

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA
Y URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

TESIS

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA
DE ALIMENTOS BALANCEADOS CON
CAPACIDAD DE 150 KG/H PARA AVÍCOLAS DE
LA REGIÓN LAMBAYEQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor:

Bach. Taica Céspedes Segundo Orlando

<https://orcid.org/0000-0002-2974-7365>

Asesor:

Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva

<https://orcid.org/0000-0002-3588-8869>

Línea de Investigación:

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

**Pimentel - Perú
2020**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA PELLETIZADORA DE ALIMENTOS
BALANCEADOS CON CAPACIDAD DE 150 KG/H PARA
AVÍCOLAS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE**

APROBACIÓN DEL JURADO

Mg. Ing. Vives Garnique Juan Carlos

Presidente

Mg. Ing. Gastiaburú Morales Silvia Yvone

Secretario

Mg. Ing. Alvarado Silva Carlos Alexis

Vocal

DEDICATORIAS

A Dios, por permitir concluir esta etapa de mi vida y a mi familia por estar siempre conmigo apoyándome siempre. Especialmente a mi madre por estar siempre dándome esos consejos que siempre me ha levantado cuando más lo necesitaba a mis hermanas y hermano por apoyarme cuando lo necesite. A mi asesor que siempre nos brindaron el conocimiento necesario para hacer las cosas bien y por último a todos mis profesores que tuve el grato placer de conocer en el camino de mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer en primer lugar a Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida en donde cumplo una meta que es el culminar mi tesis para tener mi título profesional como ingeniero y ser orgullo de mi familia, la carrera no fue fácil, pero se pudo terminar gracias al esfuerzo y bastantes sacrificios durante 5 años de la carrera y teniendo el apoyo de mis padres que fueron el motivo para concluir mi carrera. Quiero agradecer a mis profesores que tuve el agrado de tener y enseñarme lo que es realmente la carrera y aprender de ellos. También quiero agradecer a mi asesor el Ing. Alvarado por tenerme paciencia y apoyarme para la culminación de mi tesis.

RESUMEN

La presente investigación presenta el diseño de una máquina peletizadora de alimento balanceado con capacidad de 150 kg/h para avícolas de la región Lambayeque, ya que se pudo verificar la problemática que existe con respecto a la obtención de este tipo de alimento que por lo general poseen químicos y falta de nutrientes. La finalidad de este proyecto es fabricar un pellet nutritivo lo suficientemente compactado y con las dimensiones correctas para ser digerido por aves de granja.

Para desarrollar el diseño primero se identificó los parámetros principales de peletizadora, como son la fricción, la resistencia a la compactación, la densidad de la materia prima y por último, la velocidad de trabajo. El diseño conceptual óptimo de la máquina se seleccionó empleando criterios ponderados a través de métodos como una matriz morfológica y evaluaciones técnicas económicas. La opción elegida fue la número 1 y se procedió a calcular cada dimensión de los elementos y sistemas de este modelo de máquina peletizadora. Se halló un diámetro para los rodillos de compresión de 6.4 cm, con un espesor del mismo valor. Una matriz horizontal de 18 agujeros con un diámetro de 25 cm, cada orificio tendrá las medidas de los pellets a producir, 5 mm de diámetros y 8 mm de longitud. El eje principal de la máquina peletizadora posee un diámetro calculado de 45 mm y será conectado con el motorreductor a transmisión directa. La potencia hallada fue de 7 HP.

Para verificar el buen diseño de los elementos críticos de la máquina se empleó un software de ingeniería, el FS hallado teóricamente fue de 2, mientras que el análisis computarizado arrojó un valor de 1.9, el error mínimo comprueba la matemática precisa de la presente investigación.

PALABRAS CLAVES: Peletizado, pellets, alimento balanceado, diámetro.

ABSTRACT

The present investigation presents the design of a pelletizing machine for balanced feed with a capacity of 150 kg / h for poultry in the Lambayeque region, since it was possible to verify the problems that exist with respect to obtaining this type of feed that generally they have chemicals and lack of nutrients. The purpose of this project is to manufacture a nutritious pellet sufficiently compacted and with the correct dimensions to be digested by farm birds.

To develop the design, the main parameters of the pelletizer were first identified, such as friction, resistance to compaction, the density of the raw material and lastly, the working speed. The optimal conceptual design of the machine was selected using weighted criteria through methods such as a morphological matrix and economic technical evaluations. The chosen option was number 1 and each dimension of the elements and systems of this pelletizing machine model was calculated. A diameter for the compression rollers of 6.4 cm was found, with a thickness of the same value. A horizontal matrix of 18 holes with a diameter of 25 cm, each hole will have the measurements of the pellets to be produced, 5 mm in diameters and 8 mm in length. The main shaft of the pelletizing machine has a calculated diameter of 45 mm and will be connected to the direct drive gear motor. The power found was 7 HP.

Engineering software was used to verify the good design of the critical elements of the machine, the FS found theoretically was 2, while the computerized analysis yielded a value of 1.9, the minimum error verifies the precise mathematics of the present investigation.

KEY WORDS: Pelletized, pellets, balanced feed, diameter.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad Problemática	11
1.1.1. Internacional	11
1.1.2. Nacional	11
1.1.3. Local	12
1.2. Antecedentes de Estudio.....	13
1.2.1. Internacional	13
1.2.2. Nacional	14
1.2.3. Local	15
1.3. Teorías relacionadas al tema	16
1.3.1. Alimento balanceado	16
1.3.1.1. Clasificación de los alimentos balanceados	16
1.3.1.2. Tipos de mezclas para alimentos balanceados	17
1.3.2. Pellet	18
1.3.3. Características físicas del pellet.....	18
1.3.4. Etapas de peletización.....	19
1.3.5. Máquina peletizadora.....	19
1.3.6. Tipos de máquinas peletizadoras	20
1.3.6.1. Máquina peletizadora de matriz anular	20
1.3.6.2. Máquina peletizadora de matriz plana	21
1.3.7. Elementos principales de una máquina peletizadora	21
1.3.8. Principio de funcionamiento de una máquina peletizadora	22
1.3.9. Diseño de una máquina peletizadora	23
1.3.9.1. Volumen de una tolva de alimentación	23
1.3.9.2. Radio de los rodillos.....	24
1.3.9.3. Masa de los rodillos.....	24
1.3.9.4. Área de los agujeros de la matriz	25
1.3.9.5. Presión de los rodillos	25
1.3.9.6. Velocidad de los rodillos.....	26
1.3.9.7. Velocidad del eje principal.....	28
1.3.9.8. Número de agujeros de la matriz.....	28
1.3.9.9. Potencias del sistema.....	31
1.3.9.10. Potencias y RPM del motor eléctrico	32
1.3.9.11. Diámetro del eje principal	32

1.3.10.	Normas asociadas a la producción de pellets a base de alimento balanceado	33
1.3.11.	Definición de términos.....	34
1.4.	Formulación del problema.....	34
1.5.	Justificación e importancia del estudio.....	35
1.5.1.	Justificación Ambiental	35
1.5.2.	Justificación Económica	35
1.5.3.	Justificación Social	35
1.5.4.	Justificación Técnica.....	35
1.6.	Hipótesis	36
1.7.	Objetivos	36
1.7.1.	Objetivo General.....	36
1.7.2.	Objetivo Específicos	36
II.	MATERIAL Y MÉTODO.....	38
2.1.	Tipo y Diseño de Investigación	38
2.2.	Población y muestra	38
2.3.	Variables, Operacionalización	38
2.3.1.	Variables independientes	38
2.3.2.	Variables dependientes	38
2.3.3.	Operacionalización de variables	39
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	41
2.4.1.	Abordaje metodológico.....	41
2.4.1.1.	Analítico	41
2.4.1.2.	Deductivo	41
2.4.1.3.	Inductivo.....	41
2.4.2.	Técnicas e instrumentos	42
2.4.3.	Procedimientos para la recolección de datos	43
2.5.	Procedimiento de análisis de datos.....	43
2.6.	Criterios éticos	44
2.7.	Criterios de Rigor científico.....	46
III.	RESULTADOS	48
3.1.	Requerimiento de diseño	48
3.1.1.	Parámetros del proceso de peletización	48
3.1.1.1.	Densidad del alimento balanceado.....	48
3.1.1.2.	Resistencia a la compresión del alimento balanceado	48

3.1.1.3. Fricción.....	48
3.1.1.4. Velocidad angular	48
3.1.2. Diseño conceptual óptimo de la máquina peletizadora	49
3.1.2.1. Lista de exigencias	49
3.1.2.2. Estructura de funciones	50
3.1.2.3. Matriz morfológica de conceptos de solución.....	50
3.1.2.4. Evaluación técnica económica	54
3.1.2.5. Selección del diseño conceptual óptimo	56
3.1.3. Dimensionamiento de los elementos y sistemas de la máquina peletizadora	56
3.1.3.1. Capacidad de la máquina peletizadora	57
3.1.3.2. Dimensionamiento de la tolva de alimentación	57
3.1.3.3. Dimensionamiento de los rodillos de compresión	60
3.1.3.4. Dimensionamiento de la matriz plana de agujeros.....	64
3.1.3.5. Dimensionamiento de las cuchillas de corte	68
3.1.3.6. Dimensionamiento del motorreductor.....	69
3.1.3.7. Dimensionamiento del eje principal.....	70
3.1.3.8. Dimensionamiento del rodamiento	74
3.1.3.9. Dimensionamiento de las chavetas del eje.....	75
3.1.4. Diseño de la máquina peletizadora	80
3.1.4.1. Diseño de la tolva de alimentación	80
3.1.4.2. Diseño del sistema de rodillos de compresión	81
3.1.4.3. Diseño de la matriz plana de agujeros.....	81
3.1.4.4. Diseño de las cuchillas de corte	82
3.1.4.5. Diseño del eje principal.....	82
3.1.4.6. Diseño general de la máquina peletizadora.....	83
3.1.5. Estudio de fatiga de los elementos críticos de la máquina peletizadora	83
3.1.5.1. Simulación estática del eje principal	83
3.1.5.2. Simulación estática de la estructura de soporte.....	85
3.2. Discusión de resultados	87
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES	90
REFERENCIAS	91
ANEXOS.....	95

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

1.1.1. Internacional

La deficiencia de los nutrientes ocasiona que los animales no manifiesten toda su facultad de producción. Los estudios a nivel mundial en las últimas dos décadas, confirman una exigencia nutricional de las aves, la cual permite el empleo de materias primas que sostengan la rentabilidad del negocio avícola sin impactar de manera negativa en la calidad del producto y los resultados zootécnicos. Es importante encontrar una comida rica en proteína que pueda ser digerida por las aves, ya que el propósito de la producción es la eficiente conversión de proteína presente en la dieta balanceada, en proteína muscular por medio del uso óptimo de energía que contienen los alimentos (Torres, 2018).

La utilización de alimentos balanceados tipo pellets fue iniciado en el año 1930, por Europa, y con el paso del tiempo la configuración de esta forma de comida balanceada se ha ido modificando, tanto el molde como los procesos, llegando alcanzar técnicas más eficientes y modernas (Albán & Arias, 2019).

1.1.2. Nacional

En el Perú, el mayor desarrollo de la producción de alimentos balanceados se llevó a cabo durante la década de 1960, en estos años el sector avícola local empezó su desarrollo (Ministerio de Agricultura y Riego, 2020).

En el 2015 se registró una producción de 2 millones de toneladas de alimento balanceado destinado para aves. Es una actividad que tiene un crecimiento constante, la cual es directamente proporcional al aumento de números de aves de corral como la gallina, patos, pavos y pollos (Alcántara et al., 2016).

La presencia de máquinas procesadoras de pellets en base a alimento balanceado en el Perú, es casi nula. Existen empresas como “Olympia Group” que fabrican

peletizadoras desde hace más de 20 años, pero son equipos diseñados para trabajar con plástico (Olympia Group, 2020). Eco-Tech Corporation S.A.C. es otra empresa peruana que diseña máquinas peletizadoras pero con capacidades de producción muy altas, entre 400 y 800 kg/h (Eco-Tech, 2015).

1.1.3. Local

En el 2010 Lambayeque tuvo una producción de 22 976 toneladas de alimentos balanceados, del cual el 31.7% era comida para granjas avícolas. Lambayeque sigue siendo un destacado departamento agropecuario, en el 2017 tuvo un gran crecimiento en producción de alimento balanceado, alcanzando ganancias de 21, 3 millones US\$ por exportar este producto casi en su totalidad a Ecuador, entre los meses de Enero y Junio. El responsable directo del crecimiento de los alimentos balanceados en la región es la empresa Agribands, la cual cuenta con una planta de procesos ubicada en la capital de Lambayeque (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2017).

En Lambayeque existe una empresa de nombre NutreLamb que es una de las pocas empresas, no solo en la región, sino también del país, que vende alimento balanceado peletizado para animales del sector avícola y ganadero (NutreLamb, 2020).

La mayoría de las avícolas de la región comprar un alimento balanceado para sus aves conocido como “engorde”. Este producto es peletizado y se vende en bolsas plásticas que pueden contener hasta 50 kg de estos pequeños pellets que no sobrepasan 1 cm de largo. La finalidad de esta investigación es el diseño de una máquina peletizadora de alimento balanceado que cuente con la capacidad necesaria para cubrir la demanda diaria de comida para animales de una avícola.

1.2. Antecedentes de Estudio

Los trabajos de investigación que se mencionan en la presente tesis son precedentes de la misma.

1.2.1. Internacional

Borgiattino, E. & Pilla, G. (2020) diseñaron y desarrollaron una máquina de molienda y peletizado de cáscara de maní como proyecto final en la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Con la intención de generar un biocombustible sólido a través de la creación de pellets, brindar solución a la suciedad generada, a la incineración innecesaria y reducir espacios, seleccionaron y calcularon cada parte que formó la máquina, desde la tolva de llenado hasta el chasis móvil, completando un total de 8 sistemas o elementos unificados. La molienda estaba formada por un mecanismo de martillos, al cual se le realizaron los cálculos electromecánicos correspondientes y se halló una potencia de molienda de 2.53 HP, que se convirtió en 4 HP por el factor de servicio. Con este dato se seleccionó un motor eléctrico de 9.85 Nm de 2 polos con 9210 rpm de salida. El peletizado estaba constituido por un sistema de rodillos móviles ubicados encima de una matriz plana horizontal con agujeros del mismo diámetro que permitían la uniformidad de los pellets. Los rpm hallados para este proceso fue de 60 rpm, mientras que la potencia del peletizado calculada fue de 40 HP, que con el factor de servicio pasó a ser 50 HP. Debido a la velocidad lenta de este proceso se empleó un reductor de velocidad. La máquina de molienda y peletizado alcanzó una producción de 500 kg/h y puede fabricar pellets a base de cualquier biomasa que tenga densidades parecidas a la cáscara de maní.

Albán, E. & Arias, A. (2019) llevaron a cabo el diseño, construcción e implementación de una máquina de alimentos balanceados para el sector pecuario con capacidad de 100 kg/h en la ciudad de Quito, Ecuador. Proyectando un pellets con dimensiones de 10 mm de largo y 5 mm de diámetro, plantearon el modelo de la máquina dividiéndola en 4 subsistemas fundamentales, sistema de transmisión de movimiento, sistema de alimentación, sistema de compresión y el sistema de corte de los pellets. Luego de realizar los cálculos matemáticos se procedió a seleccionar los elementos que conformarían cada sistema, hallando así un motor de gasolina de

16 HP y 30 Nm que transmite su potencia a través de poleas, fajas y engranajes, una tolva de 0.065 m³ para la alimentación, una matriz fija y rodillos de compresión giratorios para la compactación de la materia prima y una cuchilla capaz de realizar cortes de los pellets a la longitud requerida. El buen diseño de la máquina permitió lograr una producción de hasta 160 kg/h, sobrepasando la capacidad deseada y el análisis económico demostró la viabilidad del proyecto, arrojando un plazo de 5 meses aproximadamente para el retorno de la inversión.

Chaparro, F. & Quintero, J. (2017) rediseñaron el sistema de rodillos de una peletizadora vertical de alimento concentrado para pollos perteneciente a una empresa ubicada en Bogotá, Colombia, dedicada a la producción de pellets para el levante, engorde y sostenimiento de estas aves. La problemática del proyecto se basó en el alto porcentaje (18%) de materia prima que tenía que ser reprocesada constantemente debido a la ineficiente compactación del pellet final. Ejecutaron nuevos cálculos sobre dicho sistema de compresión teniendo como datos originales una velocidad de 70 rpm en los 6 rodillos de 0.254 m (10 pulg) de diámetro y un espesor de 60 mm para la matriz plana. El actual análisis matemático arrojó un diámetro de 9 pulgadas para el rodillo de compresión y un espesor de 75 mm para la matriz horizontal. Con estas dimensiones incrementaron el porcentaje de compactación en un 14,43%, mejorando claramente la producción de pellets de la empresa.

1.2.2. Nacional

Luque, E. (2019) diseñó una máquina mezcladora de alimento balanceado para pequeñas granjas ganaderas en el departamento de Lima, Perú. Empleando cálculos de estática y resistencia de materiales y teniendo como variables independientes la capacidad, velocidad y tiempo de mezclado, se desarrolló el diseño de la máquina mezcladora teniendo en cuenta una carga de 350 kg. Los resultados brindaron un tiempo de mezcla entre 13 y 18 minutos a una velocidad de 17.5 RPM, y el diseño de la máquina estuvo formado por una tolva (cámara) de 0.7411 m³ para la entrada y mezcla de la materia prima, un eje principal ASTM A36 de 50 mm de diámetro y

factor de seguridad de 2.5, un sistema de varillas de 400 mm de largo, unas hélices de 4.7 mm de espesor y un motor eléctrico de 4 HP de potencia. La máquina mezcladora de alimento balanceado aumenta la rentabilidad anual en un 20%, que al final se transforma en un ahorro al momento de comprar alimentos balanceados, y el regreso de la inversión se da en un plazo de 4 años.

Julcamoro, C. (2018) llevo a cabo el diseño de una máquina peletizadora para reducir volumen de residuos sólidos en el relleno sanitario Namora-Cajamarca del período 2017. Teniendo como finalidad la salud de la población, protección del medio ambiente y la estética del entorno se plasmó el esquema de diseño basado en la capacidad (300 kg/h) y en el conjunto de partes que formaron la máquina. Así se seleccionó y halló una tolva de alimentación con un volumen de $0.26 m^3$, un motor eléctrico de 15 HP, rodillos con una velocidad de 420 RPM, un sistema de poleas y fajas, un eje de 76 mm de diámetro y 76.52 cm de largo y una cuchilla para cortar los pellets. El análisis económico arrojó una inversión total de S/ 38,325.00 con una gran rentabilidad (VAN 15 760.22 y TIR 23.20%), y el buen diseño de la máquina permite un trabajo continuo de peletizado de 10 horas, logrando alcanzar un total de 150 toneladas de pellets por día.

