

**DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR
TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO MECÁNICO Y SIMULACIÓN DE UNA MAQUINA
PELETIZADORA**

RESIDENTE
ANGEL CAMACHO EDGAR ALBERTO

ASESOR INTERNO: M.C. HERNÁN VALENCIA SÁNCHEZ

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS. DICIEMBRE 2015

ÍNDICE

CAPÍTULO I	7
1.1. INTRODUCCIÓN	8
1.2. JUSTIFICACIÓN	9
1.3. OBJETIVO	10
1.3.1. Objetivos generales:.....	10
1.3.2. Objetivos específicos:.....	10
CAPÍTULO II	11
2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO	12
2.1. Antecedentes de la empresa	12
2.1.1. Ubicación de la empresa	13
2.1.2. Misión.....	13
2.1.3. Visión	14
2.1.4. Política de calidad.....	14
2.1.5. Logo de la empresa	14
2.2. ORGANIGRAMA	15
2.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DONDE SE REALIZARÁ EL PROYECTO	16
2.4. PROBLEMAS A RESOLVER PRIORIZÁNDOLOS	17
2.5. ALCANCES Y LIMITACIONES	17
2.5.1 Alcances	17
2.5.2 Limitaciones	17
CAPÍTULO III	18
3. FUNDAMENTO TEÓRICO	19
3.1. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO	19
3.1.1. Conceptos básicos	19
3.2. FASES E ITERACIONES DEL PROCESO DE DISEÑO	20
3.2.1. Identificación de una necesidad	20
3.2.2. Definición del problema	20
3.2.3. Síntesis	20
3.2.4. Análisis y Optimización.....	20

3.2.5. Evaluación	20
3.2.6. Presentación	21
3.3. HERRAMIENTAS Y RECURSOS DE DISEÑO	22
3.3.1. Herramientas computacionales	22
3.2.2. Adquisición de información técnica.....	22
3.3. EL PELET	23
3.3.1. Peletizar	23
3.3.2. Beneficios del peletizado	26
3.4. FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL PRODUCTO	26
3.4.1. Contribución de componentes comestibles.....	27
3.4.2. Ingredientes dietéticos	27
3.5. EFECTO DE LAS VARIABLES DE PROCESO	30
3.5.1. Alimentación	30
3.5.2. Cámara de peletizado	30
3.6. PRIMERAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO	32
3.6.1. Criterios de selección.....	32
3.6.1.1. Energía.....	33
3.6.1.2. Transformación de energía	33
3.6.1.3. Transmisión de energía mecánica.....	33
3.6.1.4. Alimentar	35
3.6.1.5. Tipos de acondicionadores.....	36
3.6.1.6. Peletizar	37
3.6.1.7. Transportar pelet listo	37
3.7. CÁLCULOS PARA LA SELECCIÓN Y FORMA DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES EN LA MÁQUINA PELETIZADORA.	38
3.7.1. Cámara peletizadora	38
3.7.2. Potencia de peletizado	39
3.8. SELECCIÓN DE MATERIALES	45
3.8.1. Aceros inoxidables.	45
3.8.2. Resistencia a la corrosión y temperatura.	46
CAPÍTULO IV	48

4.1. RESULTADOS, PLANOS, GRÁFICAS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS.	49
4.1.1. Resultados de la simulación estática en la matriz de peletizado.	49
4.1.2. Resultados de la simulación estática en el rodillo.	52
4.2. PLANOS	56
4.3. PROTOTIPO	68
4.4. CONCLUSIÓN	69
4.5. BIBLIOGRAFÍA	70
4.6. GLOSARIO	71

ÍNDICE DE IMÁGENES

<u>CAPITULO 1</u>	7
<u>CAPITULO 2</u>	11
Figura 2.1	12
Figura 2.2	13
Figura 2.3	14
Figura 2.4	15
<u>CAPITULO 3</u>	18
Figura 3.1	21
Figura 3.2	24
Figura 3.3	25
Figura 3.4	25
Figura 3.5	27
Figura 3.6	28
Figura 3.7	29
Figura 3.8	30
Figura 3.9	31
Figura 3.10	32
Figura 3.11	38
Figura 3.12	41
Figura 3.13	45
Figura 3.14	46

<u>CAPITULO 4</u>	48
Figura 4.1	49
Figura 4.2	50
Figura 4.3	51
Figura 4.4	51
Figura 4.5	52
Figura 4.6	53
Figura 4.7	53
Figura 4.8	54
Figura 4.9	55
Figura 4.10	56
Figura 4.11	57
Figura 4.12	58
Figura 4.13	59
Figura 4.14	60
Figura 4.15	61
Figura 4.16	62
Figura 4.17	63
Figura 4.18	64
Figura 4.19	65
Figura 4.20	66
Figura 4.21	67
Figura 4.22	68

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se desarrolló con el fin de plantear una solución (entiéndase máquina, dispositivo, equipo) al problema de la producción de alimento peletizado. Como requerimiento se encuentra la producción diaria y como objetivos se encuentran la seguridad al operario, bajos consumos de energía, bajo nivel de impacto ambiental y ser un modelo de construcción nacional cuyo costo sea inferior o igual al que pueda ofrecer la competencia en el mercado establecido.

En el país existe un conjunto de granjas integrales ubicadas, en la mayoría de los estados. Estas granjas cumplen con su propio ciclo ecológico; es decir, todo lo que se produce es aprovechado por ellas misma. Un ejemplo simple sería una granja que produce el alimento necesario para cría de animales (ganado, cerdos, aves) y a su vez de esta cría, obtienen el abono para la siembra de estos alimentos. Sin embargo, en la mayoría de los casos, no es posible procesar estos alimentos dentro de las granjas ya que no se cuenta con los equipos y máquinas necesarios para llevar a cabo estas tareas (moledoras, mezcladoras, peletizadoras). Las razones por las cuales no se cuenta con estos equipos, es el elevado costo de los mismos y, además, los ya existentes en el mercado sobrepasan los requerimientos mínimos de estas granjas, ya que están diseñadas para procesar y producir mayor cantidad de alimento por la población animal de las mismas.

El propósito principal de este trabajo es el de diseñar y simular una máquina que se encargue de procesar las plantas provenientes de la producción agrícola de estas granjas y transformarlas en alimento elaborado para animales. Este alimento deberá tener la composición y consistencia adecuada, es decir, deberá contar con un excelente valor nutritivo y una posibilidad de almacenamiento de períodos cortos. Su forma será parecida a pequeños cilindros conocidos como pellets de aproximadamente 3 a 5 mm de diámetro y de 5 a 8 mm de largo. Es bueno aclarar que el valor nutritivo del alimento elaborado, dependerá, en gran medida, de las plantas que en la máquina se procesen.

Para la realización de este proyecto, se tomaron en cuenta todos aquellos conocimientos obtenidos durante la carrera que estaban relacionados directamente con las tareas que en él se emprendieron. Fueron tomados en cuenta, aquellos conocimientos directamente relacionados con el diseño de equipos, elementos de máquinas, selección de material, transferencia de calor, mantenimiento, entre otros.

Todo esto con el propósito de diseñar y construir una máquina para la elaboración de alimentos para animales en forma de pelets que cumplan con las especificaciones y requerimientos necesarios al tipo de granjas integrales a las cuales podrán ser destinadas.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Los alimentos concentrados para animales son elaborados a partir de una serie de operaciones secuenciales, en donde la materia prima es transformada hasta obtener un producto de un alto valor nutritivo; además, con este proceso de fabricación se obtiene el alimento en forma de pelet que permite facilidades en el consumo y almacenamiento. Generalmente estos alimentos concentrados no contienen una humedad mayor al 12%, presentan varias ventajas.

El alimento en forma de pelet tiene varias ventajas sobre el alimento en forma de harina, ya que los nutrientes están homogéneamente dispersos y tienen las mismas propiedades para cada producción y formulación de alimento, dando lugar a menores desperdicios por transporte, contaminación o vientos, y minimizando las preferencias del animal por algunos ingredientes específicos.

Una maquina peletizadora de pequeña capacidad de producción es una necesidad que se presenta en la mayoría de las granjas del país, ya que necesita cantidades pequeñas de alimentos en forma de pelets para el consumo interno.

Con la construcción de la maquina peletizadora se cubrirá con la necesidad que tiene la misma ya que al momento se subcontrata el proceso, este tipo de pelet es solo rentable obtenerlo al por mayor, 50 o más toneladas mensuales para aminorar costos, lo cual no se aplica para micro empresas, cuya demanda es pequeña, de 5 a 10 toneladas mensuales, en relación a productores con un alto consumo de pelet.

Se propone el diseño de una maquina pequeña de 250kg/h de alimento en forma de pelet para satisfacer la necesidad que muchas granjas tienen, otorgándoles al mismo tiempo una total autonomía para realizar el proceso en cualquier momento, sin dependencia del producto por parte de terceros.

1.3. OBJETIVO

1.3.1. Objetivos generales:

Diseñar y simular una maquina peletizadora de pequeña capacidad para la producción de alimento para ganado.

1.3.2. Objetivos específicos:

Garantizar en los requerimientos del diseño la seguridad del operario.

Cálculos para determinar la potencia del motor.

Realizar los planos de las piezas diseñadas.

CAPÍTULO II

2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

2.1. Antecedentes de la empresa

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG); es una universidad pública de tecnología, ubicada en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Es una Institución educativa pública de educación superior, que forma parte del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos de México. El Instituto también está afiliado a la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), zona Sur-Sureste.

Fue fundado el 22 de octubre de 1972, por el entonces Gobernador del Estado, Dr. Manuel Velasco Suárez, inicialmente con el nombre de Instituto Tecnológico Regional de Tuxtla Gutiérrez (ITRTG), posteriormente se llamaría el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG).

Actualmente es considerado la segunda casa de estudios del estado de Chiapas, junto con la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, su lema es Ciencia y Tecnología con Sentido Humano y su actual director es el M.E.H. José Luis Méndez Navarro. Cuenta con una extensión en la vecina ciudad de Chiapa de Corzo y posee un centro de posgrados.



Figura 2.1

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

2.1.1. Ubicación de la empresa

Carretera Panamericana Km 1080

C.P 29050

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

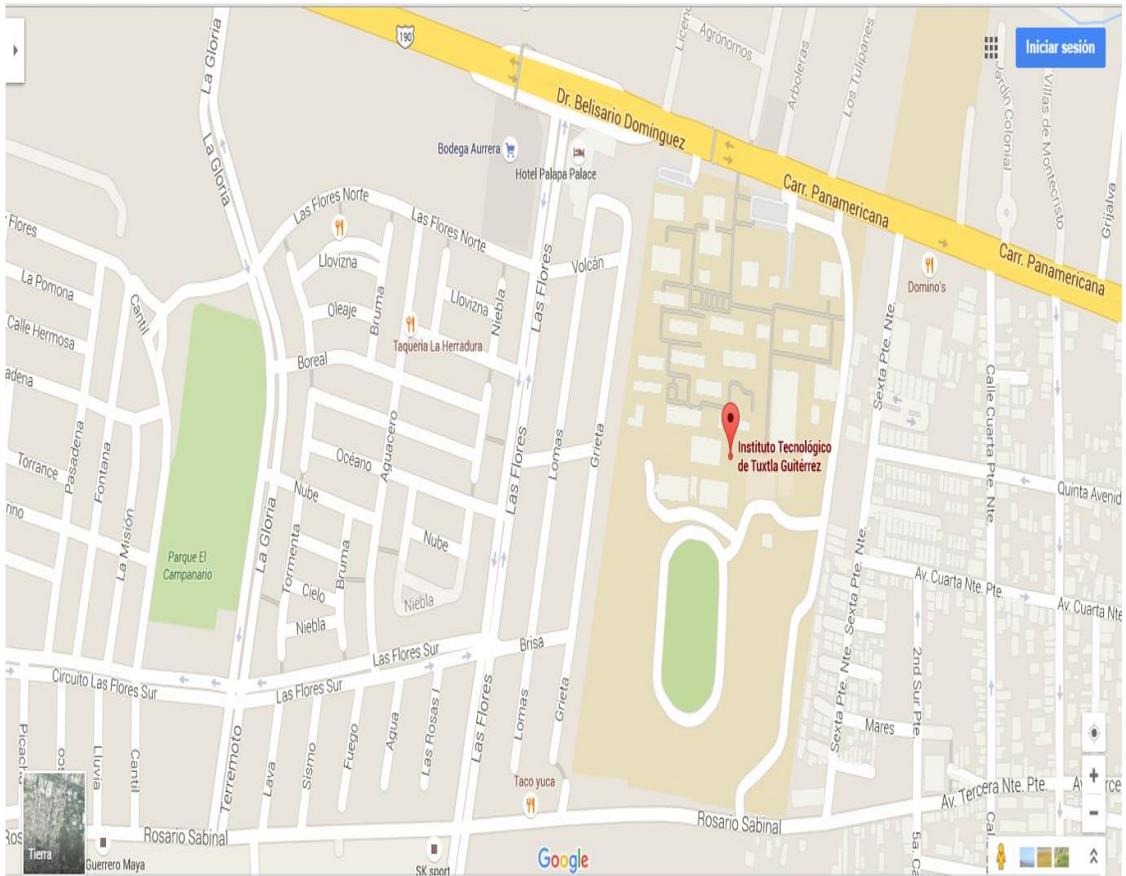


Figura 2.2

Ubicación del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

2.1.2. Misión

Formar de manera integral profesionistas en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

2.1.3. Visión

Es una institución de excelencia en la educación superior tecnológica del sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

2.1.4. Política de calidad

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez establece el compromiso de implementar todos sus procesos orientándolos hacia la satisfacción de sus clientes, sustentada en la Calidad del Proceso Educativo: Formación y Desarrollo de Competencias Profesionales, para cumplir con sus requisitos, mediante la eficacia de un Sistema de Gestión de la Calidad y mejora continua, conforme a la norma ISO 9001:2008 y su equivalente nacional NMX-CC-9001-IMNC-2008.

2.1.5. Logo de la empresa



Figura 2.3

Logo del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

2.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DONDE SE REALIZARÁ EL PROYECTO

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez es una institución encargada en la formación de profesionistas comprometidos con la ciencia y la tecnología, el objetivo es que la persona egrese de la institución educativa con la capacidad para decidir y actuar con un criterio eficaz, razonado, ético y oportuno, en una situación determinada. Esta institución cuenta con las licenciaturas como: Ingeniería bioquímica, eléctrica, electrónica, mecánica, química, sistemas computacionales, gestión empresarial e industrial, además de licenciaturas cuenta con maestrías como: ciencias en ingeniería mecatrónica y ciencias en ingeniería bioquímica.

Además esta misma institución cuenta con 7 licenciaturas certificadas, 6 de estas licenciaturas están certificadas por el Consejo de Acreditación de la Enseñanza en Ingeniería A.C. (CACEI), la carrera de ingeniería en sistemas computacionales está certificada por consejo nacional de acreditación en informática y computación (CONAIC), la única carrera que no se encuentra certificada es la de Ingeniería en gestión empresarial.

