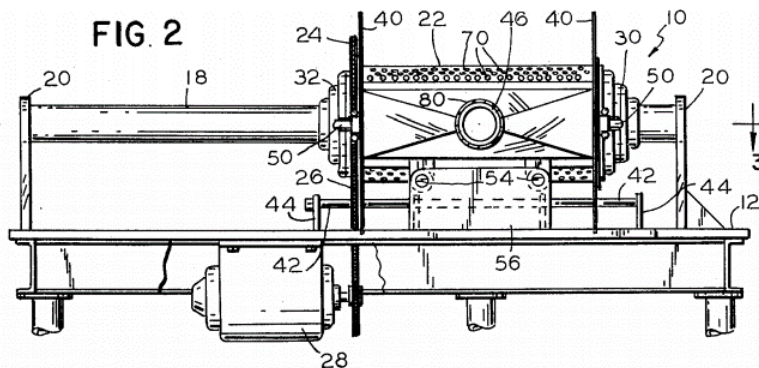


Figura 12 Peletizadora de alimento matriz circular (Switzerland Patente nº 4817517, 1989)

1.12.3 Producción de alimento peletizado

Un alimentador (80) suministra una mezcla de alimentos bajo la presión de un tambor giratorio (22) con cavidades de moldeo (70) a través de su periferia para llenar las cavidades. Un eyector (72) en el interior del tambor aplica el líquido caliente a presión a los extremos interiores de los pellets en las cavidades para expulsarlos del tambor. El tambor está montado sobre un giratorio y desliza sobre rodamientos a lo largo de un eje hueco (18) que sirve como un conducto para el fluido caliente, y el tambor se desliza entre una posición adyacente al alimentador y el eyector, y una posición de limpieza que retira completamente del alimentador y el eyector (Astonia Patente nº 3,991,440, 1976).



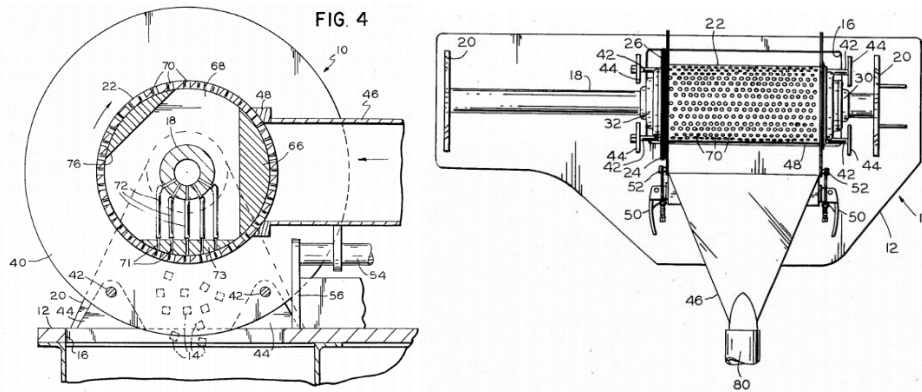


Figura 13 Peletizadora de alimento de tambor giratorio (Astonia Patente n° 3,991,440, 1976)

1.12.4 Máquina peletizadora y cortadora

El equipo consiste de un dado giratorio (50) que tiene unos agujeros (54) que se extiende axialmente. Tiene un disco cortador fijo (60) a una cara del dado y lleva unas cuchillas de corte alineadas con cada forma del agujero. El disco de corte tiene aberturas debajo de cada cortador alineados con cada agujero que permite la formación del pellet para luego ser cortado. Finalmente, el transportador (22) guía el pellet a su almacenamiento (Patente n° 4281976, 1981).

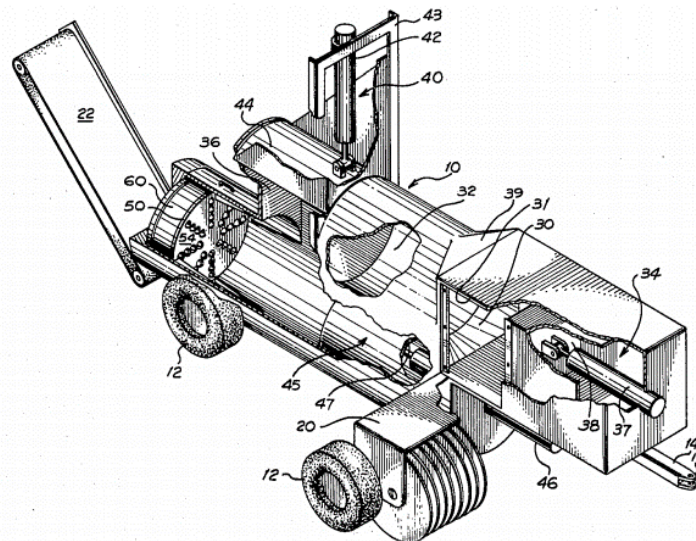


Figura 14 Peletizadora de alimento de dado giratorio (Patente n° 4281976, 1981)

1.12.5 Método para preparar comida peletizado para animales

El material ingresa por una tolva (10) y es alimentado por un sin fin (13) hacia la zona de acondicionamiento por paletas (17) y llevado posteriormente con un tornillo sinfín hacia la cámara de peletizado (23) la cual consta de tres rodillos (24) que presionan la masa hacia los agujeros donde se forma el pellet (Craigville Patente n° 4,001,452, 1977).

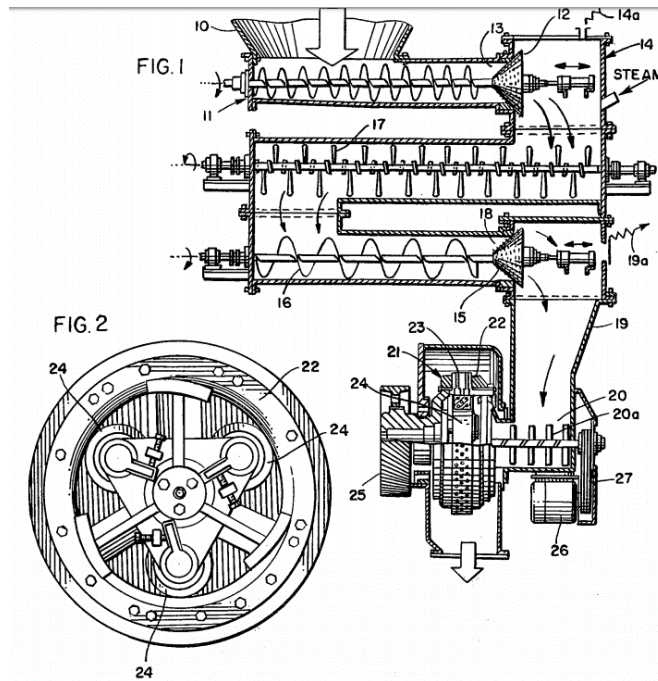


Figura 15 Peletizadora de alimento con rodillos sin fin (Craigville Patente n° 4,001,452, 1977)

1.12.6 Molino peletizado

El molino de pellets comprende una matriz giratoria (8) y dos rodillos (12) que tienen contacto con la superficie interna de la matriz. El material al ser peletizado se alimenta con la presión de los rodillos por medio de una lámina deflectora (21). Esta hoja deflectora se organiza por lo menos 45° antes de la presión de los rodillos como se ve en la dirección de la rotación de la matriz para que quede un espacio libre de al menos 45° que da lugar a que entre el material. Dentro de este espacio libre, la fuerza centrífuga debido a la rotación de la matriz es efectiva y contribuye a una mejor distribución del material (Niederuzwil Patente n° 4,711,622, 1987).

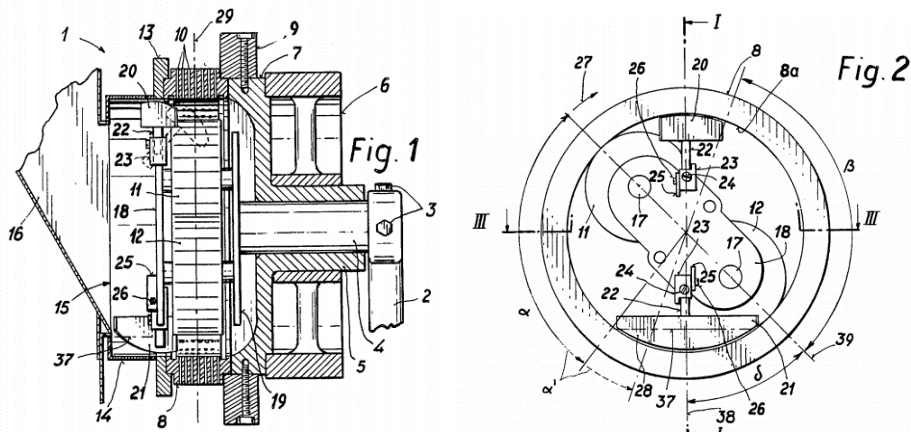


Figura 16 Peletizadora de alimento de matriz giratoria (Niederuzwil Patente n° 4,711,622, 1987)

1.12.7 Peletización por matriz plana

La máquina de peletizado (10) tiene una matriz plana (12), esta matriz se asocia a otra matriz perforada (30) y a un dispositivo para alimentar el material a ser presionado en la matriz plana. El dispositivo de alimentación incluye una zapata de alimentación (32) que se dispone prácticamente paralelo a la superficie de la matriz plana y tiene por lo menos una abertura de alimentación que se dispone o se puede organizar en la región de la matriz perforada. La máquina de peletización incluye además un dispositivo de cierre (42), dispuesto entre la zapata y la matriz plana (BERLIN Patente n° US20100015272, 2010).

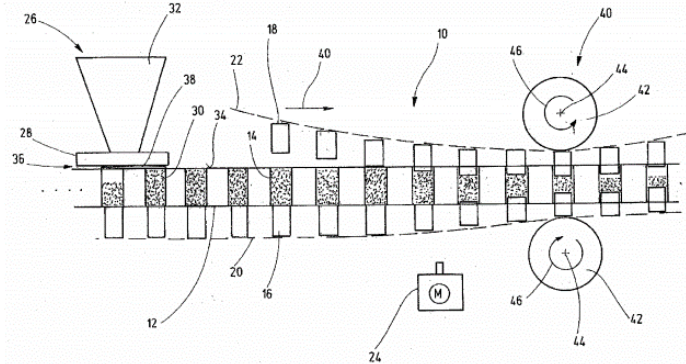


Figura 17 Peletizadora de alimento de matriz Perforadora (BERLIN Patente n° US20100015272, 2010)

1.12.8 Rodillos peletizadores

Un molino de rodillos (10) para paletizar material tiene una primera y una segunda contra rotación (40,42). El primer rodillo tiene una superficie exterior sólida (12); el segundo rodillo tiene una superficie exterior sólida en su parte central, un centro hueco y una serie de perforaciones en cada extremo (20). El material a ser peletizado (30) se coloca en la parte central de la línea de contacto formada entre los rodillos y como los rodillos giran, el material se extiende hacia fuera, hacia las perforaciones donde pasa para ser cortado por una cuchilla (26) dispuesta en el segundo rodillo de centro hueco (Sheboygan Patente n° 5306131, 1994).

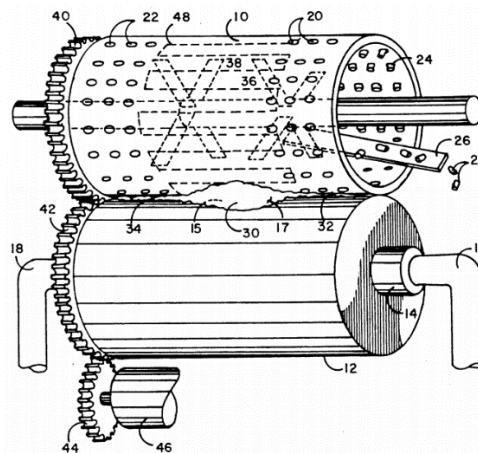


Figura 18 Peletizadora de alimento de rodillos (Sheboygan Patente n° 5306131, 1994)

1.12.9 Peletización por extrusión

Un tanque de alimentación el cual confiere el flujo de la mezcla (11), un dispositivo de enfriamiento (12), y un tubo de alojamiento (13), el material es guiado hasta el tubo de almacenamiento (20) y posteriormente es extruido por los agujeros de la matriz donde la mezcla toma la forma de estos y se corta por gravedad (Bradley Patente n° 6054167, 2000).

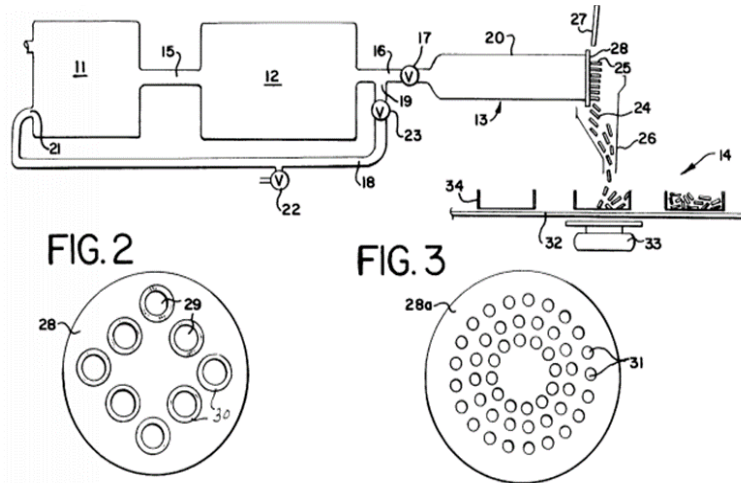


Figura 19 Peletizadora de alimento por extrusión (Bradley Patente n° 6054167, 2000)

1.12.10 Peletización por moldeado

Este aparato permite el moldeado para la producción de pellets a partir de un material fundido. El molde (96) se caracteriza porque en uso es sumergido en el material y luego se cierra para almacenar la masa fundida en la forma de la matriz. Posteriormente, el molde cerrado se quita del material fundido y se enfría para obtener el pellet (Columbus Patente n° 3,995,826, 1976).

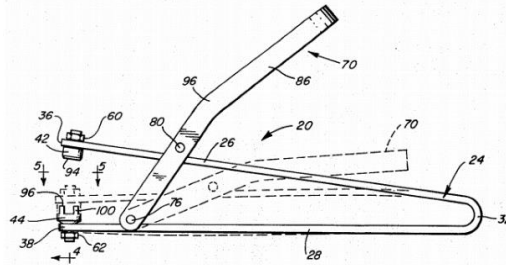


Figura 20 Peletizadora de alimento por moldeado (Columbus Patente n° 3,995,826, 1976)

1.12.11 Máquina para formar alimentos comprimidos y productos similares

El material a ser procesado por la máquina se dirige desde el conducto de descarga 33 hacia el interior n35; y, dado que estas rampas de alimentación descansan en el borde de la brida 32 de inmediato justamente delante de los brazos de soporte 8, el material a procesar se descarga a través de la descarga termina E36 en el espacio formado entre la superficie interna de la matriz 2 y la placa 02. Una cantidad sustancialmente igual se descarga de esta manera delante del ensamblaje del alimentador. La rotación del eje y el doble el miembro bridado D está en el sentido de las agujas del reloj, el material actuado inmediatamente por el ensamblaje del alimentador G. y dirigido a la superficie interna de la matriz 2 de modo que se comprima gradualmente contra la cara interna del dado antes del rodillo E.

Se fuerza este material comprimido a través de las aberturas en el dado. Cada rodillo E ofrece la misma presión contra los materiales que se están procesando. En consecuencia, el material comprimido posee sustancialmente la misma densidad, especialmente en vista del hecho de que el conjunto de alimentación está tan inclinado como para evitar que el material siendo procesado se quede en una esquina (Oregon Patente n° 2,157,528 , 1939).

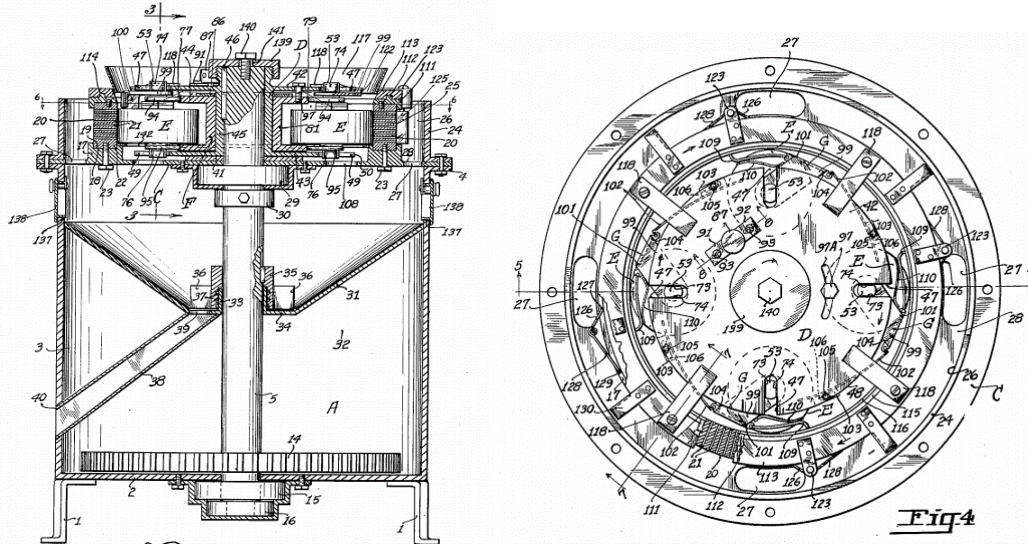


Figura 21 Peletizadora de alimento horizontal con matriz circular (Oregon Patente n° 2,157,528 , 1939)

1.13 Tipo de Materiales Usados en las Peletizadoras

Los materiales con los que se fabricará la peletizadora serán un factor que influenciará en el costo y si cumple con los requisitos para el uso con alimentos, ayudando a que la maquinaria sea lo más eficiente posible con el costo menor posible sin perder de vista el uso para el que fue fabricada.

1.13.1 Aceros inoxidables

Los aceros inoxidables han sido utilizados en estas aplicaciones debido a su gran aporte en resistencia a la corrosión que previene la contaminación de los productos y del ambiente de trabajo y debido a su facilidad de limpieza.

Alimentos como los vegetales representan ambientes suaves y pueden generalmente ser manejados con el uso de acero inoxidable del tipo 304 y 316, mientras que las salsas y los licores presentan ambientes más agresivos y pueden picar incluso a los inoxidables del tipo 316. Para ambientes tan dañinos debe usarse materiales con alta resistencia al picado como el 22Cr-13Ni-5Mn, 904L, 254SMO entre otros. Los tipos 304, 316, 444 y 450 han sido usados para cadenas de transferencia de alimento en equipos de procesado continuo y sus superficies deben garantizar que no se generen agujeros o entallas donde el alimento pueda almacenarse, por tanto, es recomendable tener superficies altamente pulidas para evitar los problemas de corrosión y posterior contaminación de los alimentos (Atehortúa, Colorado, & Daza, 2010).

1.13.2 Aceros de herramienta

Los aceros de herramienta son materiales utilizados principalmente en aplicaciones donde se someta a un sistema a altas exigencias de desgaste continuo como procesos de maquinado, extrusión de materiales y moldeo entre otros. Se caracterizan principalmente por su elevada dureza superficial y su alta resistencia mecánica, factores principales para un buen comportamiento ante el desgaste.

Este tipo de aceros AISI D2, AISI H11 y AISI 1045 se utilizan para la fabricación del dado en la peletizadora, ya que este tipo de material tiene un rango de maquinabilidad muy bajo para el D2 es de 12 % y del H11 de 21 % lo cual complica el poder trabajar con él, pero de igual forma es favorable para evitar el desgaste de las piezas que están en constante desgaste, para el caso de ejes se usa el acero AISI 1045 teniendo buena maquinabilidad y siendo ideal para nuestro tipo de trabajo (Atehortúa, Colorado, & Daza, 2010).

1.13.3 Acero estructural

El acero estructural se escoge para los perfiles que tendrá la máquina de soporte, y para placas de sello que no estén en contacto con el alimento Por lo general se utiliza el acero ASTM A361 (Atehortúa, Colorado, & Daza, 2010).

1.14 Costo de Peletizadoras de Alimento

Se presentan a continuación una cotización de máquinas peletizadoras tanto para grandes cantidades como para nuestra producción deseada, Con esta cotización se tendrá una estimación del costo de la máquina además de parámetro con los que se pueda comparar nuestros resultados en el diseño, los costos de la maquinaria se calcularon el día 27 de febrero del 2019 con un valor del dólar de 19.16 pesos mexicanos.

Tabla 5 Costo de peletizadoras de alta potencia

Empresa	Capacidad de Producción [ton/h]	Potencia requerida [kW]	Costo Maquinaria [€]
Jiangsu Liyang Weifeng Equipment Co; Ltd MZLH420	2	97	1,562,340.00
Prensa peletizadora balanceados Meelko, MKRD508C-W	2	110	1,459,536.43
Máquina peletizadora alimentación animal, Henan richi, SZLH25	1	55	959,640.50
Máquina de pellets de alimentación, Strongwin, SZLH 320	1-2	37	258,031.25
Máquina de peletización para alimentos, Ztmt, SZLH350	2	55	306,585.60

Tabla 6 Costo de peletizadoras de baja potencia

Empresa	Capacidad de Producción [kg/h]	Potencia requerida [kW]	Costo Maquinaria [\$]
Máquina de pellets de alimentación Animal, Meelko, MKFD200B	200-300	7.5	57,639.76
Peletizadora Para Alimento, Hengyi, KL- 200	200-300	11	66,635.45
Máquina de pellets de alimentación Animal, Romel Commerce, LXP200	300-500	5.5	89,490.00
Máquina de pellets alimentación animal, Ainuok, PL-230C	300-400	11	56,248.03

1.15 Energías Renovables en México

Las energías renovables generan energía limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero causantes del cambio climático ni emisiones contaminantes. Además, sus costes evolucionan a la baja de forma sostenida, mientras que la tendencia general de costes de los combustibles fósiles es la opuesta, al margen de su volatilidad coyuntural (AIE, 2015).

El crecimiento de las energías limpias es imparable, como queda reflejado en las estadísticas aportadas en 2015 por la Agencia Internacional de la Energía (AIE): representan cerca de la mitad de la nueva capacidad de generación eléctrica instalada en 2014, toda vez que se han constituido en la segunda fuente global de electricidad, sólo superada por el carbón.

De acuerdo a la AIE, la demanda mundial de electricidad aumentará un 70 % hasta 2040, elevando su participación en el uso de energía final del 18 % al 24 % en el mismo periodo- espoleada principalmente por regiones emergentes (India, China, África, Oriente Medio y el sureste asiático). El desarrollo de las energías limpias es imprescindible para combatir el cambio climático y limitar sus efectos más devastadores. El 2014 fue el año más cálido desde que existen registros. La Tierra ha sufrido un calentamiento de 0,85 °C de media desde finales del siglo XIX, apunta National Geographic en su número especial del Cambio Climático de noviembre de 2015.

En paralelo, unos 1,100 millones de habitantes, el 17 % de la población mundial, no disponen de acceso a la electricidad. Igualmente, 2,700 millones de personas –el 38 % de la población global- utilizan biomasa tradicional para cocinar, calentarse o iluminar sus viviendas con grave riesgo para su salud (AIE, 2015).

La energía eléctrica es uno de los insumos esenciales para la actividad industrial y la garantía de fornecimiento es fundamental para el desarrollo de la economía y el crecimiento de la producción industrial. De este modo, para asegurar a la industria condiciones más adecuadas de productividad y competitividad, un posible camino es tornarla energéticamente más eficiente, por lo que va directamente ligado a la demanda de energía nacional. La actividad industrial implica procesos, herramientas, tecnología, insumos y productos que exigen un consumo energético elevado (Fernanda Casagrande Rocha, 2016).

Cabe mencionar que algunos de estos proyectos aprovechan el Mecanismo de Desarrollo Limpio, dentro del marco del Protocolo de Kioto, para reconocer la reducción de emisiones e incrementar su viabilidad financiera. Estas acciones han sido difundidas a nivel internacional. Un ejemplo lo constituye el reconocimiento que le hizo a México la Asociación Mundial de Energía Eólica por haber sido el país con el mayor crecimiento de capacidad de generación de electricidad con viento, en términos porcentuales (Julio A. Valle Pereña, 2012).

México posee un gran potencial para generar energía a través de fuentes renovables, ya que cuenta con altos niveles de insolación, recursos hídricos para instalar plantas mini hidráulicas, vapor y agua para el desarrollo de campos geotérmicos, zonas con intensos y constantes vientos, grandes volúmenes de esquilmos agrícolas e importantes cantidades de desperdicios orgánicos en las ciudades y el campo.



Figura 22 Mapa de generación de energía limpia en México (CIMAV, 2018)

1.15.1 Energía solar

En las últimas décadas, las tecnologías fotovoltaicas han experimentado un enorme avance tanto a nivel científico, como tecnológico. La eficiencia de los diferentes tipos de celdas se ha incrementado cinco veces y, desde el punto de vista de la innovación, actualmente se cuenta con tres generaciones de celdas desarrolladas. Los costos y la cantidad de energía necesaria para la fabricación de paneles fotovoltaicos se han reducido, en tal medida, que la inversión se puede recuperar durante los dos primeros años de uso; mientras que la confiabilidad contra fallas y condiciones climáticas adversas otorga garantías que exceden los veinte años de vida útil.

Los sistemas fotovoltaicos consisten en la conexión eléctrica de varios módulos en configuraciones serie-paralelo, y pueden incorporar acumuladores de energía, inversores, medidores bidireccionales, líneas de transmisión, cuadro eléctrico, equipo de medición, fusibles e interruptores. Estos sistemas pueden conectarse a la red eléctrica o utilizarse de forma aislada. En los sistemas conectados a la red, los inversores y transformadores convierten la corriente directa de bajo voltaje de salida en corriente alterna de alto voltaje que es enviada a la red eléctrica. Los sistemas aislados utilizan controles de carga y baterías para almacenar energía durante el día y suministrarla cuando hay más demanda por la noche (Secretaría de Economía, 2017).

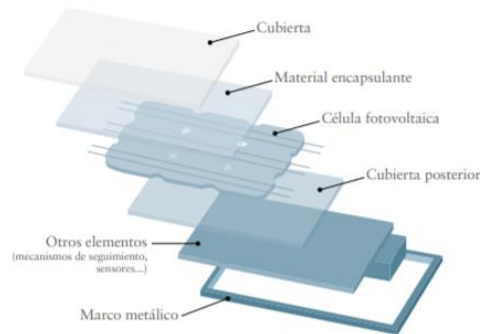


Figura 23 Estructura de panel fotovoltaico o panel solar (Secretaría de Economía, 2017)

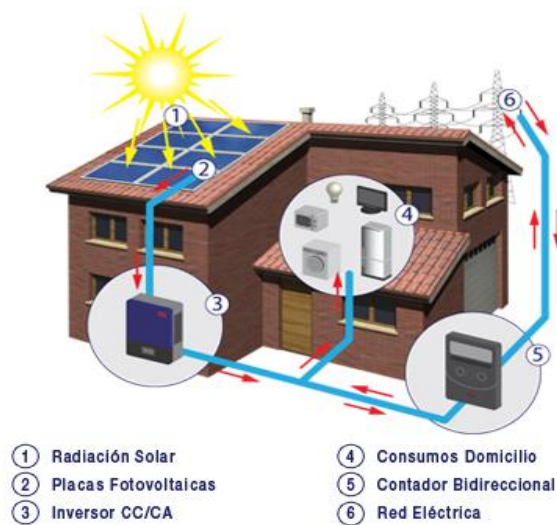


Figura 24 Paneles solares interconectados a la red eléctrica (Energetico, 2014)

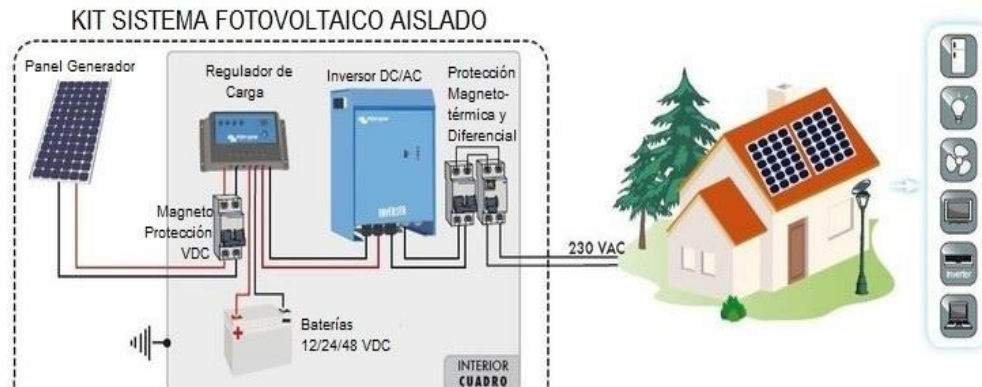


Figura 25 Paneles solares en sistema aislado de la red eléctrica (Ingemecanica, s.f.)

1.15.1 Energía geotérmica

La energía geotérmica se define tradicionalmente como el calor natural de la tierra que se encuentra atrapado bajo la superficie. Aun cuando esta energía se dispersa, sobre todo en la corteza terrestre, existen regiones bien delimitadas de ella donde los flujos de energía presentan valores anómalos. El aprovechamiento económico de este tipo de energía se basa en la detección y evaluación de las zonas anómalas a través del estudio científico del subsuelo.

Para que los recursos geotérmicos tengan un desarrollo económico eficaz necesitan brindar grandes cantidades de calor hacia la superficie de la tierra. Al respecto, la naturaleza provee agua la cual, normalmente, se difunde a través de fracturas y poros, así como otros espacios dentro de la roca. El agua tiene como característica presentar alta capacidad calorífica y un alto calor latente de vaporización, por lo tanto, es un fluido ideal para transferir calor.

La utilización del recurso geotérmico depende del grado de conocimiento que se tenga de éste y de la cantidad y facilidad de extracción de la energía en cada lugar reconocido. Con la finalidad de realizar estimaciones económicas y de factibilidad técnica, se hace necesario contar con información de índole física, química, geográfica, económica y geológica, entre otras, que valorada en conjunto permitan definir estrategias de desarrollo para la energía geotérmica (Partida, 1993).

La extensión territorial de México proporciona varias zonas de alto potencial geotérmico. De ahí que, desde hace varios años, nuestro país sea pionero en la generación de electricidad de este tipo de energía y se ubique en los primeros lugares en capacidad eléctrica instalada (tan sólo por debajo de Estados Unidos, Filipinas, Indonesia y Nueva Zelanda).



Figura 26 Recursos geotérmicos de México (Partida, 1993)

Los recursos geotérmicos se clasifican en función de la temperatura y la capacidad que tenga el terreno de ceder calor. La clasificación de los yacimientos geotérmicos es la siguiente:

- Alta entalpía: son yacimientos de aguas confinadas a altas temperaturas superiores a los 150°C en terrenos con actividad magmática reciente o residual que actúa de foco de calor. Se localizan entre los 1500 y 3000 metros de profundidad. Las aplicaciones de estos yacimientos van desde la producción de electricidad hasta usos térmicos en el sector industrial.
- Media entalpía: son yacimientos con unas temperaturas entre los 90 y 150°C que se sitúan en cuencas sedimentarias. Se localizan entre los 1000 y 3000 metros. Las fracturas del terreno pueden hacer que ascienda agua caliente hasta la superficie dando lugar a los clásicos manantiales termales.
- Baja entalpía: cuando los yacimientos de agua caliente se sitúan en una temperatura inferior a 100°C y su aplicación son los usos directos de esa temperatura; calefacción, procesos industriales y balneoterapia (Angulo, 2008).