1.2.3. Local

Fiestas, J. & Vargas, F. (2018) realizaron el diseño de una máquina procesadora de pellets en base a merma de arroz con capacidad de 200 kg/h para la empresa Escaly S.R.L. – Lambayeque. Partiendo del total de merma reutilizable que arroja los distintos procesos de la producción de arroz y las dimensiones que debe tener un granulo según la Norma Europea EN 1496, se seleccionó un diámetro de 6 mm para pellet. Se definió los sistemas a utilizar para la peletizadora a través de variables planteadas utilizando la metodología de la caja negra y 3 configuraciones de diseño. Con el método de investigación empleado se seleccionó y hallo un diámetro de 51 mm y un FS de 3 para el eje principal, una matriz horizontal de 119 agujeros y 30 mm de espesor, 2 rodillos de compresión con espesor de 7 cm y un diámetro de 14 cm, un sistema de poleas y correas conectadas a un motor eléctrico de 40 HP y una velocidad de trabajo de 467 RPM. La comprobación de resultados del diseño

mecánico se ejecutó empleando el software SolidWorks, el cual brindó un porcentaje de error por debajo del 2%, eso demostró el buen cálculo matemático y la viabilidad del diseño, además, la máquina procesadora de pellets aseguró el retorno de la inversión en el mismo año.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Alimento balanceado

El alimento balanceado es una mezcla de nutrientes a base de materias primas como el maíz, la soya, trigo, etc., que tiene como objetivo asegurar una dieta equilibrada y cumplir con las exigencias nutricionales (Chachapoyas, 2014).

Los alimentos balanceados son la materia prima principal para el proceso y producción constante de carne, ya sea de aviar, porcina, acuícola, ovina o vacuna, y otros productos de animales como huevos (Gambaudo, 2014).



Figura No 1. Alimento balanceado

Fuente: Ediciones pecuarias, 2019

1.3.1.1. Clasificación de los alimentos balanceados

Existen tres tipos de alimentos balanceados de acuerdo a su composición (Chachapoyas, 2014):

- **Prácticos:** Su elaboración se centra en alimentos disponibles y asequibles. Es una preparación que tiene como objetivo satisfacer los requerimientos nutricionales a un bajo costo.
- **Purificados:** Su elaboración se basa en la mezcla de ácidos grasos, aminoácidos sintéticos y carbohidratos de composición reconocida, minerales químicamente puros y vitaminas. Es una preparación costosa y mayormente se ejecuta con fines científicos.
- **Semi-purificados:** Es una preparación que posee ingredientes orgánicos naturales en su forma más limpia y pura. Su elaboración se emplea para calcular la eficiencia de los elementos alimenticios en términos de ganancia de peso, talla y conversión sustancial.

1.3.1.2. Tipos de mezclas para alimentos balanceados

De acuerdo al uso o consumo, en la industria de alimentos existen tres tipos de mezclas (Chachapoyas, 2014):

- **Peletización:** Es una mezcla basada en el acondicionamiento de vapor de agua a la materia prima finamente molida y mezclada, con la finalidad de lograr una hidratación a temperaturas que varíen desde los 60 hasta los 80°C. La masa caliente extraída pasa a un proceso de formación estructural cilíndrica conocido como pellet. Las dimensiones de un pellet cambian en base al tipo de alimento que se requiera.
- **Seco o polvo:** Es una agregación de sustancias sin interacción química entre ellas. La composición es un factor que genera variaciones en las propiedades de la mezcla y esto depende de la manera o método de preparación. En una mezcla homogénea la composición y el aspecto son uniformes, mientras que en una mezcla heterogénea su separación física es notoria.
- El tercer tipo de mezcla es un proceso por medio del cual se obliga a una mezcla de extrusión o sustancia pasar por un troquel, generando así diversas formas de sección uniforme empleadas en la industria de la alimentación y otras, este proceso se puede efectuar en frío o caliente.

1.3.2. Pellet

Es una aglomeración de pequeñas partículas mezcladas que forman unidades largas cilíndricas y compactadas por medio de un proceso mecánico combinado con calor, presión y humedad. Todo eso genera un mejoramiento de las propiedades y características de las materias primas que forman dichos pellets (Hernández, Gonzáles & Landeros, 2016).



Figura No 2. Pellet

Fuente: Hargassner, 2016

1.3.3. Características físicas del pellet

En la siguiente tabla se detalla las características físicas de los pellet para diversos tipos de animales (Albán & Arias, 2019):

Tabla No 1

Características físicas de los pellet según el animal

TIPO	Largo	Diámetro	Peso	Densidad	Humedad
GANADO	(mm)	(mm)	(g)	(kg/m³)	(%)
Aves	4-8	4	0.005	650-700	<10
Vacas	10-15	8	0.008	700-750	<15
Cerdos	5-10	6	0.008	700-750	<15
Conejos	5-10	5	0.009	600-650	<8

Fuente: Albán & Arias, 2019

1.3.4. Etapas de peletización

Generalmente el proceso de peletización tiene las siguientes etapas (Hernández, Gonzáles & Landeros, 2016):

- Molienda: Es el desmenuzamiento de una materia sólida mediante el uso de una fuerza externa hasta reducirla a pedazos de mínimo tamaño.
- Preparación: Arreglo o disposición de las materias primas necesarias que compondrán el pellet.
- Mezclado: Es la unión de los diferentes ingredientes que formaran el pellet.
- Alimentación: Es el ingreso de la materia prima hacia el acondicionador para luego entrar al proceso de peletización.
- Acondicionamiento: Es la cocción de la mezcla mediante una inyección de aire caliente o vapor a temperaturas que oscilan entre 60 y 90°C.
- Peletización: Es la compactación o compresión de la masa mediante una matriz con orificios, la cual determina el diámetro. El largo del pellet se determina por una cuchilla regulable instalada en la parte posterior de la matriz.

1.3.5. Máquina peletizadora

Una máquina peletizadora es un equipo capaz de convertir o transformar la materia prima en pequeños cuerpos de forma cilíndrica, conocidos como pellet mediante una actividad o trabajo mecanizado (Fiestas & Vargas, 2018).



Figura No 3. Máquina peletizadora

Fuente: Leenztools, 2010

1.3.6. Tipos de máquinas peletizadoras

En la actual industria existe una variedad de máquinas procesadoras de pellets, las cuales emplean como potencia motriz un motor eléctrico o en la minoría de casos, un motor de combustión interna de ciclo otto o diésel. Los pellets formados por estas máquinas pueden ser de materias primas como alimentos balanceados, polímeros, madera, entre otros. Por su principio de acción, las máquinas peletizadoras se pueden clasificar en dos tipos; de matriz anular y de matriz plana (Albán & Arias, 2019).

1.3.6.1. Máquina peletizadora de matriz anular

Las máquinas peletizadoras de matriz anular están formadas por un cilindro hueco con agujeros en su cuerpo, el cual trabaja como cámara de aglutinado. La materia prima al ser peletizada es empujada por medio de unos cilindros giratorios desde el interior hacia el exterior de la matriz. Mayormente este tipo de peletizadora es utilizada para volúmenes de alta producción y debido a esto es que necesita de una fuente de energía de gran potencia (Albán & Arias, 2019).

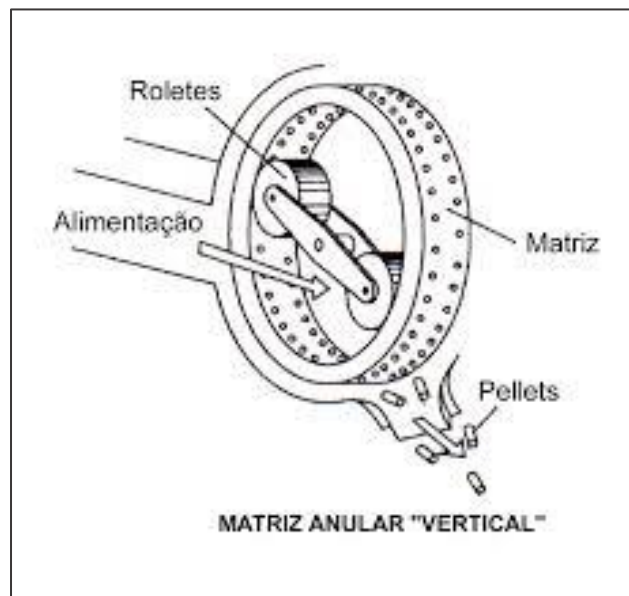


Figura No 4. Máquina peletizadora de matriz anular

Fuente: Silo.Tips, 2017

1.3.6.2. Máquina peletizadora de matriz plana

La peletizadora de matriz plana posee una forma cilíndrica horizontal con un número específicos de agujeros por los cuales pasa la materia prima compactada por medio de un sistema de rodillos que giran sobre ella en el mismo sentido. Estas máquinas peletizadoras por lo general son utilizadas para niveles de producción medios y bajos, su costo es bajo a comparación de la peletizadora de matriz anular (Albán & Arias, 2019).



Figura No 5. Máquina peletizadora de matriz plana

Fuente: Ortizco, 2020

1.3.7. Elementos principales de una máquina peletizadora

De manera general se distinguen 3 elementos principales en una máquina peletizadora, los cuales son (Borgiattino & Pilla, 2020):

- Rodillos de compresión: Elementos encargados de expandir el material pre compactado y obligarlo a pasar a través de los agujeros de la matriz, este proceso es conocido como extrusión. El sistema de rodillos va sujeto sobre ejes que soportan su peso y a la vez entregan la potencia transmitida por el eje principal de la máquina conectado al motor. Para incrementar la tracción de los rodillos con la masa se le suele hacer ranuras a la superficie cilíndrica externa.

- Matriz: Es el elemento donde se realiza la extrusión y formación del pellet, proporciona una superficie sobre la cual se ubican un número sin fin de agujeros.
- Cuchilla: Pieza encargada de cortar el pellet a una longitud finita que es retirada por los orificios de la matriz con la ayuda de los rodillos. Las cuchillas brindan una medida deseada del pellet y se puede regular jugando con su ubicación, eso quiere decir que la longitud de los pellet depende de la distancia entre la cuchilla y la matriz.

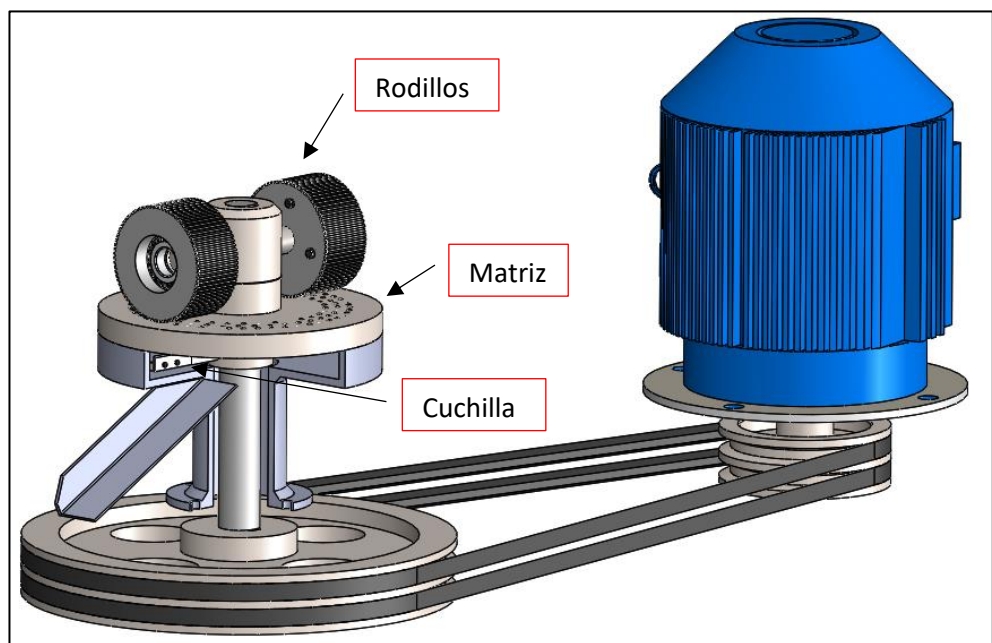


Figura No 6. Procesadora de pellets

Fuente: Adaptado de Fiestas & Vargas, 2018

1.3.8. Principio de funcionamiento de una máquina peletizadora

Los rodillos de compresión se posicionan frente a la capa yacida de la materia prima seleccionada. Estos elementos generan presión sobre la masa y la obligan a pasar dentro de los agujeros de la matriz, esto genera una primera forma. Cuando los rodillos pasan nuevamente por la materia ya compactada presionan nueva masa dentro de los mismos agujeros, generando la forma final del pellet (Fiestas & Vargas, 2018).

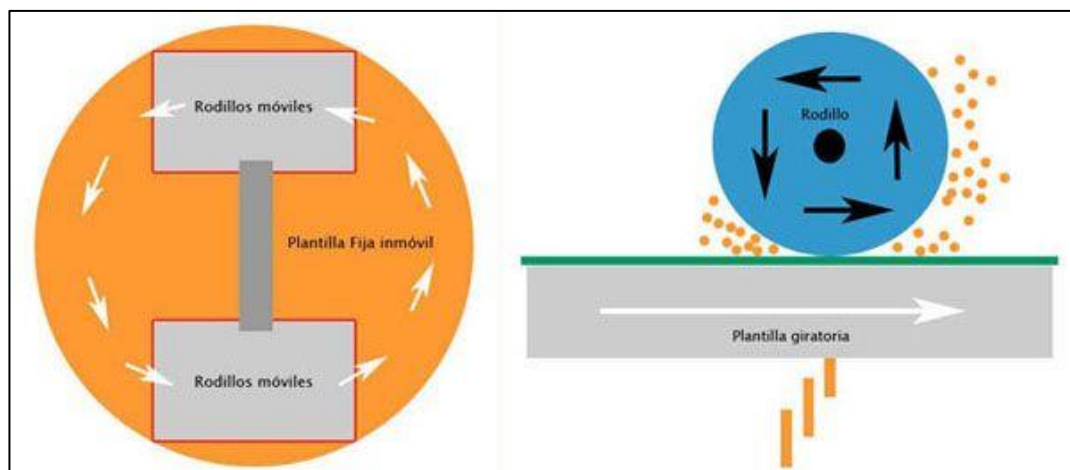


Figura No 7. Principio de funcionamiento de una máquina peletizadora

Fuente: Bricoblog, 2014

1.3.9. Diseño de una máquina peletizadora

El diseño de una máquina peletizadora está en función a las dimensiones y tipo de mecanismo que esta tenga, ya sea de matriz plana o matriz anular. Ambos factores se pueden detallar matemáticamente empleando ecuaciones y fórmulas.

1.3.9.1. Volumen de una tolva de alimentación

El volumen de la tolva de una máquina peletizadora es la representación del volumen de un tronco de cono, cuyas bases son paralelas y poseen superficies A para el área mayor, y a, para el área menor, y además, una altura h.

Para determinar el volumen de la tolva se emplea la siguiente fórmula (Albán & Arias, 2019):

$$V = \frac{1}{3} \pi h_t (R_t^2 + r_t^2 + R_t r_t)$$

Dónde:

V = Volumen de la tolva (m^3)

h_t = Altura de la tolva (m)

R_t = Radio del área mayor de la tolva (m)

r_t = Radio el área menor de la tolva (m)

1.3.9.2. Radio de los rodillos

El radio de los rodillos se halla tomando en cuenta las alturas del material sobre la matriz antes y después del tránsito de los rodillos (Arpi & Calderón, 2010):

$$r_r = \frac{h_o - h_f}{\mu^2}$$

Donde:

h_o = Altura inicial del material cuando cae en la matriz (m)

h_f = Altura final del material después del tránsito del rodillo (m)

μ = Coeficiente de fricción entre el alimento balanceado y el material del rodillo

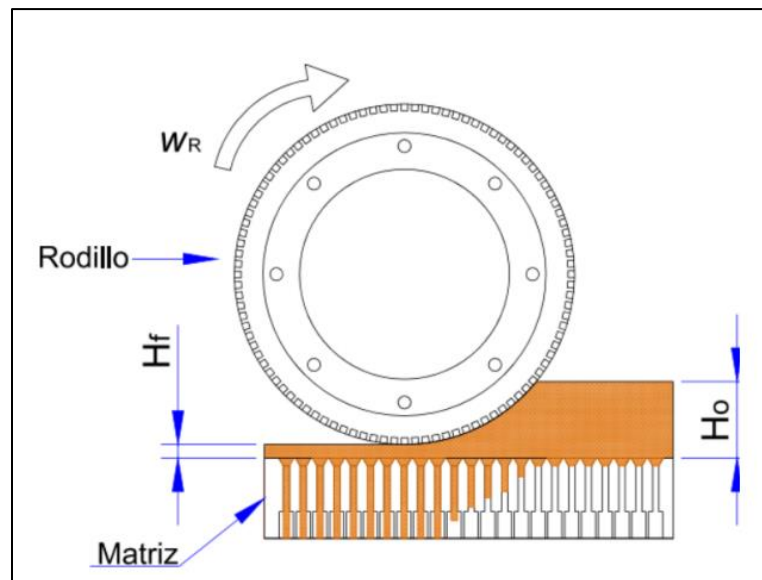


Figura No 8. Zona de compresión

Fuente: Chaparro & Quintero, 2017

1.3.9.3. Masa de los rodillos

La masa del rodillo se puede hallar de la siguiente manera:

$$m_r = V_r \times \rho_r$$

Donde:

V_r = Volumen del rodillo (m^3)

ρ_r = Densidad del material del rodillo (kg/m^3)

Si el volumen del rodillo se considera no hueco, la ecuación sería la siguiente:

$$V_r = \pi r_r^2 h_r$$

Donde:

h_r = Altura o espesor del rodillo (m)

r_r = Radio del rodillo (m)

1.3.9.4. Área de los agujeros de la matriz

La presión de los rodillos es una magnitud física que calcula la fuerza aplicada de estos elementos sobre el

El área de extrusión o dado se calcula empleando la siguiente ecuación geométrica:

$$A_e = \pi r_d^2$$

Donde:

r_d = Radio del área del dado (m)

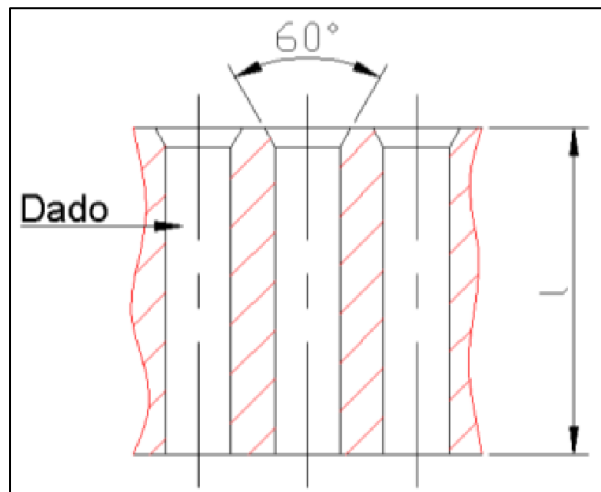


Figura No 9. Dado de una matriz

Fuente: Arpi & Calderón, 2010

1.3.9.5. Presión de los rodillos

La presión de los rodillos es una magnitud física que calcula la fuerza aplicada de estos elementos sobre el área de un cilindro. La fórmula es la siguiente (Malla, 2015):

$$P = \frac{f}{A_e}$$

Donde:

P = Presión de los rodillos (Pa)

f = Peso de los rodillos (N)

A_e = Área de extrusión o dado (m^2)

El peso de los rodillos brindada por su masa y la gravedad se puede calcular de la siguiente manera:

$$f = m_r \times g$$

Donde:

m_r = Masa (kg)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2)