También tiene una propuesta para los alumnos la cual es la formación y desarrollo de competencias profesionales basado en el modelo educativo en competencias profesionales del SNEST.

El instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez es una institución encargada en la formación de profesionistas comprometidos con la ciencia y tecnología, se compromete a tener las herramientas necesarias para así cumplir en ese aspecto, para lo cual la institución cuenta con instalaciones óptimas para que el estudiante tenga así; un lugar de confort, una amplia recopilación de información con múltiples autores, y una amplia gama de títulos.

El área en la cual se trabajara será para el departamento de ingeniería mecánica llamado metal-mecánica, ya que este departamento fue el encargado de entregar el proyecto diseño y simulación de una maquina peletizadora. Este departamento cuenta con un laboratorio donde podemos encontrar tornos y una fresadora, además de un laboratorio de hidráulica y robótica donde el alumno puede desenvolverse en su formación como ingeniero mecánico.

2.4. PROBLEMAS A RESOLVER PRIORIZÁNDOS

El principal problema que se presenta en las granjas, es que no cuentan con los equipos y máquinas necesarios para procesar sus cosechas y producir el alimento en forma de pelets. Además, las máquinas de este tipo existentes en el mercado (peletizadoras, extrusoras) son de un elevado costo y manejan una tasa de producción mucho mayor a la requerida por estas granjas. Esto trae consigo que las granjas se vean en la necesidad de comprar el alimento ya elaborado a las compañías proveedoras en el mercado, quienes poseen el monopolio de la producción de estos alimentos y designan el precio de los mismos. De ser posible que las granjas elaboren su propio alimento se dejaría de perder una gran cantidad de pastizales que en ellas se generan y que, además, poseen un alto valor nutritivo.

Con la peletizadora adecuada para la producción se pretende:

- Reducir la pérdida de pastizales que se generan de forma natural.
- Ofrecer eficiencia en el proceso de la elaboración de los pelets.
- Disminuir el presupuesto para la alimentación de los animales.

2.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

2.5.1 Alcances

La peletizadora tiene la finalidad de que aporte distintas cantidades de alimento, según sean las requeridas por el fabricante, así como también poder disponer de los diferentes tipos de alimentos a producir. Tomando en cuenta la ubicación de la máquina para tener fácil acceso a la materia prima y la producción no tenga ningún problema.

2.5.2 Limitaciones

Al realizar este proyecto, el principal obstáculo a tratar de diseñar la maquina; es el no saber la capacidad del motor que se usara. También el tipo de matriz y rodamientos, ya que de ellos dependerá el tipo de pelet a producir.

Otra de las limitaciones es el no saber con exactitud la dimensión real de la máquina, por tal motivo se propondrá el diseño adecuado para que la maquina tenga una fácil manipulación y una producción promedio de alimento.

CAPÍTULO III

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse. (Budynas y Nisbett, 2010)

3.1.1. Conceptos básicos

- El diseño es una actividad creativa que tiene como objetivo establecer las cualidades multifacéticas de los objetos, procesos y servicios.

ICSID (Concilio Internacional de Asociaciones de Diseño Industrial)

- Bosquejar, graficar o planificar, como acción o trabajo...concebir-idear. El diseño es un constituyente universal de la práctica de ingeniería.

Merriam-Webster, libro: Diseño De Maquinaria. Robert L. Norton

- Diseñar es hacer un producto útil que satisfaga las necesidades de un cliente, y además sea seguro, eficiente, confiable, económico y de manufactura práctica.

Robert L. Mott. Libro: Diseño De Elementos De Máquinas

- Es la transformación de conceptos e ideas útil.

Thomas Tredgold. Libro: Elementos De Maquinas

3.2. FASES E ITERACIONES DEL PROCESO DE DISEÑO

3.2.1. Identificación de una necesidad

Por lo general, el proceso de diseño comienza con la identificación de una necesidad. Con frecuencia, el reconocimiento y la expresión de ésta constituyen un acto muy creativo, porque la necesidad quizá sólo sea una vaga inconformidad, un sentimiento de inquietud o la detección de que algo no está bien.

3.2.2. Definición del problema

Esta fase debe ser más específica y debe incluir todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse. Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que el objeto debe ocupar y todas las limitaciones sobre estas cantidades.

3.2.3. Síntesis

Varios esquemas deben proponerse, investigarse y cuantificarse en términos de medidas establecidas. A medida que el desarrollo del esquema progresa, se deben realizar análisis para evaluar si el desempeño del sistema es cuando menos satisfactorio, y si lo es, qué tan bien se desempeñará.

3.2.4. Análisis y Optimización

Tanto el análisis como la optimización requieren que se construyan o inventen modelos abstractos del sistema que admitirá alguna forma de análisis matemático. A estos modelos se les llama modelos matemáticos. Cuando se les crea se espera que sea posible encontrar uno que simule muy bien al sistema físico real.

3.2.5. Evaluación

Es una fase significativa del proceso de diseño total. La evaluación representa la prueba final de un diseño exitoso y por lo general implica la prueba del prototipo en el laboratorio. Aquí se desea descubrir si el diseño en verdad satisface la necesidad o las necesidades.

3.2.6. Presentación

Es un trabajo de venta. El ingeniero, cuando presenta una nueva solución al personal administrativo, gerencial o de supervisión, está tratando de vender o de probarles que la solución que el propone es la mejor.

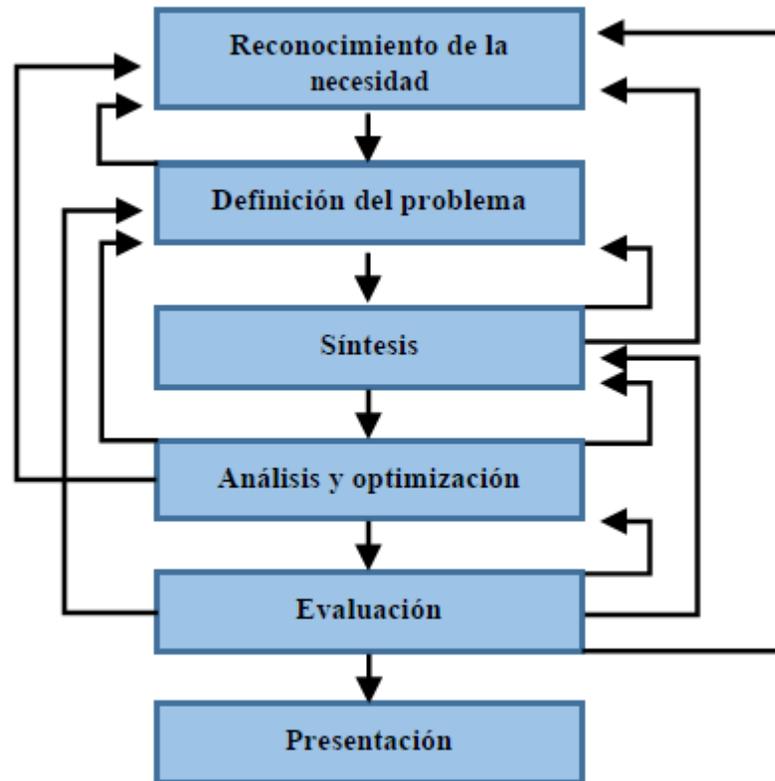


Figura 3.1

Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples retroalimentaciones e iteraciones.

3.3. HERRAMIENTAS Y RECURSOS DE DISEÑO

En la actualidad, el ingeniero tiene una gran variedad de herramientas y recursos disponibles que le ayudan a solucionar problemas de diseño. El ingeniero siempre necesita información técnica, ya sea en forma de desempeño básico en ciencias/ingeniería.

3.3.1. Herramientas computacionales

El software para el diseño asistido por computadora (CAD) permite el desarrollo de diseños tridimensionales (3-D) a partir de los cuales pueden producirse vistas ortográficas convencionales en dos dimensiones con dimensionamiento automático. Las trayectorias de las herramientas pueden generarse a partir de los modelos 3-D y, en algunos casos, las partes pueden crearse directamente desde una base de datos 3-D mediante el uso de un método para la creación rápida de prototipos y manufactura estereolitografía o manufactura sin papeles.

Existe una gran cantidad de software de CAD disponible como Aries, AutoCAD, CadKey, I-Deas, Unigraphics, Solid Works y ProEngineer, sólo por mencionar algunos.

3.2.2. Adquisición de información técnica

En la actualidad vivimos en la que ha sido llamada la era de la información, donde ésta se genera a un ritmo sorprendente. Es difícil, pero extremadamente importante, mantenerse al corriente de los desarrollos recientes y actuales de cualquier campo de estudio y ocupación.

Algunas fuentes de información son:

- Bibliotecas
- Fuentes gubernamentales
- Sociedades profesionales

3.3. EL PELET

El pellet es un alimento concentrado densificado o aglomerado, llevado a la forma de pequeñas porciones, obtenidas por medio de un equipo de peletización. Este proceso puede ser definido como una aglomeración de muchas partículas pequeñas de ingredientes alimenticios dentro de partículas más grandes (pelets) por medio de un proceso mecánico que combina la humedad, el calor y la presión. El peletizado fue introducido a Europa alrededor de 1920 y en la industria alimenticia de los Estados Unidos a finales de 1920.

Usualmente, son mezclas compactadas hasta una forma cilíndrica, con un diámetro dictado por un orificio por el cual se comprime y forma, y su longitud está determinada por el corte de una cuchilla o algún dispositivo que rompa la continuidad del flujo del material.

La manufactura de estos puede comprender diferentes etapas de compresión y adición de calor y humedad por medio de agua o vapor, buscando obtener las mejores propiedades respecto a la calidad del producto, medidas como la durabilidad y la dureza.

Para la industria del alimento, este proceso busca transformar las materias primas alimenticias en forma de harina en productos compactados para producir alimentos más balanceados, con un poder energético más alto y con mayor eficiencia productiva.

3.3.1. Peletizar

En el área del alimento, es un proceso de producción donde se busca transformar una materia prima en forma de harina, mediante la acción de procesos de mezclado homogéneo, adición de calor y humedad, y la aplicación de presión necesaria para hacer fluir plásticamente la mezcla hasta adquirir una forma deseada por el manufacturado, que dependerá de la finalidad del producto, esta forma está ligada a factores diversos como el tipo de animal a alimentar, su edad y hasta la composición de la fórmula.

Gracias a la versatilidad de este proceso, muchas de las industrias productoras de alimento para animales han adaptado sus procesos y maquinaria para entrar a este mercado creciente en el mundo. Algunos de las industrias envueltas en esta tendencia van desde la avícola y porcina hasta la ganadera. A continuación en la figura 3.2 se muestra un esquema de las industrias de alimento pertinentes.



Figura 3.2

Industrias de alimento productoras de pelet.

Sin embargo, otras industrias como la de madera y plástico están envueltas en este tipo de producción, debido a que encuentran una manera de producir más eficiente, minimizando pérdidas y con una mayor versatilidad de producción.

En todas las industrias de alimentos, el proceso de peletizado sigue unos lineamientos básicos, mencionados anteriormente, compuestos por etapas de alimentación, acondicionamiento y peletizado principalmente. Aunque para cada industria la formulación del alimento cambia, y por tanto las condiciones físico químicas del producto exigen diferentes variables de producción como temperaturas, presiones y tiempos de permanencia en el proceso, la mayoría de estas siguen unos lineamientos semejantes al esquema mostrado en la figura 3.3.



Figura 3.3

Esquema de producción general de pelet alimenticio.

Un esquema de una máquina peletizadora se muestra a continuación en la figura 3.4, donde pueden evidenciarse sus partes principales, las cuales serán tratadas con mayor detalle más adelante.



Figura 3.4

Esquema de básico de maquina peletizadora.

En general, puede verse que una máquina de este tipo está compuesta de elementos principales como tolva, tornillo de alimentación, acondicionador o preparador, matriz, rodillos, cuchillas, motor, entre otros.

3.3.2. Beneficios del peletizado

Incorporar este tipo de productos al mercado trae consigo una serie de ventajas e inconvenientes que deben ser analizados por cada fabricante para evaluar la pertinencia de su utilización, ya que el peletizado involucra un mayor conocimiento y entendimiento de varios tipos de sub procesos que terminen en la comercialización de un producto responsable ambiental y nutricionalmente, rentable y económico.

Entre las ventajas de la peletización está el hecho de que en una cantidad mínima de alimento se encuentren todos los componentes necesarios para una alimentación balanceada, además mejora la digestibilidad y absorción de nutrientes, si se compara con la harina. El peletizado evita la discriminación y selección de ciertos ingredientes por parte del animal, y las pérdidas por hociqueo en comederos abiertos se ve reducida. Sin embargo, es un proceso que requiere un conocimiento adicional en la formulación, las características físicas de los ingredientes, las condiciones termodinámicas del proceso y las limitaciones del equipo, para que esta operación pueda ser eficaz y rentable, o de lo contrario se convertirá en un proceso más dispendioso (Behnke, 1994).

3.4. FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL PRODUCTO

La calidad del pelet se mide de acuerdo a varios estándares como la dureza y la durabilidad, estas consisten básicamente cómo se lleva a cabo la manufactura del producto, puesto que factores como la selección de parámetros en el acondicionador, los ingredientes hasta el tipo de dados para la peletización tienen un efecto que hay que tener presente.

En la figura 3.5 se muestra un esquema de los factores principales que afectan de manera directa la calidad del producto, entre los cuales se destacan la formulación, el tiempo de retención en el proceso de acondicionado, la calidad del vapor de acondicionamiento, los ingredientes usados, el contenido de grasa, la temperatura de acondicionamiento, la humedad agregada, el tipo de dado extrusor, entre otros.

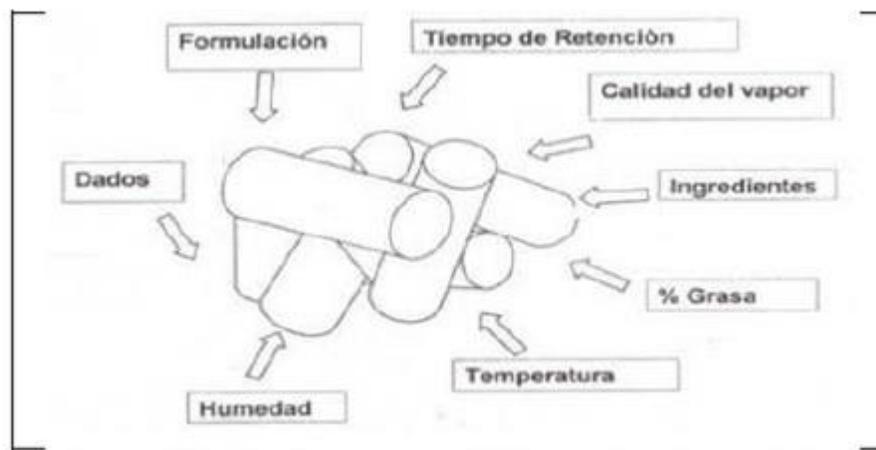


Figura 3.5

Factores que influyen la calidad del pelet.