1.15.3 Extracción del recurso geotérmico

La energía geotérmica, siendo un gran recurso natural, no se puede aprovechar directamente, ya que, el calor contenido en las rocas y suelos es demasiado difuso para ser extraído directamente de forma económica, siendo necesario disponer de un fluido para transportar el calor hacia la superficie de forma concentrada, mediante sondeos, sondas geotérmicas, colectores horizontales, o mediante intercambiadores de calor tierra-aire a poca profundidad en el subsuelo. El procedimiento para obtener la energía geotérmica es la siguiente:

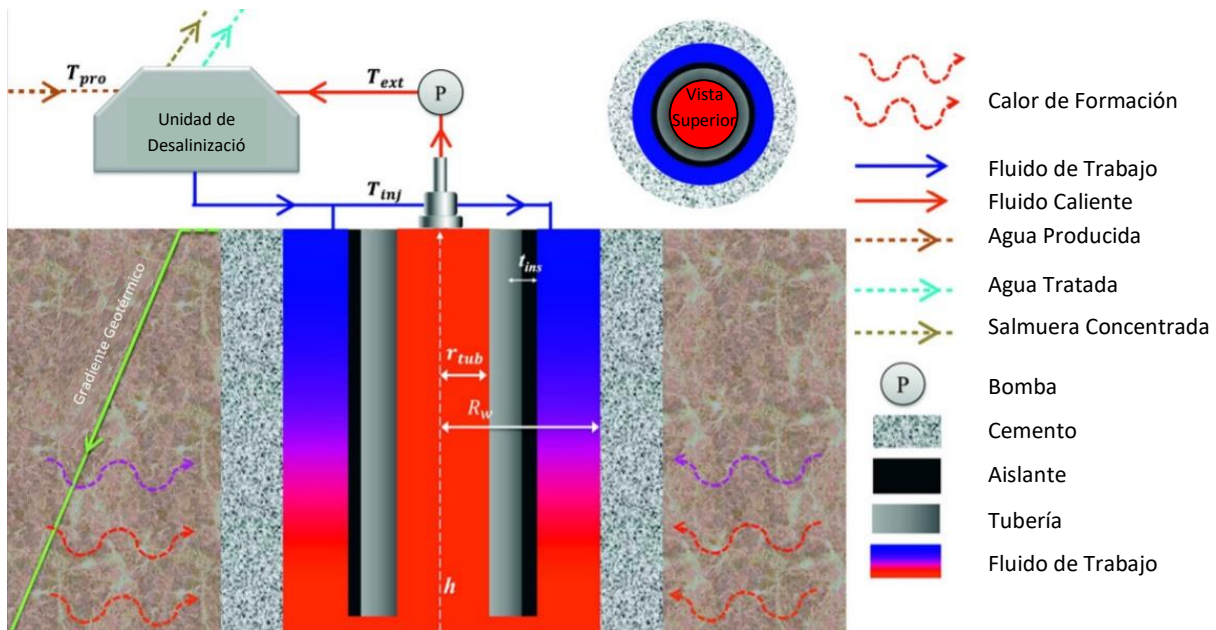


Figura 27 Pozo geotérmico y su sistema de flujo de circuito cerrado asociado (Amin Kiaghadi, 2017)

El líquido de trabajo se inyecta en la zona anular entre el tubo y la cubierta del pozo y se extrae a través del tubo el fluido de trabajo en este caso agua. El fluido se conduce hacia abajo y se calienta gradualmente por la roca circundante, cuando llega al fondo del pozo, su dirección de flujo se invierte y el líquido caliente asciende a través de tubo aislado hacia la superficie.

El fluido extraído resultante es transportado para alimentar la unidad de desalinización donde se extrae su calor y el agua más fría resultante será recirculada de nuevo al pozo geotérmico. El agua limpia se complementará con antibacteriana y aditivos anticorrosivos para mantener el funcionamiento del fluido de trabajo. Importantemente, La corriente de agua producida se trata en la superficie y nunca se inyectará en el pozo geotérmico o en el sistema de flujo de circuito cerrado aliviando así la formación de escamas en el pozo. Este proceso de extracción de energía se emplea para casi todos los usos de la energía geotérmica (Amin Kiaghadi, 2017)

1.15.4 Área considerada para extracción de recurso geotérmico

El recurso geotérmico que se considerara para nuestro proyecto se centrara en el estado de Guanajuato, principalmente en los alrededores de la ciudad de Celaya, lugar en el cual se encuentran actualmente 3 pozos con recursos pertenecientes al grupo IIDEA, que pueden ser aprovechados para la obtención del fluido para nuestro proceso de acondicionamiento, además de estar estos pozos en un área donde se pueden realizar más pozos y así obtener mayor fluido de trabajo.

A continuación, se presenta la ubicación de la zona que se utilizara para la obtención del fluido geotérmico.



Figura 28 Zona considerada para el aprovechamiento de energía geotérmica

1.16 Conclusiones

Según el marco teórico se puede concluir que los pellets de alimento, en especial los pellets de alfalfa, son una fuente de nutrientes que conservan sus propiedades aun después el proceso de peletizado. Siendo este proceso una forma de darle valor agregado a un producto que se comercializa en el país y el mundo, además de ser un proceso con el cual se podrá reducir costos de transporte y distribución, ya que el pellet cuenta con menor tamaño que la materia sin procesar.

Un factor muy importante que se pudo identificar en este capítulo fue que en la actualidad algunos países de Europa y España se encuentran procesando y exportando los pellets, pero en el caso de México esto no ocurre, solo se importa el pellet de otras naciones que cuentan con la tecnología adecuada, siendo México un territorio muy rico en recurso con las posibilidades de ser transformados en pellets; con el análisis de las patentes se pudo identificar que esto que ocurre en México principalmente es por la falta o nulo interés de explotar este mercado.

También en este capítulo se abarco las energías renovables tanto en el Mundo como en México, siendo este último un país con una amplia variedad de estos recursos, de los cuales se están aprovechando y produciendo energía que no afecten el medio ambiente. Centrándonos en la energía geotérmica y su aprovechamiento, dependiendo de la temperatura que presente los pozos geotérmicos.

Se determinó que en México se encuentra un campo de oportunidad para producción de una máquina peletizadora en la que se implementen energías renovables, teniendo los recursos tanto energético como la materia prima para el funcionamiento adecuado en la producción de los Pellets, centrándose en los alrededores de la ciudad de Celaya, en los cuales se encuentran los pozos geotérmicos de los que se dispone el fluido para el proceso.

Capítulo 2. Marco Metodológico

2.1 Introducción

El presente capítulo muestra las principales herramientas que servirán para el diseño del proyecto, introduciendo a la metodología del diseño y como esta es importante para obtener un diseño de la máquina de acuerdo a nuestro objetivo. Partiendo desde un punto subjetivo hasta una idea basada en fundamentos, dándonos de igual manera los pasos a seguir para que la idea sea lo más concreta y factible.

Se comenzará por establecer todas las actividades que se deben seguir para la producción del pellet, una vez definido estos procesos se comenzará a introducir en el proceso de la compactación del material, al igual que se establecerán los parámetros que afectaran en la calidad de los pellets, los cuales se deben de tomar en cuenta para el diseño y el proceso se desarrolle de la forma más eficiente posible.

2.2 Metodología del Diseño

En el proceso de diseño surge la necesidad de aplicar determinados métodos para la toma de decisiones, algunos asimilados de situaciones anteriores, otros nuevos, pero en cualquier caso partiendo siempre de situaciones de información incompleta. Las técnicas de diseño son de carácter heurístico y descubrimiento gradual.

Los métodos de diseño pueden considerarse, en general, como todo modo de trabajo para elaborar un diseño. Como concepto más amplio, puede decirse que: son todos y cada uno de los procedimientos, técnicas, herramientas, instrumentos que ayudan a lograr un diseño determinado y a su vez, son las distintas clases de actividades que el diseñador utiliza y combina entre sí en un proceso general de diseño. Algunos de los métodos son los procedimientos convencionales y normales de diseño, como el dibujo, que es el método más común, es decir "diseñar dibujando". Sin embargo, desde los años sesenta se ha producido un desarrollo notable de otro tipo de procedimientos para diseñar, que pueden describirse como no convencionales (NACIF, 2009).

La necesidad constante del hombre por inventar artefactos o mejorar los que tiene, ha llevado a que se desarrollen una serie de sistemas para tratar de hacer más eficiente y rápido el proceso, considerando al proceso creativo e innovador como algo intuitivo, de difícil definición y que progresa en algunos individuos más que en otros, por lo cual no es posible sistematizarlo.

El primer método para producir un artefacto útil al hombre fue sin duda la observación y reflexión del entorno, aprovechando sus recursos. Es así que se inventa la macana o cachiporra, este método alcanzó sus límites de máximo desarrollo ya que para la obtención de metales fue necesario un sistema más avanzado (Arzate, 2005).

2.3 Tipos de Metodologías de Diseño

2.3.1 Método de "tanteos" o iterativo:

A medida que el método de observación y reflexión agota su potencial para generar inventos, surge el llamado método iterativo o de "tanteos", es decir, se tiene una idea para resolver un problema y se lleva a la práctica, si no da resultado se genera otra probable solución y así sucesivamente, regresando siempre al punto de partida. La suerte juega un papel muy importante en ese sistema y un invento o innovación tecnológica puede generarse en horas, días, meses o años; sin saber en realidad cuando. Ejemplo típico del método son los 3000 "tanteos" o pruebas que llevo a cabo Edison antes de lograr el primer foco con un filamento incandescente (Arzate, 2005).

2.3.2 Método del pensamiento lateral:

El "pensamiento lateral" fue propuesto, por primera vez, por el Profesor Edward De Bono, en Inglaterra. Se basa en observar un problema desde diferentes puntos de vista, En el proceso inventivo o de innovación tecnológica tiene una aplicación muy restringida, y solo es útil en los niveles básicos de grado de dificultad de problemas, siendo comparable a la tormenta de ideas (Arzate, 2005).

2.3.3 Método heurístico:

En vista de las grandes limitaciones que presentan los métodos anteriores para generar inventos o innovaciones tecnológicas significativas, es que surge el llamado "Método Heurístico", que aparece por vez primera en los trabajos de algunos matemáticos griegos, en la ciudad de Alejandría. La heurística trata de explicar las complejas reglas que rigen al proceso creativo e innovador, mediante la observación de un gran número de individuos considerados altamente creativos (Arzate, 2005).

2.3.4 Método de la "lluvia de ideas":

En 1953 Alex Osborn, en los Estados Unidos de América, propone un nuevo sistema para la solución de problemas, dentro del entorno empresarial. Lo llama "Brainstorming" que traducido al español es: "Tormenta de ideas". Es una técnica de grupo para generar ideas originales en un ambiente relajado que genera más y mejores ideas que las que los individuos podrían producir trabajando de forma independiente (Arzate, 2005).

2.3.5 Método del análisis morfológico:

Este método, aparentemente poderoso para producir invenciones fue desarrollado por los profesores E. Zwick y M. S. Allen, en los años cuarenta. El sistema se basa en que, una vez planteado el problema, éste se divide en funciones específicas, con lo que es posible construir una serie de matrices para generar múltiples combinaciones y permutaciones. Es una técnica combinatoria de ideación creativa consistente en descomponer un concepto o problema en sus elementos esenciales o estructuras básicas. Con sus rasgos o atributos se construye una matriz que nos permitirá multiplicar las relaciones entre tales partes. Así pues, en su forma más básica, el Análisis Morfológico no es más que la generación de ideas por medio de una matriz (Arzate, 2005).

2.4 Fases para Desarrollar un Proyecto de Diseño.

El diseño puede entenderse como una actividad puntual, focalizada en el desarrollo concreto de un determinado producto. Sin embargo, desde un pensamiento proyectual más amplio. El modelo de proceso de diseño aquí propuesto esquematiza el recorrido que puede transitar para diseñar un producto. Está organizado en término de fases de trabajo, que persiguen objetivos específicos, conjuga instancias de mayor libertad creativa junto a otras de implementación y control. Busca evitar la improvisación y disminuir el margen de error, a partir del cumplimiento de los objetivos de cada fase (Vigna, 2009).

2.4.1 Definición estratégica

Se busca obtener una primera orientación estratégica del proyecto delimitando los márgenes de acción, a partir de un problema o necesidad detectada comenzando a analizar y procesar la información disponible, en este paso se puede trazar la dirección estratégica del proyecto de igual manera se podrán evaluar las capacidades existentes para el desarrollo del proyecto y cuáles deberán ser adquiridas (Vigna, 2009).

2.4.2 Diseño de concepto

Se trazan los lineamientos del proyecto y su comunicación para generar alternativas creativas con criterios de sustentabilidad, de orientación y de inclusividad, fijando plazos a cumplir. En esta etapa se busca analizar distintas alternativas para seleccionar una de ellas, dando forma a la idea del proyecto de manera tal que pueda ser entendida por personas que no estén en el proyecto (Vigna, 2009).

2.4.3 Diseño del detalle

El desarrollo en detalle busca definir formalmente el proyecto y demás elementos que lo componen, así como las especificaciones técnicas del mismo. En esta etapa se busca determinar desde la geometría y vínculos de las partes hasta el material y proceso por el que se desarrollara; En general, el diseño de detalle está relacionado con el diseño de subsistemas y componentes que integran el conjunto, independientemente de la naturaleza del producto. Todos estos componentes estarán en mayor o menor grado definidos en la fase de diseño conceptual, pero pueden variar considerablemente en la de detalle debido a distintas alternativas de fabricación, conocimientos sobre materiales, nuevas tecnologías, formas, etc. (Vigna, 2009).

2.4.4 Validación

Durante el diseño de detalle del producto se debe verificar que este cumpla con las características conceptuales deseadas, se trata de un proceso iterativo en el que la solución técnica se convertirá en una solución de factibilidad del proyecto, Este paso nos ayuda a pasar de la fase de diseño a la de producción ayudando a rediseñarse si se requiere y llegar a los objetivos establecidos (Vigna, 2009).

2.5 Diagrama de Flujo del Proceso

Tabla 7 Diagrama de flujo de proceso

Proceso: Peletización		Resumen	
Actividad: Peletización de Alfalfa		Actividad	Cantidad
Fecha: 04-octubre-2018		Operación	10
Operador: R.G.M.A.		Transporte	10
Método: Actual Propuesto Tipo: Trabajador Material Máquina		Demora	0
		Inspección	3
		Almacenamiento	2
Comentarios:		Distancia	
Descripción de las Actividades	Símbolo	Distancia	
Recepción de Alfalfa con 30% de Humedad			
Control de Calidad de MP			
Transporte al Almacén			
Almacenado			
Transporte a Secador Rotatorio			
Secado del Material al 10% de Humedad			
Transporte			
Detracción de Metales			
Transpire al Molino			
Molido de la MP			
Transporte a peletizadora			
Peletización de MP			
Transporte a acondicionador			
Acondicionado de Pellets			
Transporte a Enfriador			
Enfriado Por contraflujo			
Verificación de Humedad			
Transporte a Tamiz			
Separación de Pellets por Tamaño y Extracción de Polvo			
Ensilado del Pellet			
Transporte			
Embolsado del Pellet			
Sellado de Bolsa			
Transporte al Almacén			
Almacenamiento de Producto Terminado			

En el diagrama de proceso anterior se muestra los pasos que la materia prima debe de seguir para llegar a convertirse en alimento peletizado, desde la recepción de la materia prima, hasta su embolsado y venta o almacenado de acuerdo a las necesidades de la empresa; los símbolos en el diagrama representan actividades que se deben de desempeñar antes de pasar a la siguiente, detallando de forma más clara el proceso de Peletizado.

Donde:

- =Operación
- ⇒=Transporte
- D= Demora
- = Inspección
- ▽= Almacenaje

2.6 Principio Físico de Peletización

El proceso de peletización se realiza mediante los rodillos de compactación, los cuales proporcionan la fuerza necesaria para que el material pueda ser comprimido a través del orificio de la matriz, en este proceso depende del tamaño del pellet, así como de la fricción que se pueda presentar entre el rodillo y el material.

Los rodillos conforme van girando se acercan hacia el orificio y se incrementa la presión de tal forma que el tapón que se genera por el material comprimido se va desplazando con cada vuelta que realizan los rodillos, hasta que el material atraviesa el grosor de la matriz de extrusión y tenga la longitud deseada. La matriz cuenta con un par de cuchillas que se encuentran al exterior de la misma las cuales permanecen inmóviles a una cierta distancia, para poder cortar el material que está siendo empujado por los rodillos, con esto se logra que los pellets tengan una longitud uniforme.

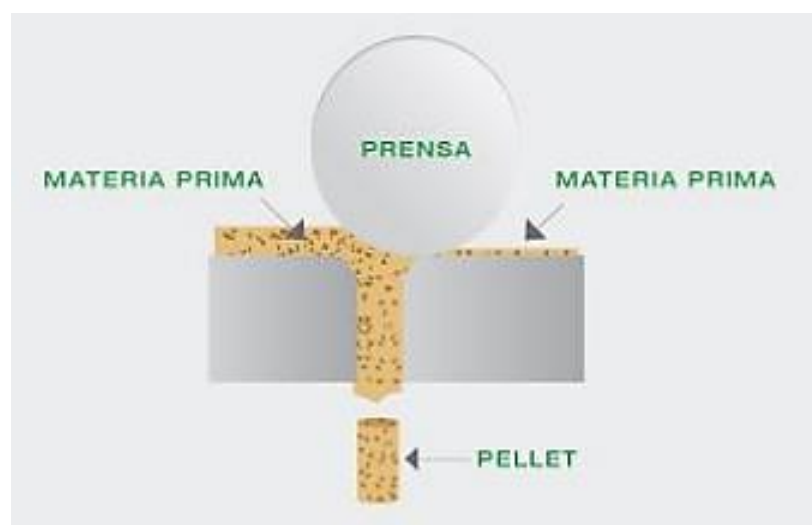


Figura 29 Matriz y Rodillo de Peletización (Arpi Trujillo & Calderon Toral, 2010)

2.7 Especificaciones de los Pellets de Acuerdo a la Norma UNE-CEN/TS 14961:2007

Tabla 8 Especificaciones y propiedades de los pellets (GUERRA LUDEÑA, 2013)

	Norma CEN/TS 14961:2007
Tamaño de Pellet	D06 <= 6 [mm] +/- 0.5 [mm] y L<= 5D D08 <= 8 [mm] +/- 0.5 [mm] y L<= 4D D10 <= 10 [mm] +/- 0.5 [mm] y L<= 4D D12 <= 12 [mm] +/- 1 [mm] y L<= 4D D25 <= 625 [mm] +/- 1 [mm] y L<= 4D
Finos % < 3.15 [mm]	F1.0 <= 1.0 % F2.0 <= 2.0 %
Contenido de Agua	M10 <= 10 % M15 <= 15 % M20 <= 20 %
Contenido de Ceniza	A0.7 <= 0.7 % A1.5 <= 1.5 % A3.0 <= 3.0 % A6.0 <= 6.0 %
Azufre	S0.05 <= 0.05 % S0.08 <= 0.08 % S0.10 <= 0.10 % S0.20 <= 0.20 %
Nitrógeno	N03 <= 0.3 % N05 <= 0.5 % N1.0 <= 1.0 % N3.0 <= 3.0 %
Aditivos	El tipo y el contenido de las sustancias aglomerantes, inhibidoras para resolver los problemas de cenizas y otros tipos de aditivos tienen que estar indicado.
Durabilidad Mecánica	DU97.5 >= 97.5 DU95.0 >= 95.0 DU90.0 >= 90.0

2.8 Parámetros de Diseño de Peletizadora

Para el proceso de peletizado se deben de considerar varios aspectos en el diseño de la máquina para que esta pueda proporcionar los resultados esperados, estos aspectos en algunos casos son magnitudes físicas que pueden afectar el rendimiento que la máquina pueda dar, de igual manera pueden ser propiedades del mismo material e incluso del ambiente al que se somete para el proceso, algunos parámetros determinantes en el proceso son los siguientes:

2.8.1 Potencia axial

Es un grado de compactación del material haciendo que el material tenga mayor o menor calidad, al igual que a partir de esta se diseñan las dimensiones de los rodillos de compactación y de la matriz de compactación por el cual saldrán los pellets, este parámetro es establecido de acuerdo a las normas que determinan las dimensiones del pellet para una buena calidad final.

2.8.2 Potencia motriz

Es la potencia que los rodillos de peletizado requieren para moverse y compactar el material, de acuerdo a esta potencia, se determinaran la potencia del actuador y las dimensiones del sistema de transmisión que transferirá la potencia a los rodillos, este factor ayudara a evitar que el pellets sea continuo o tenga imperfecciones durante la extrusión, tanto la fricción que se genera entre los rodillos y la materia prima, al igual que las pérdidas del mecanismo serán factores importantes para esta potencia y la peletizadora tenga una eficiencia satisfactoria.

2.8.3 Coeficiente de fricción

Este factor se genera durante el proceso de compactación que genera un incremento de temperatura en los componentes y la manera a la materia que es compactada donde se presenta la fricción, este aumento de temperatura ayudara a la lignina que proviene de células vegetales a dar mayor dureza y resistencia al material ya compactada, la lignina ayuda a que los pellets se generen más fácil mente, las fuerzas de fricción que se generan entre los dos elementos para la producción de pellets son:

- El rodillo de compactación y la materia prima.
- La materia prima y la matriz de extracción.
- La materia compactada y las paredes del canal de compactación.

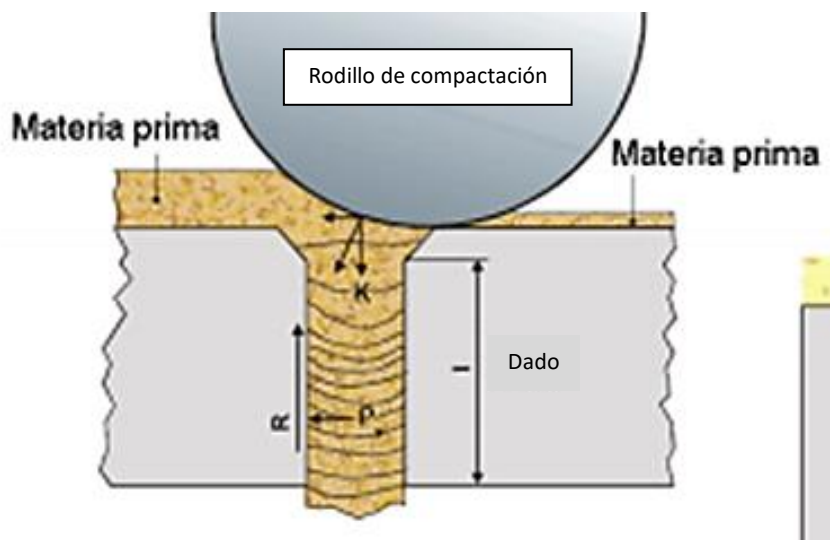


Figura 30 Fuerzas generadas en el proceso de compactación (Arpi Trujillo & Calderon Toral, 2010)

2.8.4 Dimensión del dado

La dimensión de la matriz de compactación de la peletizadora debe de estar acorde a la presión que ejercen los rodillos y el material sobre la matriz, Esta dimensión es importante para poder cumplir con las especificaciones de densidad del pellet, ya que el diámetro que tenga afectará aumentado exponencialmente la presión que se requerirá para la fabricación del pellet.

2.8.5 Avellanado cónico

Los orificio de la matriz de compactación debe de contar con un avellanado, para facilitar que el material que será compactado entre de una manera más fácil al orificio, los avellanados en las matrices son muy variados pero por lo general cuenta con una conicidad de entre 55° a 60°, se debe de tomar en cuenta que la profundidad del avellanado no sea demasiado profundo en comparación con el dado ya que esto podría ocasionar que el material se compacte demasiado, provocando un atasco del material y se tape el orificio, por general cuando se tiene un diámetro grande (> 6 o 7 [mm]) se usa una profundidad del avellanado mayor (10 a 15 [mm] de profundidad) para evitar un posible atasco de material.

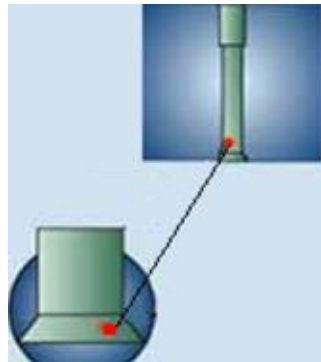


Figura 31 Avellanado cónico del dado de extrusión (Arpi Trujillo & Calderon Toral, 2010)

2.8.6 Cantidad de materia comprimida

Este factor dependerá de la velocidad con la que se estrellé el material por la matriz, así como los orificios con los que cuenta la matriz, la geometría y el tamaño de los rodillos también son factores que determinaran la altura del material que es extruido hacia afuera. La presión de los rodillos para el peletizado oscila de los 1100 [kg/cm²] a 2500 [kg/cm²] de dependiendo del material.

Estos parámetros son factores que verán afectada la densidad del pellet, al controlar la cantidad de material que se compacta, siendo la densidad menor de acuerdo a la longitud del pellet obtenido.

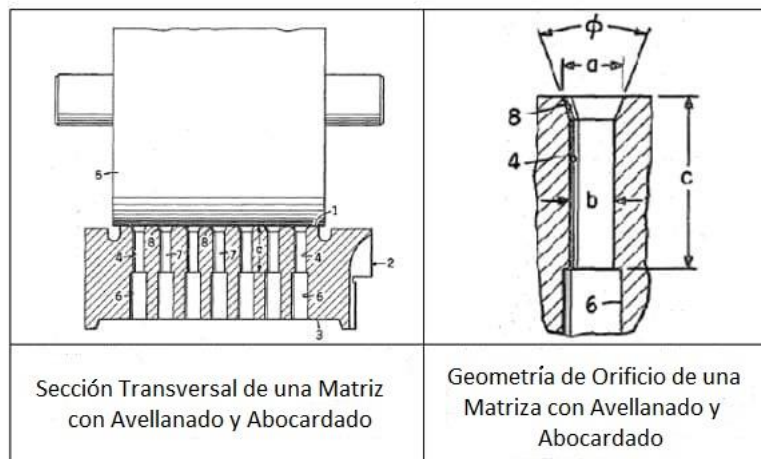


Figura 32 Geometría de orificio en la matriz de compactación (Atehortúa, Colorado, & Daza, 2010)

2.9 Ecuaciones de Diseño

Para la creación de cada componente se deben de diseñar ciertos elementos que estarán relacionados con la capacidad de producción que se requiere, por lo que a continuación se presentarán las ecuaciones necesarias para el diseño y funcionen de la forma más eficiente cada elemento.

2.9.1 Sector de alimentación

Para el sector de alimentación se dimensiona una tolva para la capacidad de producción deseada, la tolva será de geometría cónica, esta nos ayudará a un mejor ingreso de la materia prima y se distribuya mejor en la matriz extrusora, la ecuación en este caso será el cálculo del volumen de la tolva que se obtiene con la siguiente fórmula:

$$V_{Tolva} = \frac{1}{3}\pi h(R^2 + r^2 + Rr) \quad \text{EC. 2}$$

Donde:

V_{Tolva} : Volumen de la tolva cónica

h: Altura de la tolva

R: Radio mayor de la tolva

r: Radio menor de la tolva

2.9.2 Sector de extrusión

Para el sector de extrusión lo que se quiere dimensionar es la presión que requieren los rodillos para que la fuerza que los rodillos requieren sea adecuada para la compactación del material, al igual que la dimensiones y masa total de los rodillos, además de los parámetros que se requiere para la peletización, para este sector se requieren algunos pasos anteriores a la compactación que se calcularan a continuación.

2.9.2.1 Dimensión del pellet

Los Pellets de alimento, por lo general, tienen un diámetro de entre 5 a 8 [mm], se tomará como base la Norma UNE-CEN/TS 14961:2007 para pellets de biomasa, en relación con la media del diámetro del pellet y la norma, se tomará un diámetro de 6 [mm], debido a que si se tomaran 8 [mm] se necesitaría mayor fuerza de compactación, por motivos de mejor calidad se utilizará el ya propuesto.

La norma menciona que con 6 mm de diámetro se tendrá una longitud con la siguiente ecuación:

$L_p \leq 5 D$. Especificando que la longitud será cinco veces el diámetro del pellet que se escogió.