1.3.9.6. Velocidad de los rodillos

La velocidad lineal de los rodillos se puede hallar de la siguiente manera (Malla, 2015):

$$v_r = \omega_r \times r_r$$

Donde:

v_r = Velocidad lineal de los rodillos (m/s)

ω_r = Velocidad angular de los rodillos (rad/s)

r_r = Radio de los rodillos (m)

La velocidad angular de los rodillos se puede hallar con la siguiente ecuación (Malla, 2015):

$$\omega_r = \frac{v_{tr}}{r_r}$$

Donde:

v_{tr} = Velocidad tangencial de los rodillos (m/s)

La velocidad tangencial de los rodillos se calcula con la siguiente ecuación:

$$v_{tr} = \sqrt{a n_r \times r_r}$$

Donde:

an_r = Aceleración normal del rodillo (m/s^2)

La aceleración normal del rodillo se puede hallar con la siguiente ecuación:

$$an_r = \frac{f_r}{m_r}$$

Donde:

f_r = Fuerza de compresión del rodillo (N)

La fuerza de compresión del rodillo se calcula tomando en cuenta la presión de compresión y el área donde se aplica dicha presión. Entonces:

$$f_r = P_R \times A_e$$

Donde:

P_R = Presión de compresión del rodillo (Pa)

La presión de compresión del rodillo se calcula de la siguiente manera (Arpi & Calderón, 2010):

$$P_R = \gamma_{ab} \times E_e$$

Donde:

γ_{ab} = Esfuerzo de fluencia del alimento balanceado (Pa)

E_e = Deformación de extrusión

La deformación de extrusión depende de las constantes que se les asocia a los ángulos de avellanado que tengan los orificios de la matriz y la relación de compresión. Se puede expresar con la siguiente fórmula (Arpi & Calderón, 2010):

$$E_e = a + [b \times \ln(Rc)]$$

Las constantes para los ángulos de avellanado de los orificios de la matriz son los siguientes:

Tabla No 2

Constantes para los ángulos de avellanado de los orificios de la matriz

Para un ángulo entre 50° y 60°		Para un ángulo entre 30° y 45°	
a	0.8 – 0.9	a	0.7 – 0.78
b	1.2 – 1.5	b	1 – 1.1

Fuente: Arpi & Calderón, 2010

La relación de compresión se halla con la siguiente fórmula (Technical Research Centre of Finland, 2002):

$$Rc = \frac{1}{d_p/l_p}$$

Donde:

d_p = Diámetro del pellet (mm)

l_p = Longitud del pellet (mm)

1.3.9.7. Velocidad del eje principal

La velocidad del eje principal es recibida por el motor eléctrico a través de una transmisión, y es la velocidad con la que giraran el sistema de rodillo sobre la superficie de la matriz con agujeros. Esta velocidad se puede hallar de la siguiente manera:

$$\omega = \frac{v_{tr}}{r_m}$$

Donde:

ω = Velocidad angular de giro del eje principal (rad/s)

r_m = Radio de la matriz con agujeros (m)

1.3.9.8. Número de agujeros de la matriz

El número de agujeros de la matriz se halla con la siguiente ecuación (Arpi & Calderón, 2010):

$$N_a = \frac{Q}{(v_e \times N_r \times A_e)}$$

Donde:

N_a = Número de agujeros de la matriz

Q = Flujo volumétrico de peletizado (m^3/s)

v_e = Velocidad de extrusión (m/s)

N_r = Número de rodillos

El flujo volumétrico es la multiplicación de la capacidad de la máquina en (kg/h) por el volumen específico del pellet (m^3/kg), que no es nada más que el inverso de la densidad del mismo (kg/m^3). Este último valor se puede hallar de la siguiente manera:

$$\rho_p = p_{ab} \times Rc$$

Donde:

ρ_p = Densidad del pellet (kg/m^3)

p_{ab} = Densidad del alimento balanceado (kg/m^3)

Rc = Relación de compresión

La velocidad de extrusión se halla teniendo en cuenta las ecuaciones cinemáticas de la velocidad:

$$v_e = v_o + (a_e \times t_e)$$

Donde:

v_o = Velocidad inicial cuando sale del reposo (0 m/s)

a_e = Aceleración de extrusión (m/s^2)

t_e = Tiempo de extrusión (s)

La aceleración de extrusión se halla con la siguiente ecuación (Arpi & Calderón, 2010):

$$a_e = \frac{f_r - f_k}{m_{ab}}$$

Donde:

f_k = Fuerza de fricción (N)

m_{ab} = Masa total del alimento balanceado (kg)

La fricción que se opone al movimiento de los rodillos se puede hallar con la siguiente ecuación (Technical Research Centre of Finland, 2002):

$$f_k = \mu \times P_0 \times d_p \times l_p$$

Donde:

P_0 = Presión en las paredes del dado (Pa)

La presión en las paredes de los orificios se puede calcular de la siguiente manera (Arpi & Calderón, 2010):

$$P_0 = \frac{P_a \times d_p}{4 \times \mu \times h_f}$$

Donde:

P_a = Presión adicional para superar la fricción (Pa)

La presión adicional requerida se puede hallar de la siguiente manera (Technical Research Centre of Finland, 2002):

$$P_a = \gamma_{ab} \times \frac{2h_f}{d_p}$$

Mientras que el tiempo de extrusión se calcula de la siguiente manera (Arpi & Calderón, 2010):

$$t_e = \frac{\theta}{\omega}$$

Donde:

θ = Ángulo de trabajo del rodillo (rad)

El ángulo de trabajo de los rodillos se halla con la siguiente ecuación (Arpi & Calderón, 2010):

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X}{r_r}\right)$$

Donde:

X = Desplazamiento angular del área de trabajo (m)

El desplazamiento angular del área de trabajo de los rodillos se halla de la siguiente manera (Arpi & Calderón, 2010):

$$X = \sqrt{r_r \times (h_o - h_f)}$$

1.3.9.9. Potencias del sistema

Cada elemento que gira acoplado al eje principal necesita de una potencia, la cual será brindada por el motor eléctrico.

- Potencia de las cuchillas

La potencia de las cuchillas para generar el corte de los pellets depende del volumen y dureza del alimento balanceado. La fórmula se expresa de la siguiente manera (Vignote & Martinez, 2006):

$$P_{cc} = J \times S \times v_e \times N_c$$

Donde:

P_{cc} = Potencia de las cuchillas (W)

J = Resistencia del alimento balanceado (Pa)

S = Superficie total de los pellets que serán cortados (m^2)

N_c = Número de cuchillas

- Potencia de los rodillos

La potencia de los rodillos de una peletizadora se halla con la siguiente ecuación (Kalpakjian, 2002):

$$P_{rc} = \frac{2 \pi \times \omega_r \times f_r \times X}{60\,000}$$

Donde:

P_{rc} = Potencia de los rodillos de una peletizadora (W)

ω_r = Velocidad angular de los rodillos (rpm)

1.3.9.10. Potencias y RPM del motor eléctrico

La potencia del motor eléctrico es la potencia requerida para realizar el trabajo de peletización, la cual se puede hallar sumando las potencias de las cuchillas y rodillos o con la siguiente ecuación (Arpi & Calderón, 2010):

$$P_p = \omega \times f_r \times N_r \times X$$

Donde:

P_p = Potencia de la peletizadora (W)

La velocidad angular del motor en RPM se halla con la ecuación:

$$RPM = \frac{(60 \times Hz)}{n_p/2}$$

Donde:

Hz = Frecuencia angular (Hertz)

n_p = Número de polos

1.3.9.11. Diámetro del eje principal

Para hallar el diámetro del eje principal es necesario calcular los momentos máximos, tanto torsores como flectores. El momento máximo flector se halla a través de un diagrama de cuerpo libre (sumaria de fuerzas y momentos), mientras que el momento torsor máximo es la sumaria total de cada torque que genera las cuchillas, rodillos y otros elementos acoplados al eje principal que consumen potencia.

La Teoría de la máxima tensión de corte (Criterio de Coulomb-Tresca) detalla la siguiente fórmula para hallar el diámetro de un eje:

$$D_e = \left[\frac{32 \times FS}{\pi \times S_y} (M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

D_e = Diámetro del eje (m)

FS = Factor de Seguridad

S_y = Resistencia de fluencia del material del eje (Pa)

M = Momento flector máximo (N.m)

T = Momento torsor máximo (N.m)

Para esta ecuación es necesario asumir un factor de seguridad.

1.3.10. Normas asociadas a la producción de pellets a base de alimento balanceado

En la producción aviar, el alimento equivale a un 70% de las inversiones operativas de una campaña productiva. Es por eso que la calidad del alimento suministrado a los animales es fundamental, tanto a nivel higiénico, sanitario y nutricional. Si se cumple con estas especificaciones es seguro que las aves cumplan con sus especificaciones correspondientes y objetivos productivos.

La Norma INEN NTE 1643 define el balanceado como el alimento para ser entregado a las aves durante las fases de una dieta para aves de engorde, reproductoras y ponedoras. La misma norma detalla las características físicas, químicas y biológicas que debe de poseer dicha alimentación. En el **Anexo 1** se visualiza la página principal de la Norma INEN NTE 1643.

La Norma NORDOM 90 establece los requisitos y especificaciones zoonosológicas que deben de cumplir los productos alimenticios terminados para el consumo animal, para evitar riesgo a la salud animal y humana. En el apartado “4.3.2. Alimento balanceado en comprimidos (pellets)” se toma en cuenta los pellets a base de

alimento balanceado. En el **Anexo 2** se visualiza la página principal de la Norma NORDOM 90.

1.3.11. Definición de términos

- Pellet: Pequeña porción de forma cilíndrica compactada o comprimida hecha de distintas materias primas.
- Alimento balanceado: Mezcla de alimentos orgánicos que contienen nutrientes.
- Peletización: Proceso que consiste en la acumulación de masa molida o un concentrado de esta con cierta humedad para generar unidades cilíndricas formados mediante una compactación.
- Extrusión: Es una operación de transformación en la que una masa fundida es obligada a pasar por un dado para producir elementos con una geometría específica.
- Empuje: Es la actividad de ejercer presión o fuerza física contra algún material para ejecutar un desplazamiento, ya sea para repelerlo o soportarlo.
- Torque: Magnitud vectorial que se genera mediante un punto de aplicación de fuerza que provoca un momento y con esto se ejerce un esfuerzo torsor.
- Presión: Es la reacción inmediata que ocasiona un cuerpo sobre otro en relación de peso o fuerza.
- Aglomerado: Material que se forma con pequeños trozos de otros materiales.

1.4. Formulación del problema

¿Cuál será el mecanismo de funcionamiento que tendrá la máquina peletizadora de alimentos balanceados con capacidad de 150 kg/h para avícolas de la región Lambayeque?

1.5. Justificación e importancia del estudio

1.5.1. Justificación Ambiental

La máquina peletizadora de alimentos balanceados aprovecha distinta materia prima natural para producir un pellet compactado capaz de nutrir a aves de granja, alcanzando así satisfacer la problemática emergente en cuanto a la dosificación y almacenaje de nutrientes a través del tiempo, sin que se pierda su consistencia, propiedades energéticas y sin contaminar el medio ambiente.

1.5.2. Justificación Económica

Los pellets producidos por la máquina peletizadora de alimento balanceado reducirán los costos de adquisición de nutrientes y en una mayor producción, podrán competir con diferentes marcas posicionadas a nivel nacional. Además, evitará pérdidas económicas por defunciones de aves mal nutridas.

1.5.3. Justificación Social

Con la producción de pellets a base de alimento balanceado se beneficiaran tanto los comerciantes avícolas como los agricultores que deseen dedicarse a la micro o mediana producción de este tipo de alimento compactado. La gran cantidad de granjas de aves existentes genera una demanda rentable con respecto a la compra de nutrientes, beneficiando a muchas familias del rubro.

1.5.4. Justificación Técnica

La máquina peletizadora de alimentos balanceados posee una estructura mecánica no compleja, que con la ayuda de planos que serán adjuntados en la presente investigación, puede ser replicado y construido. Y frente a la escasez de este tipo de máquinas en el país, este proyecto detallará un esquema de diseño en ingeniería que servirá como base para futuros estudios o mejoras.

1.6. Hipótesis

No aplicable para este tipo de investigación

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Diseñar una máquina peletizadora de alimentos balanceados con capacidad de 150 kg/h para avícolas de la región Lambayeque.

1.7.2. Objetivo Específicos

- Determinar los parámetros del proceso de peletización.
- Elegir el diseño conceptual óptimo a través de criterios ponderados.
- Dimensionar los elementos y sistemas mediante cálculos de ingeniería.
- Diseñar la máquina peletizadora empleando software CAD.
- Efectuar un estudio de fatiga de los elementos críticos de la máquina.

Capítulo II

MATERIAL Y MÉTODO

II. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación

Tipo: Aplicada

Diseño: Cuasi-experimental

2.2. Población y muestra

No aplicable para este tipo de investigación.

2.3. Variables, Operacionalización

En el presente proyecto de investigación se presentan dos tipos de variables, variables independientes y variables dependientes.

2.3.1. Variables independientes

Propiedades del alimento balanceado

- Densidad (kg/m^3)
- Resistencia a la compresión (Pa)

2.3.2. Variables dependientes

Parámetros de operación

- Potencia (W)
- Flujo volumétrico (m^3/s)

Para un mejor entendimiento de las variables se emplea un gráfico de Caja Negra.

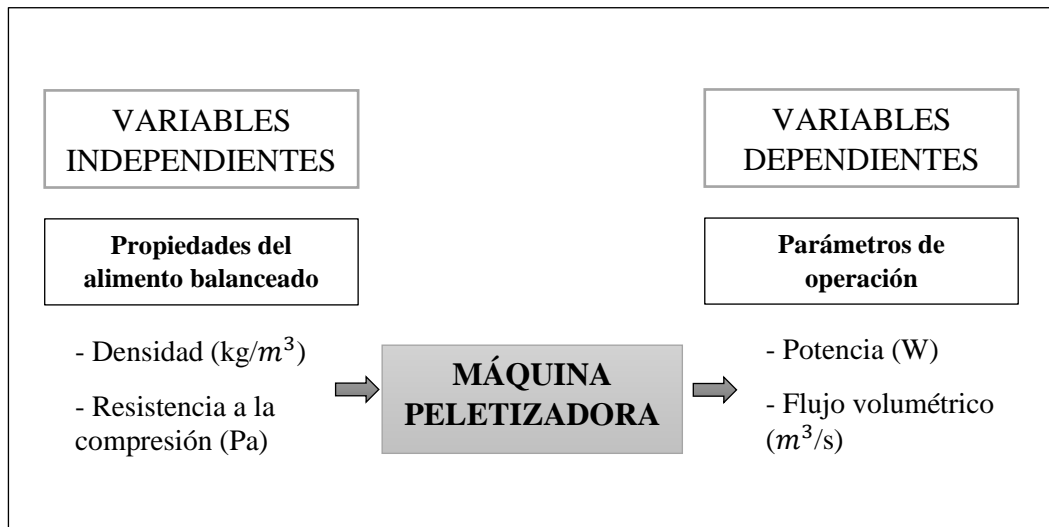


Figura No 10. Caja negra para variables

Fuente: Propia, 2020

2.3.3. Operacionalización de variables

En la siguiente tabla se muestra la Operacionalización de las Variables mencionadas en este capítulo.

Tabla No 3
Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA	ÍNDICE	
VARIABLE INDEPENDIENTE						
Propiedades del Alimento Balanceado	Densidad (kg/m^3)	Es la cantidad de masa contenida en un determinado volumen.	$\rho = \frac{m}{V} \left(\frac{kg}{m^3}\right)$	Masa (m)	kg	m
				Volumen (V)	m^3	V
	Resistencia a la compresión (Pa)	Es la resistencia que opone un cuerpo cuando se le aplica una fuerza de compresión externa.	$\sigma = \frac{F}{A}$ $(Pa = \frac{N}{m^2})$	Fuerza (F)	N	F
			Área (A)	m^2	A	
VARIABLE DEPENDIENTE						
Parámetros de Operación	Potencia (W)	Es la cantidad de trabajo empleada en un determinado tiempo, para realizar una acción.	$P = \omega T$ $(W = \left(\frac{rad}{s}\right) x N.m)$	Velocidad angular (ω)	Rad/s	ω
				Torque (T)	N.m	T
	Flujo volumétrico (m^3/s)	Es el volumen de un flujo que pasa por una superficie en un determinado tiempo.	$Q = \frac{V}{t} \left(\frac{m^3}{s}\right)$	Volumen (V)	m^3	V
			Tiempo (t)	s	t	

Fuente: Propia, 2020

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Abordaje metodológico

2.4.1.1. Analítico

La estructura de análisis pasa a descomponerte en partes igualitarias con el objetivo de adquirir diferentes problemáticas que se presenten en el transcurso del desarrollo de la investigación. Para esto, es necesario conocer sobre las propiedades y riesgos que involucra hacer este tipo de estudio.

El presente proyecto de investigación analizará el consumo diario de los animales de una avícola de la región Lambayeque, con la finalidad de tener un dato promedio y con esto, la capacidad que pueda tener la máquina peletizadora.

2.4.1.2. Deductivo

Se estudiará y examinará los trabajos previos a este, trabajos de investigación, artículos científicos, revistas científicas, libros, etc., que detallen sobre el diseño y estructura de máquina procesadoras de pellets.

Se ejecutará una revisión minuciosa de los diseños de máquinas peletizadoras encontrados, además, se investigará la normativa existente sobre la producción de pellets para animales avícolas.

2.4.1.3. Inductivo

A través de esta metodología de investigación se espera obtener información valiosa sobre la cantidad y tamaño de alimento balanceado que digieren los animales avícolas de la región Lambayeque.

2.4.2. Técnicas e instrumentos

Para una mejor representación de las técnicas e instrumentos a utilizar en la presente investigación se detalla una tabla.

Tabla No 4
Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas de recolección de datos, validez y confiabilidad	Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad
Análisis de documentos Brinda la obtención de información clara y correcta que serán base para el desarrollo del diseño.	Ficha de análisis documental Es una guía que contendrá toda la información valiosa de documentos analizados.
Entrevista Dialogo entre dos o más personas, uno que hace preguntas y otro, especialista en el tema. Sirve para obtener información importante y confiable.	Cuestionario Se desarrollará un cuestionario a base de 5 preguntas que se les aplicará a las personas asociadas directamente con granjas de aves (ver Anexo 3).
Observación Técnica que permite conocer, registrar, comparar y describir datos.	Guía de observación Instrumento que se empleará para tener un orden sobre los datos que servirán para el desarrollo de la investigación.