Algunos de estos factores de calidad se describen a continuación con más detalle.

3.4.1. Contribución de componentes comestibles

Las diferencias en calidad de pelet entre grupos de ingredientes dietéticos, por ejemplo, granos o semillas de legumbres, se pueden atribuir a diferencias en sus propiedades físico-químicas, que a su vez, son los más afectados por la transformación en el transcurso de la historia, la procedencia geográfica y climática de los cultivos. Las diferencias en las propiedades físico-químicas debido a los factores de este último son los principales causantes contribuyentes a las diferencias en la calidad de peletización (Ejemplo, el rendimiento, el consumo de energía de la prensa de pellets) dentro de los grupos (semillas de cereales o legumbres), esto da resultado a la calidad del pelet.

3.4.2. Ingredientes dietéticos

Para predecir la calidad del pellet se usa un enfoque propuesto por MacMahon y Payne en 1991. Ellos trataron de relacionar las diversas materias primas ante los criterios de peletización usados en el procesamiento de alimento de animal. Las materias primas se clasificaron en tres grupos principales: cereales,

semillas oleaginosas o subproductos, además se clasificaron en una escala de 0 a 10, donde casi todas las materias primas se encuentran incluidas como puede verse en la figura 3.6.

Raw material	Constituents ^a					Physical factors [-] ^b		
	Crude Protein (g kg ⁻¹)	Crude Fat (g kg ⁻¹)	Crude Fibre ^c (g kg ⁻¹)	Starch ^c (g kg ⁻¹)	Bulk Density (kg m ⁻³)	Pellet quality	Press capacity	Die wear
<i>Milling by-product</i>								
Barley meal	107	22.0	47	490	480	5	6	5
Maize meal	87	38.0	21	585	610	5	7	6
Milo meal	90	28.0	40	580 ^d	540	4	6	7
Oat meal	112	48.0	106	378	520	2	3	7
Rice	78	20.0	88	580 ^d	480	5	5	4
Wheat meal	119	17.0	23	555	540	8	6	3
<i>Oilseeds and derivatives</i>								
Coconut cake	207	82	130	5	480	7	8	6
Cotton decorticated	403	308	28	0	640	7	8	6
Cotton meal extracted	436	30	118	8	610	8	6	7
Groundnut cake dec.	469	79	54	63	620	7	8	4
Groundnut meal extracted	503	5	125	20	670	8	6	5
Linseed meal extracted	334	31	94	16	560	7	6	5
Palm kernel cake expeller	146	91	188	4	480	6	7	4
Palm kernel meal extracted	152	21	189	3	700	6	5	5
Palm kernel (whole)	93	478	102	0	750	3	8	3
Rapeseed meal extracted	343	22	114	11	510	6	6	6
Sesame meal expeller	451	114	62	14 ^d	560	7	7	4
Soya-bean meal extracted	449	18	53	8	500	4	5	4
Soya-beans full fat	356	189	53	9	480	4	8	3
Sunflower cake expeller	383	71	167	35 ^d	560	6	6	4
Sunflower meal extracted	339	20	192	26	530	6	5	5

Figura 3.6

Alimentos y sus propiedades de peletización.

Algunos de los contribuyentes más importantes en el contexto de la comida animal, como se mencionó antes, son el maíz, el trigo y la soya. De esta figura podemos observar que la calidad del producto peletizado resulta ser baja o difícil de alcanzar para maíz y soya, y que a su vez estos generan los más altos niveles de desgaste en el dado extrusor, mientras que el trigo se muestra como un contribuyente fácil de peletizar proporcionando bajo desgaste y muy buena calidad. A su vez, la capacidad de la máquina peletizadora es semejante para preparar estos tres elementos.

Estas cifras son estimaciones de la literatura y la experiencia, debe tenerse en cuenta que las condiciones de almacenamiento y de procesamiento puede alterar las propiedades de la materia prima y cambiar los indicadores mostrados anteriormente.

Se estimaron los efectos de inclusión de diferentes ingredientes dietéticos sobre la durabilidad del pellet (%) y el consumo de energía (kWh / Ton) de materia prima peletizada y se pueden observar en la figura 3.7.

Diet ingredient	Specific power consumption (kWh tonne ⁻¹)	Durability ^a (%)
<i>Control^b</i>	6.5	97.2
<i>Grain substitute^c</i>		
Beet pulp, dried, pelleted	6.0	98.9 ^e
Barley malt culms, dried	4.2 ^e	98.3 ^e
Citrus pulp, dried, pelleted	4.9 ^e	97.6
Barley, ground	7.3	97.6
Coconut meal	7.1	97.4
Alfalfa meal, dried	6.8	97.2
Grass, dried, pelleted	7.6 ^e	97.2
Wheat bran pellets	6.9	96.9
Palm kernel cake	8.1	96.8
<i>Cotton seed substitute^d</i>		
Sunflower seed meal	7.09	4.9 ^e
Soybean meal	5.6 ^e	94.5 ^e
Rapeseed meal	5.8	91.2 ^e

Figura 3.7

Efectos de los ingredientes en el consumo de potencia y la durabilidad.

3.5. EFECTO DE LAS VARIABLES DE PROCESO

3.5.1. Alimentación

Consiste en una etapa en donde el alimento almacenado en una tolva o distribuido por un operario se mezcla y transporta a una velocidad específica, de acuerdo a la necesidad de producción.

3.5.2. Cámara de peletizado

Aquí, se dispone de una serie de rodillos y dados extrusores dispuestos con separaciones especiales y geometrías específicas para producir los efectos deseados en cuanto a compresión para evitar porosidad, aumentar dureza y durabilidad. En la figura 3.8 se muestra un esquema de la etapa de peletizado.

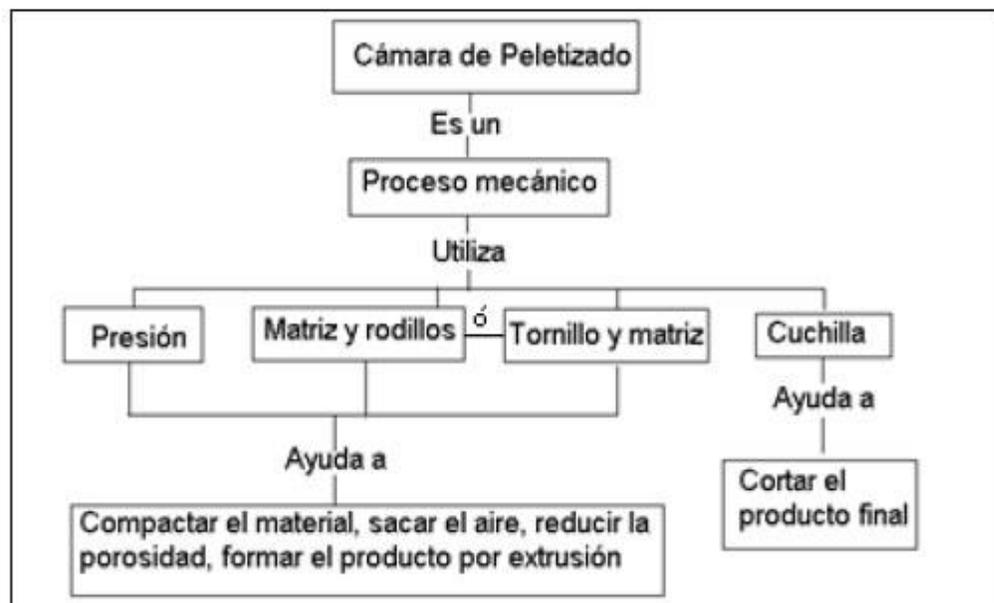


Figura 3.8

Esquema del proceso en la cámara de peletizado.

Algunos diseños de peletizadora incluyen dos o tres rodillos, y en la mayoría de los casos el dado rota y los rodillos están fijos. Una minoría es diseñada como prensas de dado fijo en las cuales los rodillos están dispuestos de manera horizontal y rotan alrededor de un eje vertical mientras extruye el material a través de los agujeros del dado.

El dado se designa como una pieza donde la importancia radica en la relación diámetro/longitud de extrusión que es la que se encargará de dar la forma y

compactación al producto antes del corte. Hay que tener en cuenta en el diseño de dados que longitudes muy cortas (espesores bajos) o agujeros pequeños podrían bloquear el proceso de prensado.

Otro de los factores principales es la separación que existe entre los rodillos y el orificio del dado, ya que esta distancia es la que se encarga principalmente de permitir que se den las mejores condiciones de presión homogénea y de gran magnitud, suficiente para producir un producto de calidad. En la figura 3.9 se ve el efecto que tiene la distancia en la calidad.

Clearance (mm)	Durability ^a (%)	Spec. energy cons.(kWh t ⁻¹)	Temperature after pelleting ^b (°C)
0	96.5	10	75
1	97.5	11	80
2	97.7	16	85
3	97.5	20	90
4	97.2	26	95

Figura 3.9

Efecto de la separación con respecto a la durabilidad del pelet.

Se puede ver que a mayores distancias de separación, la calidad del pelet aumenta en cuanto a durabilidad, e incluso se logran mayores temperaturas a la salida, cosa que puede ser benéfica en cuanto a la neutralización bacteriana del alimento, sin embargo, el consumo específico de energía incrementa necesariamente generando mayores costos de producción.

La diferencia más importante entre peletizar o extruir son los costos de inversión y operación, si con el peletizado se garantiza la producción de un alimento de calidad, no sería necesario extruir.

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

Figura 3.10

Diferencias entre alimentos de acuerdo al tipo de preparación.

Para producir alimento en forma de pelet, este trabajo se centrará en la selección de dados y rodillos, más que en la maquinaria de extrusión debido a los mayores costos que se tienen y a la poca disponibilidad de información acerca del tema respecto a la de peletizado por presión.

3.6. PRIMERAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO

3.6.1. Criterios de selección

A continuación se describen y analizan las funciones principales tomadas en cuenta para la generación de soluciones de diseño que satisfagan las necesidades planteadas.

Además, se especifican los componentes que se tendrán en cuenta en la generación de hipótesis para cada función.

3.6.1.1. Energía

A. Energía eléctrica: este tipo de energía es de alta calidad debido a que no se presentan pérdidas considerables en su magnitud al usarla, además está disponible en el lugar donde se instalará la peletizadora.

B. Energía química: este tipo de energía no presenta una alta calidad debido a la gran cantidad que se pierde en forma de calor. Utilizar este tipo de energía implicaría la compra, consumo y disponibilidad de combustibles fósiles y por lo tanto la contaminación del ambiente y un factor extra de riesgo al operador. Por estas razones se descarta la posibilidad de utilizar este tipo de energía.

Se considera a la energía eléctrica como la más adecuada para el diseño.

3.6.1.2. Transformación de energía

A. Motor eléctrico: los motores eléctricos son muy eficientes y casi toda la energía que recibe la transforma en energía eléctrica, presenta la propiedad de mantener un torque constante en la mayoría de sus velocidades angulares. Generalmente, para las mismas potencias el motor eléctrico es más económico que el motor a combustión interna y su operación es más segura. No emite gases que deban ser evacuados.

B. Motor de combustión interna: los motores de combustión interna son muy ineficientes y desperdician una gran cantidad de energía en forma de calor, requieren de combustibles fósiles como la gasolina y el aceite diésel. Su operación es más ruidosa y genera un factor de riesgo adicional. Generalmente se calientan más que un motor eléctrico y es necesario implementar un sistema de evacuación de gases de combustión. Por estas razones no se tuvo en cuenta en la generación de la solución.

3.6.1.3. Transmisión de energía mecánica.

A. Transmisión por engranajes: la transmisión por engranajes tiene la capacidad de transmitir grandes torques y altas potencias, pero algunos son muy ruidosos y pueden llegar a ser costosos. Generalmente este tipo de transmisión está disponible en forma de cajas reductoras que constan de una o varias reducciones de velocidad compuesta de engranes rectos, helicoidales o engranajes cónicos. Algunas de las desventajas de este tipo de transmisión son las limitaciones de la distancia entre ejes debido a que si se desea aumentar la distancia entre ejes es necesario implementar engranajes

intermedios o incrementar los diámetros de los mismos. Son una solución muy usada en el mercado para etapas de reducción o amplificación. Requieren lubricación cuidadosa para evitar las fallas tribológicas.

B. Transmisión por cadena y sprocket: este sistema es similar al de poleas y bandas en cuanto a que las distancias entre ejes pueden ser grandes y más versátiles. Además, la transmisión de cadena presenta una mayor capacidad de transmitir torque y una mayor eficiencia, pero este sistema es ruidoso, y su lubricación es algo engorrosa debido a que la cadena se encuentra a la intemperie y se debe lubricar periódicamente. La cadena y el sprocket son menos costoso que una caja de reducción por engranajes y pueden ser más costosos que las poleas y banda. Con el fin de tener un diseño que apunte hacia un mantenimiento simple, no tendremos en cuenta esta opción en la generación de alternativas.

C. Transmisión por tornillo sin fin corona: este es muy utilizado en lugares donde se debe reducir mucho la velocidad angular con altas relaciones de transmisión y/o grandes torques. Funciona generalmente acoplado en ejes perpendiculares, está compuesto por un tornillo sinfín que al rotar hace que un engranaje especial llamado corona gire. En el proceso de peletización que se requiere no es necesario este sistema, por sus características sobredimensionadas de transmisión de potencia.

D. Transmisión por poleas y bandas: la transmisión por poleas y bandas transmite torques menores que la transmisión por engranajes, pero es menos ruidosa, además las distancias entre ejes pueden ser mucho mayores y los costos de las poleas y las bandas son menores, además el sistema es más limpio y apto para alimentos ya que no requiere lubricar como lo son engranajes y cualquier otro mecanismo de contacto metal.

E. Articulaciones Universales: Se utiliza cuando se necesita transmitir movimiento y potencia en dos o más ejes acoplados con desalineaciones axiales cercanas a 180° . Una desventaja de este sistema es que la transmisión no es totalmente uniforme. Además, su diseño, selección y uso son más complicados y su aplicación se centra en otros tipos más complejos de transmisión de potencia. Las articulaciones universales no se tendrán en cuenta en la generación de alternativas de solución.

F. Combinación de transmisión por engranajes y poleas y bandas: Esta opción surge de la necesidad de darle movimiento y torque a múltiples equipos con un mismo motor, reduciendo así el número de motores a utilizar. La

combinación de estos elementos aumenta la versatilidad del diseño, debido a que no en todos los casos es pertinente el uso de uno sólo de estos componentes. Así, se garantiza la combinación más adecuada de sistemas de transmisión de potencia para cada caso en específico, como en el caso de reducir potencia o velocidad en longitudes cortas (reductores por engranajes) o para acoplar el movimiento a etapas que lo necesiten y estén más alejadas del motor principal (poleas y bandas).

De las opciones propuestas no se opta por ninguna de ellas, debido a la complejidad de los diseños, se toma para el diseño un motor reductor a 90 grados.