Para el volumen que tendrá el pellet se calculara con la ecuación de un cilindro ya que esta será la forma que tendrá, se calcula con la siguiente ecuación.

$$V_{\text{pellet}} = \pi R_p^2 L_p \quad \text{EC. 3}$$

Donde:

R_p : Radio del pellet

L_p : Longitud del pellet

2.9.2.2 Relación de compactación

Como se sabe el proceso de peletización se genera a partir de una capa de material que es compactado por rodillos y al volver a pasar este comprimirá material nuevo en el orificio de extrusión haciendo que los pellets se formen, el volumen de material que es comprimido en el orificio de extrusión se denomina relación de compactación y se calcula con la siguiente ecuación:

$$RC = \frac{l}{d_p} \quad \text{EC. 4}$$

(Atlas, 2009)

Donde:

d_p : Diámetro del pellet

l : Longitud recta del orificio de compactación

RC: Relación de compactación

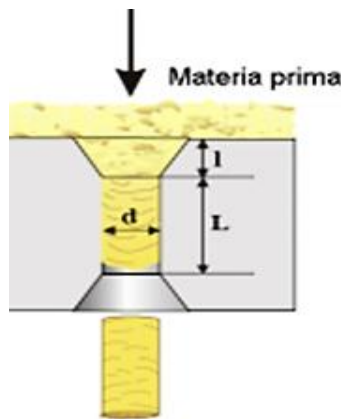


Figura 33 Relación de compactación (Arpi Trujillo & Calderón Toral, 2010)

2.9.2.3 Presión de compactación

Dado que la compactación de los pellets a través del orificio se comporta como un proceso de extrusión se tomará la deformación del material, la ecuación simula una deformación ideal de la siguiente manera:

$$P_r = \bar{Y}_f \varepsilon_x \quad \text{EC. 5}$$

(Groover, 1997)

Donde:

P_r : Presión que ejercen los rodillos

\bar{Y}_f : Módulo de elasticidad para el caso de biomasa

ε_x : Deformación de la extrusión

$$\varepsilon_x = a + b \ln(RC) \quad \text{EC. 6}$$

(Groover, 1997)

Donde:

a y b: Constantes de 0.8 y 1-2 a 1.5 respectivamente

RC: Relación de compactación

2.9.2.4 Fuerza de compactación del rodillo

La fuerza que se requiere para que el material pueda entrar en el orificio de la matriz está dado por la siguiente fórmula:

$$F_{Comp} = P_r A_{orif} \quad \text{EC. 7}$$

(Groover, 1997)

Donde:

F_{Comp} : Fuerza de compactación de los rodillos

P_r : Presión de los rodillos

A_{orif} : Área del orificio

2.9.2.5 Fuerza y presión en el dado

La materia prima al ingresar el área de rodillos se dispone a cierta altura (h_f), altura que disminuirá con ayuda de los rodillos introduciendo el material en el orificio de extrusión, al realizar esta acción el material genera una fuerza opuesta al sentido de extrusión, para vencer esta fuerza es necesario una fuerza adicional la cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_f = \bar{Y}_f \frac{2h_f}{d_p} \quad \text{EC. 8}$$

(GUERRA LUDEÑA, 2013)

Donde:

P_f : Presión adicional para vencer la fricción

\bar{Y}_f : Modulo de elasticidad

h_f : Altura final después de pasar el rodillo

d_p : Diámetro del pellet

2.9.2.6 Presión en las paredes del dado de la matriz

El material al ser introducido en el orificio para su extrusión por una fuerza se genera una presión en las paredes que se produce por la fricción de los dos materiales, esta presión se determina con la siguiente ecuación:

$$P_0 = \frac{P_f d_p}{4 \mu h_f} \quad \text{EC. 9}$$

(GUERRA LUDEÑA, 2013)

Donde:

P_0 : Presión del material comprimido en las paredes

d_p : Diametro del pellet

μ : Coeficiente de fricción de la biomasa y el acero

h_f : Altura final del material después de pasar por los rodillos

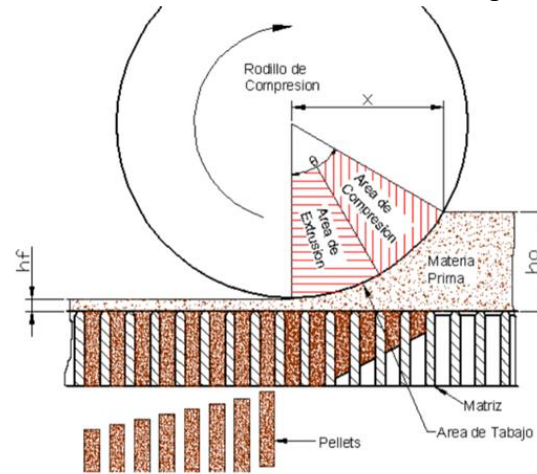


Figura 34 Altura final e inicial para compactación de la materia (GUERRA LUDEÑA, 2013)

2.9.2.7 Dimensiones del rodillo

A continuación, se calcularán las dimensiones que tendrá el rodillo para la compactación del material a través de los orificios de extrusión, se puede calcular a partir de las siguientes ecuaciones:

$$h_i - h_f = \mu^2 r_{\text{rodillos}} \quad \text{EC. 10}$$

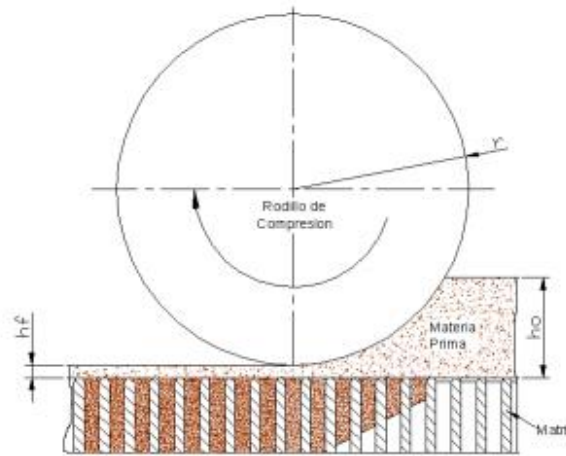


Figura 35 Diámetro de rodillo (GUERRA LUDEÑA, 2013).

De la ecuación anterior, el radio del rodillo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$r_{\text{rodillos}} = \frac{h_i - h_f}{\mu^2} \quad \text{EC. 11}$$

(Arpi Trujillo & Calderon Toral, 2010)

Donde:

- r_{rodillos} : Radio del rodillo
- h_i : Altura inicial de la biomasa antes de pasar el rodillo
- h_f : Altura final de la biomasa después de pasar el rodillo
- μ : Coeficiente de fricción entre biomasa y acero

2.9.2.8 Longitud de contacto

Los rodillos de peletización no se encuentran en contacto siempre con la materia prima, una parte solamente será la que esté en contacto debido a la diferencia de alturas que el material tendrá, la longitud se calcula con la siguiente ecuación:

$$L \approx \sqrt{r_{\text{rodillos}}(h_i - h_f)} \quad \text{EC. 12}$$

(GUERRA LUDEÑA, 2013)

Donde:

h_i : Altura inicial de la biomasa antes de pasar el rodillo

h_f : Altura final de la biomasa después de pasar el rodillo

r_{rodillos} : Radio del rodillo

2.9.2.9 Masa del rodillo

La masa que tendrá el rodillo será de gran importancia al momento de calcular la potencia que requerirá la máquina, para la masa del rodillo se usa la siguiente ecuación:

$$m_{\text{Rodillo}} = V_{\text{rodillo}} \rho_{\text{acero}}$$

$$m_{\text{Rodillo}} = (\pi r_{\text{rodillo}}^2 a_{\text{rodillo}}) \rho_{\text{acero}} \quad \text{EC. 13}$$

(Arpi Trujillo & Calderon Toral, 2010)

Donde:

m_{Rodillo} : Masa del rodillo

ρ_{acero} : Densidad del acero

V_{rodillo} : Volumen del rodillo

r_{rodillo} : Radio del rodillo

a_{rodillo} : Ancho del rodillo que es la mitad del diámetro del rodillo

2.9.2.10 Fuerza de fricción en el interior del dado

Cuando la materia prima es introducida en los orificios de peletización se genera una fuerza de fricción la cual debe de ser lo suficientemente grande para que el material pueda ser compactado, pero a su vez, menor a la fuerza que es ejercida por los rodillos para que pueda salir de la matriz. Esta fuerza se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_R = \mu P_0 d_p L_p \quad \text{EC. 14}$$

(Arpi Trujillo & Calderon Toral, 2010)

Donde:

μ : Coeficiente de fricción del acero y la biomasa

P_0 : presión del material comprimido en las paredes

d_p : Diámetro del pellet

L_p : Longitud del pellet

2.9.2.11 Aceleración normal del rodillo

Los rodillos al girar producen una aceleración que se encuentra en función de la fuerza de compactación y la fricción, esta aceleración se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$a_{n_{rodillo}} = \frac{F_{comp} - F_R}{m_{Rodillo}} \quad \text{EC. 15}$$

(Arpi Trujillo & Calderon Toral, 2010)

Donde:

$a_{n_{rodillo}}$: Aceleración normal del rodillo

F_{comp} : Fuerza de compactación del rodillo

F_R : Fuerza de fricción en el interior del dado

$m_{Rodillo}$: Masa del rodillo

2.9.2.12 Velocidad tangencial del rodillo

La velocidad tangencial que se genera por el movimiento del rodillo para la peletización se determina con la siguiente ecuación:

$$V_{tan} = \sqrt{a_{n_{rodillo}} r_{rodillos}} \quad \text{EC. 16}$$

(Arpi Trujillo & Calderon Toral, 2010)

Donde

V_{tan} : Velocidad tangencial del rodillo

$a_{n_{rodillo}}$: Aceleración normal del rodillo

$r_{rodillos}$: Radio del rodillo

2.9.2.13 Velocidad de giro del rodillo

La velocidad con la que los rodillos giran en la matriz de extrusión es otro factor que se necesitara para el cálculo de la potencia que requiere la máquina, esta velocidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$\omega_{rodillo} = \frac{V_{tan}}{r_{rodillo}} \quad \text{EC. 17}$$

(Arpi Trujillo & Calderon Toral, 2010)

Donde:

$\omega_{rodillo}$: Velocidad de giro del rodillo

V_{tan} : Velocidad tangencial del rodillo

$r_{rodillo}$: Radio del rodillo

2.9.2.14 Tiempo para salida del granulo de biomasa

Para poder determinar el tiempo en el cual los rodillos compactaran a través de la matriz de extrusión el suficiente material para que el pellet tenga la longitud deseada es necesario conocer el ángulo al inicio del orificio de extrusión, que ayudara al ingreso del material, este ángulo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{L}{r_{rodillo}} \right) \quad \text{EC. 18}$$

(GUERRA LUDEÑA, 2013)

Donde:

θ : Ángulo del área de trabajo para el agujero

L: Longitud de contacto

$r_{rodillo}$: Radio de rodillo

Con la ayuda del ángulo que se obtiene con la ecuación anterior es posible la obtención del tiempo que tardara la extrusión del pellet en tener la distancia que se propuso en anteriormente, este tiempo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$t_{extrusion} = \frac{\theta}{\omega_{rodillo}} \quad \text{EC. 19}$$

(GUERRA LUDEÑA, 2013)

Donde:

$t_{extrusion}$: Tiempo para que el pellet tenga la longitud apropiada

θ : Ángulo del área de trabajo para el agujero

$\omega_{rodillo}$: Velocidad de giro del rodillo

2.9.2.15 Aceleración en el interior del dado de la matriz

El material al ser forzado a introducirse en los agujeros de la matriz, adquiere velocidad y aceleración, estos factores serán útiles para determinar el número de agujeros que tendrá la matriz, para determinar la aceleración que adquiere el material se utiliza la siguiente ecuación:

$$a_{extrusion} = \frac{F_{Comp} - F_R}{m_{aserrin}} \quad \text{EC. 20}$$

(GUERRA LUDEÑA, 2013)

Donde:

$a_{extrusion}$: Aceleración en el interior del dado de la matriz

F_{Comp} : Fuerza de Compactacion de los rodillos

F_R : Fuerza de fricción en el interior del dado

$m_{aserrin}$: Factor de sobreproducción

El factor de sobreproducción es un factor de seguridad que ayudara a que no se presenten repercusiones en los componentes si se excede la producción, se estima un porcentaje de 20 % de sobreproducción de la producción deseada la cual será de 300 [kg/h], con este incremento no se afectara el funcionamiento de la máquina peletizadora, el factor de sobreproducción se calcula de la siguiente manera:

$$m_{aserrin} = 300 \left[\frac{kg}{h} \right] (1.2) = 360 \left[\frac{kg}{h} \right] \quad \text{EC. 21}$$

(GUERRA LUDEÑA, 2013)

2.9.2.16 Velocidad de extrusión del pellet

La velocidad con la que se extruye la materia de la matriz se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_{extrusion} = v_0 + a_{Extrusion} t_{extrusion} \quad \text{EC. 22}$$

(GUERRA LUDEÑA, 2013)

Donde:

$V_{extrusion}$: Velocidad de extrusión del pellet

v_0 : Velocidad inicial de extrusión del pellet

$a_{Extrusion}$: Aceleración en el interior del dado de la matriz

$t_{extrusion}$: Tiempo para que el pellet tenga la longitud apropiada

2.9.2.17 Flujo volumétrico de producción

Para la determinar el número de orificios que se utilizaran para la peletización, se debe de conocer el flujo volumétrico que pasara por la matriz en una cierta cantidad de tiempo, para el caso de la biomasa en promedio tiene una densidad el de 1182 [kg] por [m³] (Maria Puig-Arnavat, 2015) para el aserrín o harina, con esta densidad es posible calcular el flujo volumétrico con la siguiente ecuación:

$$Q_{vol} = 300 \left[\frac{Kg}{h} \right] \rho_{pellet} \quad \text{EC. 23}$$

(GUERRA LUDEÑA, 2013)

Donde:

Q_{vol} : Flujo volumétrico de producción

ρ_{pellet} : Densidad de 1 [m³] de pellets

2.9.2.18 Número de orificios de extrusión

El número de orificios que la matriz tendrá estará relacionado con la capacidad de producción que se desea obtener, este se calcula con la siguiente ecuación:

$$N_{orificios} = \frac{Q_{vol}}{V_{extrusion} N_{rodillos} A_{dado}} \quad \text{EC. 24}$$

(GUERRA LUDEÑA, 2013)

Donde:

$V_{extrusion}$: Velocidad de extrusión del pellet

$N_{rodillos}$: Número de rodillos que se tendrá

A_{dado} : Área del dado para peletizar

2.9.2.19 Potencia de los rodillos para peletización

La potencia que necesitaran los rodillos para la compactación de la biomasa a través de la matriz se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{rodillos} = L F_{Comp} \omega_{rodillo} N_{rodillos} \quad \text{EC. 25}$$

(Arpi Trujillo & Calderon Toral, 2010)

Donde:

L: Longitud de contacto

F_{Comp} : Fuerza de compactación de los rodillos

$\omega_{rodillo}$: Velocidad de giro del rodillo

$N_{rodillos}$: Número de rodillo en la máquina

2.9.3 Sector de corte

Esta sección se encargada del corte de los pellets después de haber sido extruidos por los rodillos y la matriz de extrusión, este sistema de corte girara junto con los rodillos, para dar el suficiente tiempo para que los pellets tengan el tamaño deseado.

2.9.3.1 Potencia de corte

La potencia que necesitara las cuchillas para el corte de los pellets dependerá de la dureza y del volumen que se cortara en un periodo de tiempo, esta potencia se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{Cuchillas} = R_{Bio} S V_{extrusion} \quad \text{EC. 26}$$

(GUERRA LUDEÑA, 2013)

Donde:

$P_{Cuchillas}$: Potencia necesaria para el corte de los pellets

R_{Bio} : Presión de resistencia de la biomasa

S: Superficie del material en el cual se ejercerá la presión

$V_{extrusion}$: Velocidad de extrusión del pellet

2.9.3.2 Potencia total

La potencia que debe de ser transmitida desde el motor hasta la compactación y corte de los pellets es la suma de las potencias necesarias para los rodillos y el sistema de corte, esta potencia se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{Total} = P_{Rodillos} + P_{Cuchillas} \quad \text{EC. 27}$$

(GUERRA LUDEÑA, 2013)

Donde:

P_{Total} : Potencia total requerida para la producción de los pellets

$P_{Rodillos}$: Potencia requerida por los rodillos para la compactación

$P_{Cuchillas}$: Potencia Requerida por las cuchillas para el corte de los pellets

2.9.4 Sector de transmisión de potencia

Este sistema está compuesto por el reductor de velocidad y por el eje principal el cual recibirá la potencia y aceleración del motor para adecuarlo al sistema.

2.9.4.1 Relación de reducción

Esta relación será de utilidad para saber cuánto se debe de reducir la velocidad que transmite el motor, con ayuda de un reductor de velocidad, la ecuación es la siguiente:

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{EC. 28}$$

(Mero & Bonifaz, 2017)

Donde:

n_1 : Velocidad proveniente del motor

n_2 : Velocidad necesaria para la compactación

2.9.4.2 Fuerza producida por la transmisión

El eje principal estará afectado por fuerzas producidas por los elementos y la transmisión de la potencia, el reductor generará una fuerza que afectará al eje, esta fuerza se calcula con la siguiente ecuación:

$$W_r = \frac{W_{tg} \tan \phi}{\cos \lambda} \quad \text{EC. 29}$$

(Mott, 2006)

Donde:

W_r : Fuerza producida por la transmisión

W_{tg} : Fuerza tangencial de la corona

ϕ : Ángulo de presión por número mínimo de dientes de tornillo sin fin

λ : Ángulo de avance

Para determinar λ se emplea la siguiente ecuación:

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{N_w}{N_g} \right) \quad \text{EC. 30}$$

(Mott, 2006)

Donde:

N_w : Número de dientes del tornillo sin fin

N_g : Número de dientes de la corona

2.9.4.3 Par de torción en el eje de transmisión

El par de torción es un factor que será de ayuda para determinar el diámetro del eje, se diseñara para soportar las deformaciones que se pudieran dar por esta fuerza, se calcula de la siguiente manera:

$$T = \frac{63000 (P_m)}{N} \quad \text{EC. 31}$$

(Mott, 2006)

Donde:

T: Par de torción generado por la transmisión de potencia

P_m : Potencia transmitida por el eje del motor

N: Revoluciones por minuto a las que gira el eje

2.9.4.4 Diámetro de eje de transmisión y eje de los rodillos

$$D_E = \left[\frac{32 N_D}{\pi} \sqrt{\left[\frac{K_t M}{s'_n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{s_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{EC. 32}$$

(Mott, 2006)

Donde:

D_E : Diámetro del eje de transmisión de potencia

N_D : Factor de diseño dependiendo a que fuerzas se encuentre sometido, para la peletizadora se escogió un factor N_D : 4 (Mott, 2006)

K_t : Factor de concentración de esfuerzos que se presenten, se escogió un factor $K_t=1.6$ (Mott, 2006)

M : Momento flector máximo presente en el eje
 s'_n : Resistencia a la fatiga modificada del material
 T : Par de torsión generado por la transmisión de potencia
 s_y : Resistencia a la fluencia del material

Para determinar el valor de la resistencia a la fatiga modificada se usará la siguiente ecuación:

$$s'_n = s_n C_S C_R \quad \text{EC. 33}$$

(Mott, 2006)

Donde:

s_n : Resistencia a la fatiga del material
 C_S : Factor de tamaño, aunque no se conoce aún el diámetro del eje se empleara $C_S = 0.84$ (Mott, 2006) como una estimación
 C_R : Factor de confiabilidad deseado, para la máquina se requiere un 99 % de confianza por lo que el valor de $C_R = 0.81$ (Mott, 2006)

2.9.4.5 Par de torsión en el eje de los rodillos

El par de torsión se genera por la aceleración que tiene el eje principal, haciendo que giren los rodillos y por el contacto del material con los rodillos, este par de torsión se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_E = I_{rodillo} \alpha \quad \text{EC. 34}$$

(Quispe, 2014)

Donde:

T_E : Par de torsión del eje
 $I_{rodillos}$: Inercia del rodillo
 α : Aceleración de giro

Para determinar la inercia del rodillo y sus aceleraciones se emplearán las siguientes ecuaciones:

$$I_{rodillo} = \frac{m_{rodillo} r_{rodillos}^2}{2} \quad \text{EC. 35}$$

(Quispe, 2014)

Donde:

$I_{rodillo}$: Inercia del rodillo
 $m_{rodillo}$: Masa del rodillo de compactación
 $r_{rodillos}$: Radio del rodillo

$$\alpha = \frac{\omega_{rodillo}}{(60[s]) (1[RPM])} \quad \text{EC. 36}$$

$V_{rodillo}$
 (Quispe, 2014)

Donde

α : Aceleración de giro del rodillo
 $\omega_{rodillo}$: Velocidad de giro del rodillo
 $V_{rodillo}$ = Velocidad tangencial del rodillo

2.10 Aprovechamiento de Energías Renovables

En la actualidad el uso de las energías renovables es una área de oportunidad muy importante, ya que al implementar sistemas que empleen estos recursos se reduce el uso de combustibles fósiles y los contaminantes que estos emanan hacia el ambiente, en este proyecto se usará energía geotérmica y energía solar para reducir el uso tanto de gas para generar el calor, como el uso de la energía eléctrica de la red pública, reduciendo también el costo de la energía en un periodo de tiempo, a continuación se presentan las formas con las que se puede obtener la energía renovable.

2.10.1 Intercambiador de calor

La obtención del recurso geotérmico como un fluido limpio se debe de llevar a cabo mediante algún dispositivo para el intercambio de energía entre dos líquidos de trabajo, Para la peletizadora se utilizará un intercambiador de calor de tubos concéntricos que funciona mejor bajo los parámetros ya mencionados.

2.10.1.1 Flujo de calor transferido

El primer paso para el diseño del intercambiador es determinar el calor que cede el vapor al agua en el interior de los tubos con la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (\Delta T) \quad \text{EC. 37}$$

(Moya & Rosero, 2006)

Donde:

\dot{Q} : Flujo de calor transferido entre el fluido frío y caliente

\dot{m} : Flujo masico del fluido caliente

C_p : Calor específico del fluido caliente

ΔT : Diferencia de temperatura del fluido

Esta ecuación de igual forma será utilizada para realizar un balance de masa y energía para determinar el flujo masico de agua que se necesitará en el acondicionamiento de la materia prima, y así incrementar la calidad de los pellets.

2.10.1.2 Diferencia media logarítmica de la temperatura

Cuando lleva a cabo el intercambio de calor entre los dos líquidos de trabajo, este no es constante por lo que se hace uso de la diferencia media logarítmica de la temperatura, con la que se determinará una media de la temperatura en el intercambio de energía, le media de temperatura se expresa de la siguiente manera:

$$LTDM = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln \left(\frac{T_{h,i} - T_{c,o}}{T_{h,o} - T_{c,i}} \right)} \quad \text{EC. 38}$$

(Moya & Rosero, 2006)

Donde:

LTDM: Diferencia Media Logarítmica de la Temperatura

$T_{h,i}$: Temperatura de entrada del fluido caliente, 85 °C

$T_{h,o}$: Temperatura de salida del fluido caliente, 40 °C

$T_{c,i}$: Temperatura de entrada del fluido frío, 27 °C

$T_{c,o}$: Temperatura de salida del fluido frío, 80 °C

2.11 Conclusiones

En este capítulo se comprendió la importancia que tiene la conceptualización de la idea de los proyectos para su desarrollo y como al tener una idea planteada o algún método de diseño ya sea simple o no, es una parte fundamental para el proyecto, de igual forma se presentó como se deberá desarrollar esta idea para que tenga valides y factibilidad su desarrollo.

Como se vio en la investigación los pellets deben de seguir la norma UNE-CEN/TS 14961:2007 con la que se partió para determinar que parámetros se deben de controlar para la producción del pellet y orientando las ecuaciones que se emplearan para la selección y diseño de la máquina peletizadora.

De igual forma se analizaron las fórmulas para determinar el consumo de agua que el acondicionador tendrá. Con base en este flujo se colocaron las ecuaciones de un intercambiador de tubos concéntricos para conocer el flujo de calor transferido y la diferencia media logarítmica de temperatura para que un proveedor pueda diseñar el intercambiador que se empleara en el proceso de paletizado .

Capítulo 3. Propuesta de Diseño

3.1 Introducción

En este capítulo, se presentará una propuesta del diseño para el peletizado de alimento que utilizara energías renovables en su funcionamiento, de las variantes que existen de los componentes más importantes de la máquina se seleccionara los que se adapten mejor a la producción de 300 [kg/h].

Se analizarán todos los factores necesarios para que el pellet tenga la calidad adecuada a las normas, y de acuerdo a estas se diseñaran o modificaran los componentes necesarios de la peletización, tomando en consideración los parámetros de cada componente haciendo el diseño lo más eficiente posible.

3.2 Propuesta de Diseño de Peletizadora

La propuesta que se tendrá en este capítulo se dividirán en varios sectores de la peletizadora, se dividirá en el sector de alimentación que constara de una tolva de acuerdo a las especificaciones que se requieran y poder recibir la materia prima, el sector de compresión y corte que constará de los rodillos de compactación para la extrusión de la materia prima, de igual manera se contara con las cuchillas que cortaran el pellet a una determinada longitud ya establecida anteriormente, y el sector de transmisión de potencia que constará de un eje que transmitirá la potencia del motor hacia los rodillos de compactación.

De cada sector de la máquina existen componentes esenciales para el correcto funcionamiento de ella, a continuación, se mencionan y se especifica que se realizara para cada componente.

Sector de alimentación

-Tolva (Dimensiones)

Sector de compresión (Potencia)

-Matriz extrusora (Dimensiones)

-Rodillos de compactación (Dimensiones)

Sector de corte (cálculo y análisis de esfuerzos)

-Cuchilla de corte (selección)

Sector de transmisión de potencia (Elementos de transmisión)

-Eje (Dimensiones)

-Rodamientos (Selección)

-Motor (Selección)

-Elementos de transmisión (Selección)

De igual manera para la propuesta de diseño se seleccionarán dos componentes que se emplearan para obtener los pellets con una buena calidad, estos dos componentes serán el molino que se empleara para triturar la materia prima que entrara en la peletizadora y el segundo componente será el acondicionador que se encargara de agregar agua a 345 [kPa] a la materia prima una vez triturada antes de entrar a la máquina peletizadora, para liberar los aceites naturales que contiene y después de ser compactado el material genera una capa protectora en el pellet, conservando su calidad al momento de ser almacenado y transportado.

3.2.1 Selección de tipo de matriz extrusora

Las Peletizadoras funcionan con dos tipos de matrices de extrusión una matriz plana y una matriz anular estas matrices tienen varias propiedades que se deben de tomar en cuenta para su selección a continuación se presenta una comparación entre estas dos matrices de acuerdo a los parámetros.

3.2.1.1 Tipos de matriz extrusora

Tabla 9 Factores para selección de matriz

Tipo de extrusoras	Matriz Plana	Matriz Anular
Precio	Menor	Mayor
Capacidad	80 a 1.000 [kg/h]	0.8 a 2 [Ton/h]
Alimentación	Se basa en el peso del material, el cual entra directamente y de manera uniforme a través de la tolva.	La materia al entrar a la cámara de peletizado, donde se distribuye a través de las rasquetas de alimentación rotatorias de alta velocidad.
Presión	Es ajustable, ya que el diámetro de sus rodillos no está limitado y puede adaptarse según sus necesidades.	Es limitada porque el diámetro de los rodillos se ven condicionados por el calibre de la matriz
Descarga (Porcentaje de daño)	Menor	Mayor

Las matrices de extrusión al igual que los factores anteriores tienen ventajas y desventajas para su selección que se presentan a continuación:

Tabla 10 Ventajas y desventajas de los tipos de matriz extrusora (Mero & Bonifaz, 2017)

Tipo de extrusoras	Matriz Plana	Matriz Anular
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> -Menor generación de ruido al usarse. -Mayor maniobrabilidad, fácil: montaje, limpieza, mantenibilidad. -Mayor tiempo de vida útil -Costo por remplazo costo bajo. -Generación de mayor fuerza de compresión por los rodillos 	<ul style="list-style-type: none"> -Presión de compactación uniforme, el sistema de bandas se desgasta menos. -Mayor capacidad de producción. -Menor costo. -Mayor eficiencia energética
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> -Eficiencia energética baja. -Capacidad de producción baja. -Ejerce mayor presión sobre ejes y rodamientos del sistema de transmisión de potencia 	<ul style="list-style-type: none"> -La presión de compresión que ejerce los rodillos es menor. -Complejidad en la manipulación, limpieza, montaje, mantenibilidad. -Provoca mayor ruido -Costo de fabricación de pellets es elevado

3.2.1.2 Matriz de selección para la matriz extrusora

La matriz de priorización es una herramienta que permite la selección de opciones sobre la base de la ponderación y aplicación de criterios, haciendo posible determinar alternativas y los criterios a considerar para escoger una decisión, clarificar problemas, oportunidades de mejora y proyectos. Estableciendo prioridades entre un conjunto de elementos, para facilitar la toma de decisiones.

Además de las ventajas que la matriz de extrusión debe tener para su selección se debe de considerar criterios dependiendo de las especificaciones que tendrá la peletizadora, los criterios que se toman en cuenta son:

- Capacidad de producción: Para tomar una decisión adecuada para la selección de la matriz y esta no se encuentre sobrada en potencia o sea insuficiente, se debe de seleccionar la producción que se debe de tener por hora. Para la peletizadora se consideró una producción de 280 a 320 [kg/h] y se escogerá de acuerdo a esta producción.

- Mantenibilidad: Se debe de tomar en cuenta que tan seguido se les dará el mantenimiento a los equipos, puesto que se considera la sencillez con la que se desmontará la máquina y la facilidad del mantenimiento, siendo un factor de que ayudará a reducir costos y tiempo de actividades no productivas.

- Propiedades de la materia prima: La materia prima que será procesada por la peletizadora será muy importante para la selección de la matriz, ya que esta afectara en el tiempo de vida de la misma, además de afectar a los sistemas que interactúan en el proceso, siendo la matriz la que ayudara a reducir los efectos de las propiedades físicas que se presenten en la interacción de los elementos y la materia prima.

- Materiales de construcción y repuestos: Estos factores son una parte muy importante al momento de seleccionar una matriz, ya que si es complicado obtener los repuestos o materiales que se requieren para el mantenimiento, esto incurrirá en gastos extras para su obtención, al igual que afectará el tiempo que la maquinaria se encuentra inactiva dando mayores costos que los beneficios que se pudiera tener.

Para la ponderación se realizará de acuerdo a que tanta importancia tenga para el proceso y esta se asignara a los criterios que se presentaron, las ponderaciones se eligieron de la siguiente manera.

Tabla 11 Ponderación de criterios para selección de matriz de extrusión.

Criterio	Ponderación
Capacidad de producción	45 %
Mantenibilidad	10 %
Propiedades de la materia prima	30 %
Materiales de construcción y repuestos	15 %

La ponderación anterior resulta de evaluar la importancia en la producción de los pellets, la capacidad de producción en la peletización será el factor más importante ya que para esta se tomarán en cuenta los orificios de la matriz, necesitando de igual manera más potencia de compactación si se quiere que produzca más pellets, Por otro lado, se afectaran los factores físicos si estos no son los adecuados.

La materia prima afectara a las matrices debido a sus propiedades, desgastando más el material con el que fue hecho, El material de construcción y repuestos es uno de los factores que no tienen mucha importancia debido a que se puede planificar la recepción de los repuestos o material dependiendo si se cuentan con ellos en almacén.

Para la selección de la matriz que se la mejor para la paletizadora, Se utilizara una matriz de ponderación para la tabla de ponderación de los criterios ya definidos, se tomara una escala del 0 al 10 para representar el grado con el que se cumple con los criterios en cada una de las matrices para poder conocer cuál es la mejor para nuestra producción deseada.

Tabla 12 Matriz de selección para matriz de extrusión.

Criterio	Ponderación	Distribución		Distribución Ponderada	
		Matriz plana	Matriz Anuar	Matriz plana	Matriz Anuar
Capacidad de producción	45 %	8	5	36 %	22.5 %
Mantenibilidad	10 %	8	3	8 %	3 %
Propiedades de la materia prima	30 %	4	7	12 %	21 %
Materiales de construcción y repuestos	15 %	8	8	12 %	12 %
Total	100 %	28	23	68 %	58.5 %

De acuerdo a la matriz de selección la matriz que se adapta mejor a la peletizadora y su producción de 300 [kg/h], es la matriz plana ya que obtuvo el porcentaje mayor de la ponderación propuesta, esto fue debido a que nuestra producción no será muy grande, siendo más fácil de darle mantenimiento y por ello esta matriz es nuestra mejor opción.



Figura 36 Matriz de Extrusión Plana (Liyang Weifeng, 2016)

3.2.2 Selección de rodillos

Para la selección de los rodillos que se usaran en la máquina se tiene que tomar en cuenta ciertos factores que ayudaran a escoger el tipo de rodillo que se adapten mejor al proceso, Existen dos tipos de rodillos que son móviles con matriz fija y fijos con matriz móvil.

3.2.2.1 Tipos de rodillos

Rodillos giratorios con matriz fija: el sistema al contar con rodillos que giran tiene un mayor contacto con la materia prima ejerciendo mayor fuerza de compactación lo que ayuda a que el diámetro de los pellets pueda variar, procesando una cantidad mayor de materiales, además al ejercer los rodillos el movimiento aumenta la vida útil de la matriz de extrusión, por lo que tiene una mayor calidad los pellets.

Rodillos fijos con matriz giratoria: Estos rodillos son usados para materiales más blandos por lo que al contar con menor carga en los rodillos se tiene mayor eficiencia energética y consume poca energía suelen usarse en áreas alimentarias y de biomasa blanda.