Fuente: Propia, 2020

2.4.3. Procedimientos para la recolección de datos

Los procedimientos para la recolección de datos tienen el siguiente esquema de ejecución:

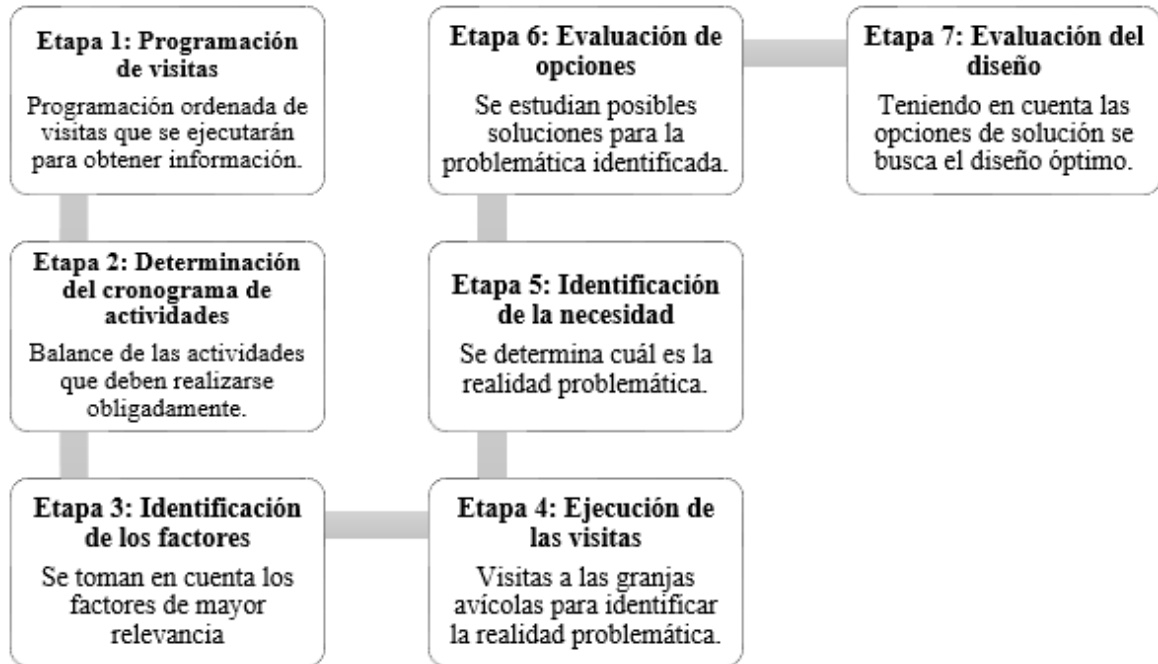


Figura No 11. Procedimientos para la recolección de datos

Fuente: Propia, 2020

2.5. Procedimiento de análisis de datos

El análisis de los datos obtenidos toma el siguiente procedimiento:

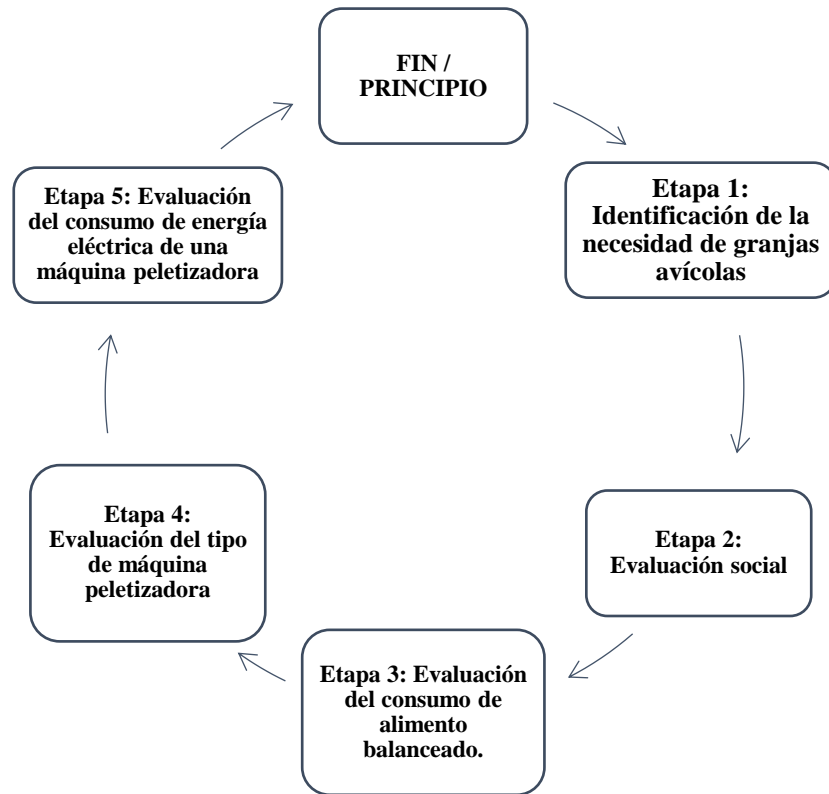


Figura No 12. Procedimientos para el análisis de datos

Fuente: Propia, 2020

2.6. Criterios éticos

Se tendrán en cuenta el Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP, 1999) y el Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS, 2017) como base para el desarrollo de este proyecto de investigación.

Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP)

El presente documento (ver **Anexo 4**) indica los criterios éticos que debe de considerar un ingeniero para un buen desarrollo y competencia dentro de la profesión en su relación con el ambiente, el ambiente, colegas de carrera, público y sociedad. A continuación se muestran artículos de este valioso código:

“Art. 1 – los ingenieros están al servicio de la sociedad. Por consiguiente tienen la obligación de contribuir al bienestar humano, dando importancia primordial a la seguridad y adecuada utilización de los recursos en el desempeño de sus tareas profesionales.”

“Art. 2 – los ingenieros deberán promover y defender la integridad, el honor y la dignidad de su profesión, contribuyendo con su conducta a que el consenso público se forme y mantenga un cabal sentido de respeto hacia ella y sus miembros, basado en la honestidad e integridad con que la misma se desempeña. Por consiguiente, deben ser honestos e imparciales. Sirviendo con fidelidad al público, a sus empleadores y a sus clientes; deben esforzarse por incrementar el prestigio, la calidad y la idoneidad de la ingeniería y deben apoyar a sus instituciones profesionales y académicas.”

“Art. 4 – los ingenieros reconocerán que la seguridad de la vida, la salud, los bienes y el bienestar del país de la población y del público en general, así como el desarrollo tecnológico del país depende de los juicios, decisiones incorporados por ellos o por su consejo, en dispositivos, edificaciones, estructuras, máquinas, productos y procesos. Por ninguna razón pondrán sus conocimientos al servicio de todo aquello que afecte la paz y la salud.”

Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS)

En el presente código se muestran los criterios éticos y principios para el uso de información, las políticas antiplagio y con esto, los procesos de sanción, que se debe tener en cuenta al momento de llevar a cabo investigación universitaria (ver **Anexo 5**). Sus primeros artículos mencionan lo siguiente:

“Art. 1 – finalidad: El Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), tiene como finalidad proteger los derechos, la vida, la salud, la intimidad, la dignidad y el bienestar de la(s) persona(s) que participan en una actividad de investigación Científica, Tecnológica e innovación, ciñéndose a los

principios éticos acogidos por la normativa nacional e internacional, y los acuerdos suscritos por nuestro país en la materia.”

“Art. 3 – objetivo: El código de ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán tiene por objetivo definir los principios éticos que orientan la actividad investigativa y su gestión, por las autoridades, investigadores, docentes, estudiantes y egresados de la USS.”

“Art. 3 – alcance: El presente código de ética de investigación es de cumplimiento obligatorio para todas las autoridades académicas, administrativas, docentes, estudiantes, egresados y administrativo de la Universidad Señor de Sipán.”

2.7. Criterios de Rigor científico

Para este proyecto de investigación se tendrá como base los criterios de fiabilidad, generalización, replicabilidad y validez.

Fiabilidad: Cuando se adquieran las medidas se revisará que éstas pertenezcan a una metodología científica y minuciosa.

Generalización: Se planificará y realizará de forma correcta la información extraída de las entrevistas.

Replicabilidad: Los protocolos y procedimientos que se ejecutarán estarán dirigidos a reducir la repetición experiencial con el objetivo de esforzar la comparación de resultados en posteriores trabajos de investigación.

Validez: Se hará el estudio correspondiente al momento de elegir las variables relativas y relacionadas al problema de investigación.

Capítulo III

RESULTADOS

III. RESULTADOS

3.1. Requerimiento de diseño

3.1.1. Parámetros del proceso de peletización

A continuación se mencionan los parámetros involucrados en la peletización del alimento balanceado.

3.1.1.1. Densidad del alimento balanceado

La densidad es una propiedad que relaciona la masa y el volumen, cuanta cantidad de masa cabe en un volumen determinado. Albán Yépez & Arias Romo en su investigación “Diseño, construcción e implementación de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para el sector pecuario con capacidad de 100 kg/h” muestran una densidad del alimento balanceado que varía entre 650 – 700 kg/m³.

3.1.1.2. Resistencia a la compresión del alimento balanceado

Cada cuerpo posee una resistencia a la compresión, la cual es el esfuerzo máximo que puede soportar un material sometido a una fuerza de aplastamiento. La materia prima que formaran los pellets de alimento balanceados soportará la carga de compactación generada por los rodillos de compresión.

3.1.1.3. Fricción

La fricción es una fuerza que se opone al movimiento, depende de factores como el tipo de material y terreno. En el **Anexo 6** se muestra una tabla con los coeficientes de fricción para distintos materiales que realizan trabajos sobre un material como el acero.

3.1.1.4. Velocidad angular

La velocidad angular es la velocidad con la que girarán el sistema de rodillos y las cuchillas de corte. Para una mayor velocidad se requerirá de mayor potencia. Su unidad son las RPM o los rad/s en el Sistema Internacional (SI).

3.1.2. Diseño conceptual óptimo de la máquina peletizadora

3.1.2.1. Lista de exigencias

Es necesario plantear una lista de exigencias que funcione como un requerimiento y características que pueda cumplir la máquina peletizadora.

Tabla No 5
Lista de exigencias, Fuente: Propia

LISTA DE EXIGENCIAS		
PROYECTO		
DISEÑO DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS CON CAPACIDAD DE 150 KG/H PARA AVÍCOLAS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE		
No	Deseo (D) Exigencia (E)	DESCRIPCIÓN
FUNCION PRINCIPAL		
1	E	Producir pellets a base de alimento balanceado
ENERGÍA		
2	E	Tener como fuente de energía un motor eléctrico.
ERGONOMÍA		
3	E	El usuario debe ser capaz de suministrar materia prima por la tolva de la máquina peletizadora sin ningún riesgo.
4	E	Grupo de trabajo máximo de 1 persona (operador responsable).
USO		
5	D	Debe ser de operación sencilla y no requerir especialización técnica.
TRANSPORTE		
6	E	Su transporte requerirá de una fuerza externa equivalente a 2 hombres.
7	E	Su transporte no debe involucrar cambios en la geometría de la máquina.
FABRICACION		
8	D	La fabricación de la máquina peletizadora debe ser posible en una pequeña o mediana factoría, con el uso de máquinas herramientas, equipos y componentes accesibles en el mercado nacional.
9	D	Esta operación debe exigir al fabricante conocimientos técnicos especializados.
PESO		
10	D	Debe ser alrededor de los 70 kg.
ENSAMBLAJE		
11	D	Montaje y desmontaje con herramientas de cualquier taller mecánico.
12	E	Para un buen montaje se puede emplear los planos de la máquina adjuntados en los anexos de esta investigación.
13	D	Esta operación debe exigir conocimientos técnicos especializados.
MANTENIMIENTO		
14	D	Debe ser posible con insumos y herramientas de un taller mecánico.
COSTO		
16	D	La inversión para construir la máquina peletizadora no deberá sobrepasar los S/ 15,000.00

Fuente: Propia, 2020

3.1.2.2. Estructura de funciones

La máquina peletizadora tendrá que tener la siguiente estructura de funciones:

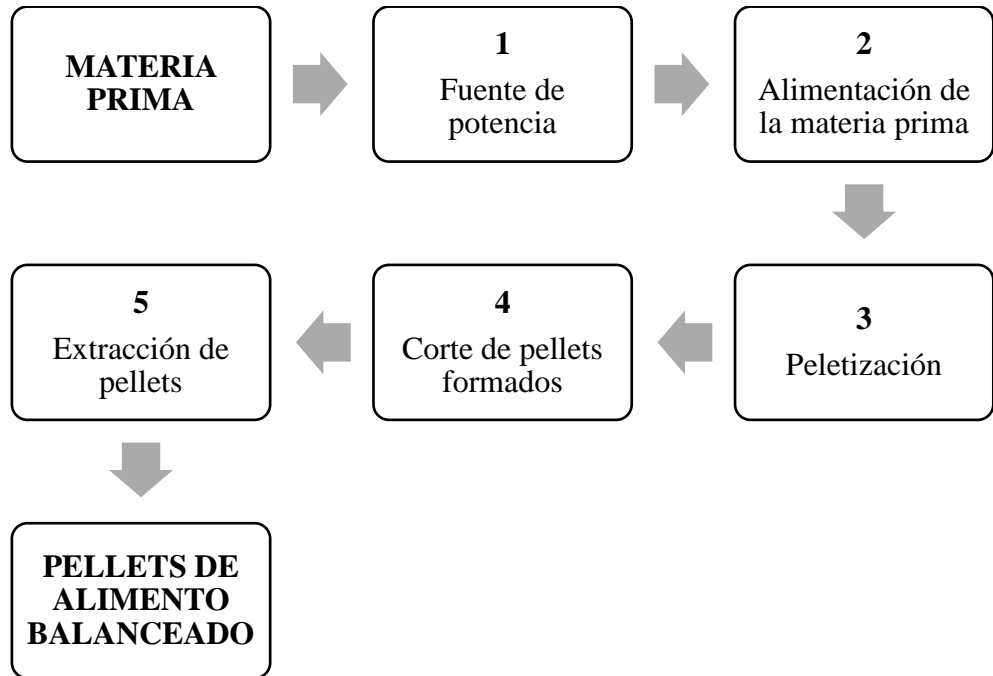


Figura No 13. Estructura de funciones




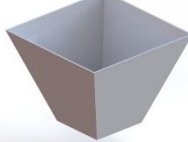



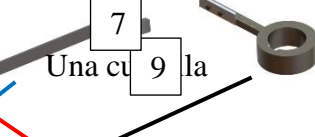
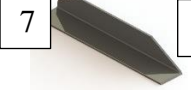
Fuente: Propia, 2020

3.1.2.3. Matriz morfológica de conceptos de solución

Empleando una matriz morfológica se presentan 3 opciones de elementos y sistemas para cada función que tiene que realizar la máquina peletizadora. Cada opción tiene asociado un número entre 1 y 10, y para relacionar las elecciones de una función con otra de un mismo esquema se emplean 3 colores (Azul, rojo y negro), por lo tanto existen 3 esquemas

Cabe mencionar que 10 significa muy óptimo y 1, no óptimo. Al final se hará la suma respectiva de los puntajes de las opciones elegidas para cada función de los 3 esquemas.

Tabla No 6
Matriz morfológica

FUNCIONES	PORTADOR DE FUNCIONES		
	ELÉCTRICO		
Fuente de potencia	Motorreductor	<div data-bbox="727 495 778 551" style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">9</div>  <div data-bbox="979 495 1031 551" style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">8</div> Motor eléctrico	
	ESTÁTICO		
Alimentación de la materia prima	<div data-bbox="727 734 778 790" style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">9</div> Tolva circular	 <div data-bbox="932 813 983 869" style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">7</div> Tolva cuadrada	
	MECÁNICO		
Peletización (Compresión)	<div data-bbox="679 1025 730 1081" style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">9</div> Matriz plana y rodillos	 <div data-bbox="788 1081 884 1144" style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">9</div> Matriz anular	 <div data-bbox="1158 1025 1209 1081" style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">9</div>
	MECÁNICO	ESTÁTICO	MECÁNICO
Corte de pellets formados	Cuchillas dobles <div data-bbox="788 1339 839 1395" style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">8</div> 	<div data-bbox="788 1339 839 1395" style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">8</div> atina metálica	<div data-bbox="1126 1294 1177 1350" style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">7</div> Una cuchilla <div data-bbox="1158 1350 1209 1406" style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">9</div> 
	MANUAL	ESTÁTICO	
Extracción de pellets	Mano humana	<div data-bbox="772 1518 823 1574" style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">7</div>  <div data-bbox="948 1518 999 1574" style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">9</div> Canal de salida	

Fuente: Propia, 2020

A continuación se presenta una tabla con la sumatoria del puntaje obtenido de las opciones elegidas para cada función de los 3 esquemas.

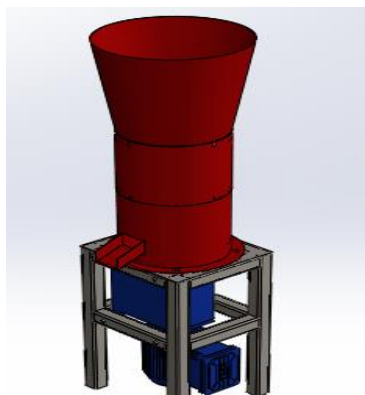
Tabla No 7
Puntaje de los conceptos de solución de la matriz morfológica

Función	Conceptos de Solución		
	Concepto de Solución 1 - Rojo	Concepto de Solución 2 - Negro	Concepto de Solución 3 - Azul
Fuente de potencia	9	8	9
Alimentación de la materia prima	9	9	7
Peletización	9	9	9
Corte de pellets formados	8	7	9
Extracción de pellets	9	9	7
TOTAL	44	42	41

Fuente: Propia, 2020

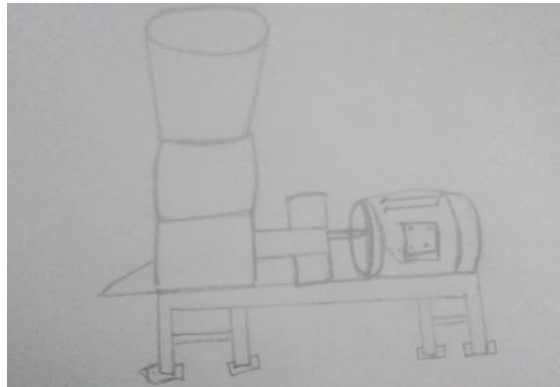
Concepto de Solución 1

El diseño conceptual 1 emplea un motorreductor como fuente de potencia. La materia prima será suministrada a través de una tolva circular, después caerá hacia un sistema de peletización formado por una matriz plana de agujeros y rodillos de compresión. Por último, el pellet será cortado por un sistema de 2 cuchillas y caerán por un canal de salida hacia el exterior.



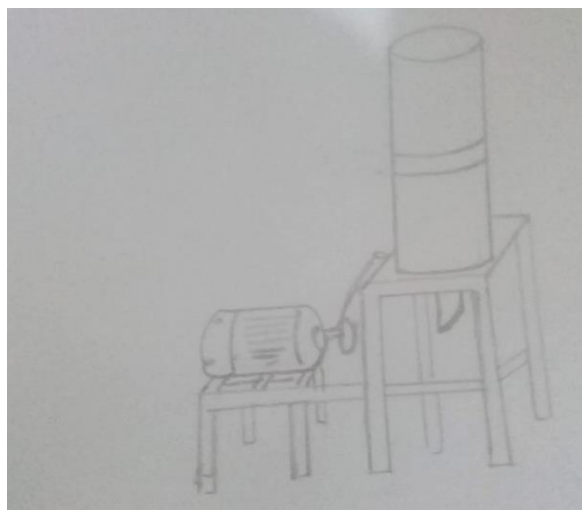
Concepto de Solución 2

El motor eléctrico es la fuente de poder para este diseño conceptual. La materia prima resbala por la tolva circular, luego se dirigirá hacia un sistema de peletización constituido por una matriz anular vertical donde se compactara el pellet. El proceso termina con una cuchilla cortando el pellet, el cual ya formado cae por el canal de salida.