3.6.1.4. Alimentar

A. Tolva: es un sistema sencillo de alimentación que suministra grandes cantidades de material, desempeñando una función semejante a la de un embudo. Una desventaja de este recipiente que no puede controlar el flujo de material que suministra al acondicionador en forma continua y constante, ya que depende de la capacidad de carga de la misma, llevando así a la necesidad de conectar otros equipos para que pueda cumplir su función eficientemente. Aunque esta opción no requiere de un motor para su funcionamiento, debido a su intermitencia y a su poca precisión, esta opción no se tuvo en cuenta en la generación de alternativas.

B. Banda transportadora: este mecanismo puede ofrecer un transporte continuo y constante de material, sin embargo, en este caso donde la máquina tiene una etapa de acondicionamiento, la cual requiere que sus entradas estén selladas para que tengan pérdidas mínimas de presión y calor al interior de la cámara de acondicionamiento donde se suministra agua caliente, la banda no podría proporcionar el sello que esta cámara necesita para un acondicionamiento eficiente. Requiere de un motor para su funcionamiento. Por lo tanto se descarta la banda transportadora como una opción para alimentar.

C. Tornillo sin fin: es un mecanismo que proporciona materia prima continuamente ya sea a velocidad constante o variable y debido a su diseño proporciona una especie de sello mecánico impidiendo que el vapor de agua o el calor se escapen del interior de la máquina. Su capacidad de regular y controlar el flujo de alimento hacia la cámara de acondicionamiento lo hace

una opción muy fuerte para el diseño. Sin embargo, requiere el uso de un motor para su movimiento

D. Banda vibratoria: al igual que el comportamiento de la banda transportadora, esta ofrece un flujo de transporte continuo y constante, pero tampoco proporciona el sello que necesitamos para la cámara de acondicionamiento de la materia prima. Además requiere de una serie de mecanismos extra para garantizar su vibración, por lo tanto no se tuvo en cuenta en la selección de alternativas para alimentar.

E. Elevador de cangilones: proporciona un flujo no continuo de materia prima, se usa generalmente para elevar la materia prima en zonas con altas inclinaciones. Al igual que otros sistemas no presenta la posibilidad de sellar la cámara de acondicionador, necesita de un motor potente y de mantenimiento y lubricación extra, por esta razón no se tuvo en cuenta en la selección de alternativas.

F. Tubos: tienen una funcionalidad semejante a la de pequeñas tolvas suministrando flujos continuos y constantes, pero limitados a la cantidad que puedan almacenar. Tiene la posibilidad de sellar la cámara de acondicionamiento, su problema radica en que no se puede controlar el flujo de materia prima y en caso de atascamiento sería necesario parar la producción. Por esto no se tuvo en cuenta en la selección de alternativas.

Para el sistema de alimentación se toma la tolva, debido a que no es necesario controlar el flujo del material.

3.6.1.5. Tipos de acondicionadores

A. Agua a temperatura ambiente: suministra una humedad necesaria para un proceso de prensado o peletizado, pero no suministra el calor necesario para acondicionar la materia prima en busca de mayor calidad y esterilidad bacteriana para lograr una buena dieta. No necesita de elementos costosos pues puede ser adicionada desde la red del lugar. No se tuvo en cuenta en la selección de alternativas.

B. Agua caliente: suministra humedad y calor suficiente para el proceso de acondicionamiento, mejorando el acondicionamiento de la materia prima y su calidad. El sistema es económico ya que no presenta altas temperaturas y presiones. Las temperaturas pueden garantizarse por medio de juegos de

resistencias o calentadores de agua. Se requiere de alguna etapa de transferencia de calor pero los componentes son de fácil adquisición.

C. Caldera de vapor: suministra humedad y calor necesario para el proceso de peletizado y garantiza las mejores propiedades del producto al final del proceso, sin embargo, debido a que funciona con altas temperaturas y presiones necesita de un sistema productor de vapor de agua, generalmente calderas, cuya operación no es fácil. Aunque se obtengan buenos resultados en la dieta del Pellet, el gasto inicial es excesivo y su uso demanda riesgos laborales para el operador y el lugar de trabajo.

Debido a que el diseño es para una producción baja y con el fin de reducir gastos, la maquina no contara con acondicionador.

3.6.1.6. Peletizar

a. Peletizado horizontal: generalmente se usa para peletizar grandes cantidades de alimento a nivel industrial, donde se requiere una producción diaria mucho mayor a las especificadas por el cliente, por lo tanto no se tendrá en cuenta en la generación de alternativas. Requiere de un motor para dar movimiento al sistema.

b. Peletizado vertical: usualmente se usa para procesar pequeñas cantidades de alimento. Aunque normalmente en el mercado este tipo de peletizado no implementa alimentador y/o acondicionador, esto no impide adaptar estos sistemas para obtener una mayor calidad de producto. Requiere de un motor para dar movimiento al sistema.

c. Peletizado por tornillo sinfín: este sistema es muy usado para tamaños de pellet muy pequeños, y en la industria alimenticia de peses y camarones se utiliza debido a la capacidad de controlar la capacidad de flotabilidad del pellet en el agua. Su instalación y mantenimiento son más complicadas que para los sistemas de peletizado por presión. Requiere calidad de proceso mucho más rigurosa. No se tendrá en cuenta en la selección de alternativas.

3.6.1.7. Transportar pelet listo

Para el transporte del pelet listo, debido a que al abandonar la etapa de peletizado aún conserva temperatura y humedad, no es recomendable permitir la aglomeración del producto con objeto de evitar que se peguen entre sí, por

lo tanto es mejor para la integridad del pelet evitar sistemas de acumulación de masa hasta que se enfríen adecuadamente. Sin embargo, esta opción se omitirá debido a la reducción de gastos.

3.7. CÁLCULOS PARA LA SELECCIÓN Y FORMA DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES EN LA MÁQUINA PELETIZADORA.

3.7.1. Cámara peletizadora

Como se determinó en la selección de la alternativa, se pretende diseñar una cámara de peletizado vertical la cual se usa comúnmente para bajas producciones de alimento, la cual consiste en un disco perforado.



Figura 3.11

Matriz de peletizadora.

Luego de pasar por los agujeros de la matriz, una cuchilla corta los pelets con una longitud deseada, y por la aceleración centrifuga son lanzados hacia la tolva se salida de la cámara de peletizado.

Aunque la información sobre este tipo de peletizadoras es muy limitado debido a su baja producción, su diseño es muy simple en comparación con la peletizadora horizontal.

Para poder determinar las características morfológicas que debe tener la cámara de peletizado se recurrió a métodos empíricos hallados en la literatura, videos encontrados en internet, y en la información proporcionada por las cotizaciones de peletizadoras en el mercado que presentan este tipo de diseño.

3.7.2. Potencia de peletizado

Para hallar la potencia que requiere la cámara peletizadora se encontraron diferentes fórmulas empíricas las cuales proporcionan una potencia aproximada.

La primera forma empírica para hallar la potencia consiste en que por cada tonelada hora de material a procesar se requieren 10HP para poder peletizar de forma efectiva. Así que como el requisito es procesar alrededor de 250Kg/h o 0.25 toneladas/hora, la potencia necesaria es 2.5HP, pero esta potencia comparada con la potencia que requerían los modelos comerciales de la misma capacidad de alrededor de 12hp es muy baja.

La segunda fórmula es:

$$P = \frac{C}{R}$$

Donde C es la capacidad de producción deseada de la peletizadora a construir en Kg/h, R la masa a procesar por unidad de potencia en una hora, la cual se establece que es alrededor de 90.7Kg/hp*h para alimento.

$$P = \frac{250 \text{ Kg/h}}{90.7 \text{ Kg/hp} * h}$$

$$P = 2.756 \text{Hp}$$

Para la capacidad deseada de 250Kg/h la potencia requerida sería de 2.756hp lo cual sigue siendo baja en comparación con las máquinas comerciales.

La tercera fórmula empírica es:

$$P = \frac{A}{\frac{a}{p}}$$

Donde P es la potencia de peletizado, A es el área de trabajo de la matriz o dado, a/p es la relación entre el área de trabajo y la potencia requerida para peletizar. Algunos investigadores encontraron que para el alimento:

$$\frac{a}{p} = 3 \frac{in^2}{hp}$$

Por otro lado, como se desconoce el área exacta de la peletizadora no es posible hallar la potencia necesaria. Pero con la potencia podremos encontrar el área de la matriz al despejar:

$$A = (P) \left(\frac{a}{p} \right)$$

Utilizando tanto la potencia de 2.756hp hallada empíricamente y la potencia de 12hp de las peletizadoras comerciales se puede encontrar el área de la matriz:

- Para una potencia calculada de 2.756hp el área de la matriz es

$$A_1 = 8.268in^2 = 5334.763mm^2$$

- Para una potencia comercial de 12hp el área de la matriz sería

$$A_2 = 36in^2 = 23225.76mm^2$$

El área de peletizado no es la de un círculo, sino la de una corona circular de área:

$$A = \pi(R^2 - r^2)$$

Como se muestra en la siguiente figura:

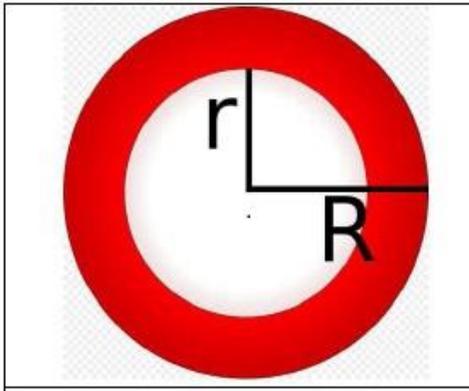


Figura 3.12

Suponiendo un diámetro interno externo se puede hallar las dimensiones totales de la matriz y comparar las con las comerciales. Si suponemos un diámetro externo de la matriz de alrededor de 250mm, que es la medida de las matrices que se encontraron en algunas de las cotizaciones para peletizadoras de baja producción, se tiene que el radio interior es:

$$r = \sqrt{\frac{\pi R^2 - A}{\pi}}$$

Con $A_1 = 5334.763 \text{ mm}^2$ y $R = 125 \text{ mm}$, resulta que $r = 118.01 \text{ mm}$ lo cual es algo ilógico al tener una distancia entre R y r de menos de 7mm, el cual corresponde al espacio para los rodillos de peletizado.

Con $A_2 = 23225.76 \text{ mm}^2$ y $R = 125 \text{ mm}$, se obtiene $r = 90 \text{ mm}$ lo cual sigue siendo ilógico al tener una zona muy pequeña para los rodillos.

Ahora supongamos un agujero interno o zona central de la matriz, la cual es la zona interna que no está compuesta por el enmallado o agujeros de peletizado. Esta se supuso para el cálculo de alrededor de 60mm de diámetro de acuerdo con observaciones a escala de máquinas comerciales. Por lo tanto será $r = 30 \text{ mm}$.

Con esto se halla ahora R

$$R = \sqrt{\frac{\pi r^2 - A}{\pi}}$$

Con $A_1 = 5334.763mm^2$ y $r=30mm$, se obtiene $R=50.971mm$ lo cual sigue siendo algo pequeño al compararlo con las peletizadoras del mercado.

Para $A_2 = 23225.76mm^2$ y $r=30mm$, se obtiene $R=91.065mm$ medida que es algo más razonable al dar una matriz de 182mm aproximadamente con agujero central de 60mm de diámetro.

Al ver la figura 3.11 de la matriz se puede observar que no toda el área de la corona circular está perforada con los hoyos de peletizado, por lo tanto para garantizar el área de trabajo el diámetro del dado debería estar entre los 190 y 200mm. Para este caso se decidió tomar el diámetro de la matriz de 200mm.

Se encontró que al aumentar el espaciado entre el dado y el rodillo se mejora la durabilidad al pelet a costa de un mayor consumo de energía. Para este caso donde la capacidad de la peletizadora es relativamente baja, el consumo energético no será muy grande, por lo tanto al aumentar el espacio entre la matriz y el rodillo no afectaría marcadamente el consumo de energía.

Con el fin de mantener la simplicidad de operación de la maquina peletizadora se pretende que ésta produzca un solo tamaño de pellet para así poder tener un tamaño promedio que alimente diferentes animales de corral por lo que se tomará como 5mm el diámetro a fabricar.

Como tenemos el área de peletizado y el diámetro de los agujeros podemos hallar la distribución o la cantidad de agujeros que tendrá la matriz. Para hallar la cantidad de agujeros que tendrá la matriz se multiplica por un factor de 0.2 el área de peletizado con el fin de tener solo el 20% del área con agujeros. Luego de esto se divide esta área de agujeros entre el área de un solo agujero dando así el número necesario para peletizar lo requerido, para este caso sería el área de un agujero de un diámetro de 5mm, por lo anterior se tiene que:

$$\text{Area de agujeros} = (0.2)(23225.76mm^2) = 4645.152mm^2$$

$$\text{Numero de agujeros} = \frac{4645.152mm^2}{(2.5mm)^2 * \pi} = 236.57 \text{ agujeros} \approx 238 \text{ agujeros}$$

En la búsqueda de peletizadoras se encontró que para optimizar el flujo de alimento y ayudar a comprimirlo, a través de los agujeros de la matriz se le agregan avellanados en la entrada y abocardados a la salida de los mismos.

Pero en las patentes no se especifican dimensiones precisas sobre los avellanados y abocardados para un determinado diámetro y funcionalidad del agujero. El abocardado se le agrega a los agujeros de la matriz cuando se requiere mantener una longitud efectiva de peletizado y disminuir los esfuerzos en la matriz. Debido a que la capacidad de la peletizadora es pequeña los esfuerzos en la matriz no son significativos como para agregarle el abocardado.

Para el avellanado solo se recomienda que el ángulo de este sea alrededor de 30° pero no se encontró en la literatura especificaciones detalladas del diámetro o la profundidad de este, por lo tanto esto fue tomado a criterio del diseñador: para el diámetro del avellanado se escogió 7mm con un ángulo de 30°.

La obtención del espesor de la matriz se obtuvo con la relación L/d donde d es el diámetro del agujero de peletización y L es el espesor de la matriz, para el maíz molido esta relación es de 12:

$$\frac{L}{d} = 12$$

$$L = (12)(5mm)$$

$$L = 60mm$$

Por lo tanto, para un agujero de 5mm, el espesor de la matriz es de 60mm.

Para hallar el diámetro del rodillo se utilizó la relación entre el diámetro de la matriz y diámetro del rodillo (D_r/D_m) que corresponde a 0.58

$$\frac{D_r}{D_m} = 0.58$$

$$D_r = (0.58)(190mm)$$

$$D_r = 110mm$$

Esto quiere decir que el diámetro del rodillo con una matriz de diámetro de 190mm es de 110mm.

Los rodillos pueden tener superficies fabricadas de forma lisa, corrugada o dentada. Estos dos últimos son muy populares debido a que tienen menos tendencia a atascarse cuando circula el material concentrado entre el mínimo espacio con la matriz, además mayor tracción ejercen sobre el material

facilitando el peletizado. Los más utilizados son los corrugados debido a que son más fáciles de fabricar que los dentados.