3.2.2.2 Matriz de selección para los rodillos

Para obtener un resultado adecuado se deben de tomar en cuenta los siguientes factores:

- Fuerza que ejercen los rodillos: Se deben de escoger los rodillos que generen la suficiente fuerza para compactar la materia prima incluso si esta se considera como material duro, procesando así una gran variedad de materiales y lograr que el pellet tenga los parámetros adecuados para cumplir la función a la que son destinados.
- Calidad del pellet: Los rodillos que se escojan deben de proporcionar al usuario el control de calidad que se necesite en los pellets, adecuándose a las normas nacionales o internacionales que regulan este factor haciendo que los pellets cuenten con una estructura compacta que no se rompa con facilidad, evitando que se presente un exceso de aire en su interior y con una apariencia brillante e uniforme en su exterior, los rodillos deben proporcionar la suficiente presión para cumplir con estas características.
- Costos: Estos rodillos deben de contar con una eficiencia energética mayor con la que se opera para que los costos de energía sea los mínimos posibles, ya que al tratarse de pellets se busca una disminución ya sea en transporte o almacenamiento, con una eficiencia energética mayor se busca que la potencia que use sea la mínima sin perder de vista los factores de calidad de los pellets.

Para la ponderación se realizará de acuerdo a la importancia que se tenga para el proceso y esto se asignara a los criterios que se presentaron, la ponderación se selecciona de la siguiente manera.

Tabla 13 Ponderación de criterios para selección de rodillos de peletización

Criterio	Ponderación
Fuerza de los Rodillos	60 %
Calidad del pellet	30 %
Costo	10 %

La ponderación se asignó a los criterios debido a que la fuerza de los rodillos son el factor más importante con los que debe de cumplir dependiendo de la aplicación que se dé, además de ser el factor dominante en la calidad del pellet, por lo que la cálida es un factor dependiente, aunque es un factor importante, por lo tanto, el costo es un factor con importancia, pero el valor de los dos sistemas no varía en gran medida por lo que se consideró con un porcentaje menor.

Para la elección correcta se usará una matriz de selección con los factores ya ponderados, se usará una escala de 0 a 10 para poder determinar que rodillos se adecue mejor a la peletizadora.

Tabla 14 Matriz de selección para los rodillos de peletización

Criterio	Ponderación	Distribución		Distribución Ponderada	
		Rodillos Fijos	Rodillos Móviles	Rodillos Fijos	Rodillos Móviles
Fuerza de los Rodillos	60 %	4	8	24 %	48 %
Calidad del pellet	30 %	8	9	24 %	27 %
Costo	10 %	6	6	6 %	6 %
Total	100 %	18	23	54 %	81 %

De acuerdo a las necesidades del sistema se seleccionó los rodillos móviles y matriz fija ya que este se utiliza para áreas alimenticias, y dado que se busca una disminución de costos al no procesar materiales duros es suficiente la fuerza de los rodillos para conseguir la calidad de acuerdo a las normas.

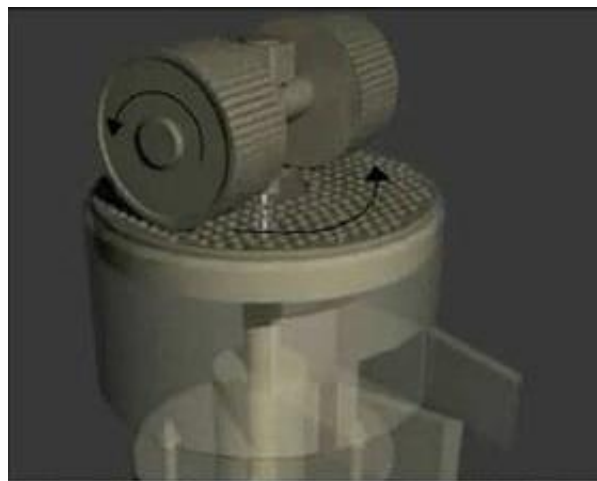


Figura 37 Matriz fija y rodillos móviles (Atehortúa, Colorado, & Daza, 2010)

3.2.3 Selección de reductor de velocidad (Caja de engranajes)

Para poder transmitir la potencia que se necesita en la compactación de los pellets se necesita un sistema de reducción de velocidad, que ayudara a cambiar la dirección de la trasmisión de movimiento hacia los rodillos, para esto se debe de conocer los tipos de arreglos que existen para seleccionar el adecuado.

3.2.3.1 Tipos de reductores de velocidad

Reductores de velocidad de engranajes: Son dispositivos en la que la potencia mecánica se transmite mediante pares de engranajes de cualquier tipo exceptuando los de tornillo sin fin, para realizar un cambio de dirección en la potencia se utilizan engranes helicoidales, si se tienen varias etapas de engranes resulta en un beneficio en la relación de la potencia que se transmite y el espacio ocupado, Esta distribución resulta en el aumento energético al ser más eficiente en la trasmisión de potencia y disminuyendo pérdidas de energía.

Reductores de velocidad con tornillo sin fin y corona: Estos reductores utilizan un tornillo sin fin y una corona como el dispositivo que transmitirá la potencia, es considerado como un dispositivo muy simple y por ello es uno de los más utilizado en las industrias, La relación que existe de velocidad entre el número de vueltas del tornillo sin fin y la corona, una vuelta del tornillo indica el avance de un diente de la corona, esto se traduce en una reducción drástica del giro del eje haciendo que la ganancia mecánica sea mayor, este tipo de reductor nos proporciona un cambio de 90° en la dirección del eje y transmisión de potencia.

Reductores de velocidad cicloidal: Es un mecanismo que transmite potencia que está formado por una flecha de entrada que se acopla a una excentricidad, esta excentricidad se une a un engrane móvil que a su vez se mueve en un engrane fijo que ayudara a que se transmita la energía hacia la flecha de salida, en este arreglo por cada vuelta que realiza el eje rápido el disco cicloidal rotara un diente en la dirección contraria, con esto se hace que los componentes no funcionen mediante fricción sino mediante compresión y rodadura, permitiendo que los reductores cicloidales soporten cargas de choche de hasta 500% de la capacidades nominales.

Reductores de velocidad planetarios: Este mecanismo consta de una serie de engranajes que giran en torno a un engrane fijo, el engrane fijo es denominado sol que se encuentra acoplado al eje del motor, los engranes que giran a este engrane se denominan planetarios que se mueven gracias a un piñón impulsor. Esta relación que se presenta entre el engrane solar y los engranes planetarios permite que la transmisión de potencia sea exacta, siendo apto su uso para trabajos de precisión, de igual forma ya que se cuenta con una mayor interacción del área de contacto entre los engranes permite que la potencia transmitida sea mayor.

3.2.3.2 Matriz de selección para el reductor de velocidad

Para la selección del reductor de velocidad que se adecue mejor a los requerimientos de la peletizadora, se consideraran los siguientes parámetros que ayudaran a la selección.

-Cambio de dirección en la transmisión: El cambio de dirección de la potencia que es transmitida a través de los reductores debe de ser lo más eficiente que se pueda, para evitar afectaciones al sistema como lo es el calentamiento excesivo al momento que esté operando el sistema, y poder así aumentar el tiempo de vida tanto del motor como del reductor de velocidad.

- Costo: Es uno de los factores que influenciarian más al momento de selección del reductor de velocidad ya que se busca que este sea el que se pueda recuperar la inversión de la manera más rápida además se busca que el mantenimiento sea el mínimo para reducir tanto el costo de mantenimiento en los componentes que pose y el costo de la máquina peletizadora de igual manera se reduzca.

- **Mantenimiento:** Este es de igual manera uno de los factores que más importa ya que se busca con los de más parámetros la reducción del mismo, además de que se busca que el mantenimiento que se dé se realice de una manera sencilla por lo que se busca una estructura con componentes que impliquen pocos pasos.
- **Espacio Ocupado:** Se debe de tomar en cuenta la distribución de los componentes al igual que el tamaño de los componentes que tendrán en el reductor, ya que si se trabaja con un equipo con un tamaño más grande de lo que se necesita esto reducirá el espacio para que trabaje la peletizadora.
- **Eficiencia:** Se busca que al momento de transmitir la potencia el reductor sea lo más eficiente posible, por lo que se busca evitar la pérdida de energía en los cambios de dirección o arreglos que no sean apropiados para el sistema, por lo que a evitando pasos no necesarios se reducirá la pérdida de energía, por tanto, será más eficiente.
- **Ruido:** El ruido que genera el reductor es un factor que se debe de tomar en cuenta ya que al momento de la selección se busca reducirlo a lo mínimo, puesto que este tiene efectos a largo plazo en los operarios, además que el ruido es generado por la vibración de los componentes y esto reduce el tiempo de vida del componente, aumentando de igual forma el mantenimiento que se les da.

Para la selección del reductor de velocidad que se adapte mejor a los parámetros anterior se les asignará una ponderación dependiendo de la importancia que tendrá en el sistema, la ponderación se asignó de la siguiente manera.

Tabla 15 Ponderación de criterios para selección de reductor de velocidad

Criterio	Ponderación
Cambio de dirección en la transmisión	10 %
Costo	20 %
Mantenimiento	30 %
Espacio Ocupado	10 %
Eficiencia	20 %
Ruido	10 %

La ponderación anterior se asignó de esa manera ya que el mantenimiento es el factor central del reductor de velocidad puesto que los demás factores se centran en la disminución del mismo, los segundos más importantes son tanto el espacio ocupado como la eficiencia, estos se centran en el tamaño y distribución de los engranes de los reductores y por último la dirección, estos factores son claves para que el sistema sea productivo y alcance una rentabilidad adecuada, el costo y el ruido son factores importantes pero estos no definirán la estructura del reductor, son factores que dependerán de los factores con mayor ponderación y no influyen en gran medida en la eficiencia del mecanismo.

En base a la ponderación se construye la siguiente matriz de selección para el reductor de velocidad, tomando una escala de 0 a 10 para la calificación del factor de acuerdo a nuestro proyecto.

Para la matriz de decisión:

- A: Reductor de velocidad de engranajes
- B: Tornillo sin fin y corona
- C: Cicloidal
- D: Planetarios

Tabla 16 Matriz de selección para el reductor de velocidad

Criterio	Ponderación	Reductores				Distribución Ponderada			
		A	B	C	D	A	B	C	D
Cambio de Dirección en la Transmisión	10 %	7	10	0	0	7 %	10 %	0 %	0 %
Costo	10 %	6	10	5	5	6 %	10 %	5 %	5 %
Mantenimiento	30 %	6	10	7	7	18 %	30 %	21 %	21 %
Espacio Ocupado	20 %	6	6	10	5	12 %	12 %	20 %	10 %
Eficiencia	20 %	10	6	6	5	20 %	12 %	12 %	10 %
Ruido	10 %	6	10	7	7	6 %	10 %	7 %	7 %
Total	100 %	41	52	35	29	69 %	84 %	65 %	53 %

De acuerdo a la matriz de decisión anterior el reductor que menos es útil para el sistema de la peletizadora es el reductor de velocidad planetario ya que solo cumple con un 59 % de las características que se piden, por otro lado, el reductor de velocidad de tornillo sin fin y corona es el que se adapta mejor al sistema cumpliendo con un 84 % de las características, por tanto, este reductor se utilizara en el proceso de peletización.



Figura 38 Reductor de velocidad tornillo sin fin y corona (Electro Steel Engineering, 2005)

3.2.4 Selección de sistema de corte

En este caso para la selección del sistema de corte se utilizará cuchillas de corte dado que la peletizadora se alimentará con material blando y no necesitará de una cierra o algún implemento para el corte de material con mayor dureza, El sistema será alimentado por polvo de alimento con una dureza pequeña además de que al momento de la peletización este estará con temperatura elevada por lo que los pellets serán más dúctiles.



Figura 39 Cuchillas para corte de pellets (Castillo, 2010)

3.3 Dimensionamiento de Componentes

Como ya se ha escogido los elementos que se adaptaran mejor a la máquina peletizadora de alimento, se continuara con el cálculo de las características de cada componente de acuerdo a la capacidad de producción que sé selecciono en este proyecto, será de una producción de 300 [kg/h].

3.3.1 Dimensionamiento sector de alimentación

Para el sector de alimentación se dimensionar una tolva para la capacidad de producción deseada, la tolva será de geometría cónica como se había planteado en el capítulo 2, para la dimensión optima de la tolva se tomara una producción deseada de 150 [kg/h] para obtener el volumen adecuado con la EC. 2, a continuación se calculara el volumen tomando en cuenta una densidad de la harina de alfalfa de 600 [kg/m³] (Mansilla Darío, 2014).

$$V_{Tolva} = \frac{m_{produccion}}{\rho_{alfalfa}} = \frac{150 [kg]}{600 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} = 0.25 [m^3] \quad \text{EC. 39}$$

Como ya se comentó la tolva será un cono truncado que tendrá un diámetro menor de 300 [mm] y de diámetro mayor será de 450 [mm], con estos diámetros se puede calcular la altura que tendrá la tolva.

$$h = \frac{V_{Tolva}}{\frac{1}{3}\pi(R^2 + r^2 + Rr)} = \frac{0.25 [m^3]}{\frac{1}{3}\pi((0.45[m])^2 + (0.3[m])^2 + (0.45[m] * 0.3[m]))} \quad \text{EC. 2}$$

$$h = 0.558438 [m] = 558.48[mm]$$

3.3.2 Dimensionamiento del sector de extrusión

3.3.2.1 Volumen del pellet

El sector de extrusión se diseñará en base a las dimensiones del pellet de acuerdo a la Norma UNE-CEN/TS 14961:2007, de esta norma se tomó un diámetro del pellet de 6 [mm] y una longitud de 30 [mm], por lo que su volumen se determinará de acuerdo a la EC. 3.

$$V_{\text{pellet}} = \pi(3[\text{mm}])^2(30[\text{mm}]) = 848.23 [\text{mm}^3] \quad \text{EC. 3}$$

3.3.2.2 Relación de compresión

Una vez teniendo la cantidad de material con la que se formará el pellet se debe de analizar la cantidad de material que es comprimido en relación con el diámetro del orificio para la peletización, esta relación mostrara el grado de compactación de la materia, se calculara con la EC. 4 de la siguiente manera:

$$RC = \frac{l}{d_p} = \frac{30[\text{mm}]}{6[\text{mm}]} = 5 \quad \text{EC. 4}$$

3.3.2.3 Presión de compactación

Al compactar el material en el orificio de extrusión los rodillos ejercerán una serie de fuerzas para lograr la extrusión del pellet, una de ellas es la fuerza de compactación que comprimirá el material introducirse en el orificio cada vez que pasan los rodillos, esta fuerza se calcula con la EC.5 y EC. 6 que son complementarias, se determina la presión de compactación de la siguiente forma:

$$P_r = \bar{Y}_f \varepsilon_x \quad \text{EC. 5}$$

Para obtener la presión de compactación es necesario el módulo de elasticidad y la deformación que se presenta en la extrusión, para este caso se desea la peletización de biomasa principalmente en alfalfa al igual que frutas por tanto se utilizara un módulo de elasticidad de 0.1 y 27 [MPa] para frutas seleccionando el módulo de 27 [MPa] (Salaya, 2012), ya que es mayor al de alfalfa que es de 5.97 [MPa] , la deformación se calcula con la EC.6 tomando a=0.9 y b=1.5 siendo datos para pelles de biomasa, se calcula de la siguiente forma:

$$\varepsilon_x = a + b \ln RC = 0.9 + 1.5(\ln(5)) = 3.3142 \quad \text{EC. 6}$$

$$P_r = \bar{Y}_f \varepsilon_x = (27[\text{MPa}]) (3.3142) = 89.48 [\text{MPa}]$$

3.3.2.4 Fuerza de compactación

Debido a la presión que se ejerce sobre el orificio de la matriz, se genera una fuerza de compactación que hará que el material se desplace a través del orificio, la fuerza se determina con la EC. 7 de la siguiente manera:

$$F_{\text{Comp}} = P_r A_{\text{orif}} = (89.48 [\text{MPa}]) (\pi(0.003[\text{m}])^2) = 2530.08[\text{N}] \quad \text{EC. 7}$$

3.3.2.5 Fuerza y presión en el dado

La materia prima al entrar al área de la peletización se depositara a una cierta altura denominada h_0 , después de que los rodillos pasan y comprimen el material esta altura disminuirá hasta una altura h_f , los rodillos al reducir hasta esta altura necesitaran una fuerza adicional para vencer la fricción del material esta fuerza se calcula con la EC. 8, la altura final se encuentra entre 0.1 y 0.3 [mm] (MEELKO, 2013) para este caso se usara de 0.3 [mm].

$$P_f = \bar{Y}_f \frac{2h_f}{d_p} = (27[MPa]) \left(\frac{2(0.0003)}{0.006} \right) = 2.7 [MPa] \quad \text{EC. 8}$$

3.3.2.6 Presión en las paredes del dado de la matriz

El material al entrar en el orificio de la matriz no solo sufre la fuerza al entrar al dado, también el material al ser comprimido ejercerá una fuerza a su entorno en este caso las paredes del dado, las paredes sufrirán una presión la cual será afectada por la fuerza de fricción de los dos materiales que estarán en contacto, la presión que se produce se calcula con la EC.9 usando un coeficiente de fricción estática de la biomasa y el acero de 0.65 (Schlossorsch, 1986).

$$P_0 = \frac{P_f d_p}{4 \mu h_f} = \frac{(2.7 [Mpa]) (0.006[m])}{4 (0.65) (0.0003[m])} = 20.767[MPa] \quad \text{EC. 9}$$

3.3.3 Dimensiones del rodillo de compactación

Una vez que se tienen todas las fuerzas que participan en la extrusión de la materia prima a través de la matriz se prosigue a dimensionar los rodillos para una correcta extrusión de la materia y se ocupe la potencia necesaria en los rodillos, haciendo la peletización lo más eficiente posible.

3.3.3.1 Radio de los rodillos

El radio de los rodillos estará en función de las alturas inicial que se encuentra entre 10 a 30 [mm] (MEELKO, 2013), para la máquina se elegirá una altura inicial de 30 [mm] y la altura final de 0.3 [mm] del material que se peletizara, además de la fricción del acero y la biomasa, este radio se calculara con la EC. 11 de la siguiente manera:

$$r_{rodillos} = \frac{h_i - h_f}{\mu^2} = \frac{(0.03[m] - 0.0003[m])}{(0.65)^2} = 0.0703 [m] \quad \text{EC. 11}$$

Por lo tanto, el diámetro del rodillo de peletización será de $D_{rodillos} = 0.1406[m] = 14.06[cm]$.

3.3.3.2 Longitud de contacto

La longitud que estará en contacto entre el material y el rodillo de peletización será un factor que se necesitará posteriormente para poder determinar la potencia de los rodillos, la longitud de contacto se calcula con EC. 12.

$$L \approx \sqrt{r(h_i - h_r)} = \sqrt{(0.0703[m]) (0.03[m] - 0.0003[m])} = 0.0457[m] = 45.7[mm] \quad \text{EC. 12}$$

3.3.3.3 Masa del rodillo

Una vez que se tiene el radio que tiene el rodillo para la extrusión de los pellets se puede determinar la masa que tendrá cada uno de los rodillos, lo que nos ayudara a determinar posteriormente la potencia del motor que se requerirá para la peletización, la masa de los rodillos se determina con la EC. 13, tomando una densidad promedio para el acero de $7870 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ (Groover, 1997), para el ancho del rodillo se usara de 50 [mm].

$$m_{Rodillo} = (\pi r_{rodillo}^2 a_{rodillo}) \rho_{acero} \quad \text{EC. 13}$$

$$m_{Rodillo} = (\pi (0.0703[m])^2 (0.05[m])) \left(7870 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \right) = 6.1095 [kg]$$

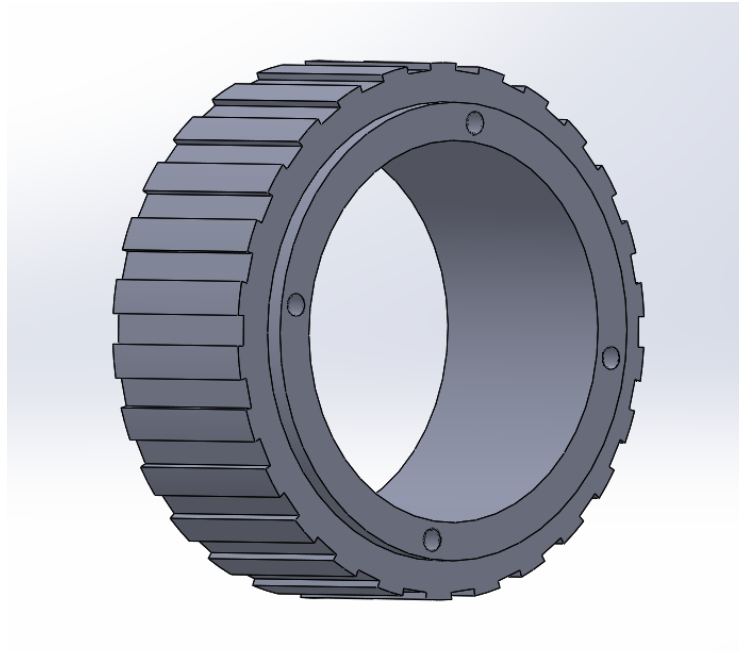


Figura 40 Rodillo de compactación

3.3.4 Fuerzas generadas por el giro de los rodillos

Los rodillos de peletización al girar sobre sí mismos y alrededor de la matriz de extrusión producirán fuerzas debido al movimiento, estas fuerzas son las siguientes.

3.3.4.1 Fuerza de fricción en el interior del dado

El material cuando es introducido en los orificios de extrusión debe de vencer la fuerza de fricción que resulta del rozamiento de la biomasa y las paredes de los dados de la matriz, esta fuerza se calcula con la EC. 14.

$$F_R = \mu P_0 d_p L_p = (0.65) (20.767[Mpa]) (0.006[m]) (0.03[m]) = 2430 N \quad \text{EC. 14}$$

Para que la materia pueda ser extruido debe de cumplirse que $F_R < F_{Comp}$ así el material podrá vencer la fricción y avanzar a través del dado de extrusión.

$$2430 [N] < 2530.08 [N]$$

Al comparar la fuerza de compactación y la fuerza de fricción en el dado, se llega a la conclusión que el material podrá ser extruido por los rodillos y el proceso será posible.

3.3.4.2 Aceleración Normal del rodillo

Los rodillos al ponerse en movimiento con ayuda del motor, se generará una aceleración de avance del material que es introducido a los orificios por los rodillos, la aceleración se calcular con la EC. 15.

$$a_{n_{rodillo}} = \frac{F_{comp} - F_R}{m_{Rodillo}} = \frac{2530.08 [N] - 2430 [N]}{6.1095 [kg]} = 16.381 \quad \text{EC. 15}$$

3.3.4.3 Velocidad tangencial del Rodillo

De igual manera cuando el rodillo se pone en movimiento genera una velocidad tangencial en los rodillos que nos dirá cuanta distancia recorre en un periodo de tiempo, esta cual se calcula con EC. 16.

$$V_{tan} = \sqrt{(a_{n_{rodillo}}) (r_{rodillos})} = \sqrt{\left(16.381 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right) (0.0703[m])} = 1.0731 \left[\frac{m}{s}\right] = 292 [RPM] \quad \text{EC. 16}$$

3.3.4.4 Velocidad de Giro del Rodillo

Los rodillos de peletización giraran alrededor de la matriz extrusora que se realizaran con cierta cantidad de revoluciones por minuto las cuales se obtienen con la EC. 17.

$$\omega_{rodillo} = \frac{V_{tan}}{r_{rodillo}} = \frac{1.0731 \left[\frac{m}{s}\right]}{0.0703[m]} = 15.265 \left[\frac{rad}{s}\right] = 145.768 [RPM] \quad \text{EC. 17}$$

3.3.5 Factores de producción de pellets

3.3.5.1 Tiempo para salida del granulo de biomasa

Los orificios de la matriz de extrusión cuentan con un ángulo de inclinación para que el material pueda ser introducido y no haya obstrucción por el material, este ángulo nos ayudara a determinar cuánto tiempo tarda en producirse un pellet con la longitud deseada, el ángulo se determina con EC. 18.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{L}{r_{rodillo}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{45.7[mm]}{70.3[mm]} \right) = 33.027^\circ = 0.5764 [rad] \quad \text{EC. 18}$$

Teniendo el ángulo al inicio del orificio de extrusión se prosigue a calcular el tiempo en el cual el material se comprimirá y tendrá la longitud deseada de 30 [mm], este tiempo se calcula con EC. 19 de la siguiente manera.

$$t_{extrusion} = \frac{\theta}{\omega_{rodillo}} = \frac{0.5764 [rad]}{15.265 \left[\frac{rad}{s} \right]} = 0.0378 [s] \quad \text{EC. 19}$$

3.3.6 Orificios de extrusión

La matriz de extrusión para llegar a la producción deseada en un periodo de tiempo debe de tener un cierto número de orificios en ella, para calcular el número de orificios óptimo para la producción, se deberá de calcular ciertos factores que afectaran la producción de la máquina, los factores son los siguientes.

3.3.6.1 Aceleración en el interior del dado de la matriz

Los rodillos al introducir la materia en los agujeros de extrusión, adquirirá una aceleración con la cual se determinará el número de orificios en la matriz y cumplir con producción deseada con un grado de sobreproducción, la aceleración se calcula con EC. 20 de la siguiente manera:

$$a_{extrusion} = \frac{F_{Comp} - F_R}{m_{aserrin}} = \frac{2530.08 [N] - 2430 [N]}{360 [kg]} = 0.278 \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad \text{EC. 20}$$

3.3.6.2 Velocidad de extrusión del pellet

Así como el material al interior del dado tienen aceleración también se produce una velocidad con la que el material será extruido esta velocidad se calcula con EC.22, la velocidad dependerá de la aceleración del material y el tiempo con el que se extruye el pellet, debido a que el material parte del reposo la velocidad inicial se considera como 0.

$$V_{extrusion} = v_0 + a_{Extrusion} t_{extrusion} = 0 + \left(0.278 \left[\frac{m}{s^2} \right] \right) (0.0378 [s]) = 0.01051 \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{EC. 22}$$

3.3.6.3 Flujo volumétrico de producción

El flujo volumétrico de material que pasara por la matriz de extrusión es un factor con el cual se podrá determinar el número de orificios en la matriz y obtener la producción deseada de 360 [kg/h] incluyendo la sobre producción w, El flujo de material se calcula con EC.23.

$$\rho_{pellet} = 1182 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$Q_{vol} = \left(360 \left[\frac{kg}{h} \right] \right) (\rho_{pellet}) = \left(360 \left[\frac{kg}{h} \right] \right) \left(\frac{1 [m^3]}{1182 [kg]} \right) = 0.3046 \left[\frac{m^3}{h} \right] = 0.0000846 \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad \text{EC. 23}$$

3.3.6.4 Número de orificios de extrusión

Con los valores anteriormente calculados es posible determinar el número de orificios en la matriz para que se produzcan 300 [kg/h] de pellets y la máquina sea lo más eficiente posible, el número de orificios se calcula con EC. 24, considerando un total de 2 rodillos para la compactación.

$$N_{orificios} = \frac{Q_{vol}}{V_{extrusion} N_{rodillos} A_{dado}} \quad \text{EC. 24}$$

$$N_{orificios} = \frac{0.0000846 \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\left(0.01051 \left[\frac{m}{s} \right] \right) (2 \text{ rodillos}) (\pi * (0.003 [m])^2)} = 142.35 = 143 \text{ orificios}$$

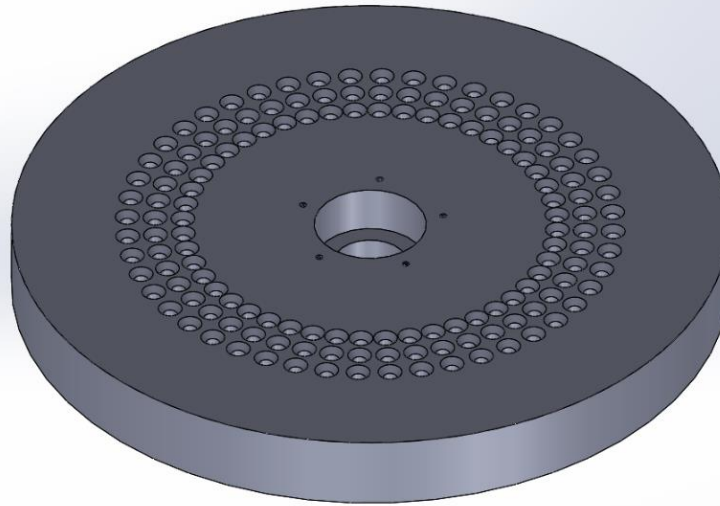


Figura 41 Diseño de la matriz de extrusión

3.3.7 Potencia requerida

Para determinar la potencia que será requerida por el motor es necesario tomar en cuenta la potencia que se necesitara para la compactación del material en el área la matriz y la potencia requerida en el área de corte por las cuchillas, una vez que se calcularon estas potencias será posible obtener la potencia total.

3.3.7.1 Potencia de los rodillos

La potencia que se necesitara para compactar la biomasa dependerá del número de rodillos, así como de la fuerza que se aplica para la compactación y la velocidad a la que los rodillos se mueven, esta potencia se calculara con la EC. 25 de la siguiente forma.

$$P_{rodillos} = L F_{Comp} \omega_{rodillo} N_{rodillos} \quad \text{EC. 25}$$

$$P_{rodillos} = (0.0457[m]) (2530.08 [N]) \left(15.265 \left[\frac{rad}{s} \right] \right) (2 \text{ rodillos}) = 3.53 [kW] = 4.734 [Hp]$$

3.3.7.2 Potencia de corte

La potencia que será requerida por las cuchillas para poder cortar los pellets a la longitud deseada y los pellets no presenten imperfecciones al momento del corte, estará en función de la presión de resistencia de la biomasa que será compactada, del área del pellet, del número de pellets que la cuchilla corta al mismo tiempo para la matriz se cortaran 3 pellets al mismo tiempo y la velocidad de extrusión del pellet.

La potencia se calculara con la EC.27, para determinar el módulo de cizalladura se deberá de conocer el coeficiente de Poisson (ν_p) que tienen un valor de 0.4 (Fuentealba, 2004) que es el ideal para frutas, con este coeficiente y el módulo de Young se puede determinar el módulo de cizalladura de la siguiente manera.

$$R_c = \frac{\bar{Y}_f}{2(1 + \nu_p)} = \frac{27[MPa]}{2(1 + 0.4)} = 9.643[MPa] \quad \text{EC. 40}$$

Con el módulo anterior es posible calcular la potencia de las cuchillas con la EC. 26.

$$P_{Cuchillas} = R_{Bio} S V_{extrusion} = \pi(R_{Bio}) (r_{pellet})^2 (Pellets \ que \ corta) (Cuchillas) (V_{extrusion}) \quad EC. 26$$

$$P_{Cuchillas} = \left(9.643 \left[\frac{N}{m^2}\right]\right) (\pi(0.003[m])^2)(3 \ pellets)(2 \ rodillos) \left(0.01051 \left[\frac{m}{s}\right]\right)$$

$$P_{Cuchillas} = 17.1933 [W] = 0.02306 [Hp]$$

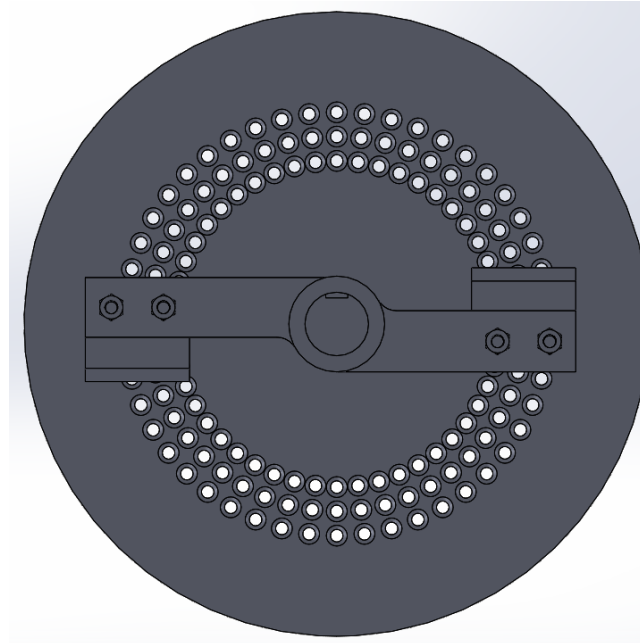


Figura 42 Diseño del sistema de corte de pellets

3.3.7.3 Potencia total

Una vez que se ha calculado la potencia necesaria para que la materia prima sea comprimida y la potencia para que los pellets que sean extruidos no sufran deformaciones cuando se corten, se podrá calcular la potencia total o la potencia que requerirá del motor, siendo esta potencia la suma de las dos potencias anteriormente calculadas, se obtendrá la potencia con la EC. 27 de la siguiente manera:

$$P_{Total} = P_{Rodillos} + P_{Cuchillas} = 4.734[Hp] + 0.02306 [Hp] = 4.7571 [Hp] \quad EC. 27$$

Tomando la potencia obtenida de 4.7571 [Hp] se utilizará una potencia de 5 [Hp] dado que comercialmente es el más cercano a nuestro valor obtenido, garantizando que se puedan vencer todas las fuerzas en el compactado de la materia prima.