Concepto de Solución 3

El motorreductor es el encargado para este diseño de brinda la potencia requerida. La materia prima ingresa por una tolva cuadrada. El sistema de peletización está basado en la compresión generada por los rodillos y la matriz plana de agujeros. El pellet una vez formado sale por estos agujeros y al chocar de manera perpendicular con una platina metálica, son cortados y extraídos por la mano del hombre.



3.1.2.4. Evaluación técnica económica

Empleando los títulos de los conceptos de solución mencionados en el análisis de la matriz morfológica, se hará un estudio técnico económico de cada opción presentada.

Evaluación técnica

Para este estudio se tomó en cuenta criterios valorizados entre 1 y 10, donde 10 es muy óptimo y 1, no óptimo.

Tabla No 8
Puntaje de la evaluación técnica de los conceptos de solución

Criterios Técnicos	Conceptos de solución		
	Concepto de solución 1	Concepto de solución 2	Concepto de solución 3
Facilidad de fabricación	8	8	9
Ahorro de energía	7	7	7
Nivel de Ruido	9	7	9
Transporte	9	9	9
Mantenimiento	8	8	9
TOTAL	41	39	43

Fuente: Propia, 2020

El concepto de solución 3 sumo el mayor puntaje, seguido por el 1 y finalmente el concepto de solución 2.

Evaluación Económica

Para este estudio se tomó en cuenta valores económicos aproximados para cada elemento, equipo y sistema que forma parte de cada concepto de solución.

Tabla No 9
Evaluación económica de los conceptos de solución

Concepto de solución	Precio de elemento, equipo o sistema (S/.)
Concepto de solución 1	
Motorreductor	10,000.00
Tolva circular	250.00
Matriz plana de agujeros con rodillos de compresión	1,000.00
Sistema de 2 cuchillas	200.00
Canaleta de salida	50.00
TOTAL	11,500.00
Concepto de solución 2	
Motor eléctrico	4,500.00
Tolva circular	250.00
Matriz anular vertical	2,500.00
Sistema de 1 cuchilla	150.00
Canal de salida	50.00
TOTAL	7,450.00
Concepto de solución 3	
Motorreductor	10,000.00
Tolva cuadrada	200.00
Matriz plana de agujeros con rodillos de compresión	1,000.00
Platina metálica	100.00
TOTAL	11,300.00

Fuente: Propia, 2020

El concepto de solución 2 requiere de una inversión mucho menor que los demás conceptos de solución.

3.1.2.5. Selección del diseño conceptual óptimo

Ahora se detalla una tabla con los resultados de los tres análisis ejecutados.

Tabla No 10
Puntajes totales de las evaluaciones de los conceptos de solución

Análisis	Puntajes		
	Concepto de Solución 1	Concepto de Solución 2	Concepto de Solución 3
Matriz morfológica	44	42	41
Evaluación técnica	41	39	43
Estudio económico	S/ 11,500.00	S/ 7,450.00	S/ 11,300.00

Fuente: Propia, 2020

Sumando los números de evaluaciones similares los resultados son; 85 para el Concepto de Solución 1 con S/ 11,500.00 de inversión, 81 para el Concepto de Solución 2 con S/ 7,450.00 de inversión, y finalmente 84 para el Concepto de Solución 3 con S/ 11,300.00 de inversión.

El Concepto de Solución 2 suma el total más bajo, eso quiere decir que técnicamente no cumple con los requerimientos, entonces queda descartado, a pesar de que su inversión es baja. El Concepto de Solución 1 tiene el puntaje total técnico más alto y económicamente solo está por S/ 200.00 más arriba que el Concepto de Solución 3, eso significa que el **CONCEPTO DE SOLUCIÓN 1** es el seleccionado y más óptimo para el diseño de la máquina peletizadora.

3.1.3. Dimensionamiento de los elementos y sistemas de la máquina peletizadora

Las fórmulas y ecuaciones empleadas para hallar cada dimensión de los elementos y sistemas de la máquina peletizadora se mencionan con mayor detalle en el apartado “1.3.9. Diseño de una máquina peletizadora”.

3.1.3.1. Capacidad de la máquina peletizadora

Para poder hallar la dimensión de cada elemento o sistema de la máquina es necesaria hallar la capacidad de esta. La capacidad es un dato que depende de la demanda en alimento balanceado que pueden digerir aves avícolas en un tiempo determinado.

Borja & Crespo (2019) indican que una gallina de buena producción consume por lo menos 120 gramos al día de alimento. Este dato tendríamos que multiplicarlo por la cantidad de pollos presentes en una avícola, asumiendo tiempos de pico de producción.

Una buena avícola de la región puede tener hasta 5 000 gallinas, proyectando una total de 5 avícolas en un espacio específico, la producción de pellets de alimentos balanceados para aves de granja sería la siguiente:

$$C = 120 \left(\frac{gr}{día} \right) \times \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ hr}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ kg}}{1\,000 \text{ gr}} \right) \times 5\,000 \times 5$$
$$C = 125 \text{ kg/hr}$$

Es necesario tener en cuenta un factor de sobreproducción (por aumento del número de aves o por otros factores), que viene hacer el 20% de la capacidad, entonces la capacidad total es:

$$C = 125 \frac{kg}{hr} \times 1.2 = 150 \text{ kg/h}$$

3.1.3.2. Dimensionamiento de la tolva de alimentación

Para calcular las dimensiones de la tolva es necesario saber el volumen que debe ingresar en su interior. Para esto es necesario hallar el flujo volumétrico que tendrá la máquina peletizadora. El flujo volumétrico se halla de la siguiente manera:

$$Q = C \times V_e$$

Donde:

Q = Flujo volumétrico de peletizado (m^3/s)

C = Capacidad de la máquina: 150 kg/h

V_e = Volumen específico del pellet (m^3/kg)

El volumen específico del pellet es el inverso de la densidad (kg/m^3) del mismo. Este último valor se puede hallar de la siguiente manera:

$$\rho_p = p_{ab} \times Rc$$

Donde:

ρ_p = Densidad del pellet (kg/m^3)

p_{ab} = Densidad del alimento balanceado: $700 kg/m^3$

Rc = Relación de compresión

La Relación de Compresión se halla teniendo en cuenta las dimensiones del pellet.

$$Rc = \frac{1}{d_p/l_p}$$

Donde:

d_p = Diámetro del pellet: 5 mm

l_p = Longitud del pellet: 8 mm

En el apartado “1.3.3. Características físicas del pellet” mencionan las dimensiones recomendadas para pellets digeridos por aves. Entonces:

$$Rc = \frac{1}{5/8} = 1.6$$

$$\rho_p = 700 \times 1.6 = 1\,120 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 150 \left(\frac{kg}{hr}\right) \times \left(\frac{1}{1\,120}\right) \left(\frac{m^3}{kg}\right) = 0.134 \frac{m^3}{hr} = 0.000037 \frac{m^3}{s}$$

Tomando en cuenta el flujo volumétrico hallado se asume medidas para la tolva de alimentación.

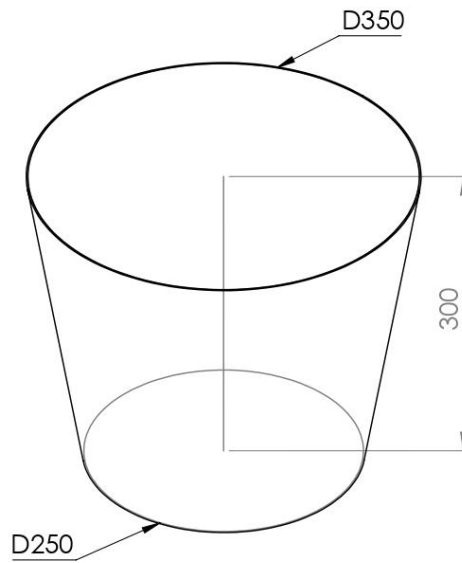


Figura No 14. Dimensiones de la tolva de alimentación

Fuente: Propia, 2020

Para calcular el volumen de la tolva de alimentación se emplea la siguiente ecuación:

$$V = \frac{1}{3} \pi h_t (R_t^2 + r_t^2 + R_t r_t)$$

Dónde:

V = Volumen de la tolva (m^3)

h_t = Altura de la tolva: 30 cm

R_t = Radio del área mayor de la tolva: 35 cm

r_t = Radio el área menor de la tolva: 25 cm

Entonces el volumen interno de la tolva es el siguiente:

$$V = \frac{1}{3} \pi (0.3)(0.35^2 + 0.25^2 + 0.35 \times 0.25) = 0.0856 m^3$$

El volumen interno de la tolva siendo más bajo que el volumen del flujo volumétrico ($0.134 m^3/hr$), ocasiona que el ingreso de la materia prima se divida en 3 llenados de

0.0447 m^3 cada 20 minutos. Al ser este valor casi la mitad del volumen interno real de la tolva (0.0865 m^3) evitará obstrucción de materia prima.

3.1.3.3. Dimensionamiento de los rodillos de compresión

El radio de los rodillos se halla con la siguiente ecuación:

$$r_r = \frac{h_o - h_f}{\mu^2}$$

Donde:

r_r = Radio de los rodillos (m)

h_o = Altura inicial del material cuando cae en la matriz: 0.015 m

h_f = Altura final del material después del tránsito del rodillo: 0.002 m

μ = Coeficiente de fricción entre el alimento balanceado y el material del rodillo: 0.45 (ver **Anexo 6**)

En el apartado “1.3.9.2. Radio de los rodillos” se muestra la figura sobre las alturas de la materia prima cuando reposa en la matriz plana de agujeros, antes y después de la compactación generado por el tránsito de los rodillos.

Entonces:

$$r_r = \frac{0.015 - 0.002}{0.45^2} = 0.064 \text{ m} = 6.4 \text{ cm}$$

La masa del rodillo se puede hallar con la siguiente ecuación:

$$m_r = V_r \times \rho_r$$

Donde:

m_r = Masa de los rodillos (kg)

V_r = Volumen del rodillo (m^3)

ρ_r = Densidad del material (acero) del rodillo: 7 850 kg/m^3 (ver **Anexo 7**)

Considerando el rodillo no hueco, el volumen se halla de la siguiente manera:

$$V_r = \pi r_r^2 h_r$$

Donde:

h_r = Altura o espesor del rodillo: 0.064 m

r_r = Radio del rodillo: 0.064 m

Para una buena geometría el espesor del rodillo es la misma dimensión del radio.

Entonces:

$$V_r = \pi (0.064)^2 \times (0.064) = 0.00083 \text{ m}^3$$

$$m_r = 0.00083 \times 7850 = 6.52 \text{ kg}$$

Es necesario calcular la potencia y el torque que genera los rodillos de compresión.

La potencia de los rodillos de una peletizadora se halla con la siguiente ecuación:

$$P_{rc} = \frac{2 \pi \times \omega_r \times f_r \times X}{60\,000}$$

Donde:

P_{rc} = Potencia de los rodillos de una peletizadora (W)

ω_r = Velocidad angular de los rodillos: rpm

f_r = Fuerza de compresión del rodillo (N)

X = Desplazamiento angular del área de trabajo (m)

r_r = Radio de los rodillos: 0.064 m

La velocidad angular de los rodillos se calcula con la siguiente fórmula:

$$\omega_r = \frac{v_{tr}}{r_r}$$

Donde:

ω_r = Velocidad angular de los rodillos (rad/s)

v_{tr} = Velocidad tangencial de los rodillos (m/s)

r_r = Radio de los rodillos: 0.064 m

La velocidad tangencial de los rodillos se calcula con la siguiente ecuación:

$$v_{tr} = \sqrt{a n_r \times r_r}$$

Donde:

an_r = Aceleración normal del rodillo (m/s^2)

r_r = Radio de los rodillos: 0.064 m

La aceleración normal del rodillo se puede hallar con la siguiente ecuación:

$$an_r = \frac{f_r}{m_r}$$

Donde:

f_r = Fuerza de compresión del rodillo: N

m_r = Masa de los rodillos: 6.52 kg

La fuerza de compresión del rodillo se calcula tomando en cuenta la presión de compresión y el área donde se aplica dicha presión. Entonces:

$$f_r = P_R \times A_e$$

Donde:

P_R = Presión de compresión del rodillo (Pa)

A_e = Área de extrusión (m^2)

La presión de compresión del rodillo se calcula de la siguiente manera:

$$P_R = \gamma_{ab} \times E_e$$

Donde:

γ_{ab} = Esfuerzo de fluencia del alimento balanceado: 75 MPa (Ver **Anexo 8**)

E_e = Deformación de extrusión

La deformación de extrusión se calcular con la siguiente fórmula:

$$E_e = a + [b \times \ln(Rc)]$$

Donde:

a y b = Constantes para los ángulos de avellanado de los orificios de la matriz: 0.9 y 1.5 (Ver **Tabla No 2**)

Rc = Relación de compresión: 1.6

Entonces:

$$E_e = 0.9 + [1.5 \times \ln(1.6)] = 1.605$$

$$P_R = 75 \times 1.605 = 120.375 \text{ MPa}$$

El área de los orificios de la matriz plata se halla de la siguiente manera:

$$A_e = \pi r_d^2$$

Donde:

A_e = Área de extrusión o dado, equivalente al área del pellet (m^2)

r_d = Radio del área del dado, equivalente al radio del pellet: 0.0025 m

Entonces:

$$A_e = \pi (0.0025)^2 = 0.0000196 \text{ m}^2$$

$$f_r = 123\,375\,408.3 \times 0.0000196 = 2\,363.5656 \text{ N}$$

$$an_r = \frac{f_r}{m_r} = \frac{2\,363.5656}{6.52} = 362.24 \text{ m/s}^2$$

$$v_{tr} = \sqrt{362.24 \times 0.064} = 4.82 \text{ m/s}$$

$$\omega_r = \frac{4.82}{0.064} = 75.12 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 717.31 \text{ RPM}$$

El desplazamiento angular del área de trabajo de los rodillos se halla de la siguiente manera:

$$X = \sqrt{r_r \times (h_o - h_f)}$$

Donde:

r_r = Radio de los rodillos: 0.064 m

h_o = Altura inicial del material cuando cae en la matriz: 0.015 m

h_f = Altura final del material después del tránsito del rodillo: 0.002 m

Entonces

$$X = \sqrt{(0.064) \times (0.015 - 0.002)} = 0.0288 \text{ m}$$

$$P_{rc} = \frac{2 \pi \times 717.31 \times 2 \times 363.5656 \times 0.0288}{60 \ 000} = 5.13 \text{ kW}$$

Para hallar el torque proporcionado por los rodillos es necesario saber su velocidad angular.

El torque será el siguiente:

$$T_r = \frac{P_{rc}}{\omega_r}$$

Donde:

P_{rc} = Potencia de los rodillos de una peletizadora: 5.13 kW

ω_r = Velocidad angular de los rodillos: 75.12 rad/s

Entonces:

$$T_r = \frac{5 \ 130}{75.12} = 68.28 \text{ Nm}$$

3.1.3.4. Dimensionamiento de la matriz plana de agujeros

Para hallar cantidad de agujeros de la matriz plana se emplea la siguiente ecuación:

$$N_a = \frac{Q}{(v_e \times N_r \times A_e)}$$

Donde:

N_a = Número de agujeros de la matriz

Q = Flujo volumétrico de peletizado: 0.000037 m^3/s

v_e = Velocidad de extrusión (m/s)

N_r = Número de rodillos: 2 rodillos

A_e = Área de extrusión: 0.0000196 m^2

La velocidad de extrusión se halla con las ecuaciones cinemáticas de la velocidad:

$$v_e = v_o + (a_e + t_e)$$

Donde:

v_o = Velocidad inicial cuando sale del reposo (0 m/s)

a_e = Aceleración de extrusión (m/s^2)

t_e = Tiempo de extrusión (s)

La aceleración de extrusión se halla de la siguiente manera:

$$a_e = \frac{f_r - f_k}{m_{ab}}$$

Donde:

f_r = Fuerza de compresión del rodillo: 2 363.5656 N

f_k = Fuerza de fricción (N)

m_{ab} = Masa total del alimento balanceado: 150 kg

La fricción que se opone al movimiento de los rodillos se puede hallar con la siguiente ecuación:

$$f_k = \mu \times P_0 \times d_p \times l_p$$

Donde:

P_0 = Presión en las paredes del dado (Pa)

d_p = Diámetro del pellet: 5 mm

l_p = Longitud del pellet: 8 mm

μ = Coeficiente de fricción entre el alimento balanceado y el material del rodillo:
0.45 (ver **Anexo 6**)

La presión en las paredes de los orificios se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$P_0 = \frac{P_a \times d_p}{4 \times \mu \times h_f}$$

Donde:

P_a = Presión adicional para superar la fricción (Pa)

d_p = Diámetro del pellet: 5 mm

μ = Coeficiente de fricción entre el alimento balanceado y el material del rodillo:

0.45 (ver **Anexo 6**)

h_f = Altura final del material después del tránsito del rodillo: 0.002 m

La presión adicional requerida se puede hallar de la siguiente manera:

$$P_a = \gamma_{ab} \times \frac{2h_f}{d_p}$$

Donde:

γ_{ab} = Esfuerzo de fluencia del alimento balanceado: 75 MPa (Ver **Anexo 8**)

h_f = Altura final del material después del tránsito del rodillo: 0.002 m

d_p = Diámetro del pellet: 5 mm

Entonces:

$$P_a = 75 \times \frac{2(0.002)}{0.005} = 60 \text{ Mpa}$$

$$P_0 = \frac{60 \times 0.005}{4 \times 0.45 \times 0.002} = 83.33 \text{ MPa}$$

$$f_k = 0.45 \times P_0 \times 0.005 \times 0.008 = 1\,499.94 \text{ N}$$

$$a_e = \frac{2\,363.5656 - 1\,499.94}{150} = 5.7575 \text{ m/s}^2$$

El tiempo de extrusión se calcula con la ecuación:

$$t_e = \frac{\theta}{\omega}$$

Donde:

θ = Ángulo de trabajo del rodillo (rad)

ω = Velocidad angular de giro del eje principal (rad/s)

La velocidad angular del eje principal se calcula con la siguiente fórmula:

$$\omega = \frac{v_{tr}}{r_m}$$

Donde:

v_{tr} = Velocidad tangencial de los rodillos: 4.82 m/s

r_m = Radio de la matriz con agujeros: 0.125 m (radio menor de la tolva de alimentación)

Entonces:

$$\omega = \frac{4.82}{0.125} = 38.56 \text{ rad/s}$$

El ángulo de trabajo de los rodillos se halla con la siguiente ecuación (Arpi & Calderón, 2010):

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{X}{r_r} \right)$$

Donde:

X = Desplazamiento angular del área de trabajo: 0.0288 m

r_r = Radio de los rodillos: 0.064 m

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0.0288}{0.064} \right) = 24.2277^\circ = 0.423 \text{ rad}$$

$$t_e = \frac{\theta}{\omega} = \frac{0.423}{38.56} = 0.011 \text{ s}$$

$$v_e = v_o + (a_e \times t_e) = 0 + (5.7575 \times 0.011) = 0.063 \text{ m/s}$$

$$N_a = \frac{Q}{(v_e \times N_r \times A_e)} = \frac{0.000037}{(0.063 \times 2 \times 0.0000196)} = 14.9 \cong 15$$

Por sobreproducción igual se le sumará el 20% a la cantidad de números de agujeros hallados teóricamente. Entonces la matriz plana horizontal tendrá un total de **18 agujeros**.