Como no se encontró una relación entre el alimento, producción y la forma del dentado, esta geometría será a criterio del diseñador.

Se desea utilizar un eje de matriz con un diámetro de 40mm con un cambio de sección hasta 75mm de diámetro. Para determinar si la dimensión del eje de la matriz es adecuado se tomó la presión de peletizado, la cual en promedio en máquinas de pequeña capacidad es de 13.5MPa (máquinas comerciales). Se utilizó para este caso una presión promedio de 13.5MPa para hallar la carga axial que se ejerce en la matriz y a su vez en el eje, además se mencionó anteriormente que el área de peletizado es el área de todos los agujeros. Dada la relación entre la matriz y los rodillos, se estima que estos al girar ocultan solo una sexta parte de todos los agujeros de peletizado. Por lo tanto

$$\text{Área de peletizado} = \frac{4645.152\text{mm}^2}{6} = 0.000774192\text{m}^2$$

Multiplicando la presión de peletizado con el área de peletizado de los rodillos se tiene que la carga de la matriz y el eje son:

$$C = (13.5\text{MPa})(0.000774192\text{m}^2) = 10451.592\text{N}$$

Con esta carga se pueden seleccionar los rodamientos tanto para el eje de la matriz como para el de los rodillos.

Para el eje de la matriz: se recomienda utilizar dos rodamientos, el primero debe de ser cónico de rodillos para un diámetro de 60mm, con capacidad de carga dinámica mayor a 15 000 N para prever la falla por sobre carga, el segundo rodamiento se recomienda que sea de bolas de una sola hilera para un diámetro de 60mm y una carga dinámica 8 000N, ya que toda la carga estará soportada por el primer rodamiento.

Los rodamientos en los rodillos recomendados son cónicos de rodillos debido a su gran capacidad de soportar tanto cargas axiales como radiales. Para este caso los cuatro rodamientos deben de contar con una capacidad de carga dinámica de 15 000N. e utilizan las máquinas de pequeña capacidad

La velocidad angular de la matriz se tomó como 250rpm que es la velocidad promedio que utilizan las máquinas de baja producción, en base a esta velocidad se debe usar un motorreductor con el eje a 90° para un fácil montaje

al ensamblar la peletizadora. La gran ventaja que se tiene al utilizar un motorreductor con el eje a 90° es el evitarse diseñar y construir un codo con engranajes cónicos para transmitir la potencia a la peletizadora.

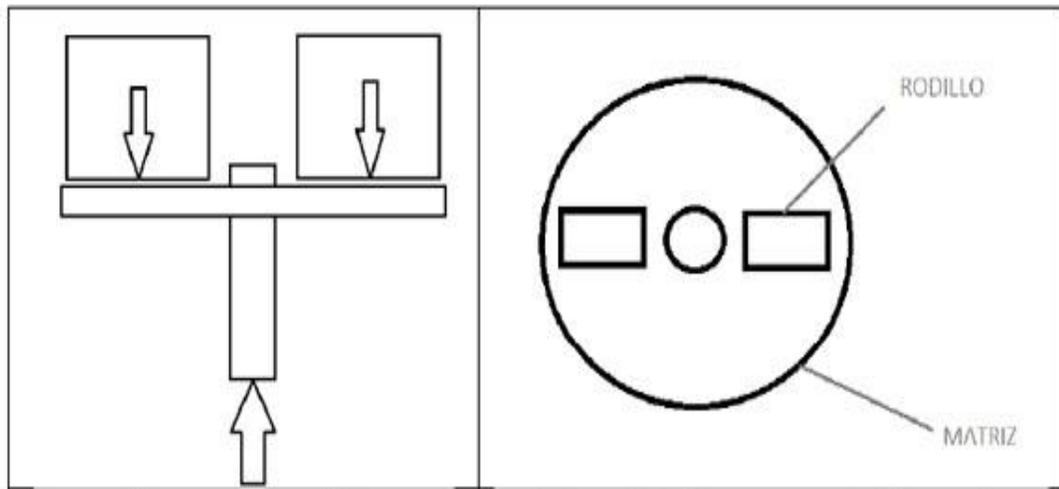


Figura 3.13

Cargas axiales que actúan en el eje.

3.8. SELECCIÓN DE MATERIALES

3.8.1. 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.

A temperaturas elevadas los materiales deben ser seleccionados para resistir al picado y al agrietamiento por corrosión y presión, esta última debe ser evadida en aplicaciones de transferencia de calor para procesos de cocido de alimentos como por ejemplo las etapas de acondicionamiento de pelet.

Los equipos de acero inoxidable deben ser limpiados con frecuencia para prolongar su vida de servicio.

Los tipos 304, 316, 444 y 450 han sido usados para cadenas de transferencia de alimento en equipos de procesamiento 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. Los mejores resultados se han obtenido cuando los equipos tienen acabados del tipo 2B (laminado en frío general) en vez de acabado No 4 (pulido general).

3.8.2. Resistencia a la corrosión y temperatura.

Generalmente, en las aplicaciones de alimentos donde intervienen ácidos, aceites y sustancias de proveniencia orgánica como en el alimento peletizado para animales es necesario implementar elementos con alta resistencia a la corrosión para evitar contaminación del alimento y desgaste prematuro y/o acelerado de los componentes de la máquina. Por tanto es útil conocer las propiedades de resistencia de algunas aleaciones convencionales, las cuales se muestran en la figura 3.14.

AISI type	Corrosion rate		Maximum service temperature			
	mm/year	mils/year	Intermittent service		Continuous service	
			°C	°F	°C	°F
304	0.46	18	870	1600	925	1700
321	1.19	47	870	1600	925	1700
347	1.04	41	815	1500	705	1300
308	1.35	53				
310	0.99	39				
316	0.015	0.6				

a) Resistencia a la corrosión

b) Resistencia a altas temperaturas

Figura 3.14

Propiedades de resistencia.

Debe destacarse que el acero AISI 304 es uno de las propuestas más fuertes a la hora de resistencia mecánica, a la corrosión y al servicio a altas temperaturas ya que además de su alta aptitud de ser conformado en procesos de manufactura presenta la segunda menor tasa de corrosión entre sus competidores con tan solo 0.46 mm/año. Por otra parte, puede observarse también que es un material muy estable a altas temperaturas de servicio ya que puede ser usado incluso a límites de más de 800°C lo cual es más de 8 veces la temperatura de trabajo del acondicionador.

Como se pudo constatar mediante un análisis de los parámetros de funcionamiento de la cámara de peletizado, las exigencias de resistencia mecánica no son muy elevadas resultando en factores de seguridad de muy elevados. Por lo tanto estos elementos no necesitan ser escogidos desde el punto de vista de esfuerzos sino más bien desde el ámbito de la resistencia a la corrosión y la manipulación de alimentos debido a que la contaminación del pelet podría causar problemas digestivos en las aves de corral generando epidemias que pueden llegar a afectar la calidad del animal para el uso del hombre.

CAPÍTULO IV

4.1. RESULTADOS, PLANOS, GRÁFICAS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS.

4.1.1. Resultados de la simulación estática en la matriz de peletizado.

Los resultados obtenidos en la simulación servirán como modelo de referencia para verificar el comportamiento de la pieza.

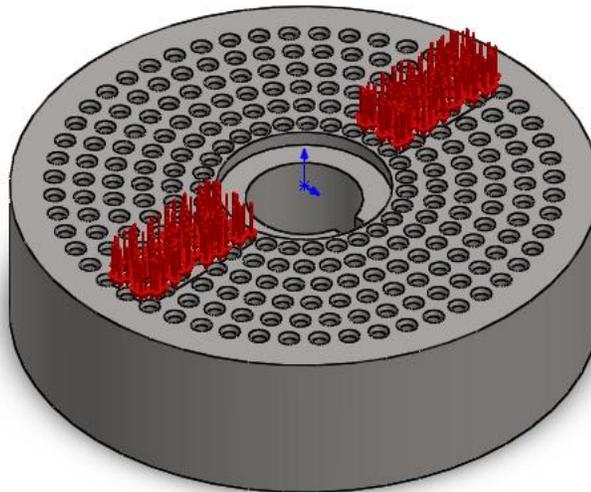


Figura 4.1

Presión ejercida sobre la matriz.

Por medio de SolidWorks se realiza la simulación estática sobre la matriz de peletizado, para ver el comportamiento de la pieza cuando es sometida a la presión de trabajo. En la figura 4.1 se puede observar cómo está distribuida la presión en las diferentes áreas de trabajo de la matriz.

Nombre de modelo: matriz avellanada
Nombre de estudio: Análisis estático de la matriz-(Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión modal Tensiones1
Escala de deformación: 2967.6

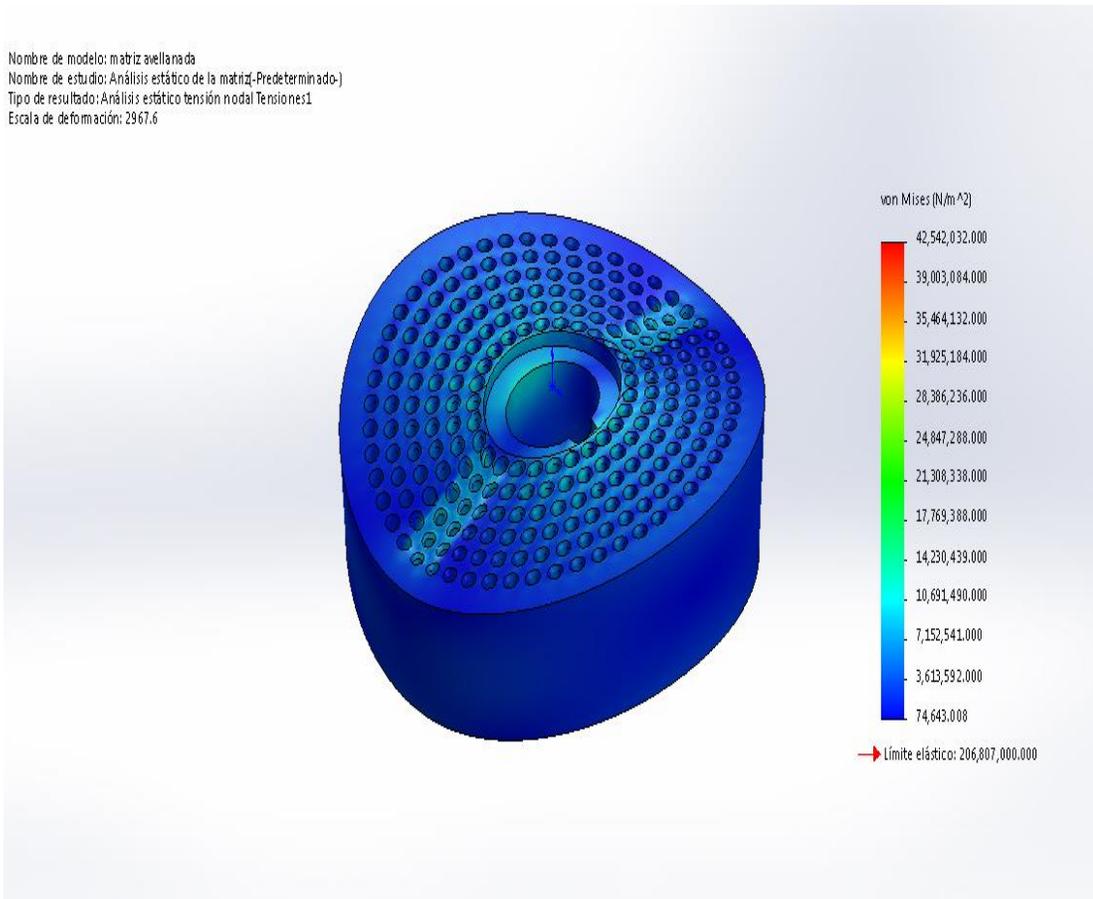


Figura 4.2

Tensiones en la matriz.

La matriz de peletizado es sometida a una presión de trabajo de 13.5 MPa, presión promedio a la cual trabajan las peletizadoras de baja producción. El área donde se aplica la presión sobre la matriz es de 5.88cm², siendo esta una aproximación debido a la geometría de la pieza. Se toman dos áreas de misma dimensión debido a que sobre la matriz trabajan dos rodillos. En la figura 4.2 se observa las tensiones máximas que la pieza soporta, siendo la mayor la más importante de 42 542 000 Pa, aunque sea muy baja comparada con el límite elástico del material, que es un acero AISI 304, como se explica antes en el punto 3.8 selección del material. En la figura 4.3 se observa la parte inferior de la matriz, que es donde ocurre la mayor de las tensiones, estando situada en el área de contacto entre la matriz y el eje.

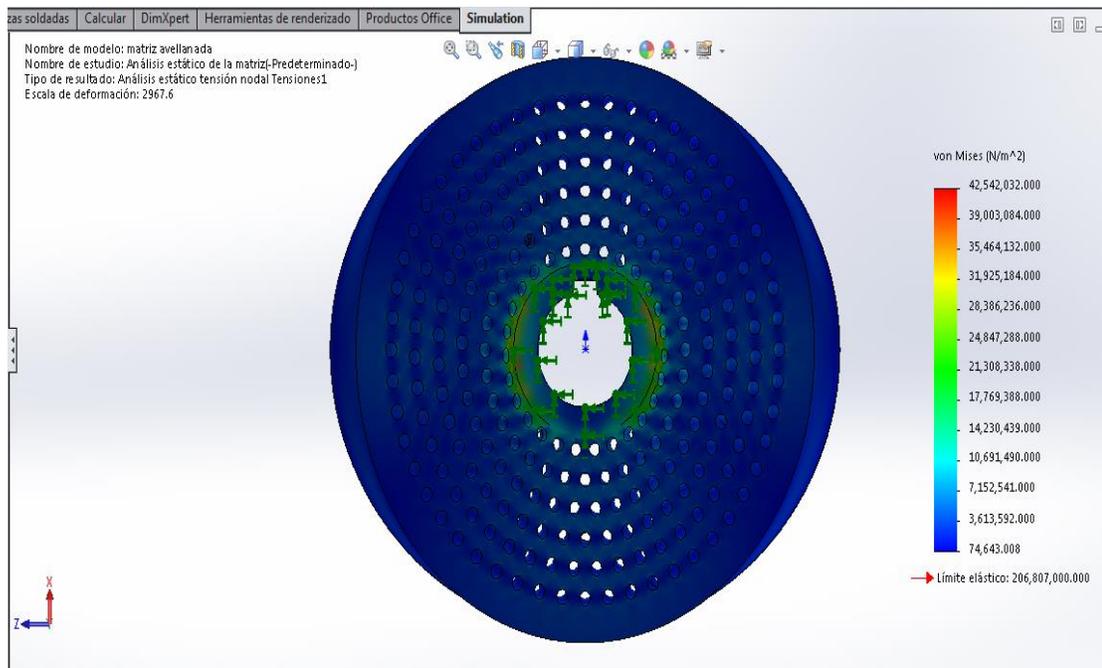


Figura 4.3

Parte inferior de la matriz tensionada.