3.4 Diseño del Sector de Transmisión

Una vez que se ha obtenido la potencia que se requerirá del motor, se dimensionará el sector con el cual se transmitirá la potencia desde el motor hasta los rodillos de compactación, este sector está compuesto por un reductor de velocidad, el eje principal y el eje de los rodillos de compactación, estos elementos estarán diseñados en base a los cálculos hechos para el sector de compactación.

3.4.1 Transmisión de potencia

Este sector se encargara de la transmisión de la potencia del motor al eje principal, mediante un reductor de velocidad de tornillo sin fin y corona que se seleccionó en la sección 3.2.3, este reductor deberá de reducir las revoluciones por minuto que se transmitirá de acuerdo a la velocidad de giro de los rodillos, ya que se utilizara un motor de 5 [Hp] con una velocidad de 1440 [RPM] (NORD, 2018).

3.4.1.1 Relación de reducción

Debido a que el motor a utilizar será uno que trabaje a 1440 [RPM] se deberá de reducir la velocidad del reductor a 145.768 [RPM] para que nuestro sistema trabaje adecuadamente, para determinar el valor de cuanto se deberá de reducir nuestra velocidad se usara la EC. 28.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1440 \text{ [RPM]}}{145.768 \text{ [RPM]}} = 9.87 \approx 10 \quad \text{EC. 28}$$

Se determino que empleará un reductor de velocidad con un factor de reducción de 10, con lo que se reducirá la velocidad de giro del eje principal y nuestro pellet tendrá la longitud deseada de 30 [mm].

3.4.2 Diseño de eje principal

Para el diseño del eje principal se deberá de considerar que se encontrará sometido a diversas fuerzas producidas por la transmisión de la potencia del motor, de la unión de las cuchillas y de rodillos al eje, generando par de torción por las fuerzas anteriores.

3.4.2.1 Fuerzas producidas por la transmisión

La transmisión que se produce del motor al reductor de tornillo sin fin generara una fuerza que afectara el desempeño de la máquina, además de afectar el tiempo de vida del eje si no se toma en consideración, esta fuerza es posible calcularla tomando en consideración la fuerza tangencial del reductor de 4900 [N], con un tornillo sin fin con 4 dientes y una corona con 40 dientes para tener una relación de reducción de 10 de acuerdo a nuestro reductor seleccionado.

P ₁ [kW]	n ₂ [min ⁻¹]	M ₂ [Nm]	f _B	i _{ges}	i _{sch}	i _{vor}	F _R	F _{RF} [kN]	Motorreductor			mm [mm]
									IE1	IE2	IE3	
4,00	96	334	0,8	15	15		8,0	4,7	SK 1SI 75	SK 1SI 75	SK 1SI 75	B36-37
	144	236	1,0	10	10		8,0	4,9	IEC112 - 112 M/4	IEC112 - 112 MH/4	IEC112 - 112 MP/4	
	192	181	1,3	7,5	7,5		8,0	4,9				
	288	123	1,6	5	5		8,0	5,0	SK 1SMI 75 IEC112 - 112 M/4	SK 1SMI 75 IEC112 - 112 MH/4	SK 1SMI 75 IEC112 - 112 MP/4	49 B46-47

Figura 43 Selección de modelo de reductor (NORD, 2018)

Para determinar la fuerza de transmisión de la potencia, se debe de determinar el ángulo de avance con la EC. 30 y el ángulo de presión de la siguiente forma.

Ángulo de avance:

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{N_w}{N_g} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{4}{40} \right) = 5.71^\circ \quad \text{EC. 30}$$

Ángulo de presión:

Tabla 17 Número mínimo de dientes para engranes (Norton, 2011)

ϕ	$N_{mín}$
14.5	40
17.5	27
20	21
22.5	17
25	14
27.5	12
30	10

Una vez que se han determinado los ángulos anteriores, se proseguirá al cálculo de la fuerza por la transmisión de la potencia con la EC. 29.

$$W_r = \frac{W_{tg} \tan \phi}{\cos \lambda} = \frac{4900 \text{ [N]} \tan(14.5)}{\cos(5.71)} = 1273.55 \text{ [N]} \quad \text{EC. 29}$$

3.4.2.2 Fuerzas producidas por los componentes del eje

En el eje principal además de ser afectado por la fuerza producida por la transmisión de la potencia del motor, será afectado por tres fuerzas importantes en el sistemas que serán la Fuerza R_a producida por el apoyo del rodamiento de la matriz de extrusión, la fuerza R_b la cual se presentara en el inicio del eje en el área antes del engrane que transmitirá la potencia en donde se encontrara un rodamiento, Por último la fuerza W_r que será producida por la potencia del motor, estas fuerzas son representadas en el siguiente diagrama de cuerpo libre.

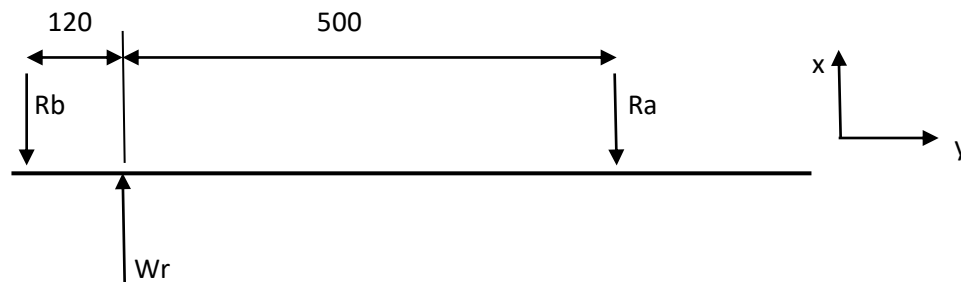


Figura 44 Diagrama de cuerpo libre de eje principal

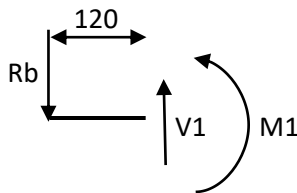
Con el diagrama anterior será posible determinar las fuerzas R_a y R_b resolviendo el sistema de fuerzas para que el eje se encuentre en equilibrio, la suma de momentos se hará con respecto a R_b que es el punto donde se inicia a generar las fuerzas y la suma de fuerzas que afectan al eje, a continuación, se determinan las fuerzas.

$$\begin{aligned} \sum M_{R_b} & \quad -R_a (0.62[m]) + W_r (0.12[m]) = 0 \\ & \quad -R_a (0.62 [m]) + (1273.54 \text{ [N]}) (0.12[m]) = 0 \\ & \quad R_a (0.62 [m]) = 152.825 \text{ [N]} \\ & \quad R_a = 246.5 \text{ [N]} \end{aligned}$$

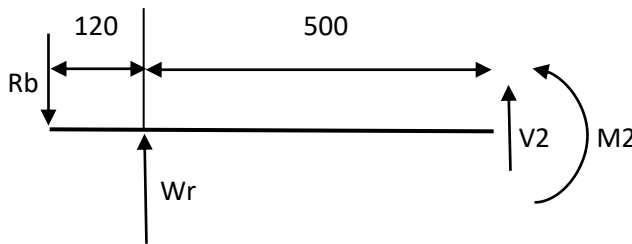
$$\begin{aligned} \Sigma F_x & \quad -Rb - Ra + Wr = 0 \\ & -Rb - (246.5[N]) + (1273.54 [N]) = 0 \\ & \quad Rb = 1027.04[N] \end{aligned}$$

3.4.2.3 Cálculo de Momento flector y Fuerzas cortantes

Para la determinación del diámetro óptimo del eje principal es necesario que se determinen los momentos flectores que se presentan por las fuerzas presentes, además de determinar las fuerzas cortantes presentes, estas fuerzas y momentos se determinaran de la siguiente manera:



$$\begin{aligned} V1 &= Rb = 1027.04[N] \\ M1 &= Rb X = 1027.04 X \\ & 0 [m] \leq X \leq 0.12[m] \\ M1 &= (1027.04) (0.12[m]) = 123.24[N m] \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} V2 &= -Rb + Wr = -1027.04[N] + 1273.54[N] \\ & V2 = 246.5 [N] \\ M2 &= -Rb X + Wr (X - 0.1[m]) \\ & 0.1 [m] \leq X \leq 0.5[m] \\ M2 &= 0 [N m] \end{aligned}$$

3.4.2.4 Par de torsión en el eje

El par de torsión es un factor muy importante para determinar el diámetro del eje principal, ya que este se producirá por la transmisión de la potencia del motor, al tomarse en cuenta se evita deformaciones por el giro del eje, esta torsión se determina con la EC. 31 de la siguiente manera:

$$T = \frac{63000 (P_m)}{n} = \frac{63000 (5.36[Hp])}{(144 [RPM])} = 2345 [lb in] = 264.95 [N m] \quad \text{EC. 31}$$

3.4.2.5 Determinación del diámetro del eje principal

El eje principal será el que se encargara de transmitir la potencia hacia los rodillos y lograr que se compacte la materia a través de la matriz de extrusión, para poder determinar el diámetro del eje se debe de considerar el momento máximo que actúa en el eje, el par de torsión que se genera por la transferencia de potencia, además de considerar los parámetros del material con el cual se fabricara el eje, para la peletizadora se usara acero AISI 1045 del cual se necesitara su resistencia a la fatiga, que tiene un valor de $s_n = 407.77 [MPa]$ (Gómez, 2005) y la resistencia a la fluencia $s_y = 530 [MPa]$ (SAE, 1986), Con la EC. 33 se determinara el valor de la resistencia a la fluencia.

$$s'_n = s_n C_s C_R = (530 [MPa]) (0.84) (0.81) = 360.61 [MPa] \quad \text{EC. 33}$$

El diámetro del eje se podrá determinar con los factores que se determinaron y obtuvieron anteriormente, este diámetro se calcula con la EC. 31 de la siguiente manera:

$$D_{EP} = \left[\frac{32 N_D}{\pi} \sqrt{\left[\frac{K_t M}{s_n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{s_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{EC. 32}$$

$$D_{EP} = \left[\frac{32(4)}{\pi} \sqrt{\left[\frac{1.6 (123.24 [N \cdot m])}{(360.61 [MPa])} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{264.95 [N \cdot m]}{530 [MPa]} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_{EP} = 0.03052 [m] = 30.52 [mm]$$

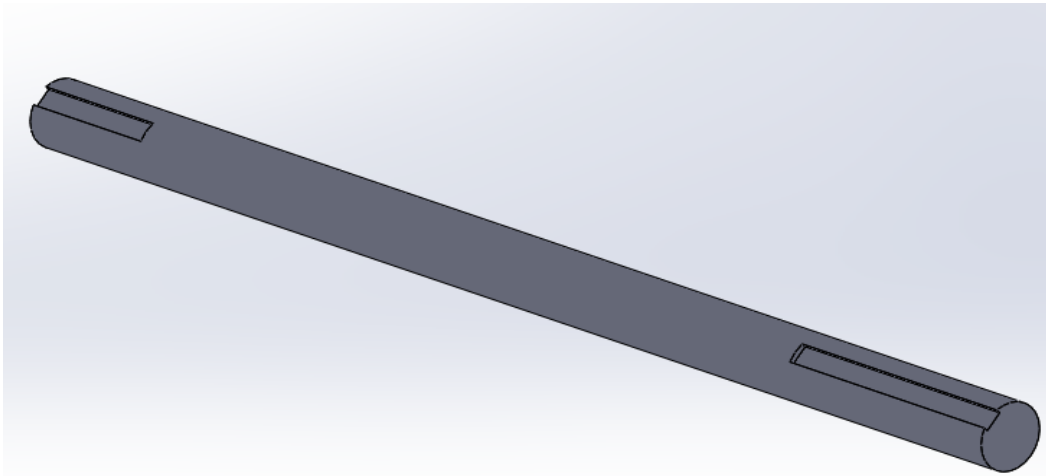


Figura 45 Diseño de eje principal

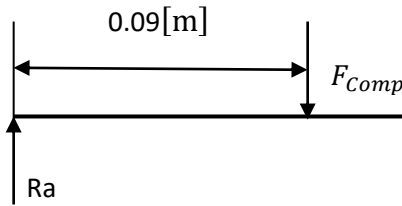
3.4.3 Diseño de eje de rodillo

Los rodillos de peletización que realizarán la compactación del material estarán girando sobre un eje que se encontrara fijo al porta rodillos, este eje estará bajo fuerzas las cuales afectaran su desempeño, por lo que se analizarán las fuerzas para determinar el diámetro de este eje y evitara posibles deformaciones cuando se encuentren compactando el material.

Los rodillos se encontrarán fijos al porta rodillos, esto producirá un momento originado por la fuerza al momento de compactar, en el otro extremo se produce un torque originado por el contacto del rodillo con la biomasa a compactar.

3.4.3.1 Cálculo de momento flector y fuerzas cortantes

A continuación, se calculará el momento y las fuerzas que afectaran al eje de los rodillos con ayuda de un diagrama de cuerpo libre para determinar de forma adecuada el diámetro del mismo.



$$\sum F_x = 0$$

$$Ra - F_{Comp} = 0$$

$$Ra = F_{Comp} = 2530.08 [N]$$



$$\sum M_a = 0$$

$$Ra(L) - M = 0$$

$$M = 2530.08 [N] (0.09 [m])$$

$$M = 227.7072 [N \cdot m]$$

3.4.3.2 Par de torción del eje del rodillo

El eje del porta rodillos sufrirá una fuerza de torción ya que el rodillo gira por la aceleración del eje principal y por el contacto con el material que se comprime a través de la matriz, el par de torción se calcula tomando en consideración la inercia del rodillo y su aceleración de giro, esto se determinará con las EC. 34, EC. 35 y EC. 36 de la siguiente manera.

$$I_{rodillo} = \frac{m_{rodillo} r_{rodillo}^2}{2} = \frac{(6.1095 [kg]) (0.0703 [m])^2}{2} = 0.015097 [kg \cdot m^2] \quad \text{EC. 35}$$

$$\alpha = \frac{\omega_{rodillo}}{V_{rodillo}} = \frac{15.265 \left[\frac{rad}{s} \right]}{\frac{(60 [s]) (1 [RPM])}{292 [RPM]}} = 74.29 \left[\frac{rad}{s^2} \right] \quad \text{EC. 36}$$

$$T_E = (0.015097 [kg \cdot m^2]) \left(74.29 \left[\frac{rad}{s^2} \right] \right) = 1.1215 [N \cdot m] \quad \text{EC. 34}$$

3.4.3.3 Diámetro del eje para el porta rodillo

El eje de los rodillos será construido de igual manera con el acero AISI 1045 por lo que se emplearan los mismos factores que anterior mente se determinaron para el eje principal, este diámetro del eje se determinara con la EC. 32.

$$D_{ER} = \left[\frac{32 N_D}{\pi} \sqrt{\left[\frac{K_t M}{s'_n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{s_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{EC. 32}$$

$$D_{ER} = \left[\frac{32 (4)}{\pi} \sqrt{\left[\frac{1.6 (227.7072 [N \cdot m])}{(360.61 [MPa])} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{1.1215 [N \cdot m]}{530 [MPa]} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_{ER} = 0.03452 [m] = 34.52 [mm]$$

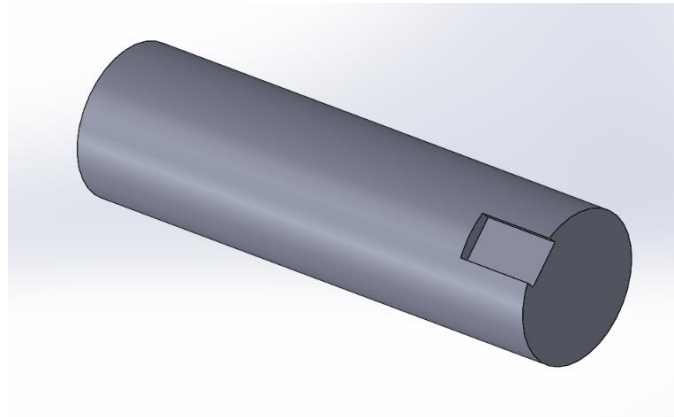


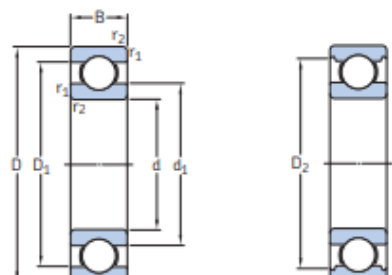
Figura 46 Diseño Eje de rodillos

3.4.4 Selección de rodamientos del sistema

Los rodamientos son un elemento muy importante en el sistema ya que estos ayudaran a mantener la velocidad y la potencia que se transmite desde el motor, en el sistema se seleccionaran 3 rodamientos, 1 rodamientos pertenecen al eje principal de transmisión y 2 rodamientos pertenecen al eje de cada uno de los rodillos de peletización.

3.4.4.1 Selección de rodamientos del eje principal de transmisión

El sistema de transmisión de potencia del motor y del reductor de velocidad que está constituido por el eje principal y por los rodamientos, es un sector muy importante para la compactación del material, los rodamientos se seleccionaran para que se mantengan constantes los dos factores que se transmiten a través del eje, este debe de soportar cargas axiales ya que soportara a los rodillos que ejercerán fuerza en dirección perpendicular del eje para la compactación, por lo que se seleccionara un rodamiento de bolas, se seleccionó el rodamiento SKF 61907 para el diámetro en el eje principal, a continuación se presentan las características del rodamiento seleccionado.

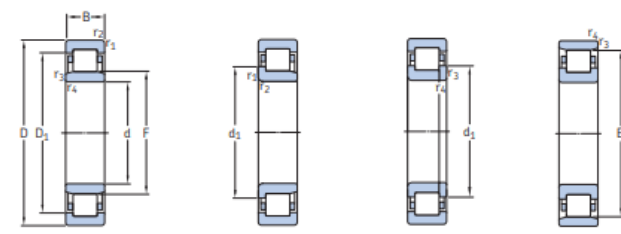


Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	C	C ₀	P _e	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN	kN	kN	r. p. m.		kg	-
35	47	7	4,36	3,35	0,14	30 000	18 000	0,029	61807
	55	10	10,8	7,8	0,325	26 000	16 000	0,08	61907
	62	9	13	8,15	0,375	24 000	15 000	0,11	16007
	62	14	16,8	10,2	0,44	24 000	15 000	0,15	6007

Figura 47 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas (SKF, 2015)

3.4.4.2 Selección de rodamientos del eje de rodillo

El sector de compactación de los rodillos que está constituido por los rodillos de peletización, los cuales están fijados en un eje que permitirá la transferencia de la velocidad y de la potencia del eje principal, también permitirá que los rodillos roten sobre si mismo mediante un rodamiento, el rodamiento seleccionado para los rodillos se tratara de uno con rodillos cilíndricos ya que en ese sector no se aplicaran cargas axiales al eje, se aplicaran cargas radiales para las cuales los rodillos cilíndricos son la mejor opción, se seleccionó el rodamiento SKF NUP 2207 ECP para el diámetro en el eje de los rodillos, a continuación se presentan las características de los rodamientos.



Dimensiones principales	Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades nominales		Masa	Designaciones Rodamiento con jaula estándar	Jaula estándar alternativa ³⁾
	dinámica C	estática C_0		Velocidad de referencia	Velocidad límite			
d D B	kN	kN	r. p. m.	kg	-			
35 62 14 35,8	38	4,55	13 000	13 000	0,16	NU 1007 ECP	PH	
72 17 56	48	6,1	11 000	12 000	0,29	* NU 207 ECP	J, M, ML, PH	
72 17 56	48	6,1	11 000	12 000	0,3	* NJ 207 ECP	J, M, ML, PH	
72 17 56	48	6,1	11 000	12 000	0,31	* NUP 207 ECP	J, M, ML, PH	
72 17 56	48	6,1	11 000	12 000	0,3	* N 207 ECP	#	
72 23 69,5	63	8,15	11 000	12 000	0,4	* NU 2207 ECP	J, ML, PH	
72 23 69,5	63	8,15	11 000	12 000	0,41	* NJ 2207 ECP	J, ML, PH	
72 23 69,5	63	8,15	11 000	12 000	0,42	* NUP 2207 ECP	J, ML, PH	

Figura 48 Rodamientos de una hilera de rodillos cilíndricos (SKF, 2015)

3.4.5 Trituración de la materia prima

Una vez que la materia prima se ha deshidratado hasta que tenga solo del 10 al 12 % de humedad, se transporta hasta un molino de martillo que lo triturara hasta obtener una apariencia de harina, siendo este aspecto el adecuado para que las partículas de la materia prima se compacten de forma adecuada, evitando que durante su manejo y transporte no presente grietas o ruptura en el pellet manteniendo una calidad adecuada para los compradores.

3.4.5.1 Selección de Equipo para molido de materia prima

El molido de la materia prima es uno de los factores que influenciara en la calidad del pellet, por lo que se tiene que seleccionar adecuadamente para obtener una apariencia de harina de la materia prima que se requiera compactar, para nuestro caso se empleara un molino de martillo que es el más adecuado para obtener nuestra materia con las partículas lo más pequeña posible y uniformes, el molino se escoge a continuación de acuerdo a la demanda de alfalfa de la peletizadora.

Tabla 18 Molinos de martillo de la marca Rotex Master (MASTER)

Modelo	Poder (kilovatio)	Capacidad de salida (t/h)	Cantidad de los martillos (pedazos)	Medida (milimetro)	Peso (t)
YDF-40	7,5	0.2-0.5	16	1310*800*1070	0,27
YDF-50	15	0.6-0.8	16	1380*800*1010	0,45
YDF-65*27	22	0.8-1.5	24	1500*1000*1100	1,1
YDF-65*55	37/45	1-2	48	1700*1000*1100	1.4/1.6
YDF-65*75	55/75	2-3	72	2100*1000*1100	1.9/2.2
YDF-65*100	90/110	3-4	96	2400*1000*1100	2.3/2.6
YDF-130*55	110/160	5-6	80	2800*1620*2100	5.3/5.6
YDF-130*100	160/220	7-8	160	3020*1620*2170	6.8/7.1


Figura 49 Molino de rodillos (MASTER)

3.4.6 Acondicionamiento de materia prima

Antes de que la harina de nuestra materia prima se introducida en la máquina peletizadora es necesario que se aplique agua a cierta temperatura, para que los pellets suelte los aceites naturales que contiene la materia con la que se esté trabajando, los aceites lubrican y reducen el desgaste de los rodillos y la matriz aumentando así la tasa de producción, además de estas ventajas los aceites una vez que se ha extruido los pellets a través de la matriz generan una capa protectora que aumentara la durabilidad, haciendo que su manejo y transporte se lleve acabó sin perder la calidad en los pellets.

El Acondicionamiento del material se trata de un proceso en el cual se aplicará agua a una temperatura de 80 °C durante un periodo de 45 a 90 segundos a una velocidad no mayor a 25 [m/s] para lograr que se genere la capa protectora por los aceites sin que esto tenga afectaciones en los nutriente y composición del material.

3.4.6.1 Selección de equipo para acondicionamiento de la harina

El acondicionamiento de la harina se aplica mediante una máquina cilíndrica la cual posee un rodillo sin fin que transporta el material de un extremo del cilindro al otro, entre la distancia se transporta se aplicara el agua a 80 °C para que así se puedan liberar los aceites que contiene. Para el Proceso de peletización se seleccionó un acondicionador rotatorio de la marca FAMSUN siendo el adecuado para la producción deseada de 300 [kg/h], el acondicionador se elige a continuación:

Tabla 19 Acondicionador de la FAMSUN (FAMSUN)

Modelo	SBTZ10	SBTZ28	SBTZ33C	SBTZ39	SBTZ45
Potencia (kW)	3	15	18.5	22	30
Capacidad (t/h)	0.3-0.5	7-12	9-18	10-25	15-35



Figura 50 Acondicionador de la materia prima (FAMSUN)

El acondicionador es uno de los sectores que tiene una gran importancia para el transporte y manejo de los pellets, para el acondicionador se realizara un balance de masa y energía, ya que este se utilizan para determinar los flujos de materia y energía entre el proceso y los alrededores o entre las distintas operaciones que lo integran, para el caso de los pellets será el intercambio de la energía de los pellets con el fluido inyectado en el acondicionador, con el balance de masa se podrá conocer los caudales máxicos de todas las corrientes materiales que intervienen en el proceso.

3.4.6.2 Balance de masa y energía de la harina para pellets

El balance de masa y energía permitirá conocer el consumo de agua que se requerirá en el acondicionador, Para el balance se limitara el sistema con un volumen de control que se encontrara conformado por el acondicionador y el colector, tomando en cuenta que el agua de entrada al colector se encontrara a 85 °C y será inyectado a los pellets a una presión de 345 [kPa] constante mente en el proceso (Ergomix, 2013).

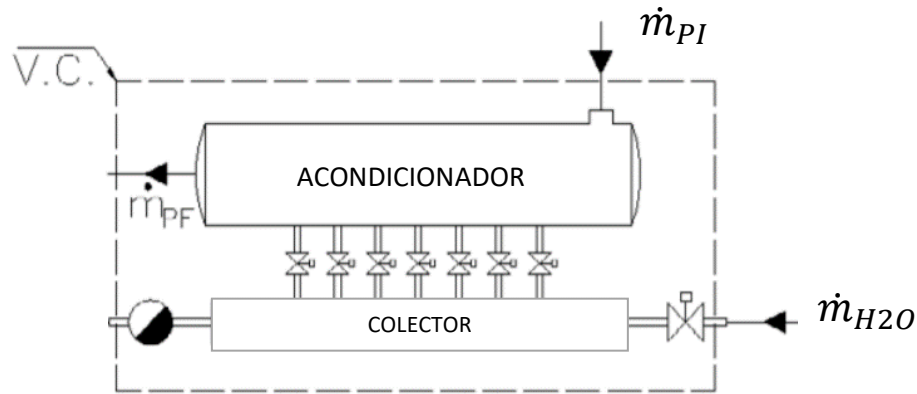


Figura 51 Esquema de acondicionador térmico (Vejar, 2006)

Donde:

\dot{m}_{H2O} : flujo másico de agua que ingresa al colector

\dot{m}_{PI} : Flujo másico de la materia prima antes de ingresar al acondicionador

\dot{m}_{PF} : Flujo másico de la materia prima después de ingresar al acondicionador

El diagrama anterior muestra el volumen de control a partir del cual se realizará el análisis de masa y energía, para este análisis se tomarán algunas consideraciones.

consideración 1: la presión permanece constante durante todo el proceso

consideración 2: La energía cinética y potencial son insignificantes $E_c = E_p = 0$,

consideración 3: al no haber energía cinética y potencial no se presenta variación de ellas por lo que $\Delta E_c = \Delta E_p = 0$

Para determinar la cantidad de fluido que se necesitara en el acondicionamiento de acuerdo a la cantidad de materia prima que ingresa, se empleara el siguiente balance de masa y energía de acuerdo al esquema del acondicionador térmico, el balance es expresado a continuación.

$$\dot{m}_{PI} C_{pa} \Delta T_P = \dot{m}_{H2O} C_{pA} \Delta T_{H2O} \quad \text{EC. 37}$$

Donde:

C_{pa} : Calor específico de la materia prima $\left(2.85 \left[\frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C}\right]\right)$

ΔT_P : Diferencia de temperatura de la materia prima al recibir energía del agua

C_{pA} : Calor específico del agua $\left(4.193 \left[\frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C}\right]\right)$

ΔT_V : Diferencia de temperatura del agua al entrar en contacto con la materia prima

La diferencia de temperatura se encontrará conformada por las siguientes temperaturas:

T_{PE} : Temperatura de entrada de la materia prima al acondicionador = 25 °C

T_{PS} : Temperatura de salida de la materia prima del acondicionador = 75 °C

$T_{h,i}$: Temperatura de entrada del agua al acondicionador = 80 °C

$T_{h,o}$: Temperatura de salida del agua del acondicionador = 40 °C

Una vez que se tienen todos los datos necesarios para el balance de masa y energía se procederá a calcular el volumen necesario de agua para los 300 [kg/h] de materia prima.

$$\begin{aligned} \dot{m}_{PI} C_{pa} (T_{PS} - T_{PE}) &= \dot{m}_{H2O} C_{pA} (T_{h,i} - T_{h,o}) \\ \left(300 \left[\frac{kg}{h}\right]\right) \left(2.85 \left[\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C}\right]\right) (75 \text{ } ^\circ C - 25 \text{ } ^\circ C) &= \dot{m}_{H2O} \left(4.194 \left[\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C}\right]\right) (85 \text{ } ^\circ C - 40 \text{ } ^\circ C) \\ 42750 \left[\frac{kJ}{h}\right] &= \dot{m}_{H2O} \left(4.194 \left[\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C}\right]\right) (45 \text{ } ^\circ C) \\ 42750 \left[\frac{kJ}{h}\right] &= \dot{m}_{H2O} \left(188.73 \left[\frac{kJ}{kg}\right]\right) \\ \dot{m}_{H2O} &= \frac{42750 \left[\frac{kJ}{h}\right]}{188.73 \left[\frac{kJ}{kg}\right]} = 226.5141 \left[\frac{kg}{h}\right] = 0.063 \left[\frac{kg}{s}\right] \end{aligned}$$

El flujo masico que se obtuvo será el necesario para que al inyectar el agua a la materia prima se absorba la mayor cantidad de energía posible y se evite que esta se pierda en el ambiente inyectando solo el agua necesaria.