3.1.3.5. Dimensionamiento de las cuchillas de corte

El largo de las cuchillas de corte depende del diámetro de la matriz, mientras que su espesor se puede asumir. Por otro lado, la potencia de las cuchillas se puede hallar de la siguiente manera:

$$P_{cc} = J \times S \times v_e \times N_c$$

Donde:

P_{cc} = Potencia de las cuchillas (W)

J = Resistencia del alimento balanceado: 65.66 MPa

S = Superficie total de los pellets que serán cortados (m^2)

v_e = Velocidad de extrusión: 0.063 m/s

N_c = Número de cuchillas: 2

La superficie total de los pellets que serán cortados es la suma de las áreas de los pellets cortados al mismo tiempo (3) por las cuchillas.

$$S = \pi r_d^2 \times 3 = \pi \times (0.0025)^2 \times 3 = 0.0000589 \text{ m}^2$$

$$P_{cc} = 65\,660\,000 \times 0.0000589 \times 0.063 \times 2 = 487.29 \text{ W} = 0.487 \text{ kW}$$

Y el torque de las cuchillas se calcula de la siguiente manera:

$$T_{cc} = \frac{P_{cc}}{\omega}$$

Donde:

P_{cc} = Potencia de las cuchillas: 487.29 W

ω = Velocidad angular del eje principal: 38.56 rad/s

Entonces

$$T_{cc} = \frac{487.29}{38.56} = 12.637 \text{ Nm}$$

3.1.3.6. Dimensionamiento del motorreductor

Para calcular la potencia existen dos formas, sumando las potencias de los rodillos y las cuchillas de corte o en todo caso empleando la siguiente ecuación:

$$P_p = \omega \times f_r \times N_r \times X$$

Donde:

P_p = Potencia de la peletizadora (W)

ω = Velocidad del eje principal: 38.56 rad/s

f_r = Fuerza de compresión del rodillo: 2 363.5656 N

N_r = Número de rodillos: 2 rodillos

X = Desplazamiento angular del área de trabajo: 0.0288 m

Entonces:

$$P_p = 38.56 \times 2363.5656 \times 2 \times 0.0288 = 5.25 \text{ kW} = 7 \text{ HP}$$

El motor también genera un torque, conocido como par motor, el cual se detalla en las especificaciones del equipo. El par motor del motorreductor seleccionado es 787.5 Nm (ver **Anexo 9**), mientras que la velocidad calculada de 38.56 rad/s (368.22 rpm) pasa a ser **334 rpm** (ver **Anexo 9**).



Figura No 15. Motorreductor coaxial WEG

Fuente: WEG, 2020

3.1.3.7. Dimensionamiento del eje principal

Existen distintas fórmulas matemáticas para hallar el diámetro de un eje, pero es necesario asumir un factor de seguridad. En la práctica no es conveniente asumir un factor de seguridad y debido a eso, mejor se asumirá un diámetro para el eje principal y a través del cálculo de esfuerzos máximos y factor de seguridad se corroborará si el diámetro es óptimo.

El eje recibirá los torques generados por el motor, los rodillos y las cuchillas, además, soportará el peso de componentes como el sistema de rodillo, el sistema de cuchillas, rodamientos, etc.

Tabla No 11

Pesos que soporta el eje principal

Elemento / Sistema	Masa (kg)	Cantidad	Masa total (kg)
Sistema de rodillos	20	1	20
Sistema de cuchillas	5	1	5
Rodamientos	0.1	2	0.2
Total			25.2

Fuente: Propia, 2020

Para que se convierta en una fuerza multiplicamos el total de kg por la aceleración de la gravedad:

$$F_F = 25.2 \times 9.81 = 247.212 \text{ N}$$

A continuación se detalla un gráfica de la representación de esta fuerza sobre el eje.

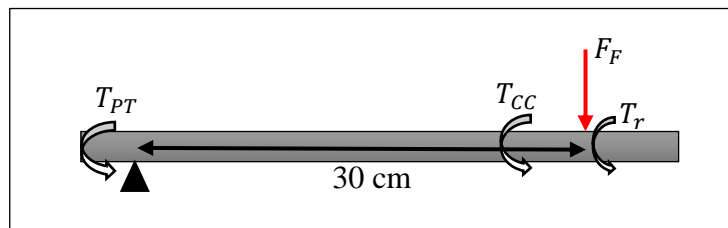


Figura No 16. Diagrama de cuerpo libre del eje principal

Fuente: Propia, 2020

El momento flector máximo queda hallado de la siguiente manera:

$$M_{MÁX} = 247.212 \times 0.3 = 74.1636 \text{ Nm}$$

Análisis de esfuerzos

Esfuerzo Flector.

$$\sigma_{MÁX} = \frac{M_{MÁX} \times C}{I}$$

Donde:

$\sigma_{MÁX}$ = Esfuerzo normal máximo (MPa)

$M_{MÁX}$ = Momento máximo: 74.1636 Nm

C = Distancia al centroide (m), equivalente al radio (D/2)

I = Momento de inercia (m^4)

El momento de inercia se halla de la siguiente manera:

$$I = \frac{\pi \times D_{eje}^4}{64}$$

Donde:

D_{eje} = Diámetro del eje: 45 mm (asumiendo)

Reemplazando la ecuación de momento de inercia en la ecuación de esfuerzo flector, la fórmula queda de la siguiente manera:

$$\sigma_{MÁX} = \frac{32 \times M_{MÁX}}{\pi D_{eje}^3}$$

Entonces:

$$\sigma_{MÁX} = \frac{32 \times (74.1636)}{\pi (0.045)^3} = 8\,289\,977.79 \text{ Pa} = 8.3 \text{ MPa}$$

Esfuerzo Torsor.

$$\tau_{T \text{ MÁX}} = \frac{M_T \times C}{J}$$

Donde:

$\tau_{T \text{ MÁX}}$ = Esfuerzo torsor máximo (MPa)

M_T = Momento torsor máximo (Nm)

C = Distancia al centroide (m), equivalente al radio (D/2)

J = Momento de inercia polar (m^4)

El momento de inercia se halla de la siguiente manera:

$$J = \frac{\pi \times D_{eje}^4}{32}$$

Donde:

D_{eje} = Diámetro del eje: 45 mm (asumiendo)

Reemplazando la ecuación de momento de inercia polar en la ecuación de esfuerzo torsor, la fórmula queda de la siguiente manera:

$$\tau_{T \text{ MÁX}} = \frac{16 \times M_T}{\pi D_{eje}^3}$$

El momento torsor máximo es la suma de todos los torques presentes:

$$M_T = T_{cc} + T_r + T_{PT}$$

Donde:

M_T = Momento torsor máximo (Nm)

T_{cc} = Torque de las cuchillas de corte: 12.637 Nm

T_r = Torque de los rodillos: 68.28 Nm

T_{PT} = Par motor del motorreductor: 787.5 Nm

Entonces:

$$M_T = 12.637 + 68.28 + 787.5 = 869.417 \text{ Nm}$$

$$\tau_{T \text{ MÁX}} = \frac{16 \times 869.417}{\pi (0.045)^3} = 48\,591\,543 \text{ Pa} = 48.6 \text{ MPa}$$

Factor de Seguridad

Antes de calcular el Factor de Seguridad se emplea la Teoría de Falla Estática para hallar el Esfuerzos Von Mises (MPa).

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \tau_{xy}^2}$$

Donde:

σ' = Esfuerzo de Von Mises (MPa)

σ_x = Esfuerzo Normal: 8.3 MPa

τ_{xy} = Esfuerzo cortante: 48.6 MPa

Entonces:

$$\sigma' = \sqrt{(8.3)^2 + 3 (48.6)^2} = 84.59 \text{ MPa}$$

Con el dato hallado se calcula el Factor de Seguridad del eje:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Donde:

FS = Factor de Seguridad

S_y = Esfuerzo ultimo del acero inoxidable AISI 316L: 170 MPa (ver **Anexo 10**)

σ' = Esfuerzo de Von Mises: 84.59 MPa

Se tomó el acero inoxidable AISI 316L porque es resistente a la corrosión y la materia prima posee cierta humedad.

Entonces:

$$FS = \frac{170}{84.59} = 2$$

El eje puede soportar hasta 2 veces el total de las cargas admitidas.

3.1.3.8. Dimensionamiento del rodamiento

Los rodamientos son elementos fundamentales para el sistema de transmisión de una máquina, ya que evita deslizamientos del eje y sirve como apoyo de soporte. Debido a las cargas mixtas que genera el motorreductor se elige un rodamiento de una hilera de rodillos cónicos métricos para esa parte del eje. Entonces, en base a la carga dinámica y el diámetro del eje (45 mm) se escoge el rodamiento 32009 X/Q. En el **Anexo 11** se muestran las características del rodamiento.

La vida nominal de un rodamiento se halla con la siguiente ecuación:

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Donde:

C = Capacidad de carga dinámica del rodamiento: 58.3 kN (ver **Anexo 11**)

P = Carga dinámica equivalente sobre el rodamiento: 2.61 kN

p = Exponente empírico de rodamientos de una hilera de rodillos cónicos: 10/3

La carga dinámica equivalente sobre el rodamiento es la suma de las cargas que soportará el elemento, las cuales son la fuerza de compresión de los rodillos (2.36 kN) y la carga generada por el peso de las piezas de peletización (0.25 kN).

Entonces:

$$L = \left(\frac{58.3}{2.61}\right)^{\frac{10}{3}} = 3.14 \times 10^4 \text{ millones de rev}$$

Para hallar la vida nominal en horas se hace la conversión respectiva tomando en cuenta las rpm que brinda el motorreductor (334 rpm).

$$\begin{aligned} L &= 3.14 \times 10^4 \text{ millones de rev} \times \left(\frac{1\,000\,000}{\text{millones}}\right) \times \left(\frac{1 \text{ min}}{334 \text{ rev}}\right) \times \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}\right) \\ &= 1.6 \times 10^6 \text{ horas de funcionamiento} \end{aligned}$$

3.1.3.9. Dimensionamiento de las chavetas del eje

Chaveta para el sistema de rodillos de compresión

La parte superior del eje tiene una chaveta para el acople del sistema de rodillos. Según el diámetro del eje (45 mm), se selecciona con una base en mm de 14 y una altura de 9 mm también (**ver Anexo 12**).

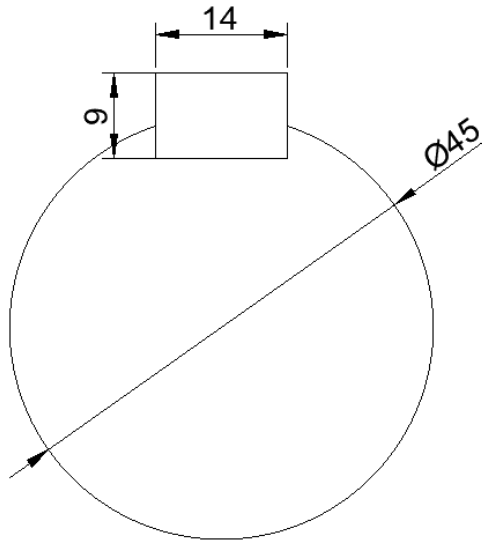


Figura No 17. Dimensiones de la chaveta

Fuente: Propia, 2020

Se generan análisis de falla para verificar si la chaveta tiene buen diseño, para eso es necesario calcular la fuerza de falla por cizallamiento, el cual se halla con la siguiente ecuación:

$$F_Z = \frac{2 \times T_r}{D_{eje}}$$

Donde:

F_Z = Fuerza de cizallamiento en la chaveta de los rodillos (kN)

T_r = Torque de los rodillos: 68.28 Nm

D_{eje} = Diámetro del eje: 45 mm

Entonces:

$$F_Z = \frac{2 \times 68.28}{0.045} = 3.035 \text{ kN}$$

Con la fuerza de cizallamiento hallada se calcula las tensiones de corte y compresión, respectivamente.

$$\tau_z = \frac{F_Z}{A_{CH}}$$

Donde:

τ_z = Esfuerzo cortante sobre la chaveta de los rodillos (MPa)

F_Z = Fuerza de cizallamiento en la chaveta de los rodillos: 3.035 kN

A_{CH} = Área transversal longitudinal de la chaveta de los rodillos: (m^2)

El área transversal longitudinal de la chaveta es la base (14 mm) por la longitud. A esta última medida se le asigna un valor de 5 cm.

Entonces:

$$\tau_z = \frac{3.035 \times 10^3}{0.014 \times 0.05} = 4.3 \text{ MPa}$$

Y:

$$\sigma_z = \frac{F_Z}{A_{CH*}}$$

Donde:

σ_z = Esfuerzo de compresión sobre la chaveta de los rodillos (MPa)

F_Z = Fuerza de cizallamiento en la chaveta de los rodillos: 3.035 kN

A_{CH*} = Área longitudinal de la chaveta de los rodillos (m^2)

El área longitudinal de la chaveta es la altura (9 mm) por la longitud (5 cm).

Entonces:

$$\sigma_z = \frac{3.035 \times 10^3}{0.009 \times 0.05} = 6.7 \text{ MPa}$$

Con los esfuerzos máximos hallados, empleando la Teoría de Falla Estática, se halla el Esfuerzo Von Mises (MPa).

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_z^2 + 3 \tau_z^2}$$

Donde:

σ' = Esfuerzo de Von Mises (MPa)

σ_z = Esfuerzo Normal: 6.7 MPa

τ_z = Esfuerzo cortante: 4.3 MPa

Entonces:

$$\sigma' = \sqrt{(6.7)^2 + 3 (4.3)^2} = 10 \text{ MPa}$$

Con el dato hallado se calcula el Factor de Seguridad del eje:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Donde:

FS = Factor de Seguridad

S_y = Esfuerzo ultimo del acero inoxidable AISI 316L: 170 MPa (ver **Anexo 10**)

σ' = Esfuerzo de Von Mises: 10 MPa

Entonces:

$$FS = \frac{170}{10} = 17$$

Chaveta para el sistema de cuchillas

Las cuchillas estarán ensambladas a un anillo, el cual poseerá un canal para la colocación de una chaveta que compartirá con el eje principal. El diámetro del eje en esa sección sigue siendo de 45 mm pero las cuchillas tienen un peso mucho menor que los rodillos, por lo tanto la chaveta del sistema de cuchillas tendrá una base de 10 y una altura de 8 mm (**ver Anexo 12**).

Se genera análisis de falla para verificar si la chaveta tiene buen diseño calculando la fuerza de falla por cizallamiento.

$$F_{zc} = \frac{2 \times T_{cc}}{D_{eje}}$$

Donde:

F_{zc} = Fuerza de cizallamiento en la chaveta de las cuchillas (kN)

T_{cc} = Torque de las cuchillas de corte: 12.637 Nm

D_{eje} = Diámetro del eje: 45 mm

Entonces:

$$F_{zc} = \frac{2 \times 12.637}{0.045} = 0.562 \text{ kN}$$

Con la fuerza de cizallamiento hallada se calcula las tensiones de corte y compresión, respectivamente.

$$\tau_{zc} = \frac{F_{zc}}{A_{CHC}}$$

Donde:

τ_{zc} = Esfuerzo cortante sobre la chaveta de las cuchillas (MPa)

F_{zc} = Fuerza de cizallamiento en la chaveta de las cuchillas: 0.562 kN

A_{CHC} = Área transversal longitudinal de la chaveta de las cuchillas: (m^2)

El área transversal longitudinal de la chaveta es la base (10 mm) por la longitud. A esta última medida se le asigna un valor de 2 cm.

Entonces:

$$\tau_{zc} = \frac{0.562 \times 10^3}{0.010 \times 0.02} = 2.81 \text{ MPa}$$

Y:

$$\sigma_{zc} = \frac{F_{Zc}}{A_{CHC*}}$$

Donde:

σ_{zc} = Esfuerzo de compresión sobre la chaveta de las cuchillas (MPa)

F_{Zc} = Fuerza de cizallamiento en la chaveta de las cuchillas: 0.562 kN

A_{CHC*} = Área longitudinal de la chaveta de las cuchillas (m^2)

El área longitudinal de la chaveta es la altura (8 mm) por la longitud (2 cm).

Entonces:

$$\sigma_{zc} = \frac{0.562 \times 10^3}{0.008 \times 0.02} = 3.51 \text{ MPa}$$

Con los esfuerzos máximos hallados, empleando la Teoría de Falla Estática, se halla el Esfuerzos Von Mises (MPa).

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_{zc}^2 + 3 \tau_{zc}^2}$$

Donde:

σ' = Esfuerzo de Von Mises (MPa)

σ_{zc} = Esfuerzo Normal: 3.51 MPa

τ_{zc} = Esfuerzo cortante: 2.81 MPa

Entonces:

$$\sigma' = \sqrt{(3.51)^2 + 3 (2.81)^2} = 6 \text{ MPa}$$

Con el dato hallado se calcula el Factor de Seguridad del eje:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Donde:

FS = Factor de Seguridad

S_y = Esfuerzo ultimo del acero inoxidable AISI 316L: 170 MPa (ver **Anexo 10**)

σ' = Esfuerzo de Von Mises: 6 MPa

Entonces:

$$FS = \frac{170}{6} = 28$$

Ambos valores nos indican que las dimensiones de las chavetas pueden reducir de gran manera, sin embargo, se mantendrán por recomendación de la información específica obtenida en el **Anexo 12**.

3.1.4. Diseño de la máquina peletizadora

Para el diseño de los elementos, equipos y sistemas de la máquina se utilizó el software de ingeniería SolidWorks, y para una mejor calidad de imagen se empleó la herramienta de renderizado. En Anexos se adjuntan los planos de cada pieza diseñada.