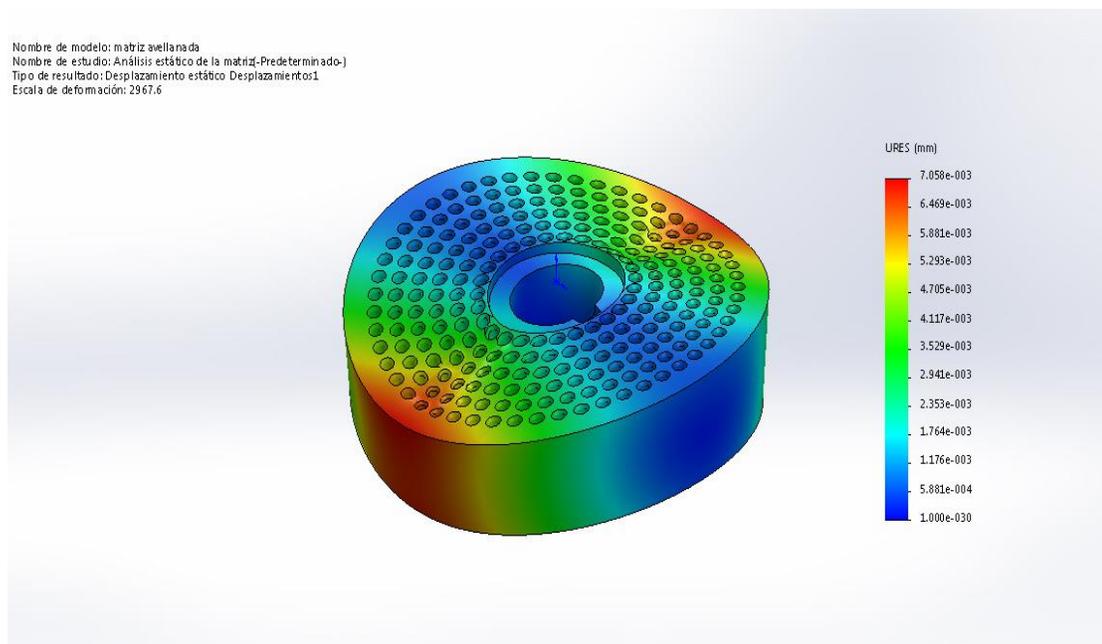


Figura 4.4

Deformaciones de la matriz.

En la figura 4.4 se muestra el resultado de la simulación y las deformaciones que ocurren en la pieza, siendo las mayores las más importantes para el análisis. La deformación máxima que sufre la pieza en el momento que se ejerce la presión es de 0.00758mm, la cual demasiado pequeña para que pueda ocurrir una falla en la pieza.

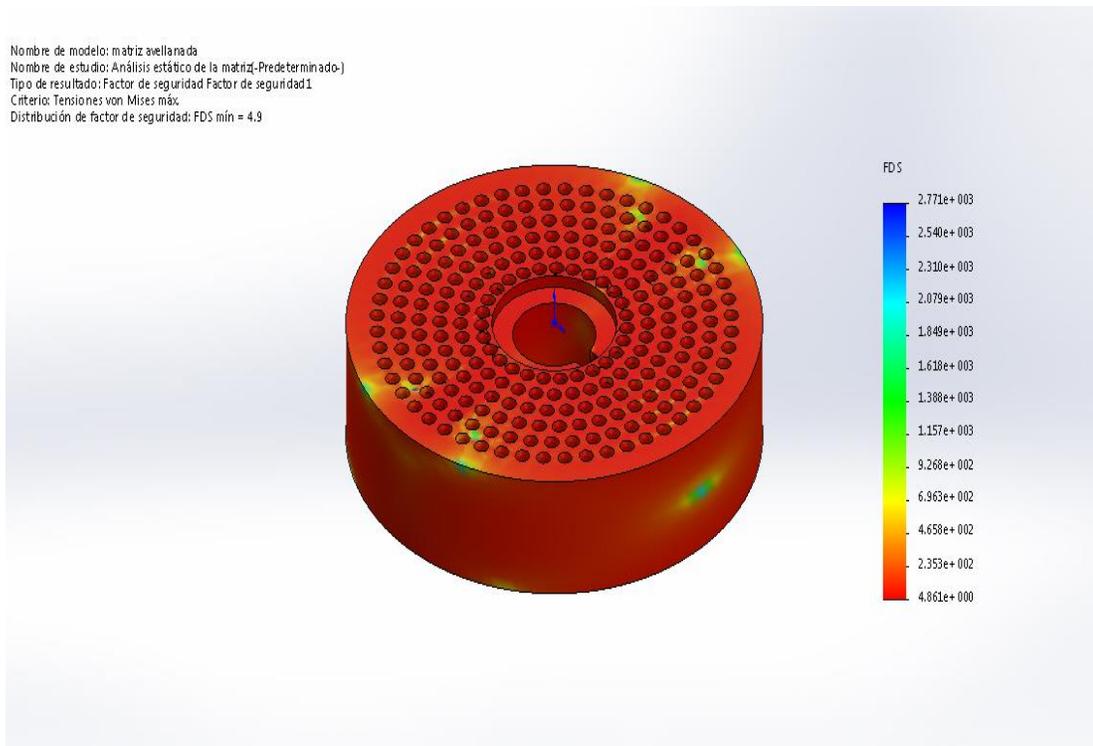


Figura 4.5

Factores de seguridad en la matriz.

La figura 4.5 muestra los diferentes factores de seguridad que tendrá la pieza y como están distribuidos, se toma el más pequeño de todos para el análisis, siendo este factor de 4, lo cual es óptimo para el diseño.

4.1.2. Resultados de la simulación estática en el rodillo.

Los resultados obtenidos en la simulación del rodillo, servirán para ver el comportamiento de la pieza. Y si esta es óptima para su diseño.

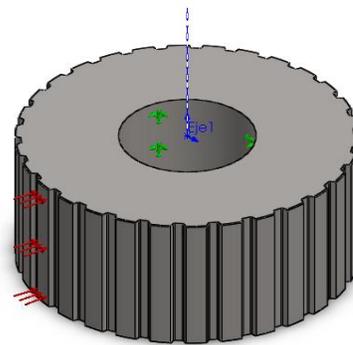


Figura 4.6

Presión ejercida sobre el rodillo.

Al igual que como se hizo anteriormente con la matriz, se realiza la simulación estática del rodillo, para conocer el comportamiento de la pieza, sometida a la presión de trabajo. La figura 4.6 muestra la distribución de la carga sobre el rodillo en el área de contacto que se analiza.

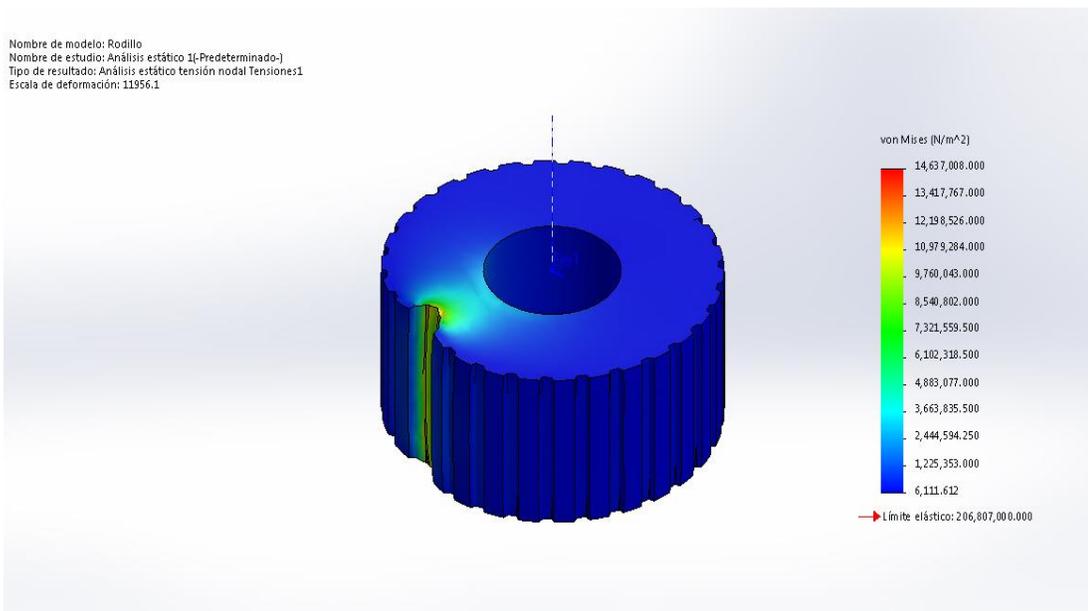


Figura 4.7

Tensiones del rodillo.

El rodillo y la matriz de peletizado son las piezas más importantes al momento de hacer la compactación del pelet, estos entran en contacto al momento de estar en funcionamiento, como se menciona anteriormente la presión de peletizado es de 13.5MPa, que es la que se ocupa para el análisis estático de la matriz y rodillo, nada más que para este último el área de contacto es de 3.21 cm². En la figura 4.7 se observa el comportamiento de la pieza sometida a su presión de trabajo, dando como resultados diferentes tensiones sobre la pieza, se toma en cuenta la mayor para el análisis de esta, siendo de 14 637 008 Pa. El material del rodillo es acero AISI 304.

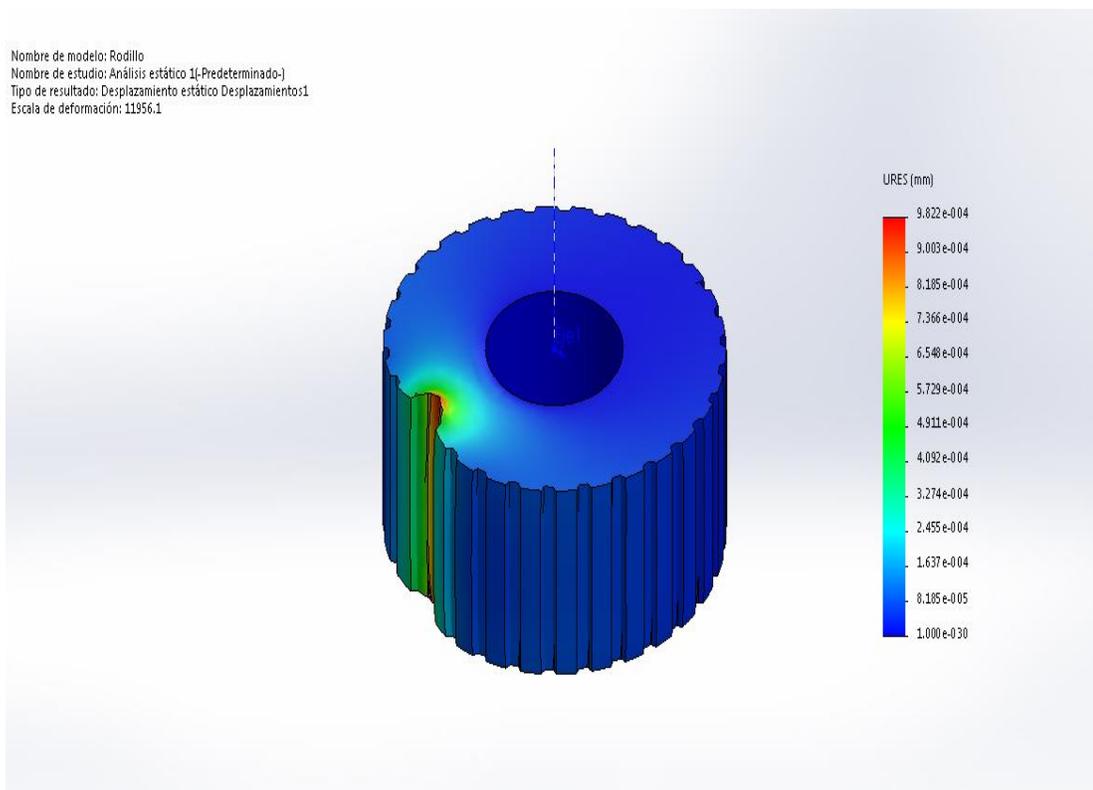


Figura 4.8

Deformación del rodillo.

La figura 4.8 muestra las diferentes deformaciones que ocurren sobre la pieza y el área donde estas se encuentran. La deformación máxima que le ocurre a

la pieza cuando se le aplica la presión de trabajo es de 0.0009822mm, lo cual nos indica que es óptima para el diseño.

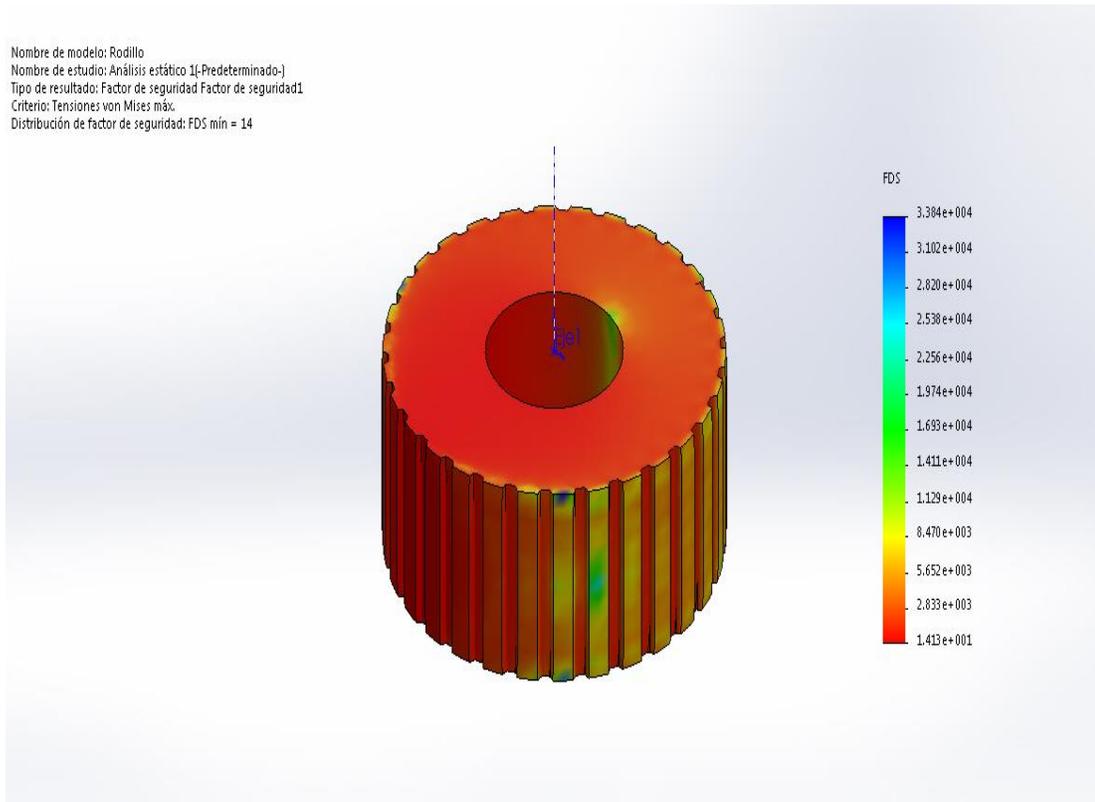


Figura 4.9

Factores de seguridad en el rodillo.