Para el proceso se considera que se tiene un manantial geotérmico del cual se obtiene agua caliente a 85 °C, Por lo que se seleccionó una bomba “Weg” con un cabezal corona de ½ [hp] de potencia, la cual proporciona un caudal de 75 [l/min] (1.25 [kg/s]), a continuación se determina el flujo de calor transferido entre el fluido frio y caliente considerando las siguientes temperaturas:

T_{IAG} : Temperatura de entrada del agua geotérmica = 85 °C
 T_{OAG} : Temperatura de salida del agua geotérmica = 81 °C
 T_{IAC} : Temperatura de entrada del agua al intercambiador = 27 °C
 T_{OAC} : Temperatura de salida del agua del intercambiador = 80 °C

Se selecciono una $T_{OAG} = 81 \text{ } ^\circ C$ debido a que el agua geotérmica es posible su uso en varios procesos consecutivo para el máximo aprovechamiento de la energía que contiene, en este caso se trata de un recurso geotérmico de baja entalpía que puede ser usado en sistemas de calefacción urbanos, en procesos industriales y en balnearios (Angulo, 2008)., con las temperaturas anteriores se determinara el flujo de calor transferido del fluido geotérmico al agua de acondicionamiento.

$$\dot{Q}_{int} = \dot{m}_{H2O} C_{pA} (T_{OAC} - T_{IAC}) = \left(0.063 \left[\frac{kg}{s}\right]\right) \left(4.194 \left[\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C}\right]\right) (80 \text{ } ^\circ C - 27 \text{ } ^\circ C) = 14.004 [kW] \quad \text{EC. 37}$$

La diferencia media logarítmica de temperatura que se utilizara para el diseño del intercambiador se calculara a continuación, considerando que es un intercambiador en contra flujo.

$$LTDM = \frac{(T_{IAG} - T_{OAC}) - (T_{OAG} - T_{IAC})}{\ln \left(\frac{T_{IAG} - T_{OAC}}{T_{OAG} - T_{IAC}}\right)} = \frac{(85 \text{ } ^\circ C - 80 \text{ } ^\circ C) - (81 \text{ } ^\circ C - 27 \text{ } ^\circ C)}{\ln \left(\frac{85 \text{ } ^\circ C - 80 \text{ } ^\circ C}{81 \text{ } ^\circ C - 27 \text{ } ^\circ C}\right)} = 20.59 \text{ } ^\circ C \quad \text{EC. 38}$$

Una vez que se obtiene el calor transferido entre los dos fluidos y con las temperaturas de estos se contactara con el proveedor HRS Heat Exchangers para la solicitud de construcción del intercambiador de calor de tubos concéntricos que se necesita para el acondicionamiento de la materia prima.

3.5 Conclusiones

Se determinó que la máquina estará formada por una matriz plana, con rodillos móviles, la cual tendría un reductor de velocidad con tornillo sin fin y corona, Se determinaron los factores más importantes de la máquina peletizadora que son: el diámetro de los rodillos, el número de orificios de extrusión en la matriz, la aceleración de los rodillos, las fuerzas que se presentan en la compactación del material y la potencia que se necesita para que la compactación se realice.

Considerando los factores obtenidos más importantes para llevar acabo la peletización se determinó que el diámetro del eje principal será de 30.52 [mm] y el del eje de los rodillos de compactación de 34.52 [mm], los cuales son los encargados de transmitir la potencia y aceleración desde el reductor hasta los rodillos de compactación, dado que los rodamientos necesarios para los ejes no existen comercialmente, se seleccionaron unos rodamientos con un diámetro de 35 [mm] para los dos tipos de ejes.

De acuerdo a las características de los pellets se seleccionó un molino de rodillos que triturara la materia adecuadamente hasta tener una apariencia uniforme, Además de seleccionar el acondicionador de materia prima para la producción del sistema de 300 [kg/h].

Finalmente se determinó el flujo de calor transferido en el intercambiador de calor de tubos concéntricos el cual llevara agua limpia al acondicionador de la materia prima, llevando a cabo el acondicionamiento de la harina antes de que sea compactada en la matriz de extrusión.

Capítulo 4. Análisis Económico

4.1 Introducción

En el siguiente capítulo se realizará un análisis de los materiales que se emplearán para la construcción de la máquina peletizadora de acuerdo a los cálculos y selección de componentes que se realizaron en el capítulo anterior, Se desglosan los precios de la máquina en costo de materiales, sistema eléctrico, máquinas/ herramientas, mano de obra directa e indirecta, imprevistos en la construcción e indirectos de producción; se realizará la cotización de materiales comerciales y existentes en el mercado para una obtención del material de construcción más sencilla.

Se analizará la utilización de paneles solares interconectados a la red eléctrica para la reducción del consumo eléctrico, realizando la comparación del sistema con paneles y sin paneles solares; además se realizará un análisis económico con base a los pellets de alfalfa mediante el estado de resultados y el estado de flujo de efectivo del sistema para un periodo de 10 años de funcionamiento. Para el caso del análisis económico de los paneles solares y el los pellets de alfalfa se determinará el periodo de recuperación de la inversión inicial.

4.2 Costo del Molino de Martillos

El molino de martillos que se encargará de triturar el material hasta una forma uniforme, se seleccionó en el capítulo anterior el cual no se construirá, por lo que se comprará a la empresa Rotex Master el modelo de la máquina YDF-40, siendo este modelo el que es adecuado a la producción de 300 kg/h, a continuación, se presenta el costo del Molino con un precio del dólar de 19.29 MXN.

Tabla 20 Costo de molino de martillo seleccionado

Descripción de la máquina	Unidad	Cant.	Precio (USD)	Precio (MXN)
Molino de martillo Rotex Master YDF-40	Pza.	1	6,050	116,724.46
Total				116,724.46

4.3 Costo del Acondicionador de Materia Prima

El acondicionamiento de la metería prima es un proceso de mucha importancia para mantener nuestra calidad al momento de su manejo y transporte, este equipo se adquirirá por la empresa FAMSUN con el modelo SBTZ10, dado que este modelo es el más adecuado para la producción, a continuación, se presenta el costo del acondicionador con un precio del dólar de 19.29 MXN.

Tabla 21 Costo de acondicionador de materia prima

Descripción de la máquina	Unidad	Cant.	Precio (USD)	Precio (MXN)
Acondicionador FAMSUN SBTZ10	Pza.	1	4,500.00	86,805.00
Total				86,805.00

4.4 Costo de Fabricación de Peletizadora para biomasa

El costo de fabricación de la máquina peletizado se dividirá en 3 sectores importantes que serán el material, las herramientas y los recursos humanos que se empleen; una vez que se tenga el total de estos sectores se sumarán y se obtendrá el costo total de construcción.

4.4.1 Costo de materiales

El costo de materiales estará formado por todos los materiales y consumibles que se emplearan en la construcción de los elementos como los componentes de la estructura, elementos del mecanismo, los elementos de corte y unión, los materiales para el acabado de la máquina, estos materiales se colocan en la siguiente tabla junto con los precios por unidad y las unidades empleados en la máquina.

Tabla 22 Costo de materiales de la peletizadora de alimento

Descripción del material	Unidad	Cant.	Prec. Unit. (MXN)	Prec. Total (MXN)
Placa de acero ASTM A361 de 3/16"	m ²	1.45	1,292.62	1,874.30
Placa de acero ASTM A361 de 3/8"	m ²	0.26	1,691.64	439.82
Perno de acero hexagonal M12x35	Pza.	24	7.95	190.80
Perno de acero hexagonal M12x50	Pza.	4	11.26	45.04
Perno de acero hexagonal M10x45	Pza.	4	8.93	35.72
Perno de acero hexagonal M7x20	Pza.	5	1.54	7.70
Tuerca hexagonal M12x1.5	Pza.	28	2.56	71.68
Tuerca hexagonal M10x1.5	Pza.	4	2.56	10.24
Tubo PTR estructural 1X1"	m	1.37	181.00	247.97
Barra de acero redonda 1045 de 1 ¼"	m	0.87	700.00	609.00
Bloque de acero 1045	cm ³	229.68	0.645	148.14
Rodamiento SKF 61906	Pza.	1	350.00	350.00
Rodamiento SKF NUP 305 ECP	Pza.	4	1,500.00	6,000.00
Rodillo de peletización 140.6 mm de diámetro	Pza.	2	1,239.40	2,478.80
Sistema de sujeción para rodillos de peletizado	Pza.	1	2,865.61	2,865.61
Matriz de extrusión para pellets	Pza.	1	5,030.66	5,030.66
Cuchilla de acero 1045 para peletizadora	Pza.	2	757.74	1,515.48
Solera de acero 1045 5/8"x2"	m	0.254	1,520.00	386.08
Barra cuadrada de acero 1045 de ½"	m	0.1285	201.55	25.899
Reductor de Velocidad NORD 10:1	Pza.	1	5,910.00	5,910.00
Motor Trifásico 5 hp a 1440 RPM WEG	Pza.	1	17,214.00	17,214.00
Electrodo INFRA 7018	Kg	10	140.00	1,400.00
Pintura anticorrosiva surtek	Lt.	4	112.50	450.00
Disco de corte Concord de 10"	Pza.	1	856.25	856.25
Disco de desbaste Austromex de 7"X1/8"X7/8"	Pza.	1	58.00	58.00
Fresa Triangular 2 gavilanes 4mm Drillpro 505a	Pza.	3	199.00	597.00
Fresa vertical Recto 2 gavilanes ¼" Heye & Summit	Pza.	1	221.37	221.37
Buril calzado e-10 k-42 (5/8") punta 60° Incor	Pza.	1	117.15	117.15
Broca ¼" 2 filos carburo de tungsteno Mastercut	Pza.	1	379.85	379.85
Macho de rosca M7 HSS de canal recto	Pza.	1	306.60	306.60
Macho de rosca M10 HSS de canal recto	Pza.	1	335.84	335.84
Macho de rosca M12 HSS de canal recto	Pza.	1	546.87	546.87
Total				50,725.87

4.4.2 Costo de máquinas/herramientas

El costo de las máquinas y herramientas estará formado por todas las máquinas empleadas para realizar alguna operación en el material ya sea un barrenado, una ranura con la fresa o el doblado de lámina se considerará en este costo.

Tabla 23 Costo de maquinaria para la construcción de peletizadora

Maquinaria	Costo/h (MXN)	Horas	Prec. Total (MXN)
Soldadora arco eléctrico 28.6 [kW]	31.89	20	669.69
Sierra circular 1.6 [kW]	1.78	8	14.27
Esmeriladora 2.5 [kW]	2.79	4	11.16
Dobladora para lamina	78.00	8	624.00
Roladora para lamina	187.50	8	1,500.00
Torno	190.00	4	760.00
Fresa	240.00	8	1,920.00
Total			5,499.12

4.4.3 Costo de mano de obra

El costo de mano de obra estará constituido por todos los recursos humanos que participen en la construcción de la máquina, el total se calculará con las horas de trabajo y el salario que estos tendrán por hora, esto se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 24 Costos de mano de obra para construcción de peletizadora

Máquina	Costo/h (MXN)	Horas	Prec. Total (MXN)
Herrero	48.33	48	2,319.84
Ayudante	25.00	48	1,200.00
Supervisor (Ingeniero Encargado del Proyecto)	108.89	48	5,226.72
Total			8,746.56

4.4.4 Costo total de construcción

El costo de construcción de la máquina peletizadora se obtendrá una vez que se han obtenido los costos de materiales, máquinas/herramientas y la mano de obra, al sumar estos costos se podrá obtener el costo de nuestra máquina peletizadora de biomasa.

Tabla 25 Costo total de construcción de máquina peletizadora

Descripción	Prec. Total (MXN)
Costo de Materiales	50,725.87
Costo de Máquinas/Herramientas	5,499.12
Costo de Mano de Obra	8,746.56
Total	64,971.55

4.5 Costo de Intercambiador de Calor de Doble Tubo

El intercambiador de doble tubo está formado por dos tubos concéntricos con diámetros diferentes, en el cual un fluido pasa por el tubo con un diámetro menor mientras que otro fluido pasa entre el espacio anual formado por el tubo de menor tamaño y el de mayor, la energía será trasferido del fluido que pasa por el anulo de los tubos hacia el fluido que circula en el tubo de menor diámetro.

A continuación, se presenta un esquema de la estructura del intercambiador de tubos concéntricos.

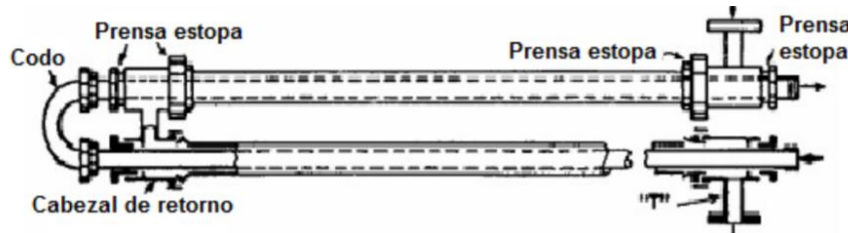


Figura 52 Intercambiador de calor de tubos concéntricos (Donald Q, 1995)

Con el análisis que se realizó en la sección 3.4.6.2 se determinó el flujo de calor que se transferirá del agua geotérmica hacia el agua potable y con las temperaturas de estos fluidos se solicitó a un proveedor el diseño del intercambiador, a continuación, se presenta el costo que se proporcionó con un precio del Euro de 21.39 pesos mexicanos.

Tabla 26 Costo de acondicionador de materia prima

Descripción de la máquina	Unidad	Cant.	Precio (EUR)	Precio (MXN)
Intercambiador de calor (HRS heat exchangers)	Pza.	1	1,921.00	41,088.87
Total				41,088.87

4.6 Reducción de Costos del Proceso con Energía Solar

El uso de la energía solar en la actualidad es un recurso natural que se puede aprovechar para la reducción de costos por el consumo de la red eléctrica pública en la producción de algún producto, con lo cual se disminuirá el uso de combustibles fósiles para la producción de la energía eléctrica,

En esta sección se realizar un análisis del consumo de energía eléctrica en la producción de los pellets de alimento, se analizará el uso de paneles solares interconectados y aislados de la red eléctrica en el sistema de producción.

4.6.1 Consumo eléctrico del sistema

Para determinar la reducción de costos del consumo eléctrico se determinará el consumo total del sistema, que estará constituido con la suma del consumo eléctrico por hora de cada uno de los componentes del sistema de fabricación de pellets de alimento; A continuación, se presentan los componentes y el consumo.

Tabla 27 Consumo de Energía Eléctrica para los componentes del sistema de compactación de alimento

Componente	Potencia [hp]	Consumo Eléctrico [kW/h]
Molino de Rodillos	10	7.5
Acondicionador de Pellets	4	3
Peletizadora de Alimentos	5	3.75
-Bomba de alta Temperatura	0.25	0.2
-Bomba de aumento de presión	0.25	0.2
Total	19.5	14.65

4.6.2 Costo de sistema de paneles solares

Una vez que se determinó la energía necesaria para que el sistema se encuentre trabajando, se procederá a determinar el costo que tendrá el uso de paneles solares de forma interconectado, En el caso del sistema aislado no se puede utilizar ya que se trata de un consumo alto de energía y si se utilizara este sistema se necesitarían demasiadas baterías lo que elevaría demasiado el costo de instalación perdiendo los beneficios de la energía solar, a continuación se determinaran los costos que tendrán los paneles fotovoltaicos para el sistema interconectado.

Tabla 28 Costo del sistema interconectado a la red eléctrica de paneles solares

Descripción del material	Unidad	Cant	Prec. Unit. (MXN)	Prec. Total (MXN)
Panel solar Policristalina Joy solar de 340 [W]	Pza.	25	4,120.00	103,000.00
Inversor Solis para interconexión 8 [kW/h]	Pza.	1	40,000.00	40,000.00
Cable Fotovoltaico Rojo	m	50	63.00	3,150.00
Cable Fotovoltaico Negro	m	50	63.00	3,150.00
Interruptor Termomagnético CD 600 [V] 16 [A]	Pza.	1	649.00	649.00
Soporte Montan para paneles solares	Pza.	24	1,648.00	39,552.00
Total				189,501.00

4.6.3 Análisis de ahorro con sistema Fotovoltaico

Para determinar el consumo eléctrico de acuerdo a las tarifas existentes de CFE para el sistema de producción de pellets, analizando los costos con la red pública y con sistema fotovoltaico se tendrán que considerar ciertos factores de la región en donde se colocara, este sistema se instalara en el estado de Guanajuato en la ciudad de Celaya, tomando en consideración que se trata de un consumo de 14.65 [kW] por hora o 102.55 [kWh], De acuerdo a la tarifas de CFE para una empresa, se selecciona la tarifa GDMTH para el consumo de más de 100 [kWh] por día.

Una vez que se ha considerado lo anterior se proseguirá a realizar un análisis del costo del sistema con la tarifa de CFE y con el sistema fotovoltaico, A continuación, se presenta la comparación de costos de estas dos formas de consumo.



Tabla 29 Consumo eléctrico con tarifa GDMTH y Con sistema foto voltaico

<i>Consumo bimestral de energía</i>	4,512.20	kWh/bim		
<i>Consumo por mes</i>	2,256.10	kWh/mes		
Aplica Tarifa GDMTH	\$/kWh	kWh/mes	\$/Mes	\$/Bim
<i>Tarifa GDMTH</i>	1.697	2,256.10	3,827.925	7,655.850
<i>Cargo Fijo Mensual</i>	451.040	-	451.040	902.080
<i>Cargo por Distribución</i>	94.590	18.848	1,782.828	3,565.656
<i>Cargo por Capacidad</i>	354.090	18.848	6,673.872	13,347.74
<i>Cargo por Transmisión</i>	0.159	2,256.10	357.592	715.184
<i>Cargo por CENACE</i>	0.009	2,256.100	20.531	41.061
<i>Cargo por Generación I</i>	2.137	2,256.100	4,820.834	9,641.669
<i>Cargo por MEM</i>	0.005	2,256.100	12.183	24.366
<i>Subtotal:</i>			17,946.80	35,893.61
<i>IVA:</i>			2,871.49	5,742.98
<i>Pago:</i>			20,818.29	41,636.59
Generación de Energía	kWh/mes	kWh/bim		
<i>Si se consideran 6 HSP y 100% de eficiencia</i>	1,933.80	3,867.60		
Cálculo del sistema				
<i>Carga CA Promedio diaria</i>	117.20	kW		
<i>Eficiencia del inversor</i>	90.00	%		
<i>Voltaje CD del sistema</i>	48.00	V		
<i>Potencial de los Paneles que se Instalaran</i>	340.00	W		
<i>Total, de Paneles</i>	25.00	Paneles		
Energía Generada por el sistema				
<i>No de Paneles</i>	25.00	Paneles		
<i>Potencia de los paneles a CEM</i>	340.00	W/panel		
<i>Eficiencia del sistema</i>	85.00	%		
<i>Potencia Efectiva del sistema</i>	7.23	kW/panel		
<i>Generación por día</i>	43.35	kWh/día		Nuevo consumo de CFE
<i>Generación por mes</i>	953.70	kWh/mes		1,302.40 kWh/mes
<i>Generación por Bimestre</i>	1,907.40	kWh/bim		2,604.80 kWh/bim
Nuevo pago Tarifa GDMTH	\$/kWh	kWh/mes	\$/Mes	\$/Bim
<i>Tarifa GDMTH</i>	1.697	1,302.400	2,209.782	4,419.564
<i>Cargo Fijo Mensual</i>	451.040	-	451.040	902.080
<i>Cargo por distribución</i>	94.590	10.881	1,029.190	2,058.380
<i>Cargo por Capacidad</i>	354.090	10.881	3,852.689	7,705.377
<i>Cargo por Transmisión</i>	0.159	1,302.400	206.430	412.861
<i>Cargo por CENACE</i>	0.009	1,302.400	11.852	23.704
<i>Cargo por Generación I</i>	2.137	1,302.400	2,782.968	5,565.937
<i>Cargo por MEM</i>	0.005	1,302.400	7.033	14.066
<i>Subtotal:</i>			10,550.98	21,101.97
<i>IVA:</i>			1,688.16	3,376.31
<i>Pago:</i>			12,239.14	24,478.28
Ahorro con el sistema Fotovoltaico	\$/mes	\$/bim	\$/año	
<i>Pago anterior</i>	20,818.29	41,636.59	249,819.52	
<i>Pago con el sistema FV</i>	12,239.14	24,478.28	146,869.70	
Ahorro	8,579.15	17,158.30	102,949.82	

4.6.3.1 Análisis de retorno de inversión del sistema fotovoltaico

Del análisis anterior se demostró los beneficios del sistema fotovoltaico, comparando el costo que tendrá la compra de los paneles y componentes necesarios para su correcto funcionamiento, también al hacer el análisis con la tarifa de CFE se pudo determinar el ahorro que se tendrá al implementar los paneles en un sistema interconectado a la red pública.

A continuación, se hará un análisis del periodo de recuperación de la inversión inicial realizada para los paneles fotovoltaicos en el sistema de peletizado.

Tabla 30 Análisis de retorno de inversión para el sistema fotovoltaico

Años	Sin sistema FV	Con sistema FV	Ahorro	Acumulado
1	\$249,819.52	\$336,370.70	-\$86,551.18	-\$86,551.18
2	\$249,819.52	\$146,869.70	\$102,949.82	\$16,398.64
3	\$249,819.52	\$146,869.70	\$102,949.82	\$119,348.46
4	\$249,819.52	\$146,869.70	\$102,949.82	\$222,298.28
5	\$249,819.52	\$146,869.70	\$102,949.82	\$325,248.10
6	\$249,819.52	\$146,869.70	\$102,949.82	\$428,197.92
7	\$249,819.52	\$146,869.70	\$102,949.82	\$531,147.74
8	\$249,819.52	\$146,869.70	\$102,949.82	\$634,097.56
9	\$249,819.52	\$146,869.70	\$102,949.82	\$737,047.38
10	\$249,819.52	\$146,869.70	\$102,949.82	\$839,997.20

Con el análisis anterior se pudo determinar que la inversión realizada para la instalación de los paneles fotovoltaicos al sistema de producción de pellets se recuperara en un periodo de dos años, esta recuperación se llevara a cabo con el ahorro que se obtuvo al reducir el consumo eléctrico de la red pública.

4.7 Periodo de Recuperación de Inversión del sistema de Peletización

El sistema de peletización se instalará en la ciudad de Celaya en instalaciones del grupo IIDEA que trabaja actualmente con energía geotérmica, se considerará que se tienen una producción anual de 554,400.00 [kg] de pellets de alfalfa.

la producción de pellets al ser mucho menor a la demanda actual de alimento necesario para los animales en la ciudad se tomará como la demanda a satisfacer nuestra producción para los años del análisis, debido a que cerca del 52 % de la demanda de pellets de alfalfa es insatisfecha y lo demanda satisfecha es debido a importaciones del producto.

A continuación, se realiza un análisis para determinar los costos fijos y variables necesarios para el funcionamiento del sistema en las siguientes tablas.

Tabla 31 Costos fijos anuales para el sistema de peletización

Costos fijos (anuales)			TOTAL
			\$ 1,154,958.40
Personal	Cantidad	Precio (mensual)	\$ 558,000.00
Operario	3	\$6,000.00	
Supervisor	1	\$12,000.00	
Técnico	1	\$11,500.00	
Ayudante general	1	\$5,000.00	
Maquinaria	Cantidad	Precio	\$ 311,138.88
Molino de martillo	1	\$116,724.46	
Acondicionador de materia prima	1	\$86,805.00	
Máquina peletizadora	1	\$64,971.55	
Intercambiador de calor	1	\$41,088.87	
Bomba de alta temperatura	1	\$1,549.00	
Administrativos (Anuales)	Cantidad	Precio	\$ 285,819.52
Luz	1	\$249,819.52	
Agua	1	\$36,000.00	

Tabla 32 Costos variables presentes para la producción de 1 [kg] de pellets

Costos variables			\$ 3.60
Materia prima	Cantidad	Costo	\$ 3.60
Heno de alfalfa	1	3.6	

Con las tablas anteriores se proseguirá a determinar los costos fijos y los costos variables para producir 1 [kg] de alimento comprimido, además de determinar la ganancia que se tendrá por unidad, estableciendo que el kilogramo se venderá a 15 pesos, siendo este precio el adecuado para que el producto sea competitivo en el mercado actual.

Tabla 33 Resumen de costos fijos y variables para producir de 1 [kg] de pellets de alfalfa

Pellets de alfalfa (anuales)	554,400.00
Gran total	\$ 4,395,353.92
Costos fijos	\$ 2.08
Costos variables	\$ 3.60
Gasto total unitario	\$ 5.68
Ganancia por kilogramo	164 %
Precio de venta	15

4.7.1 Estado de resultados y estado de flujo de efectivo

Una vez que se han obtenido los gastos básicos para que el sistema funcione adecuadamente se realizará el estado de resultados en el cual se muestra la información relativa a los logros que se desean obtener del proyecto con base en los resultados que se obtuvieron en otros periodos, se mostrará información relacionada con las operaciones en un periodo de tiempo donde se verán reflejados ingresos, costos, y gastos relativos; Con se podrá determinar la utilidad o pérdida neta del periodo.

Del mismo modo en el estado de flujo de efectivo se verán reflejados los ingresos o desembolso de efectivo del proyecto durante un periodo de tiempo, mostrando la capacidad que se tendrá para generar flujos futuros de efectivo, cumplir con las obligaciones de pagos, y determinar de ser necesario el financiamiento interno o externo.

A continuación, se presentarán las demandas que se tomaron para generar el estado de resultados y el estado de flujo de efectivo para los primeros 10 años de operación del Sistema.

Tabla 34 Demanda estimada de producto durante los primeros 10 años de producción

Tempo (años)	Demanda [kg/año]
0	-
1	533,614
2	529,096
3	528,019
4	529,552
5	525,749
6	527,308
7	528,147
8	530,398
9	533,002
10	532,128

Las demandas presentadas son la producción de pellets de alfalfa por cada año, tomando en consideración que la demanda en Celaya es de 8,559.71 toneladas mensuales, al ser mucho mayor la demanda de la zona que la producción del sistema de peletización se tomará como la demanda del sistema su producción.

A continuación, se presentarán el estado de resultado y el estado de flujo de efectivo con las consideraciones y las demandas expuestas anteriormente.

Tabla 38 Estado de resultados del sistema para 10 años en operación

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$ 8,004,209.85	\$ 7,936,437.66	\$ 7,920,279.92	\$ 7,943,275.59	\$ 7,886,235.05	\$ 7,909,614.78	\$ 7,922,207.16	\$ 7,955,967.07	\$ 7,995,023.76	\$ 7,981,926.31
Costos variables		\$ 1,921,010.36	\$ 1,904,745.04	\$ 1,900,867.18	\$ 1,906,386.14	\$ 1,892,696.41	\$ 1,898,307.55	\$ 1,901,329.72	\$ 1,909,432.10	\$ 1,918,805.70	\$ 1,915,662.32
Costos fijos		\$ 843,819.52	\$ 843,819.52	\$ 843,819.52	\$ 843,819.52	\$ 843,819.52	\$ 843,819.52	\$ 843,819.52	\$ 843,819.52	\$ 843,819.52	\$ 843,819.52
Depreciación		\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65
EBT		\$ 4,982,984.32	\$ 4,931,477.45	\$ 4,919,197.57	\$ 4,936,674.28	\$ 4,893,323.47	\$ 4,911,092.07	\$ 4,920,662.27	\$ 4,946,319.81	\$ 4,976,002.89	\$ 4,966,048.83
Impuestos		\$ 1,494,895.30	\$ 1,479,443.24	\$ 1,475,759.27	\$ 1,481,002.28	\$ 1,467,997.04	\$ 1,473,327.62	\$ 1,476,198.68	\$ 1,483,895.94	\$ 1,492,800.87	\$ 1,489,814.65
Utilidad Neta		\$ 3,488,089.02	\$ 3,452,034.22	\$ 3,443,438.30	\$ 3,455,672.00	\$ 3,425,326.43	\$ 3,437,764.45	\$ 3,444,463.59	\$ 3,462,423.86	\$ 3,483,202.02	\$ 3,476,234.18

Tabla 37 Flujo operativo que se tendrá en el sistema en cada periodo durante 10 años en operación

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EBT		\$ 4,982,984.32	\$ 4,931,477.45	\$ 4,919,197.57	\$ 4,936,674.28	\$ 4,893,323.47	\$ 4,911,092.07	\$ 4,920,662.27	\$ 4,946,319.81	\$ 4,976,002.89	\$ 4,966,048.83
Depreciación		\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65	\$ 256,395.65
Impuestos		\$ 1,494,895.30	\$ 1,479,443.24	\$ 1,475,759.27	\$ 1,481,002.28	\$ 1,467,997.04	\$ 1,473,327.62	\$ 1,476,198.68	\$ 1,483,895.94	\$ 1,492,800.87	\$ 1,489,814.65
Flujo de efectivo Operativo		\$ 3,744,484.67	\$ 3,708,429.86	\$ 3,699,833.95	\$ 3,712,067.64	\$ 3,681,722.08	\$ 3,694,160.09	\$ 3,700,859.24	\$ 3,718,819.51	\$ 3,739,597.67	\$ 3,732,629.83

Tabla 36 Aumento o disminución del capital neto de trabajo que se tendrá en el sistema en cada periodo durante 10 años en operación

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CTN inicial											
Incrementos del CTN		-\$ 3,247,357.02	\$ 37,274.71	\$ 8,886.76	-\$ 12,647.62	\$ 31,372.30	-\$ 12,858.85	-\$ 6,925.81	-\$ 18,567.95	21,481.18	\$ 7,203.59
Recuperación del CTN											\$ 4,390,059.47
Aumento al CTN		-\$ 1,154,958.40	\$ 37,274.71	\$ 8,886.76	-\$ 12,647.62	\$ 31,372.30	-\$ 12,858.85	-\$ 6,925.81	-\$ 18,567.95	21,481.18	\$ 4,397,263.07

Tabla 35 Flujo de efectivo total que se tendrá en el sistema en cada periodo durante 10 años en operación

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de efectivo Operativo		\$ 3,744,484.67	\$ 3,708,429.86	\$ 3,699,833.95	\$ 3,712,067.64	\$ 3,681,722.08	\$ 3,694,160.09	\$ 3,700,859.24	\$ 3,718,819.51	\$ 3,739,597.67	\$ 3,732,629.83
Aumento al CTN		-\$ 1,154,958.40	\$ 37,274.71	\$ 8,886.76	-\$ 12,647.62	\$ 31,372.30	-\$ 12,858.85	-\$ 6,925.81	-\$ 18,567.95	21,481.18	\$ 4,397,263.07
CAPEX		\$ 3,076,747.74									\$ 705,088.02
Flujo de efectivo total		\$ 497,127.65	\$ 3,745,704.57	\$ 3,708,720.70	\$ 3,699,420.02	\$ 3,713,094.37	\$ 3,681,301.24	\$ 3,693,933.43	\$ 3,700,251.56	\$ 3,718,116.49	\$ 8,834,980.92

Con la obtención del flujo de efectivo total que se tendrá en cada periodo se pueden calcular dos factores para determinar si el proyecto es una buena inversión, estos dos factores son el VPN y la TIR, el VPN o Valor Presente Neto reflejara la ganancia o la pérdida que se tendrá al invertir el sistema, la TIR o Tasa Interna de Retorno mostrara el porcentaje de beneficio o pérdida que se tendrá al invertir, a continuación se presentan estos dos valores.