3.1.4.1. Diseño de la tolva de alimentación



Figura No 18. Tolva de alimentación

Fuente: Propia, 2020

3.1.4.2. Diseño del sistema de rodillos de compresión



Figura No 19. Rodillo de compresión

Fuente: Propia, 2020

3.1.4.3. Diseño de la matriz plana de agujeros

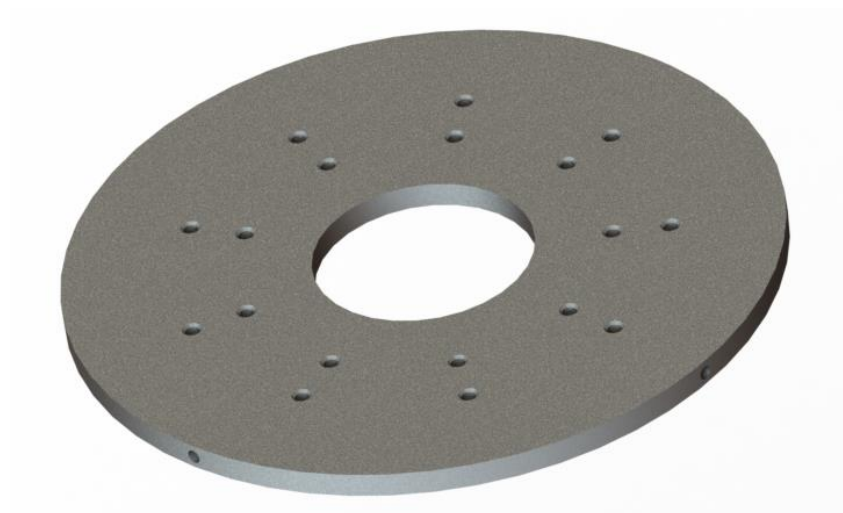


Figura No 20. Matriz plana con agujeros

Fuente: Propia, 2020

3.1.4.4. Diseño de las cuchillas de corte

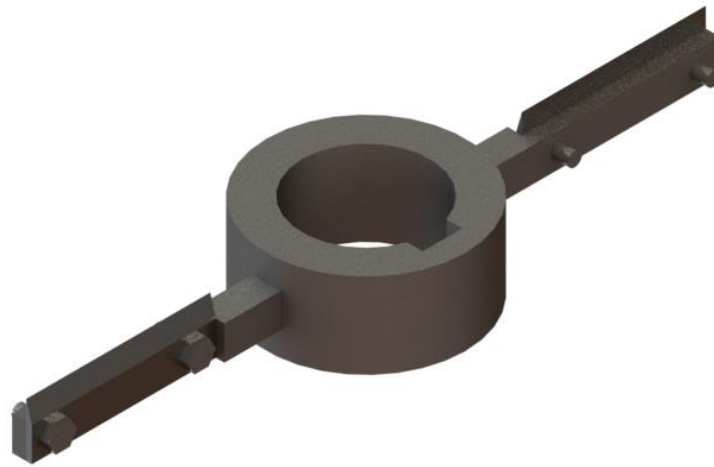


Figura No 21. Sistema de cuchillas de corte

Fuente: Propia, 2020

3.1.4.5. Diseño del eje principal



Figura No 22. Eje principal

Fuente: Propia, 2020

3.1.4.6. Diseño general de la máquina peletizadora



Figura No 23. Máquina peletizadora

Fuente: Propia, 2020

3.1.5. Estudio de fatiga de los elementos críticos de la máquina peletizadora

Los elementos críticos sometidos a un estudio de fatiga fueron el eje principal y la estructura metálica. El eje principal debido a que soporta el torque brindado por el motor, y los torques generados por los rodillos y las cuchillas, mientras que la estructura metálica soporta todo el peso de la máquina, incluido el motorreductor.

3.1.5.1. Simulación estática del eje principal

Se ejecuta un análisis estático del eje principal de la peletizadora. Tomando en cuenta el material y las dimensiones del elemento, se ingresan los parámetros de estudio.

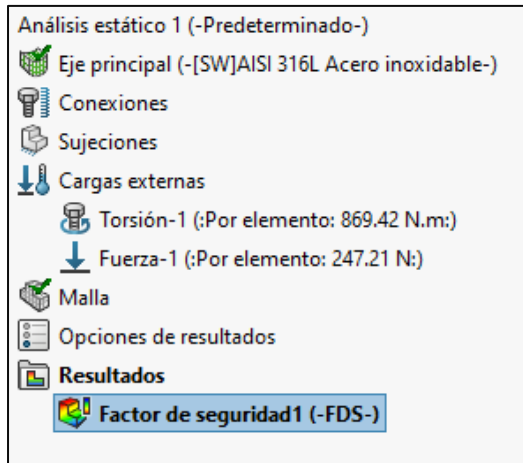


Figura No 24. Parámetros de análisis estático del eje principal

Fuente: Propia, 2020

La fuerza está representada por una flecha de color rojo, mientras que el torque de flechas de color azul.

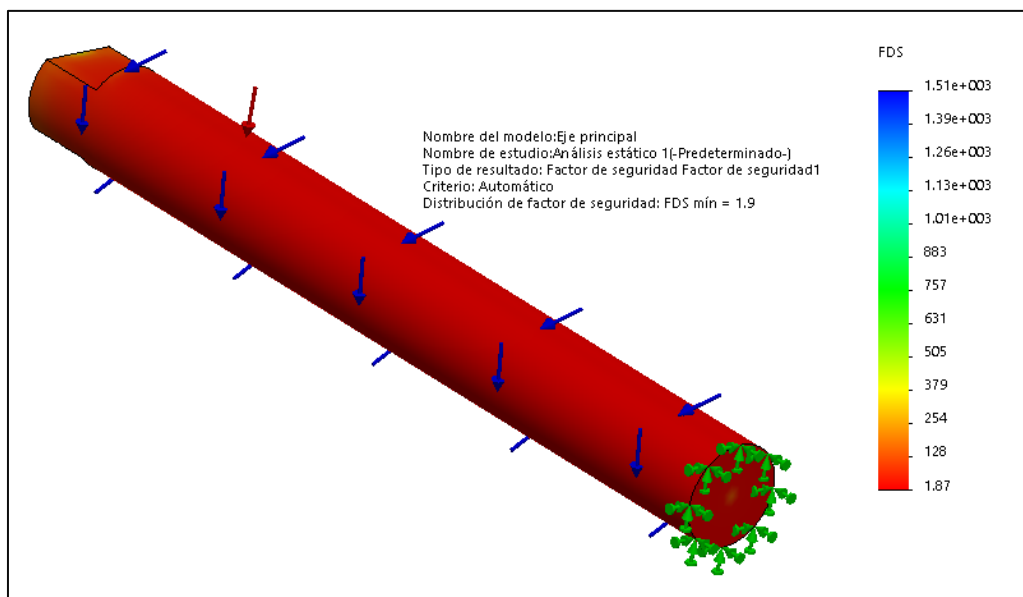


Figura No 25. Análisis estático del eje principal

Fuente: Propia, 2020

Como se puede apreciar en la imagen, el Factor de Seguridad mínimo del eje es 1.9. Dicho valor hallado teóricamente fue de 2. La simulación muestra el correcto diseño del eje principal de la peletizadora.

3.1.5.2. Simulación estática de la estructura de soporte

Para el análisis de carga de la estructura de la máquina peletizadora, se toma en cuenta todos los pesos que soportará.

Tabla No 12

Pesos que soportará la estructura

Elemento	Carga (kg)	Fuerza (N)
Peso total de los elementos de la máquina peletizadora	40 kg	392.4
Motorreductor	92	902.52
TOTAL		1 294.92

Fuente: Propia, 2020

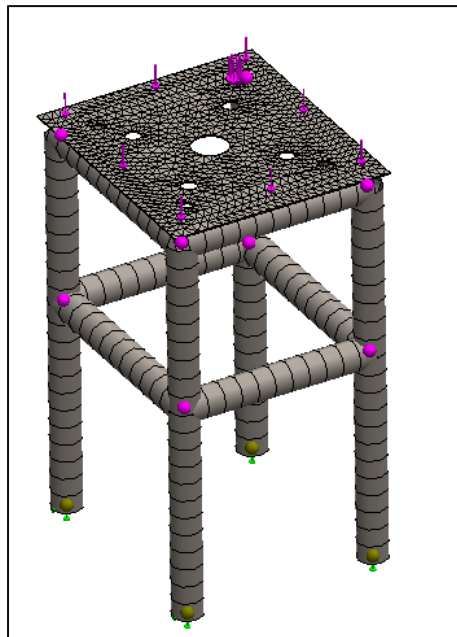


Figura No 26. Proyección de la carga total en la estructura

Fuente: Propia, 2020

El material de la estructura es acero ASTM A36 y tiene un perfil cuadrado de 45 x 45 mm por 1 mm de espesor. Se ingresan los parámetros de análisis.

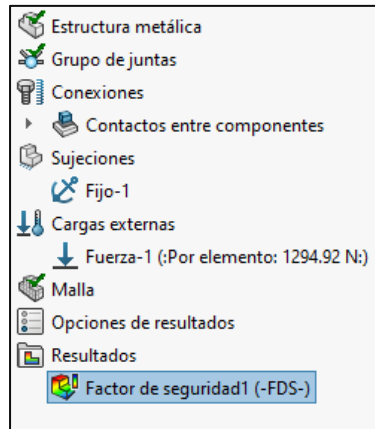


Figura No 27. Parámetros de análisis estructural

Fuente: Propia, 2020

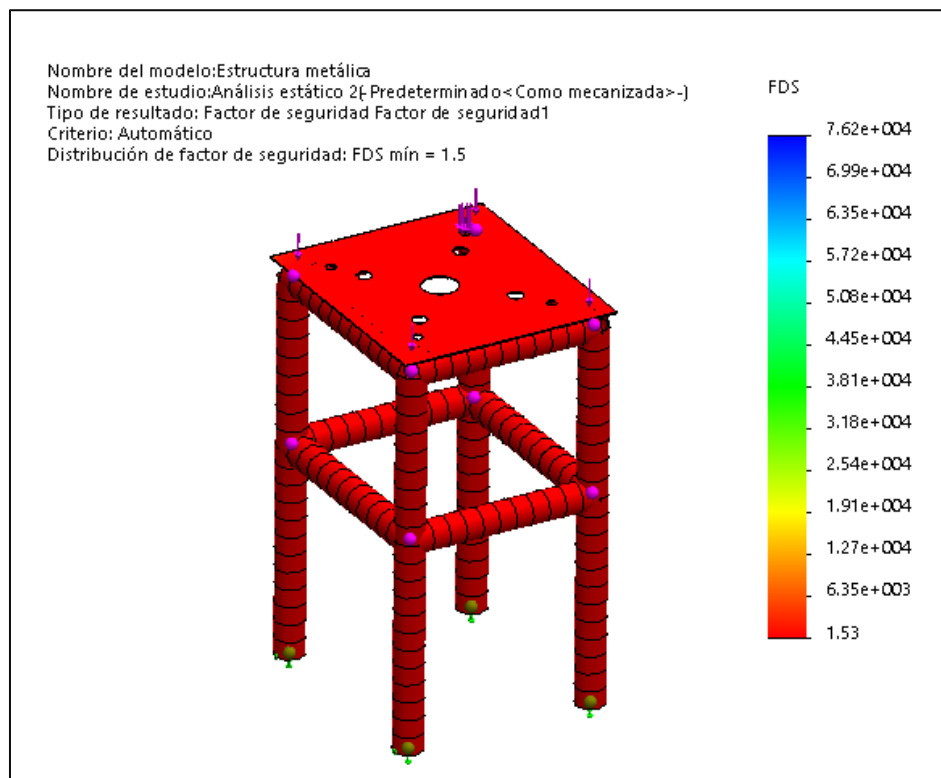


Figura No 28. Análisis estructural del soporte de la máquina

Fuente: Propia, 2020

La estructura de soporte de la máquina peletizadora arroja un Factor de Seguridad de 1.53, es un valor muy favorable teniendo en cuenta que la carga total es de 132 kg. Con el estudio se puede verificar que la estructura metálica puede soportar hasta 62 kg más del peso para el que fue diseñado.

3.2. Discusión de resultados

- En un principio se pensó calcular la máquina para una capacidad de 125 kg/h, pero era necesario tomar en cuenta un factor de sobre producción, el cual además permite que se recupere la materia prima que quedará atrapada en filos y otras partes de los rodillos y todo el interior de la cámara de peletización.
- La altura de la tolva de 30 mm asegura un no estancamiento de la materia prima cuando esta ingrese al proceso de peletización, aunque dicha medida puede reducirse hasta a 20 mm, siempre y cuando se corroboró que será apta para el ingreso del volumen de la materia prima en el tiempo elegido.
- La elección de 2 rodillos estuvo en discusión, debido a la alta producción de la máquina, pero incluir un 3er o 4to rodillo significa que el eje soportará más peso y por ende se requerirá de un mayor torque, y con esto, una potencia más alta de entrega. Significaría una máquina con mayores dimensiones, y los 7 HP tendrían que elevarse.
- Un diámetro de 45 mm para el eje de la máquina peletizadora genera confianza en el diseño, pues el análisis corrobora un FS de 2. Aunque por este índice de buen diseño, el diámetro podría bajar 5 o 7 mm, quedaron hasta en 38 mm.
- Para una simetría del elemento, los rodillos tiene un espesor igual a su radio (6.4 cm), es una consideración que se tuvo para el presente diseño de la máquina peletizadora de alimento balanceado. Al variar este espesor, varía el volumen y con esto la masa de la pieza, afectando los pesos que soporta el eje de 45 mm y para el cual está diseñado.

Capítulo IV

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La determinación correcta de los 4 parámetros principales involucrados en el proceso de peletizado permite tener un enfoque sobre los futuros mecanismos y dimensiones de la máquina. Al tener en cuenta la fricción (0.45) o densidad (700 kg/m³) del alimento balanceado, permite generar una visión sobre las fuerzas que tienen que brindar los elementos del proceso de peletizado para una buena compresión.
- Los estudios empleados para la elección del diseño conceptual de la máquina peletizadora brindaron un mecanismo correcto que al final se comprobó con los análisis de ingeniería. Las 3 opciones planteadas fueron muy similares pero fue el diseño conceptual 1 que brindó el mayor ponderado (85).
- Para las dimensiones de la máquina peletizadora se emplearon fórmulas de diversos autores citados, estos cálculos fueron comprobados a través de una simulación computarizada. El eje principal que soporta un torque alto de 869.417 Nm más los kg de cada elemento de la máquina tuvo un FS hallado teóricamente de 2, mientras que el análisis simulado arrojó un valor de 1.9. El porcentaje de error es mínimo, eso verifica el buen diseño de cada elemento de la máquina que será accionado por los 7 HP de un motorreductor.
- El software usado para el diseño de cada elemento y sistema de la máquina brinda una idea materializada de la máquina peletizadora. Cada dibujo 3D contiene las dimensiones calculadas, como la matriz horizontal que posee un diámetro de 25 cm con un total de 18 agujeros o los rodillos de compresión con un radio de 6.4 cm y espesor del mismo valor. Fue necesario diseñar el motorreductor de 7 HP para una mejor representación de la máquina.
- Las simulaciones estáticas confirman el buen diseño y geometría de los elementos críticos de la máquina peletizadora, el FS de 1.5 de la estructura metálica que soporta los más de 130 kg de peso total de la máquina, comprueba la veracidad de cálculos de esta investigación.

RECOMENDACIONES

- Es necesario considerar un factor de sobreproducción que aumente la capacidad de la máquina, un valor entre el 20 al 25% adicional es suficiente para evitar problemas al momento de contabilizar los kg/h de pellets producidos.
- Si se desea aumentar la cantidad de rodillos, se tendrá que recalcular cada pieza de la máquina, principalmente el eje principal y las dimensiones de la cámara donde se realiza la peletización.
- Se aconseja emplear un material como el acero inoxidable 316L u otro acero con alta resistencia a la corrosión para los elementos que tienen contacto con los pellets, como el eje principal, los rodillos y la matriz, debido a la humedad contenida en la materia prima del alimento balanceado.
- Si se desea fabricar la máquina peletizadora de alimento balanceado de 150 kg/h es obligatorio tomar cada dimensión y mecanismo hallado y seleccionado en esta investigación, ya que caso contrario el porcentaje de cumplimiento de la capacidad de producción puede bajar.
- La máquina peletizadora de alimento balanceado tiene una matriz diseñada solo para este tipo de pellet (diámetro de 5 mm y longitud de 8 mm), si se desea probar la máquina para otro tipo de granulado, será necesario recalcular el diámetros, espesor y agujeros de la matriz.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

- Torres, D. M. (2018). Exigencias nutricionales de proteína bruta y energía metabolizable para pollos de engorde. *RIAA*, 9(1), 6.
- Albán Yépez, E. F., & Arias Romo, Á. S. (2019). *Diseño, construcción e implementación de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para el sector pecuario con capacidad de 100kg/h* (Bachelor's thesis).
- MINAGRI (2015). Situación de las actividades de crianza y producción de alimentos balanceados. Lima, Perú.: Ministerio de Agricultura y Riego. Recuperado de: <https://www.minagri.gob.pe/portal/objetivos/40-sector-agrario/situacion-de-las-actividades-de-crianza-y-produccion/307-alimentos-balanceados>
- Olympia Group (2020). Peletizadoras para Plástico. Lima, Perú.: Olympia Group, maquinaria para plásticos. Recuperado de <http://olympia-pe.com/site/index.php/productos/peletizadoras>.
- Eco-tech (2015). Peletizadora 800 kg/h. Lima, Perú.: Eco-Tech Coporation S.A.C. Recuperado de <https://www.eco-tech.com.pe/cat/19-Peletizadora-800kg-hora>
- Alcántara Guevara, J. L., Avalos Garcés, J. A., Pozo Bernal, S. A., Vargas Facundo, M. V., & Yarlequé Alcas, D. B. (2017). Alimentos Balanceados YOLI.
- Dirección General de Investigación y Estudios sobre Comercio Exterior (2017). Reporte Regional de Comercio Lambayeque. Recuperado de: https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/estadisticas_y_publicaciones/estadisticas/reportes_reporte_regional/RRC_Lambayeque_2017.pdf
- NutreLamb (2020). Nutre Lamb Alimentos Balanceados. Chiclayo, Lambayeque.: Findglocal. Recuperado de: <http://www.findglocal.com/PE/La-Victoria/1773101909569574/NutreLamb---Alimento-Balanceado>
- Borgiattino, E. A., & Pilla, G. (2020). Máquina de molienda y pelletizado de cáscara de maní.

Albán Yépez, E. F., & Arias Romo, Á. S. (2019). *Diseño, construcción e implementación de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para el sector pecuario con capacidad de 100kg/h* (Bachelor's thesis).

Chaparro Molano, F. A., & Quintero Silva, J. M. (2017). Rediseño del sistema de rodillos de una peletizadora vertical de alimento concentrado para pollos.

Luque Mendoza, E. Y. (2019). Diseño de una máquina mezcladora de alimento balanceado para pequeñas granjas ganaderas.

Julcamoro Alva, C. A. (2018). Diseño de una máquina peletizadora para reducir volumen de residuos sólidos en el relleno sanitario Namora-Cajamarca-2017.

Fiestas Querebalú, J. C., & Vargas Herrera, M. F. (2018). DISEÑO DE UNA MÁQUINA PROCESADORA DE PELLETS EN BASE A MERMA DE ARROZ CON CAPACIDAD DE 200 KG/H PARA LA EMPRESA ESCALY SRL–LAMBAYEQUE.

Chachapoya Rivas, D. L. (2014). *Producción de alimentos balanceados en una planta procesadora en el cantón Cevallos* (Bachelor's thesis, Quito, 2014.).

Gambaudo, S. (2014). *Diseño, Implementación y Certificación de Sistema de Gestión de Inocuidad Alimentaria en Planta de Alimentos Balanceados para la Nutrición Animal* (Doctoral dissertation, Universidad Católica de Córdoba).

Hernández, A. S., González, E. V., & Landeros, D. R. Diseño de Maquinaria para la Producción de Alimento Peletizado para Ganado.

Carreño Malla, J. S. (2015). Diseño de una máquina peletizadora para reducir volumen de alimentos balanceados para ganado vacuno.

Arpi, J., & Calderón, C. (2010). *Diseño de una maquina pelletizadora en base a la disponibilidad de residuos madereros de la ciudad de Cuenca para su aprovechamiento energético* (Doctoral dissertation, Tesis de Pregrado en Ingeniería Mecánica). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.

Vignote Peña, S., & Martínez Rojas, I. (2006). Tecnología de la madera.