La figura 4.9 muestra los diferentes factores de seguridad de la pieza. De los cuales se toma el más pequeño para el análisis, siendo este de 14. En relación a los criterios de diseño este factor es demasiado grande, ya que normalmente los factores no exceden de 3, pero en este caso el diseño del rodillo no puede ser modificado debido a la relación que tiene con las piezas de la máquina y, el material no puede ser modificado por las razones que se explican el punto 3.8 selección del material.

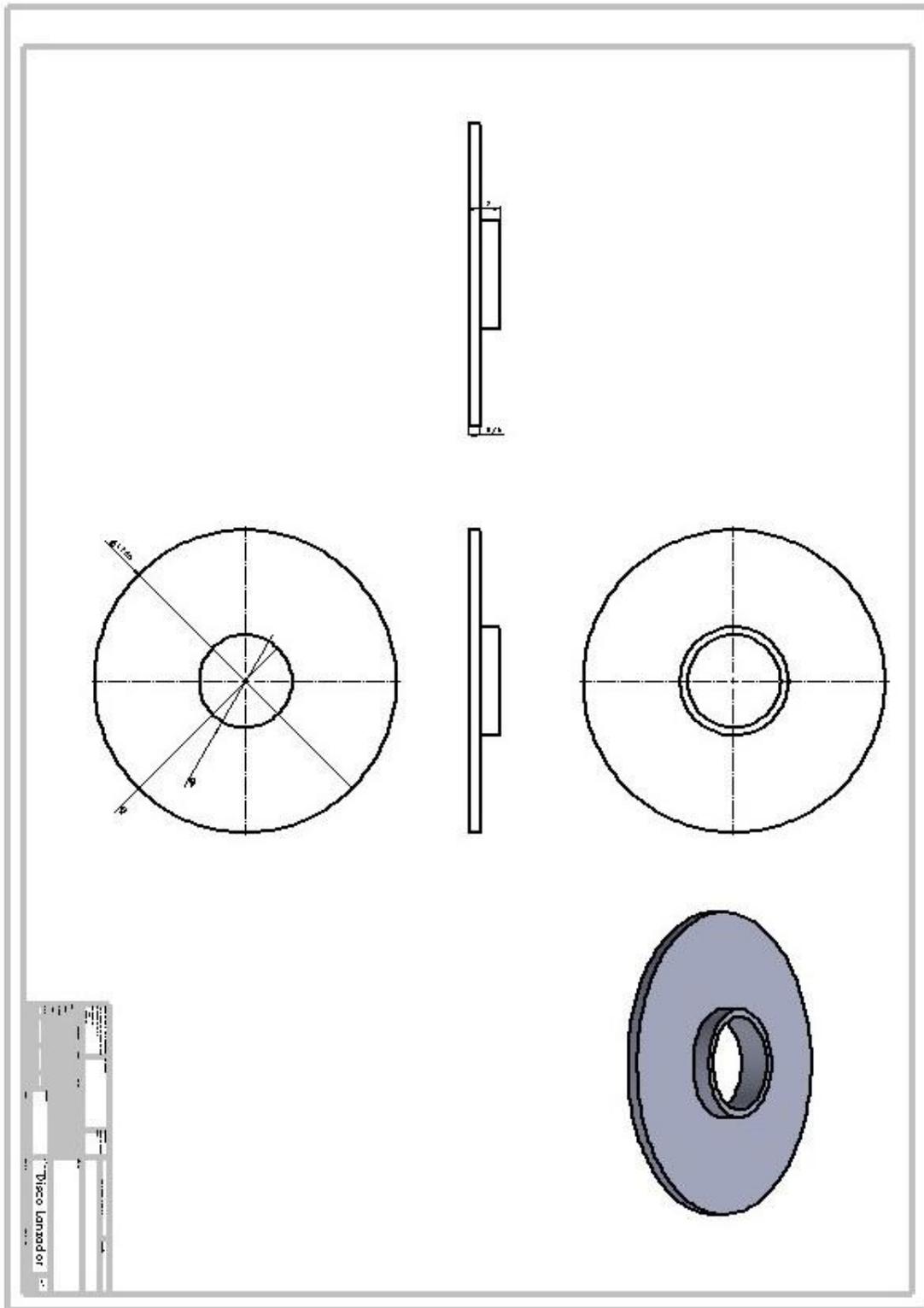


Figura 4.12
Disco lanzador.

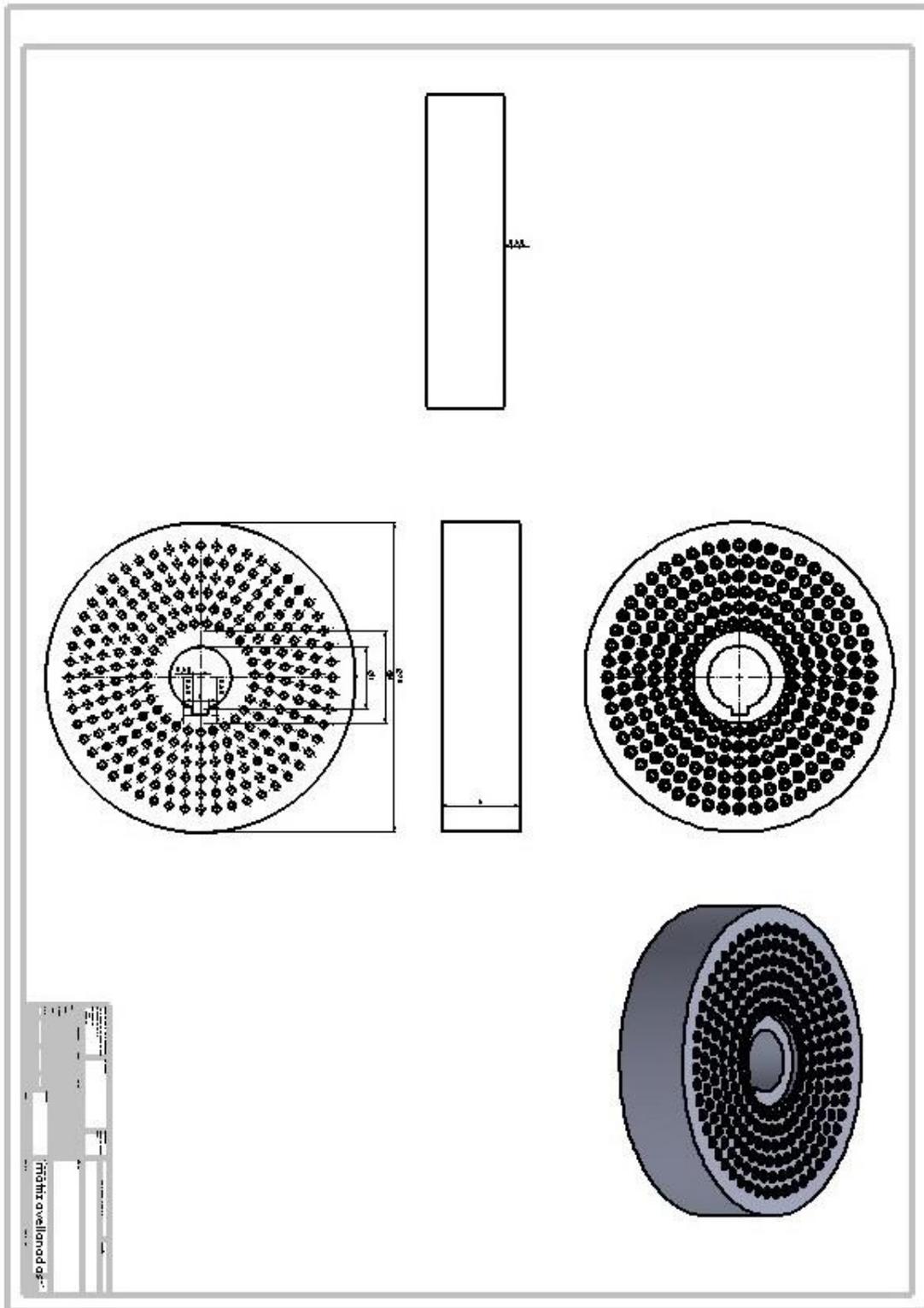


Figura 4.15
Matriz avellanada.

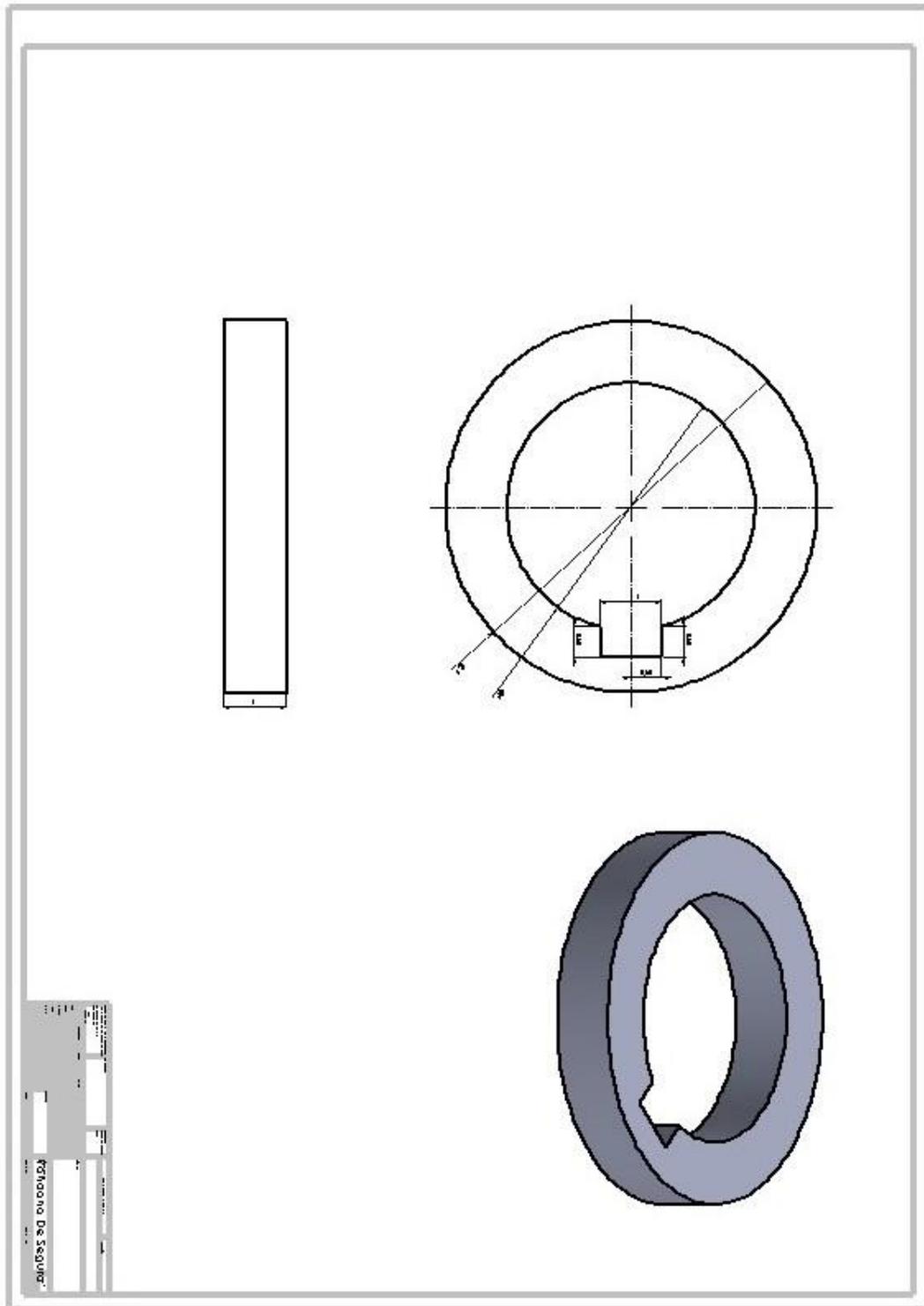


Figura 4.17
Rondana de seguro.

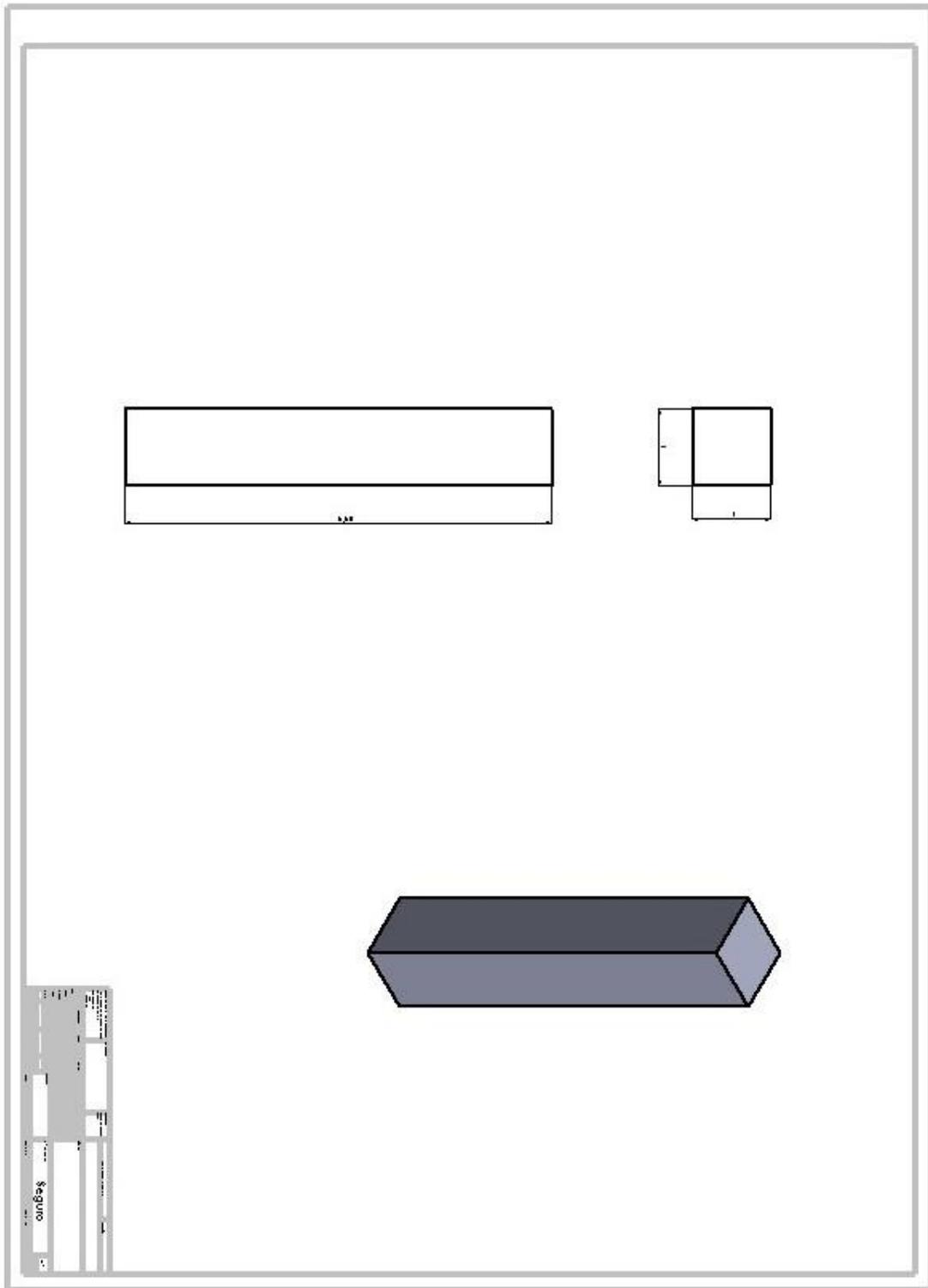


Figura 4.19

Seguro.