Tabla 39 Valor presente neto y tasa interna de retorno obtenidos del flujo de efectivo tota

VPN	\$ 9,622,466.48
TIR	59.38%

4.7.2 Periodo de recuperación

De igual manera con base en el flujo de efectivo total de cada periodo se podrá determinar el periodo de recuperación de la inversión hecha en el Proyecto, a continuación, se realiza este análisis en la siguiente tabla:

Tabla 40 Periodo de recuperación de inversión para el proyecto de pellets

Años	Flujo de efectivo total	Acumulado
0	-\$ 4,231,706.14	-\$ 4,231,706.14
1	\$ 497,127.65	-\$ 3,734,578.49
2	\$ 3,745,704.57	\$ 11,126.08
3	\$ 3,708,720.70	\$3,719,846.78
4	\$ 3,699,420.02	\$7,419,266.80
5	\$ 3,713,094.37	\$11,132,361.18
6	\$ 3,681,301.24	\$14,813,662.42
7	\$ 3,693,933.43	\$18,507,595.85
8	\$ 3,700,251.56	\$22,207,847.40
9	\$ 3,718,116.49	\$25,925,963.89
10	\$ 8,834,980.92	\$34,760,944.81

De acuerdo a los flujos de efectivo que se tendrán en cada año y con la inversión inicial que se realizó para el sistema de peletizado, se determinó que la inversión inicial de \$ 4,231,706.144 se recuperara en un periodo de 2 años.

4.8 Conclusiones

Se determinó que el costo de cada componente que integrará el Sistema de peletizado de alimento lo que reflejó el costo total de construcción y su consumo de energía, con base en el consumo de energía se determinó el número de paneles solares para reducir la demanda hasta 1,302.40 [kWh/mes]. La inversión para los paneles solares se recuperará en un periodo de 2 años en comparación al pago que se realiza a CFE sin el sistema fotovoltaico.

De acuerdo al valor presente neto obtenido del análisis anterior con una tasa de descuento del 15 %, es recomendable realizar la inversión al ser el VPN un valor mayor a 0; en cuanto a la TIR al ser mayor que la tasa de rentabilidad del 15 % se recomienda realizar la inversión ya que se tendrá una rentabilidad mucho mayor de la deseada.

Se determinó que el periodo de recuperación de la inversión de \$ 4,231,706.144 realizado en el año 0 en el sistema de peletización de alfalfa será de 2 años lo que, indica que el sistema será un proyecto con el que se tendrá una ganancia importante en un periodo de tiempo corto.

Capítulo 5. Conclusiones

5.1 Conclusiones de la Tesis

- Después de haber analizado la información del proceso de peletización de alimento se determinó que los factores que se deben de controlar son la humedad, temperatura, tamaño de la materia prima, dimensiones del dado por el que es extruido y la fuerza con la que se compacta; si se diseñan estos factores en base a las normas internacionales se tendrá una calidad adecuada para pellets. La temperatura será uno de los factores más útil para poder implementar la energía geotérmica en el sistema de peletizado.
- En relación a la información de reproducción de pellets se determinó que los pellets es una forma de reducción de costos de transporte además de integrar valor agregado a alimento deshidratado, siendo México un área de oportunidad muy grande debido a que cerca del 52 % de la superficie del territorio nacional es una zona árida o semiárida la demanda de pellets es insatisfecha, ya que la gran mayoría de estos productos se importan de otros países.
- De acuerdo a nuestras necesidades de producción se llegó a la conclusión que la estructura principal de la máquina peletizadora tendría una matriz plana, con rodillos móviles, con un redactor de velocidad de tornillo sin fin y corona con una relación de reducción de 1:10.
- Al realizar el diseño de la máquina peletizadora se determinó que los rodillos de compactación tendrán un diámetro de 0.1406 [m], una matriz de extrusión con 143 orificios, el diámetro del eje principal será de 30.52 [mm] y el diámetro de los ejes de los rodillos de compactación tendrá un diámetro de 34.52 [mm]; la potencia que será requerirá para la compactación es de un motor de 5 [hp].
- Con base en los diseños de la peletizadora y el intercambiador de calor se determinaron los tres costos principales que se consideran para la construcción de las máquinas, obteniendo los costos de cada uno, además de determinar el costo del molino de martillos y el acondicionador, obteniendo el costo de construcción del sistema de peletizado.
- En relación al consumo de energía que se tendrá en el sistema se seleccionó un sistema de paneles solares interconectados a la red eléctrica, el cual reducirá el consume eléctrico un 43 %, con el ahorro que se tendrá de la implementación de los paneles fotovoltaicos se recuperara la inversión en un periodo de 2 años.
- Finalmente, al obtener un valor presente neto mayor a 0 se tendrán beneficios de la inversión realizada de \$ 4,231,706.144 en el periodo inicial, de igual forma el tener la TIR mayor a 15 % que es nuestro rendimiento deseado, se considera que el proyecto dará beneficios mayores a los deseado y el periodo de recuperación de 2 años para la inversión será muy corto.

Referencias

- A.B. Rodríguez, P. L. (1992). *Alimentación Del Vacuno De Leche, Métodos De Conservación De La Alfalfa*. Instituto De Ganadería De Montaña.
- AIE, A. I. (2015). 10 Argumentos a favor las energías renovables. *National Geographic*.
- Albitres, L. M. (2006). Diseño de Plantas de Procesos Químicos. En *Intercambiadores de Calor* (pág. 140). Trujillo-Peru: Universidad Nacional de Trujillo .
- Albitres, L. M. (2007). Intercambiadores de Calor. En *Diseño de Planta de Procesos Químicos* (pág. 141). Trujillo-Peru: Universidad Nacional De Trujillo .
- Amin Kiaghadi, R. S. (2017). Modelado de la eficiencia energética geotérmica de pozos abandonados de petróleo y gas para producir agua desalinizada. *Elsevier*, 53-54.
- Angulo, G. L. (2008). *Guía de la Energía Geotérmica* . Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Arbelaez, C. (2011). *Análisis de la Influencia que tiene la calidad del pelletizado sobre los rendimientos de las Producciones*. Antioquia: Corporación Universitaria Lasllita.
- Arpi Trujillo, J. E., & Calderón Toral, C. S. (2010). *Diseño de una Máquina pelletizadora en base a la disponibilidad de Residuos Madereros de la Ciudad de Cuenca para su Aprovechamiento Energético*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Arzate, M. C. (2005). *Metodología moderna para inventar o innovar tecnológicamente de manera sistemática*. México, D.F.: Panorama.
- Atehortúa, J. E., Colorado, R. C., & Daza, H. G. (junio de 2010). *Diseño conceptual de una máquina pelletizadora de alimento para aves de corral para una producción de 1 tonelada diaria*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Atlas, E. r.-t. (2009). *Manual inglés para la combustión de pellets de madera*. Europa : Atlas del Pellet.
- Barbieri, J. P. (Febrero de 2009). *Pellets De Madera: Una Fuente De Energía Renovable* . Obtenido de https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/1130/41180_JuanPablo_Nojek.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Brotz, G. R. (26 de Abril de 1994). *Sheboygan Patente nº 5306131*.
- Castillo, C. (2010). *Cuchillas Castillo*. Obtenido de <https://cuchillascastillo.com/maquinas/>
- Cerda, E. (junio de 2012). *Apuntes de Estructuras Flexibles*. Obtenido de http://materias.df.uba.ar/mef/files/2012/07/NotesMecFlex_Clase2.pdf

Cengel, Y. A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill.

CIMAV, C. d. (01 de Febrero de 2018). Generación de energía limpia en México. Durango, Mexico: CONACYT.

COFUPRO. (Noviembre de 2015). *COFUPRO*. Obtenido de
<https://www.cofupro.org.mx/cofupro/Publicacion/Archivos/penit3.pdf>

CONACYT. (30 de Diciembre de 2015). *Programa De Estímulos A La Investigación, Desarrollo E Innovación*. Obtenido de <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/sni/fichas/fichas-publicas-2015/11392-ficha-publica-220345/file>

Contreras, N. C. (2008). *Digestibilidad in vitro y valor nutritivo de tres variedades de alfalfa*. Coahuila: Universidad Autonoma Agraria .

CRABTREE, D. (1939). *Oregon Patente nº 2,157,528* .

DAHAN. (2008). *Separador De Criba Vibratorio Circular, Vibrando Precio De Pantalla Móvil, La Rotación De La Vibración De La Máquina De La Pantalla*. Obtenido De Alibaba:
[Https://Portuguese.Alibaba.Com/Product-Detail/Circular-Vibrating-Screen-Separator-Mobile-Vibrating-Screen-Price-Rotary-Vibrating-Screen-Machine-60450147077.Html](https://Portuguese.Alibaba.Com/Product-Detail/Circular-Vibrating-Screen-Separator-Mobile-Vibrating-Screen-Price-Rotary-Vibrating-Screen-Machine-60450147077.Html)

Daniel Alexander Flórez, W. A. (Julio de 2010). *Diseño Conceptual De Una Máquina Peletizadora De Alimentos*. Medellín : Universidad Nacional de Colombia . Obtenido de DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA DE ALIMENTOS.

Diaz, P. F. (2009). *Biblioteca sobre Ingeniería Energetica* . Obtenido de Tablas:
<http://es.pfernandezdiez.es/index.php?pageID=17>

Donald Q, K. (1995). *Procesos de Transferencia de Calor, Vigésima séptima*. México: Mcgraw Hill.

Electro Steel Engineering, C. (2005). *indiamart*. Obtenido de Reductores de Velocidad:
<https://dir.indiamart.com/pune/speed-reducer.html>

Energy, G. (octubre de 2016). *GEMCO Energy*. Obtenido de Prensa De Pellets De Matriz Plana:
<http://www.pellet-press.com/News/flat-die-pellet-press.html>

Ergomix. (08 de Niviembre de 2013). *Peletización y calidad del Pelet* . Obtenido de
http://www.avideter.com/ftp_public/A3100114.pdf

FAMSUN. (s.f.). *SBTZ serie DDC acondicionador*. Obtenido de https://spanish.alibaba.com/product-detail/sbtz-series-ddc-conditioner-60641694513.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikeexp.5.48754377nEoNoF

FAO, A. O. (2007). *Cereales, Legumbres, Leguminosas y Productos Proteínicos Vegetales*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-a1392s.pdf>

Fernanda Casagrande Rocha, G. R. (2016). *Panorama De Las Energías Renovables: Sector Industrial Y Latinoamérica*. Sao Paulo: Konrad Adenauer Stiftung.

FORGA. (junio de 2014). *Desidratadora de alfalfa, Agricultura y Ganadería en general*. Obtenido de <http://forga.es/actividad/>

Fuentealba, L. M. (2004). *Efecto del Tratamiento Térmico sobre la Textura de la Murta*. Valdivia, Chile: UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE.

Gaston, S. G. (Marzo de 2015). *Estudio de Factibilidad de una Empresa de Elaboración de Pellets*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10270/1/UPS-GT001304.pdf>

Gómez, J. A. (2005). *Análisis Del Comportamiento A Fatiga De Un Acero Aisi 1045*. Universidad del Valle. Ingeniería.

Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Mecánica Moderna*. Estado de Mexico : Pearson.

GUERRA LUDEÑA, S. R. (2013). *Diseño y simulación de una prensa granuladora de madera automatizada de hasta 200 kg/hr para la empresa*. Ecuador: ESPE, Universidad de las Fuerzas Armadas.

Hendrickson Jr., J. D. (16 de Noviembre de 1976). *Astonia Patente nº 3,991,440*.

Industrial, I. N. (Enero de 2007). *Proyecto Alfalfa 2010*. Obtenido de <https://www.inti.gob.ar/sabercomo/sc48/inti2.php>

Ingeniería-Calor y Manufactura, S. d. (2009). *Secador Rotatorio*. Obtenido de [allbiz: https://mx.all.biz/secador-rotatorio-g37516#shipping_option](https://mx.all.biz/secador-rotatorio-g37516#shipping_option)

Jhon Daivis Lopez Pillpe, C. M. (2016). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de pellets de heno de alfalfa*. Lima, Perú : Universidad de Lima.

Jorg Ammann, H. S. (4 de Abril de 1989). *Switzerland Patente nº 4817517*.

Julio A. Valle Pereña, H. O. (2012). *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026*. Mexico : Secretaría de Energía (SENER).

Kern, D. Q. (1999). Coeficiente de Transferencia de calor . En *Procesos de transferencia de calor* (pág. 945). Mexico : CECSA.

Kincs, F. R. (25 de Abril de 2000). *Bradley Patente nº 6054167*.

Liyang Weifeng, E. C. (2016). *Made in China.com*. Obtenido de <https://lyweifeng.en.made-in-china.com/productimage/CyfnrtBzgJVN-2f1j00vJBEDhnllaoA/China-Flat-Die-Matrix-for-Pellet-Mill.html>

- Loor-Mendoza, I. N. (Agosto de 2016). *Fundamentos de los alimentos peletizados en la nutrición animal*.
Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5802877.pdf>
- López, M. M. (2011). *Factibilidad del aprovechamiento de los residuos forestales para su pelletización en ciudad madera chihuahua*. Chihuahua, México: Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
- Mahuli A., G. G. (2010). Datos de tubos para intercambiadores e intercambiadores de calor. En *Flujo de Fluidos en fase líquida* (pág. 26). Coro- Venezuela: Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda.
- Mansilla Darío, M. M. (2014). *Producción de pellets de alfalfa estudio de prefactibilidad*. San Rafael, Mendoza: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael.
- Maria Puig-Arnavat, L. S. (2015). *From a single pellet press to a bench scale pellet mill — Pelletizing six*. Denmark: Department of Chemical and Biochemical Engineering, Technical University of Denmark.
- Masanari Chiba, K. t. (2010 de Enero de 2010). *Tokio Patente nº 7648659*.
- MASTER, R. (s.f.). *ALIMENTACIÓN DE MAÍZ molino de martillo para la venta*. Obtenido de <http://spanish.woodpellets-machine.com/sale-7613830-1-2t-h-capacity-wood-chip-hammer-mill-herb-grinder-for-corn-weed-soybean.html>
- Matthes, M. R. (21 de Enero de 2010). *BERLIN Patente nº US20100015272*.
- MEELKO, C. (23 de Mayo de 2013). *MEELKO global trade of products*. Obtenido de Requirement: http://www.meelko.com/users_manual_for_pellet_mill.pdf
- Melgoza, N. B. (Diciembre de 2015). *Guía para el Manejo de Praderas de Alfalfa*. Obtenido de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5810/T14840%20BARRER%20MELGOZA%2C%20NOE%20%20%20MONOG.pdf?sequence=1>
- Merizalde Guerra Federico, B. C. (2005). *Control de calidad en el proceso de fabricación de alimentos balanceados extruidos para especies acuícolas*. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.
- Mero Constantine, K. G., & Bonifaz Martínez, J. S. (2017). *Diseño de un prototipo para la fabricación de pellets a partir de biomasa*. GUAYAQUIL - Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Mónica Moreno-López, I. R.-D.-H. (2010). *FACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA SU PELLETIZACIÓN*. Chihuahua, México.: Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
- Moran, M. J., & Shapiro, H. (2004). Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de temperaturas. En *Fundamentis de Termodinamica Tecnica*. Barcelona-España: Reverte.

- Mott, R. L. (2006). Fuerzas sobre los dientes de engranes helicoidales. En *Diseño de Elementos de maquinas* (págs. 175,185, 453, 541, 548). Mexico: Pearson Educacion.
- Moya, W. D., & Rosero, F. R. (2006). Metodos de Calculo Termico. En *Diseño y Construcción de un Intercambiador de Calor de Placas* (págs. 32-35). Quito-Ecuador: Escuela Politecnica Nacional.
- NACIF, M. A. (2009). *METODOLOGÍA*. Argentina: Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan.
- Navarra, C. m. (Febrero de 2015). *Combustibles de biomasa* . Obtenido de <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/45C7C274-B3F4-4C91-B8B9-23259B8F5B39/0/201501Combustiblesdebiomasa.pdf>
- Nichols, W. (4 de Agosto de 1981). *Patente nº 4281976*.
- NORD. (2018). *Reductores de sinfín UNIVERSAL*. Obtenido de https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/G1035_IE1_IE2_IE3_ES_4813.pdf
- Norton, R. L. (2011). Engranés Helicoidales, conico y de Tornillo sin fin. En *Diseño de maquinas, Enfoque integrado* (pág. 633). Mexico: Pearson Educacion.
- OP><FLO. (2005). *Enfriadores OP FLO*. Obtenido de <http://www.bliss-industries.com/system/resources/0000/0050/scooler.pdf>
- Orientación, S. d. (s.f.). Obtenido de Fruta Deshidratada y Educación Alimentaria: <http://sitios.dif.gob.mx/dgadc/wp-content/uploads/2017/11/2.-Fruta-deshidratada-XVII-Encuentro-Nacional-171113.pdf>
- Partida, V. A. (1993). *Geotermia en Mexico*. Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- Paulino, I. J. (08 de Noviembre de 2013). *Peletización y calidad del Pelet* . Obtenido de http://www.adiveter.com/ftp_public/A3100114.pdf
- Paulino, J. A. (13 de Octubre de 2013). La peletización de alimento balanceado ejerce un efecto dramático en el desempeño de los animales, pero el costo de este procesamiento que demanda equipos complejos, energía y capital, eleva el costo del alimento. *NTECRD,S.A.* República Dominicana.
- Quispe, R. E. (2014). *Diseño y simulacion de una maquina peletizadora de potasio de 500 kg/h*. Peru : Universidad Nacional de Callao.
- Ramos Ortiz, J. J. (2012). *Estudio de viabilidad para la instalación de una planta procesadora de alfalfa en el noreste de canelones*. Montevideo: Universidad de la republica.
- Ramos, J. J. (2012). *Estudio de viabilidad para la instalación de una planta procesadora de alfalfa en el noreste de canelones* . Uruguay: Universidad de la República.
- Rojas, S. P. (2014). *Diseño de un modulo de intercambiador de calor de coraza y tubos* . Bogota : Universidad Santo Tomas .

- Rosero, W. D. (2006). Metodos de Calculo Termico . En *Diseño y Construcción de un Intercambiador de Calor de Placas* (págs. 32-35). Quito-Ecuador: Escuela Politecnica Nacional.
- Saad, A. J. (2016). *Investigacion del efecto de los parametros de elaboracion de pellets de cuesco de palma en el proceso de pirolisis*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- SAE. (1986). *Handbook*. Society of Automotive Engineers Inc.
- SAGARPA. (19 de junio de 2017). *Estudio de gran vision y factibilidad economica y financiera para el desarrollo de infraestructura de almacenamiento y distribucion de granos y aleaginosas*. Obtenido de http://www.sagarpa.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/GRANOS.pdf
- SAGARPA. (2018). *Atlas Agroalimentario 2012-2018*. Ciudad de Mexico : SAGARPA.
- Salaya, G. F. (2012). Relacion Hidricas Celulares. En *Fruticultura, Madurez de la Fruta y Manejo poscosecha* (pág. 346). Santiago, Chile: Ediciones UC.
- Sánchez, G. E. (2015). *Estudio de Factibilidad de una empresa de Elaboracion de pellets a partie de plastico* . Guayaquil: Universidad Politecnica Salesiana.
- Santamaría, C. J. (2000). *Producción y Utilización de la Alfalfa en la Zona Norte de México. Potencial Productivo de la Alfalfa en México*. Torreon, Mexico: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional Norte Centro,(CIRNOC), Campo Experimental La Laguna (CELALA).
- Saunders, E. F. (7 de Diciembre de 1976). *Columbus Patente nº 3,995,826*.
- Schaffner, H. (8 de Diciembre de 1987). *Niederuzwil Patente nº 4,711,622*.
- Schlossorsch, D. F.-k. (1986). Metatolerancia Fundamental. En *Valores de los coeficientes de rozamiento* (pág. 21). España: reverté,s.a.
- SIAP, S. d. (2017). *gob.mx*. Obtenido de Anuario Estadístico de la Producción Agrícola: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Siemens. (2018). *Catálogo de Motores*. Obtenido de <https://www.siemens.com/content/dam/webassetpool/siemens/products/drives/regions/colombia/motores/Cat%C3%A1logo%20motores.pdf>
- SKF. (octubre de 2015). *Rodamientos*. Obtenido de https://www.skf.com/binary/89-121486/10000_2-ES--Rolling-bearings.pdf
- sol, C. c. (2007). Obtenido de Proceso de Deshidratacion de frutas y verdura s: <https://gastronomiasolar.com/deshidratado-de-frutas-verduras/>
- TLV, C. E. (2012). *Aplicaciones Principales para el Vapor de Agua*. Obtenido de TLV: <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/principal-applications-for-steam.html>

Tolosa, C. T. (2010). *Efecto de la utilización de feed-expander y acondicionador en la calidad física del pellet en dieta de aves y en parámetros productivos en criaderos*. Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias.

Vejar, A. M. (2006). *Diagnostico y Recomendaciones para el mejoramiento de la red de vapor de la planta Alited Castro*. Valivia: Universidad Austral de Chile.

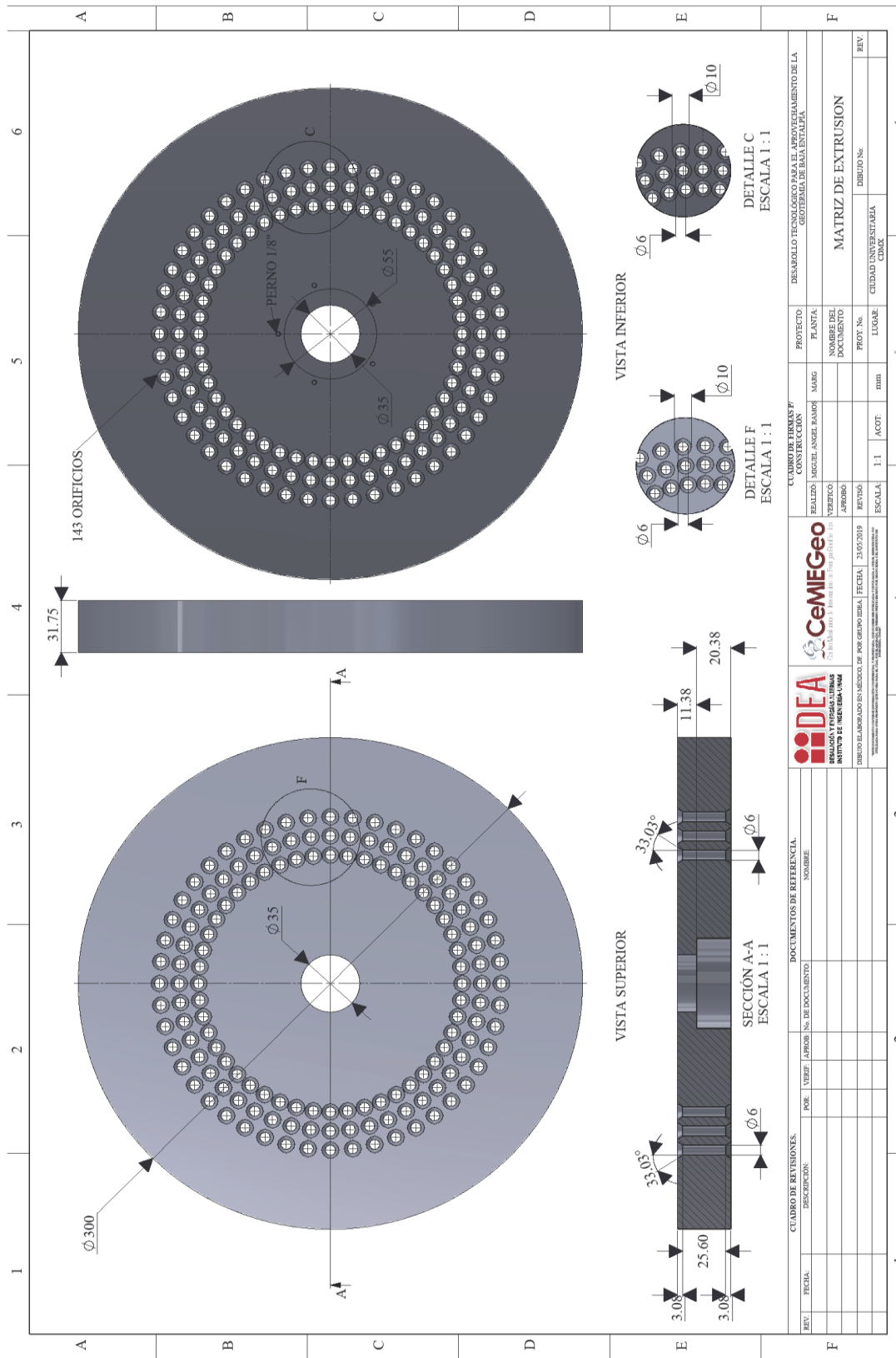
Vigna, R. R. (2009). *Proceso de Diseño, Fases para el desarrollo de Producto*. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Williams, M. A. (04 de Enero de 1977). *Craigville Patente nº 4,001,452*.

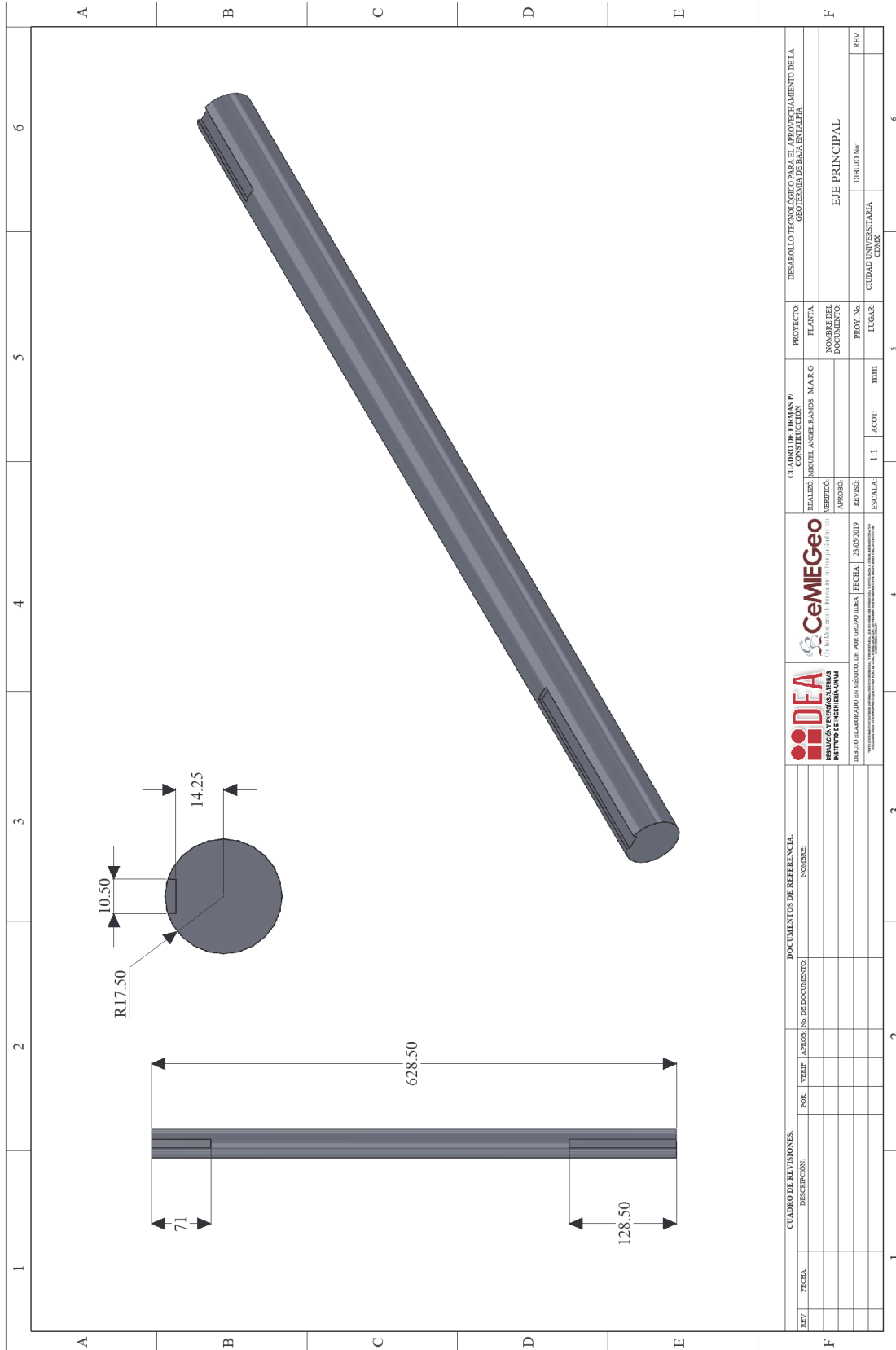
yongqing. (2006). *Máquina de separación de tamaño de agregados de gravilla y piedra triturada de piedra caliza tamiz vibrante lineal*. Obtenido de Alibab: <https://french.alibaba.com/product-detail/limestone-crushed-gravel-and-stone-chips-aggregates-size-separating-machine-linear-vibrating-sieve-60571956026.html>

Anexos

Anexo 1. Plano constructivo de la matriz de extrusión



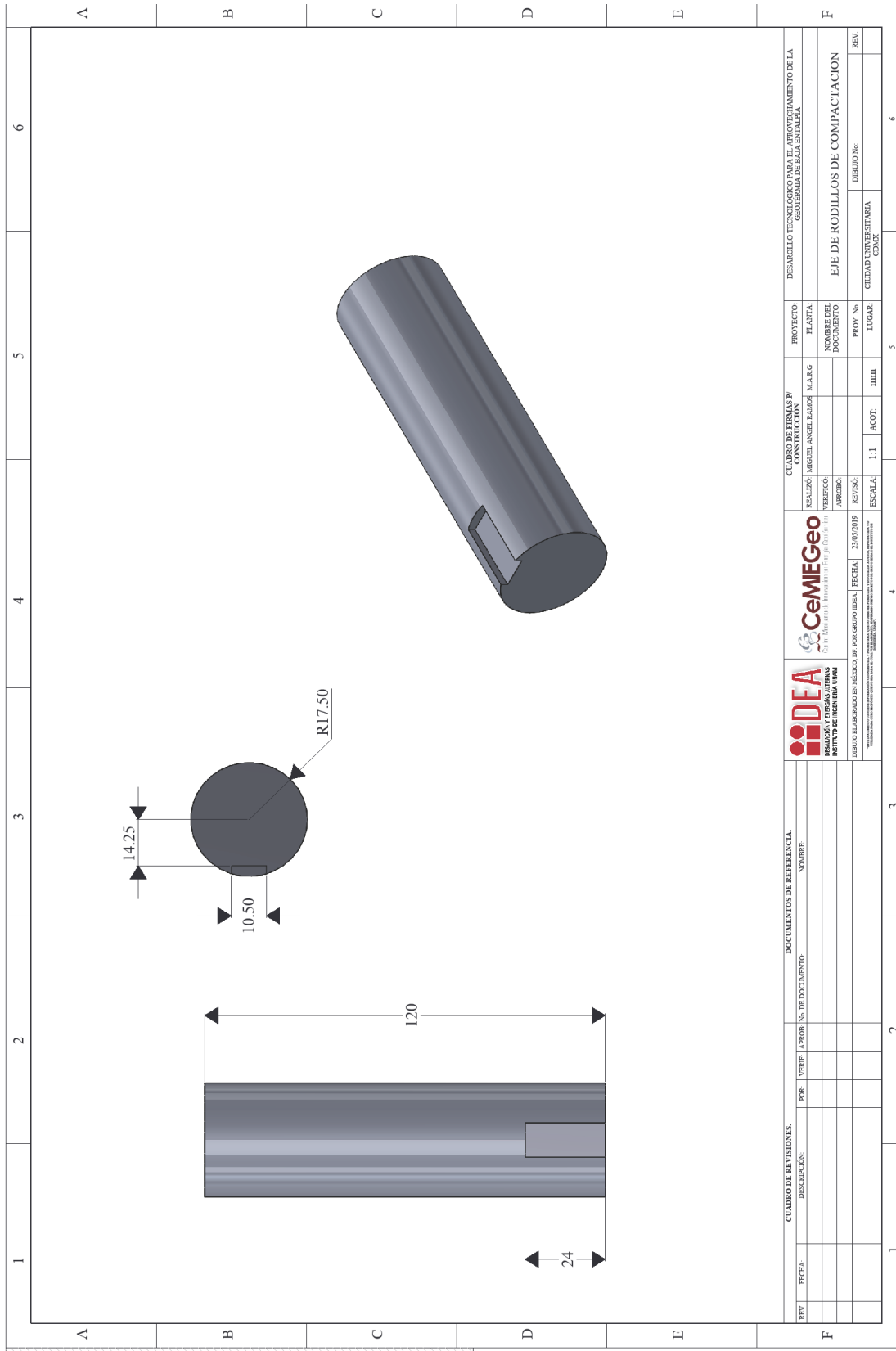
Anexo 2. Plano constructivo del eje principal



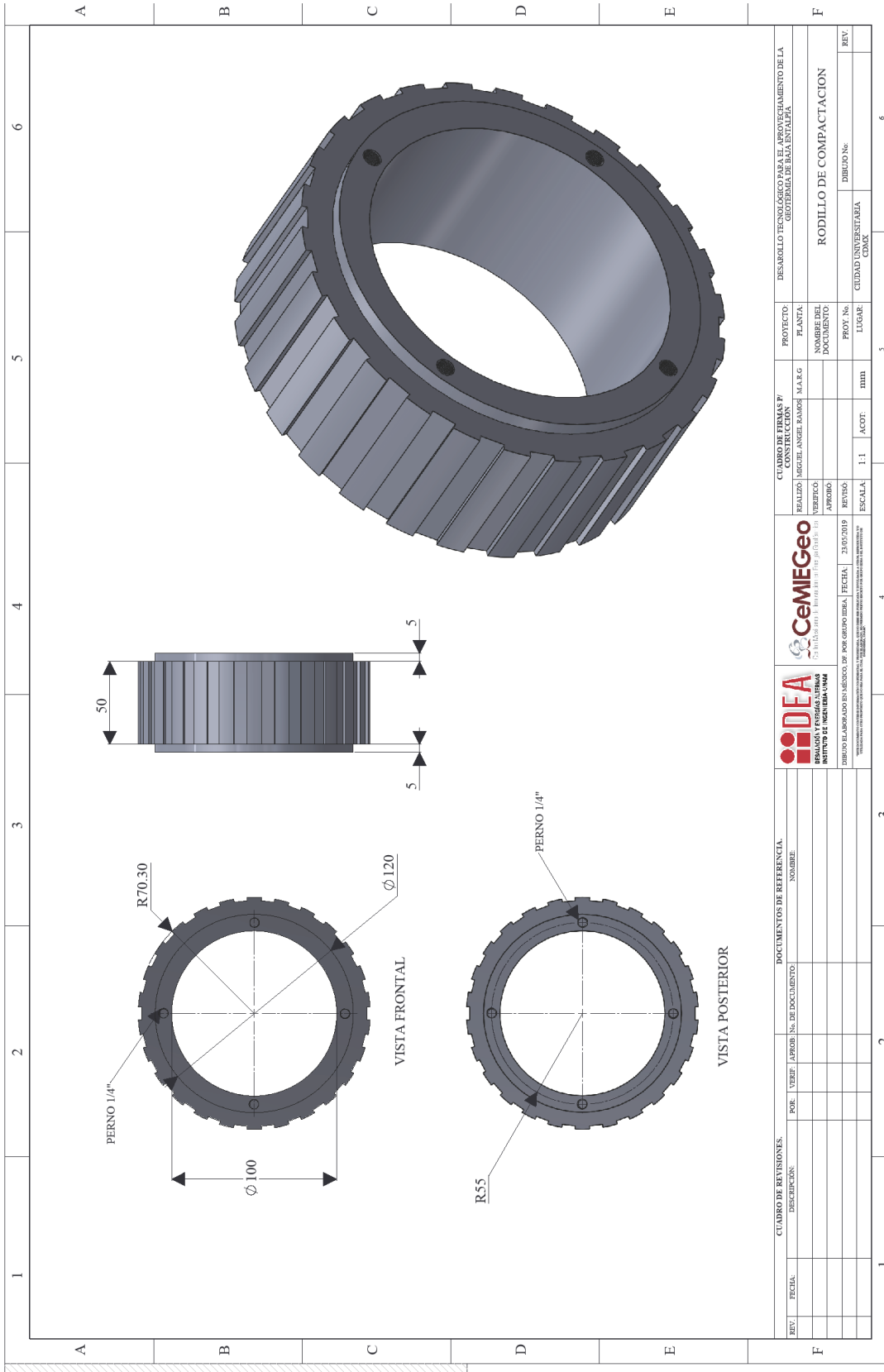
CUADRO DE REVISIONES.		DESCRIPCIÓN	POR.	VERIF.	APROB.	No. DE DOCUMENTO	DOCUMENTOS DE REFERENCIA.		FECHA	REV.
FECHA	NOMBRE									

	REALIZADO		M.A.R.G.		DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA GEOTERMIA DE BAJA ENTALPÍA	
	VERIFICADO		APROBADO		PLANTA	
	REVISADO		ESCALA: 1:1		PROYECTO	
	Escala		ACC		PROY. No.	
	Escala		ACC		LUGAR.	
CeMIEGeo CENTRO MEXICANO DE INNOVACIÓN EN ENERGÍA GEOTÉRMICA				EJE PRINCIPAL DIBUJO No.		CIUDAD UNIVERSITARIA CDMX

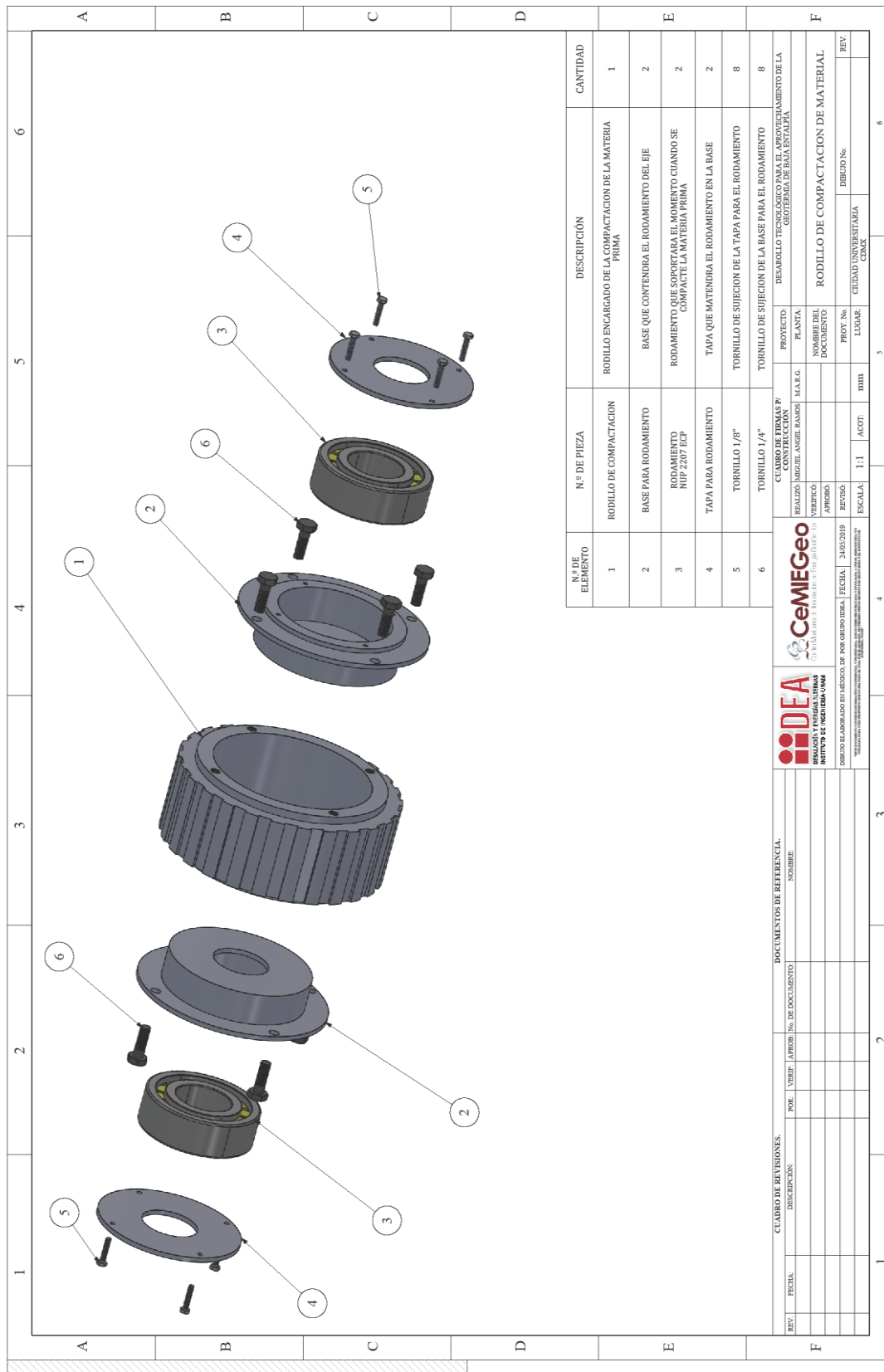
Anexo 3. Plano constructivo del eje de los rodillos de compactación



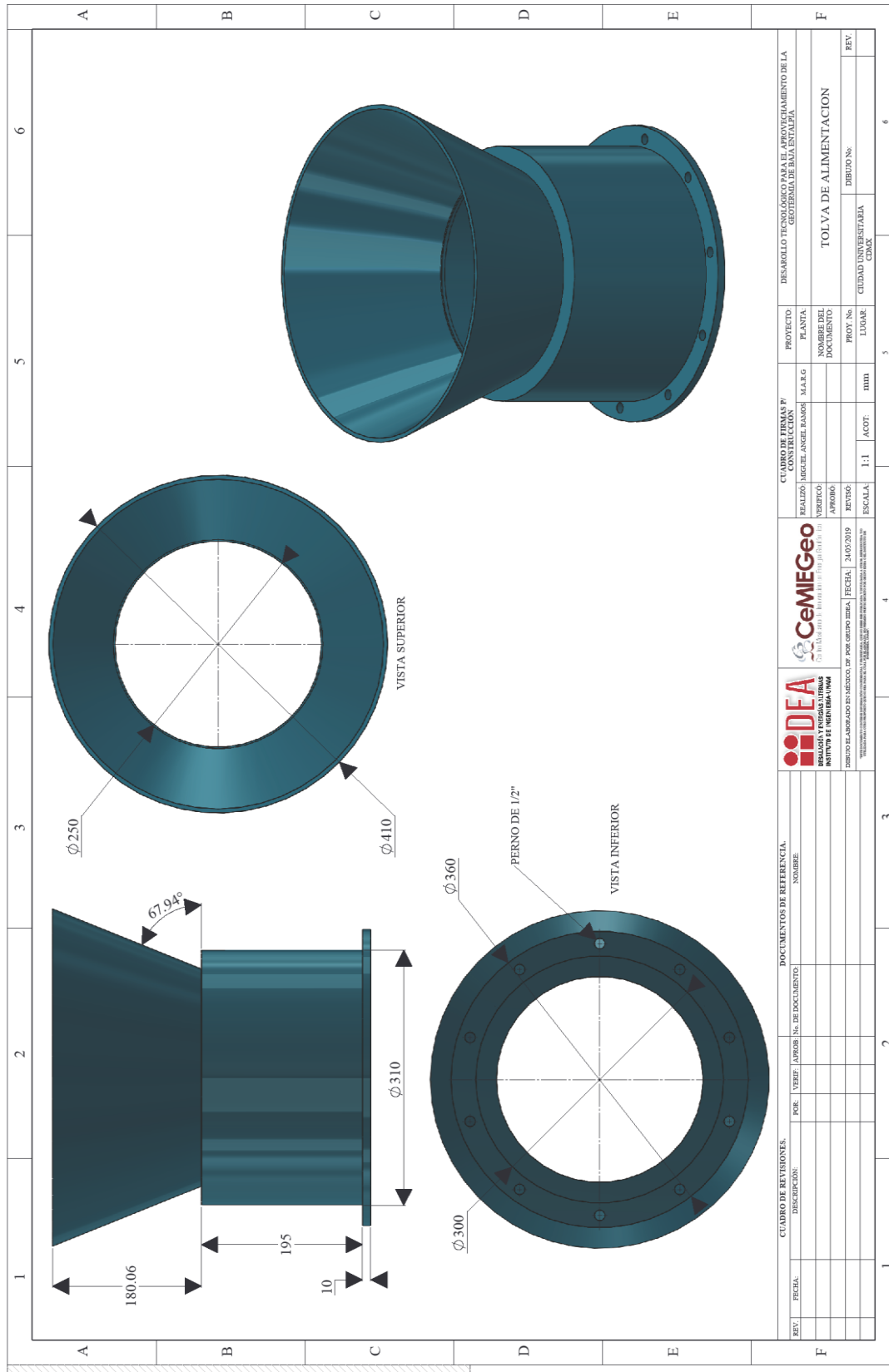
CUADRO DE REVISIONES		DOCUMENTOS DE REFERENCIA		CemIEGeo		DEA		CUADRO DE FIRMAS Y CONSTRUCCIÓN		PROYECTO	
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	POE.	TIERE.	HAROB.	Nº. DE DOCUMENTO	NOMBRE	REALIZADO	VERIFICADO	APROBADO	PLANTA

Anexo 4. Plano constructivo de rodillos de compactación


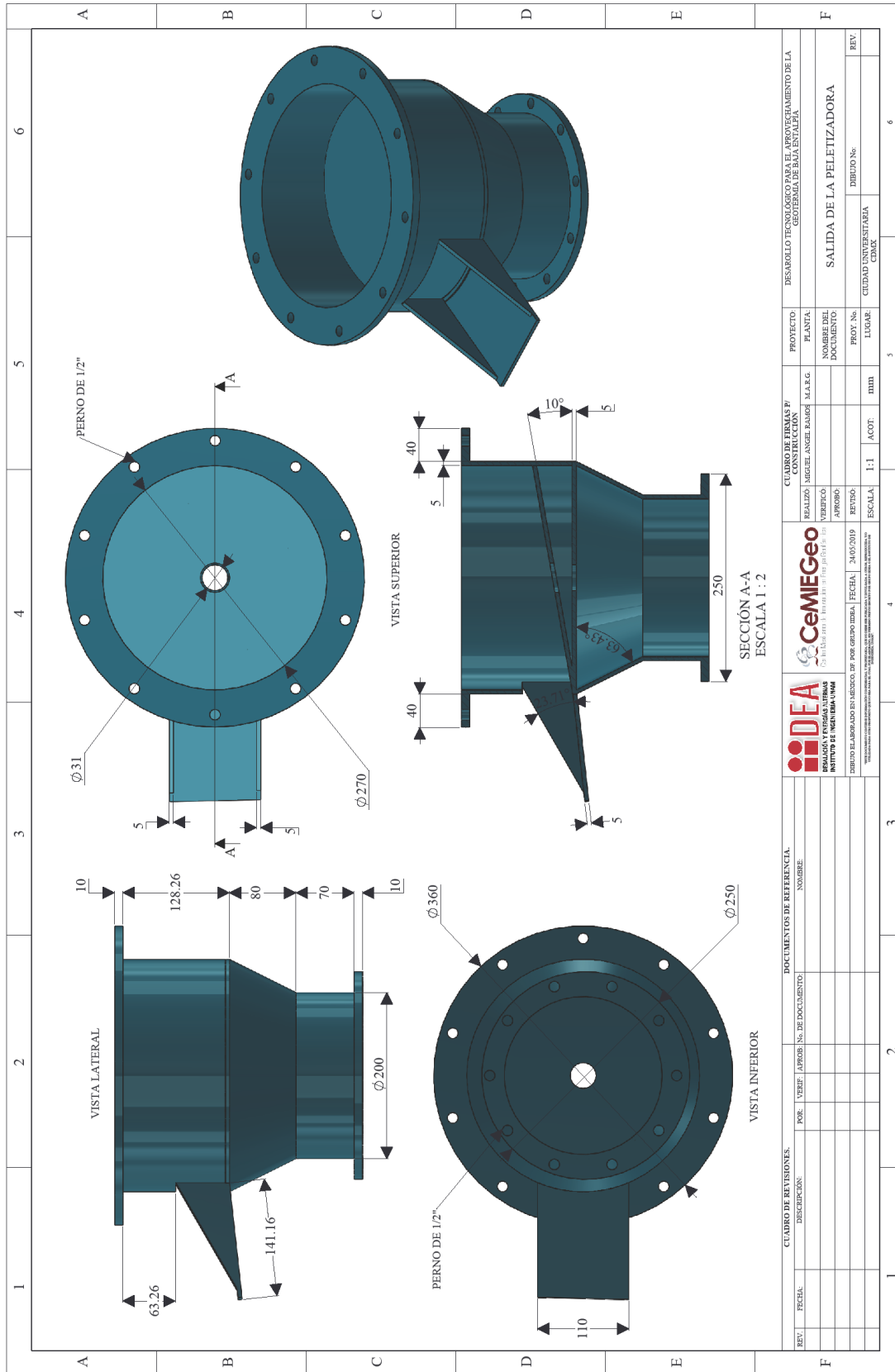
Anexo 5. Plano explosivo del rodillo de compactación



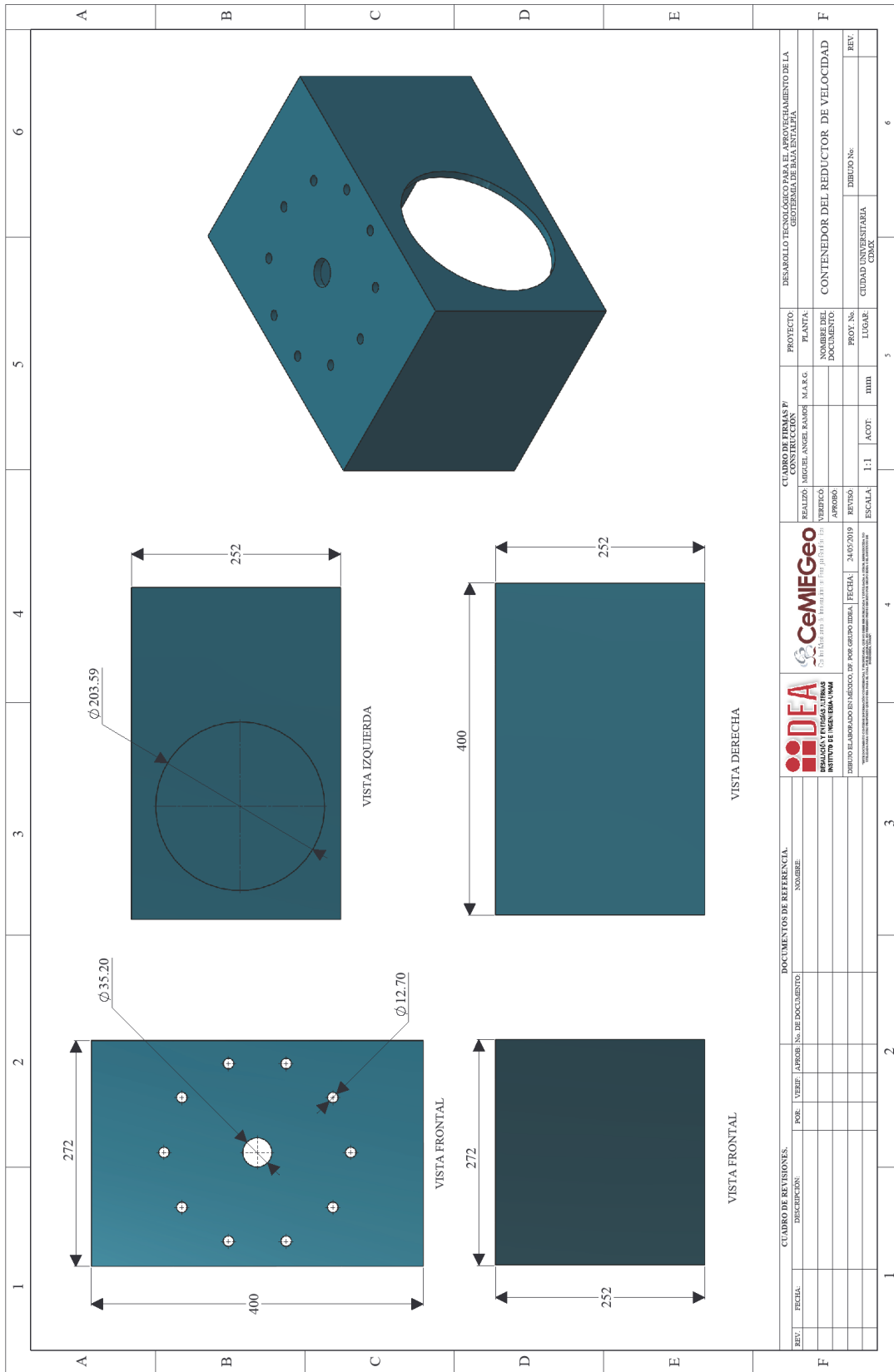
Anexo 6. Plano constructivo de tolva de alimentación



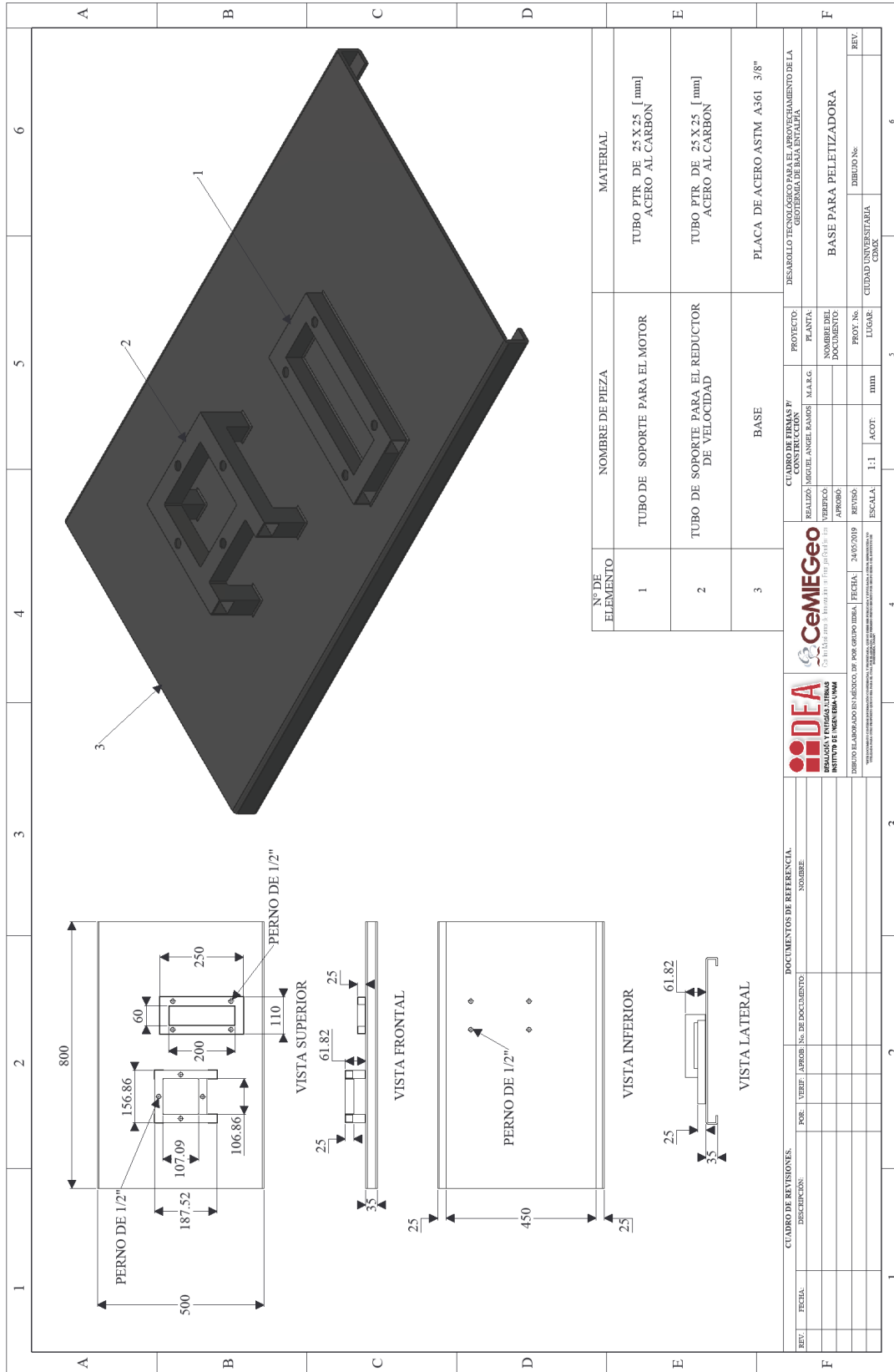
Anexo 7. Plano constructivo de salida de la peletizadora



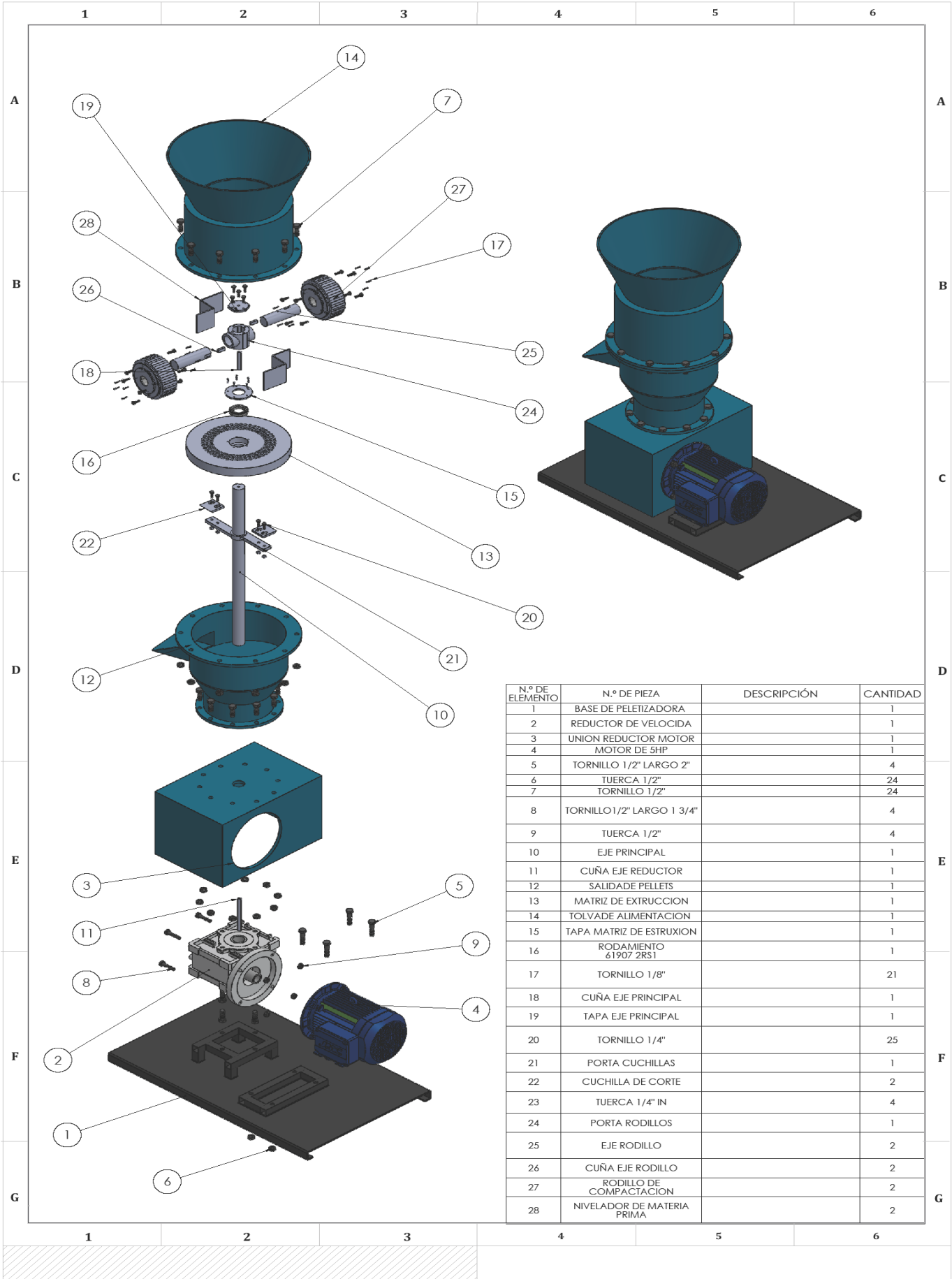
Anexo 8. Plano constructivo del contenedor del reductor de velocidad



Anexo 9. Plano constructivo de base para la peletizadora



Anexo 10. Plano explosivo de la maquina peletizadora





Anexo 11. Especificaciones del intercambiador de calor solicitado a HRS



UK Office: 10-12 Caxton Way, Watford Business Park, Watford, Herts. WD18 8JY

Spain Office: C7 Castillo de la Concepción, 14-30564, Lorquí (Murcia)

México Office: Alcanfores No. 49 Int-8, Las Águilas CDMX 01710

Detalles Técnicos

Propiedades de producto usadas para el diseño térmico: Water (IAPWS-IF97)

Temperatura °C	Densidad kg/m ³	Calor Especif kcal/(kg °C)	Cond. Termica kcal/(h-m-°C)	Viscosidad cP	Comp. Flujo
0	1000	1.008	0.483	1.79	1
5	1000	1.004	0.492	1.52	1
10	1000	1.002	0.500	1.306	1
15	999	1.001	0.508	1.138	1
20	998	1.000	0.516	1.002	1
25	997	0.999	0.522	0.890	1
30	996	0.998	0.529	0.797	1
35	994	0.998	0.535	0.719	1
40	992	0.998	0.541	0.653	1
45	990	0.998	0.546	0.596	1
50	988	0.998	0.551	0.547	1

Proceso:	Calentamiento		
	Lado Tubos	Lado Camisa	
Fluido:	Water (IAPWS-IF97)	Water (IAPWS-IF97)	
No pasos	1	1	
T Entrada	27	85	°C
T Salida	80	80.70	°C
Flujo:	350.00	4,300.00	lt/hr
Caida Presión	0.002	0.066	bar-a
Potencia:	13379.19 (15.56)		kcal/hr (kW)
Exceso Area:	61.41		%

Descripción del Intercambiador

Modelo:	HRS S&T 4 64/18 5.9 304/316L H
MI	Multitubo Clamp Alimenticio
4	Número de tubos en camisa
1	Número de pasos
64	Diametro Camisa en mm
18	Diametro Tubos en mm
6.0	Longitud en mts
SS304/SS316L	Material Camisa / Tubos
H	Tubo Corrugado



* imagen ilustrativa