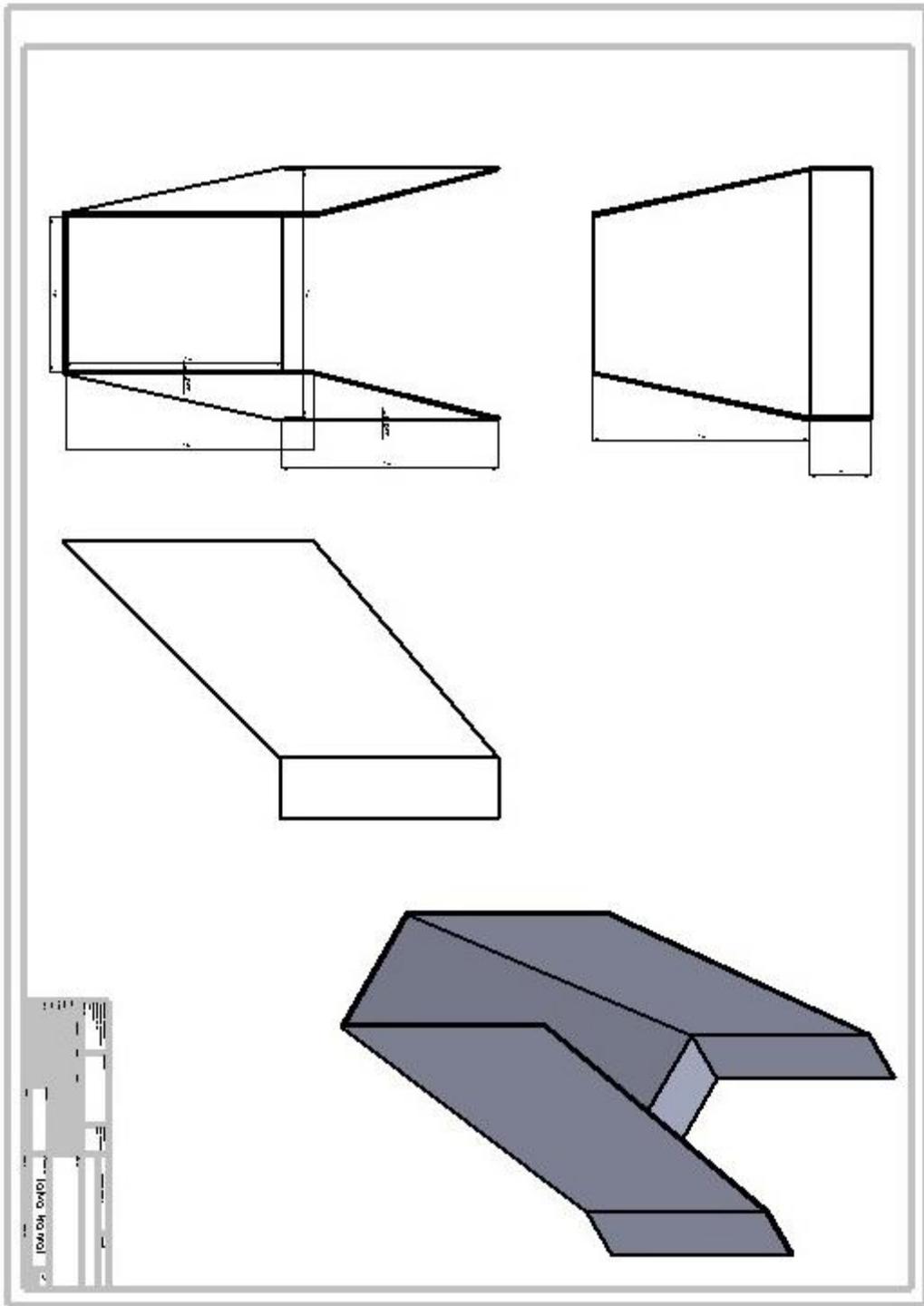


Figura 4.20
Tolva frontal.

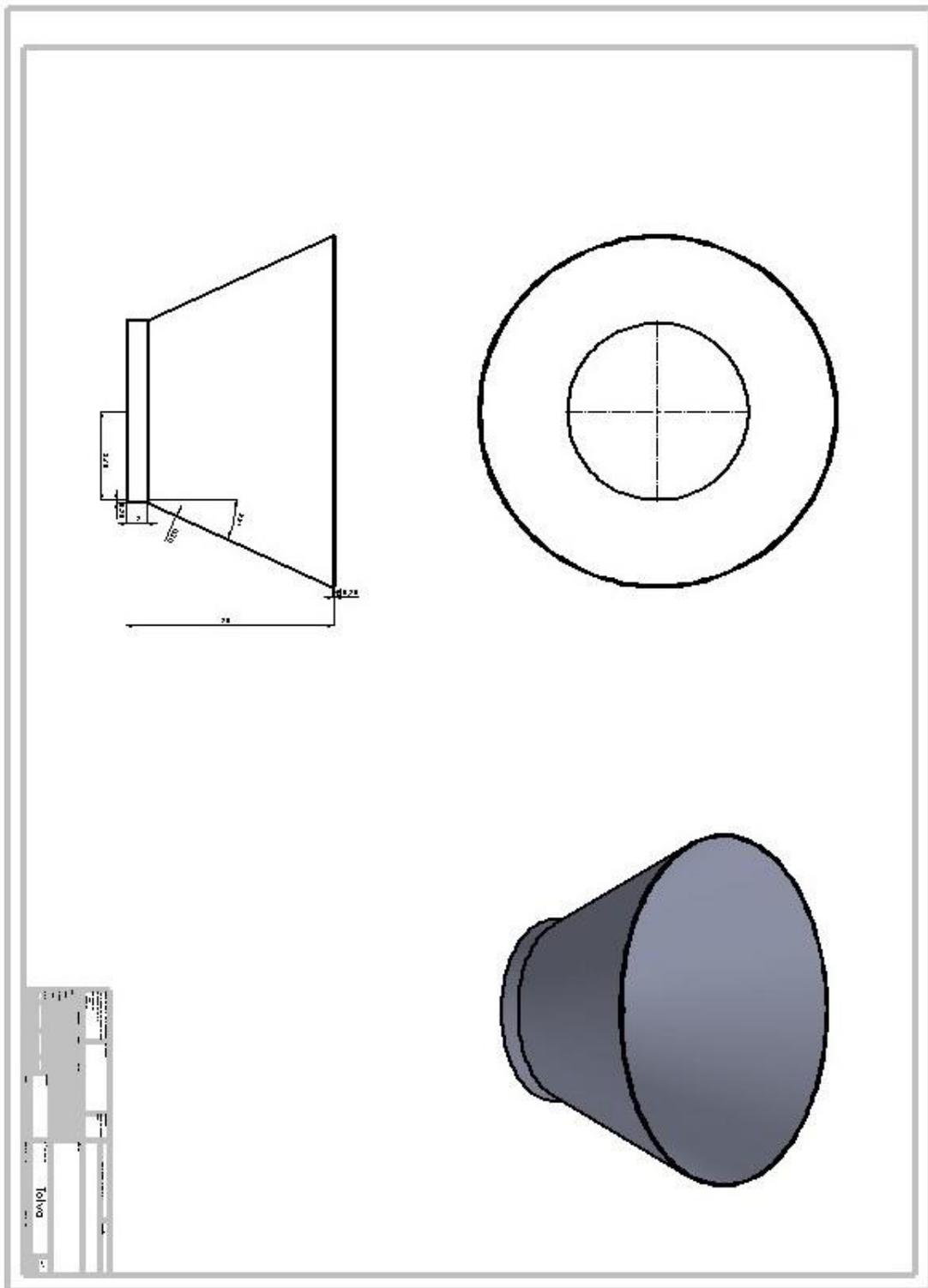


Figura 4.21

Tolva.

4.3. PROTOTIPO

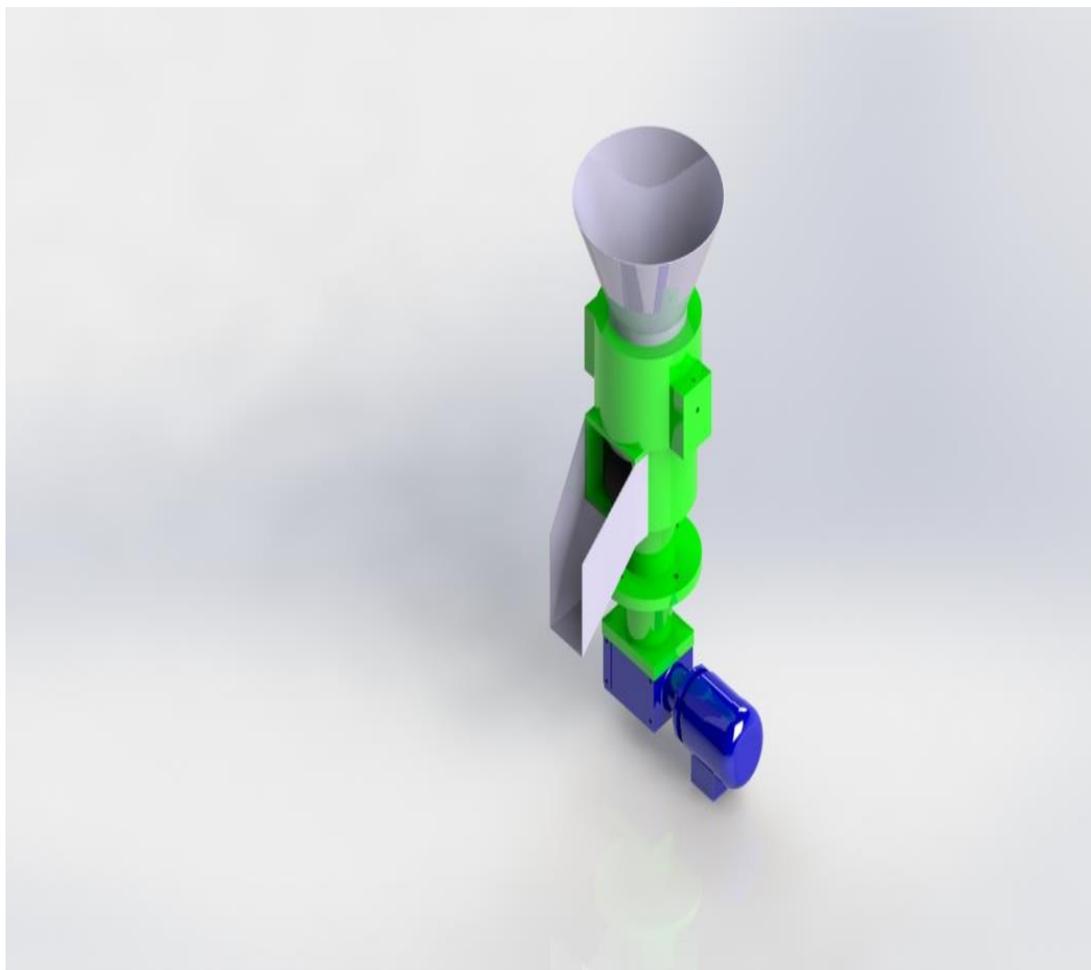


Figura 4.22

Renderizado de la máquina.

4.4. CONCLUSIÓN

A través del análisis realizado teniendo en cuenta los requerimientos y las condiciones de operación que debe de tener la máquina, se llegó a la conclusión de que el peletizado vertical es la mejor opción debido a su pequeño tamaño y su capacidad de producción.

Los resultados obtenidos para la matriz y el rodillo son óptimos para el diseño ya que sus deformaciones son muy pequeñas y sus factores de seguridad mínimos están por encima de los requeridos.

Como se pudo constatar mediante un análisis de los parámetros de funcionamiento, las exigencias de resistencia mecánica no son muy elevadas resultando en factores de seguridad muy elevados. Por lo tanto estos elementos no necesitan ser escogidos desde el punto de vista de esfuerzos sino más bien desde el ámbito de la resistencia a la corrosión y la manipulación de alimentos debido a que la contaminación del pelet.

Los aceros inoxidable 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.

Para evitar desgaste excesivo y aumento de la durabilidad de la máquina se recomienda utilizar en la matriz de peletizado y rodillos un acero AISI D2 o un acero AISI 304 inoxidable.

Es complicado establecer con veracidad algunos parámetros de fabricación debido a que no se cuenta con la información técnica necesaria.

No se encontraron relaciones entre las rpm de la matriz de peletizado, por lo tanto este dato sigue siendo estimativo en cuanto a la garantía de cumplir con una producción exacta.

4.5. BIBLIOGRAFÍA

- Mott, Robert L. 1992. 2ª. Edición. Diseño de elementos de máquinas. Editorial Prentice Hall, México.
- Budynas, Richard y Nisbett J. 2010. 8va Edición. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Editorial Mc-Graw Hill, México.
- Norton, Robert L. 2009. 4ª Edición. Diseño de maquinaria. Editorial Mc-Graw Hill, México.
- Rodríguez Román, J. C., “Diseño de una maquina peletizadora para laboratorio” Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2003.
- Arenas J. A. Diseño de una peletizadora para concentrado de animales. 1995 Tesis de Pregrado Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

4.6. GLOSARIO

Pelet: Comprimido solido en forma de cilindro pequeño.

Peletizadora: Máquina que tiene como trabajo o actividad trasforma y/o convertir la materia prima en pelet.

Extrusora: Una maquina extrusora o de extrusión es aquella que alimentada por medio de una tolva (manualmente o por un dosificador), hace pasar el material por un husillo (un tornillo sin fin), que calentado derrite el material para al final, al ser expulsado a presión por la máquina.

Sprocket: Rueda de espigas.

Estereolitografía: Es una forma de tecnología de manufactura (o impresión 3D) utilizada para la producción de modelos, prototipos, patrones, o piezas definitivas.