Manufactura, I. tecnología. *Kalpakjian, Serope y Schmid, Steven R. Cuarta Edición, Pag, 2.*

Borja Vargas, F. N., & Crespo Tite, A. E. (2019). *Diseño y construcción de un sistema de reparto de alimentos para pollos de postura en la avícola “elycar”, ubicada en el barrio tandalivi Latacunga* (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).).

ANEXOS

Anexo 1

Norma INEN NTE 1643



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1643:2013
Primera revisión

**ALIMENTOS PARA ANIMALES. TERMINOLOGÍA Y
CLASIFICACIÓN**

Primera edición

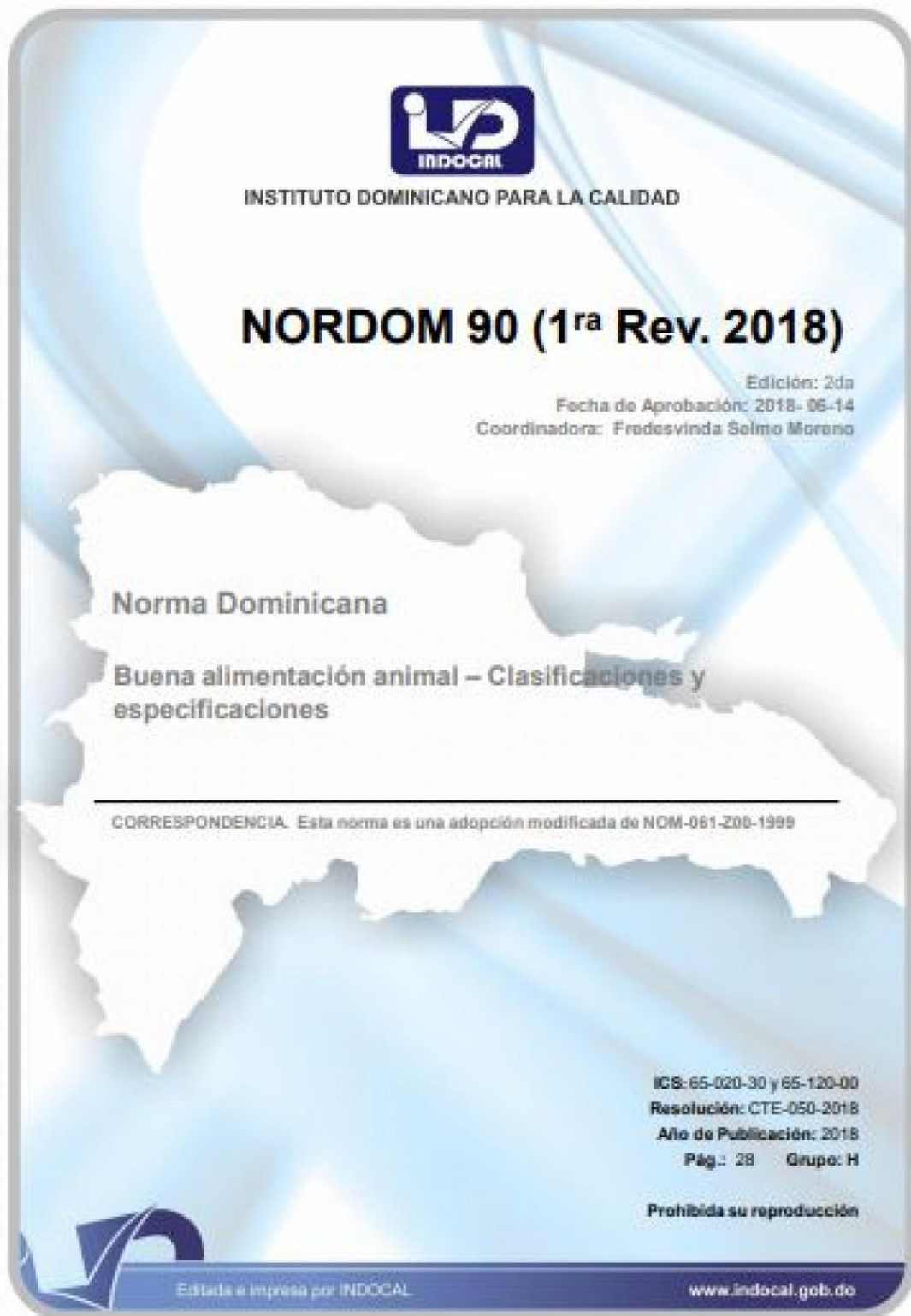
ANIMAL FEEDING STUFFS. TERMINOLOGY AND CLASSIFICATION

First edition

DESCRIPTORES: Alimentos para animales, terminología, clasificación
AL 06.01.102
CDU: 636.085.543.062
ICS: 65.120

Anexo 2

Norma NORDOM 90



Anexo 3

Modelo de cuestionario

Dirigida a dueños de avícolas y pequeños agricultores
Tema: Alimento balanceado para granjas avícolas
CUESTIONARIO
Fecha: ____/____/____
Nombre del entrevistado: _____
OBJETIVO:
Conocer las características sobre el alimento que comen los animales de granja de la región Lambayeque.
PREGUNTAS:
1. ¿Cuáles son los nutrientes que más consumen las aves de granja?

2. De los mencionados en la pregunta anterior, ¿Cuál considera usted que genera más beneficio para el crecimiento y desarrollo de las aves de granja?

3. ¿Según usted, cree que es económico comprar estos nutrientes?

4. ¿Cuánto es lo que gasta usted al mes por la compra de estos nutrientes?

5. ¿Cree usted que puede adquirir una máquina peletizadora operada por electricidad que posea la ventaja de mejorar las características de los nutrientes que comen sus aves?

6. ¿Estaría dispuesto a colocar a una persona para que opere la máquina? Tomar en cuenta que puede ser una persona cualquiera.

7. Según su criterio, ¿Cuánto es el peso que debería tener la máquina para que puede ser transportada sin problemas?

8. ¿Cuántas personas deberían usarse para mover dicha máquina?

9. ¿Cuánto estaría dispuesto a invertir usted en una máquina peletizadora?

10. En caso de que usted adquiriera una máquina peletizadora, ¿Le aplicaría algún mantenimiento mensual o anual con la intención de cuidar el equipo? En caso su respuesta sea sí, ¿El mantenimiento lo haría usted o lo llevaría a algún taller?

Entrevistador: _____

ELABORADO POR: **Céspedes Taica, Segundo Orlando**

Anexo 4

Código de ética del Colegio de ingenieros del Perú (CIP)



CÓDIGO DE ETICA DEL CIP

**APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS
DEPARTAMENTALES DEL PERÍODO 1998 - 1999
EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 ABRIL 1999**

Anexo 5

Código de ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS)



www.uss.edu.pe

**CÓDIGO DE ÉTICA DE
INVESTIGACIÓN DE LA USS**

VERSIÓN 03

RATIFICADO POR ACUERDO DE CONSEJO UNIVERSITARIO CON RESOLUCIÓN
RECTORAL N° 0851-2017/USS

CHICLAYO - PERÚ

Versión: 03	Código: UR-CE	F. Implementación:	Página 1 de 29
Elaborado por: Dirección de Investigación	Revisado por: Planificación y Desarrollo Institucional – Asesoría Legal		Ratificado con Resolución Rectoral N° 8851- 2017/USS

Anexo 6

Coeficientes de fricción de materiales sobre el acero

Material de fricción	Material de fricción		Rango de presión	
	En seco	En aceite	(psi)	(kPa)
Compuestos moldeados	0.25-0.45	0.06-0.10	150-300	1 035-2 070
Materiales tejidos	0.25-0.45	0.08-0.10	50-100	345-690
Metal sinterizado	0.15-0.45	0.05-0.08	150-300	1 035-2 070
Corcho	0.30-0.50	0.15-0.25	8-15	55-100
Madera	0.20-0.45	0.12-0.16	50-90	345-620
Hierro fundido	0.15-0.25	0.03-0.06	100-250	690-1 725
Con base de papel	—	0.10-0.15	—	—
Grafito/resina	—	0.10-0.14	—	—

Anexo 7

Densidades de distintos materiales

Tabla de densidades

www.vaxasoftware.com

Substancia	Densidad kg/m ³	Substancia	Densidad kg/m ³
Aceite	920	Iridio	22500
Acero	7850	Madera (pino)	700
Agua (4 °C)	1000	Magnesio	1740
Agua de mar	1027	Mercurio	13580
Agujero negro (valor teórico)	4×10 ¹⁷	Nieve compactada	300
Aire (25 °C, 1 atm)	1,184	Níquel	8900
Alcohol etílico	780	Núcleo interno terrestre	13000
Aluminio	2700	Núcleo atómico	2,3×10 ¹⁷
Carbono	2260	Núcleo del Sol (aprox.)	150000
Caucho	950	Oro	19300
Cinc	7140	Osmio	22610
Cobalto	8900	Plata	10490
Cobre	8940	Platino	21450
Cuerpo humano	950	Plomo	11340
Diamante	3515	Poliuretano rígido	35
Estaño	7310	Sangre	1500
Estrella de neutrones (máx.)	1×10 ¹⁸	Sol	1411
Gasolina	680	Tántalo	16650
Glicerina (glicerol)	1261	Tierra (planeta)	5515
Helio	0,18	Torio	11724
Hielo	920	Uranio	19100
Hierro	7870	Vanadio	6110
Hormigón	2400	Vidrio	2500
Litio	534	Wolframio	19250
Luna	3340		

Anexo 8

Esfuerzos de fluencia de algunos materiales

Material	Módulo de Young E [GPa]	Tensión de Fluencia σ_F [Mpa]	Módulo de Corte G [Gpa]	Módulo de Volumen K [Gpa]	$\alpha \times 10^6$ Coef. Exp. [1/°C]	μ Coef. Poiss.
Hierro Colado	100		40	90		
Hierro	150-170	180	60	120	11.7	
Acero Inox.	195	550			17.3	0.24 0.28
Acero	200		80	140		0.25 0.30
Latón	100		35	80		0.32 0.42
Aluminio	70		25	70	21.0	0.32 0.36
Cobre	110-120	300	38	120	16.5	0.33
Níquel	204	460			13.3	
Bronce	90					
Plata	82.7					0.37
Concreto	20 (compresión)	5- 35 (compresión)			11.7	0.1 0.15
Vidrio	48-78					0.2 0.3
Mármol	50			70		0.10 0.15
Granito	52	5-145 (tracc-comp)				
Madera, pino	1 a 10	40 – 80				
Madera, roble	11	117-59 (tracc-comp)				
Nylon	5	40-100				0.35
Hueso de extremidades	15	160-170 (tracc-comp)				

Anexo 9

Especificaciones de motorreductor de engranaje helicoidal C

		C00	C01	C03	C05	C06	C07	C08	C09	C10
Par nominal	[Nm]	50	85	200	400	600	820	1550	3000	4500
Numero de etapas		2 etapas	2 etapas	2 / 3 etapas	2 / 3 etapas	2 / 3 etapas	2 / 3 etapas	2 / 3 etapas	2 / 3 etapas	2 / 3 etapas
Rango de relaciones		2,44-47,44	3,09-66,5	3,34-286,32	3,83-328,43	3,73-375,71	5,30-351,33	5,12-368,94	4,22-306,73	4,19-246,43
Rango de velocidades de 1400 rpm 50Hz	[rpm]	29 - 573	21 - 453	4 - 419	4 - 365	3 - 375	4 - 264	4 - 274	5 - 332	6 - 334
Rango de potencias 50Hz	[kW]	0,12 - 0,75	0,12 - 1,5	0,12 - 3	0,12 - 7,5	0,12 - 9,2	0,12 - 15	0,18 - 22	0,55 - 30	1,1 - 30
Eje de salida	[mm]	20 x 40	20 x 40	25 x 50	30 x 60 35 x 70	35 x 70	40 x 80	50 x 100	60 x 120	70 x 140
Brida de salida IEC	[mm]	120/140/160	120/140/160	120/140/ 160/200	160/200/250	200/250	250/300	300/350	350/450	350/450
Material de la caja		Aluminio					Hierro fundido			

Anexo 10

Ficha técnica del acero inoxidable 316L



PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE

AISI 316 L



Fabricado Bajo Norma: ASTM A240 / A480
Terminaciones Superficiales Disponibles: 2B y Nº1

Estado de Suministro

Laminado

Características

Acero inoxidable austenítico aleado al Cromo-Níquel-Molibdenu. La adición de Molibdenu le confiere una alta resistencia a la corrosión por picado (pitting). No es templable ni magnético. Gran resistencia a la acción corrosiva de reactivos químicos (en especial al ácido sulfúrico) y a la atmósfera marina. Su aplicación es frecuente en la industria alimenticia, papelera y construcción.

El grado 316L, tiene un más bajo contenido de carbono, lo cual aumenta la temperatura de resistencia a la corrosión intergranular, además de mejorar su soldabilidad.

Aplicaciones

Es utilizado en refineras, en la Industria alimenticia, minera, pesquera, química, farmacéutica y en la agroindustria. Algunos usos son silos de almacenamiento de pulpa y cemento, estanques para ácido sulfúrico y combustibles. Estanques para fermentación y sistemas de drenaje. Pasarelas, plataformas, escaleras, barriiles, ciclones y sistemas de filtración de aire. Ductos y spools de grandes diámetros. Equipos hospitalarios.

Propiedades Mecánicas

Esfuerzo Fluencia (mín.) (Mpa)	Esfuerzo Tracción (mín.) (Mpa)	Elongación (mín.) %	Dureza (máx.) Brinell (HB)
170	485	40	217

Composición Química

AISI	% C (máx.)	% Mn (máx.)	% Si (máx.)	% Cr	% Ni	% Mo	% P (máx.)	% S (máx.)
316L	0,03	2,00	0,75	16,00 - 18,00	10,00 - 14,00	2,00 - 3,00	0,045	0,03

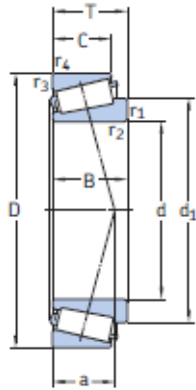


Los valores de las tablas son referenciales.
 Santiago: Fray Camilo Nº 781, Santiago. T: (02) 889 6000. • Av. 10 de Julio Nº 202, Santiago. T: (02) 889 6140. • Panamericana Norte Nº 6080, Quilicura. T: (02) 889 6080. • Traslaviña Nº 1516, San Miguel. T: (02) 889 6170.
 Antofagasta: Av. Pedro Aguirre Cerda Nº 7277. T: (55) 882 500. • Viña del Mar: Quilota Nº 636. T: (32) 269 8823. • Concepción: Paicavi Nº 2677. T: (41) 226 2700. • Puerto Montt: Ruta 5 Sur Nº 552, Camino Pargua. T: (65) 493 300.

Anexo 11

Ficha técnica del rodamiento de una hilera de rodillos cónicos métricos

d 35 – 45 mm

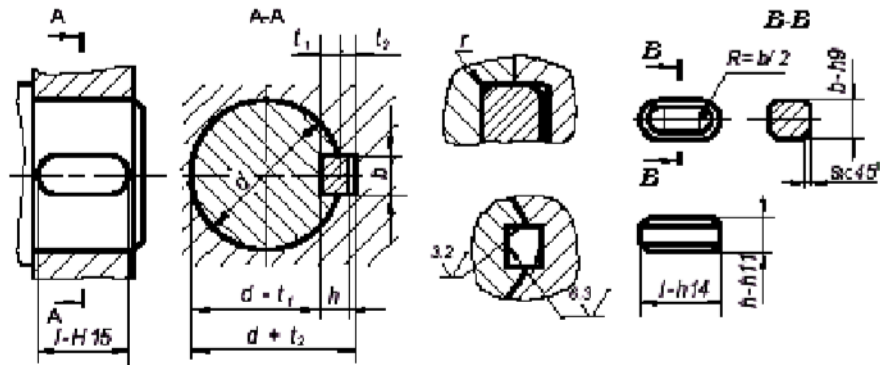


Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación	Series de dimensiones para la normativa ISO 355 (ABMA)
d	D	T	C	C ₀	P ₀	Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-	-
35	62	18	37,4	49	5,2	8 000	11 000	0,23	32007 J2/Q	4CC
	62	18	42,9	54	5,85	8 000	10 000	0,23	32007 X/Q	4CC
	72	18,25	51,2	56	6,1	7 000	9 500	0,33	30207 J2/Q	3DB
	72	24,25	66	78	8,5	7 000	9 500	0,44	32207 J2/Q	3DC
	72	28	84,2	106	11,8	6 300	9 500	0,53	33207/Q	2DE
	80	22,75	72,1	73,5	8,3	6 700	9 000	0,51	30307 J2/Q	2FB
	80	22,75	61,6	67	7,8	6 000	8 500	0,52	31307 J2/Q	7FB
	80	32,75	93,5	114	12,9	6 000	8 500	0,8	32307 BJ2/Q	5FE
	80	32,75	95,2	106	12,2	6 300	9 000	0,75	32307 J2/Q	2FE
	37	80	32,75	93,5	114	12,9	6 300	9 500	0,77	32307/37 BJ2/Q
38	63	17	36,9	52	5,4	7 500	11 000	0,21	JL 69349 A/310/Q	3CC
	63	17	36,9	52	5,4	7 500	11 000	0,2	JL 69349/310/Q	3CC
	68	19	52,8	71	7,65	7 000	10 000	0,3	32008/38 X/Q	3CC
40	68	19	52,8	71	7,65	7 000	9 500	0,28	32008 X/Q	3CD
	75	26	79,2	104	11,4	6 700	9 000	0,5	33108/Q	2CE
	80	19,75	61,6	68	7,65	6 300	8 500	0,42	30208 J2/Q	3DB
	80	24,75	74,8	86,5	9,8	6 300	8 500	0,53	32208 J2/Q	3DC
	80	32	105	132	15	5 600	8 500	0,73	33208/QCL7C	2DE
	85	33	121	150	17,3	6 000	9 000	0,9	T2EE 040/QVB134	2EE
	90	25,25	85,8	95	10,8	6 000	8 000	0,73	30308 J2/Q	2FB
	90	25,25	85	81,5	9,5	5 600	7 500	0,72	* 31308 J2/QCL7C	7FB
90	35,25	117	140	16	5 300	8 000	1,05	32308 J2/Q	2FD	
45	75	20	58,3	80	8,8	6 300	8 500	0,34	32009 X/Q	3CC
	80	26	96,5	114	12,9	6 700	8 000	0,55	* 33109/Q	3CE
	85	20,75	66	76,5	8,65	6 000	8 000	0,47	30209 J2/Q	3DB
	85	24,75	91,5	98	11	6 300	8 000	0,58	* 32209 J2/Q	3DC
	85	32	108	143	16,3	5 300	7 500	0,79	33209/Q	3DE
	95	29	89,7	112	12,7	4 800	7 000	0,93	T7FC 045/HN3QCL7C	7FC
	95	36	147	186	20,8	5 300	8 000	1,2	T2ED 045	2FD
	100	27,25	108	120	14,3	5 300	7 000	0,97	30309 J2/Q	2FB
	100	27,25	106	102	12,5	5 000	6 700	0,95	* 31309 J2/QCL7C	7FB
	100	38,25	134	176	20	4 800	6 700	1,45	32309 BJ2/QCL7C	5FD
	100	38,25	140	170	20,4	4 800	7 000	1,4	32309 J2/Q	2FD

* Rodamiento SKF Explorer

Anexo 12

Ficha técnica de la chaveta

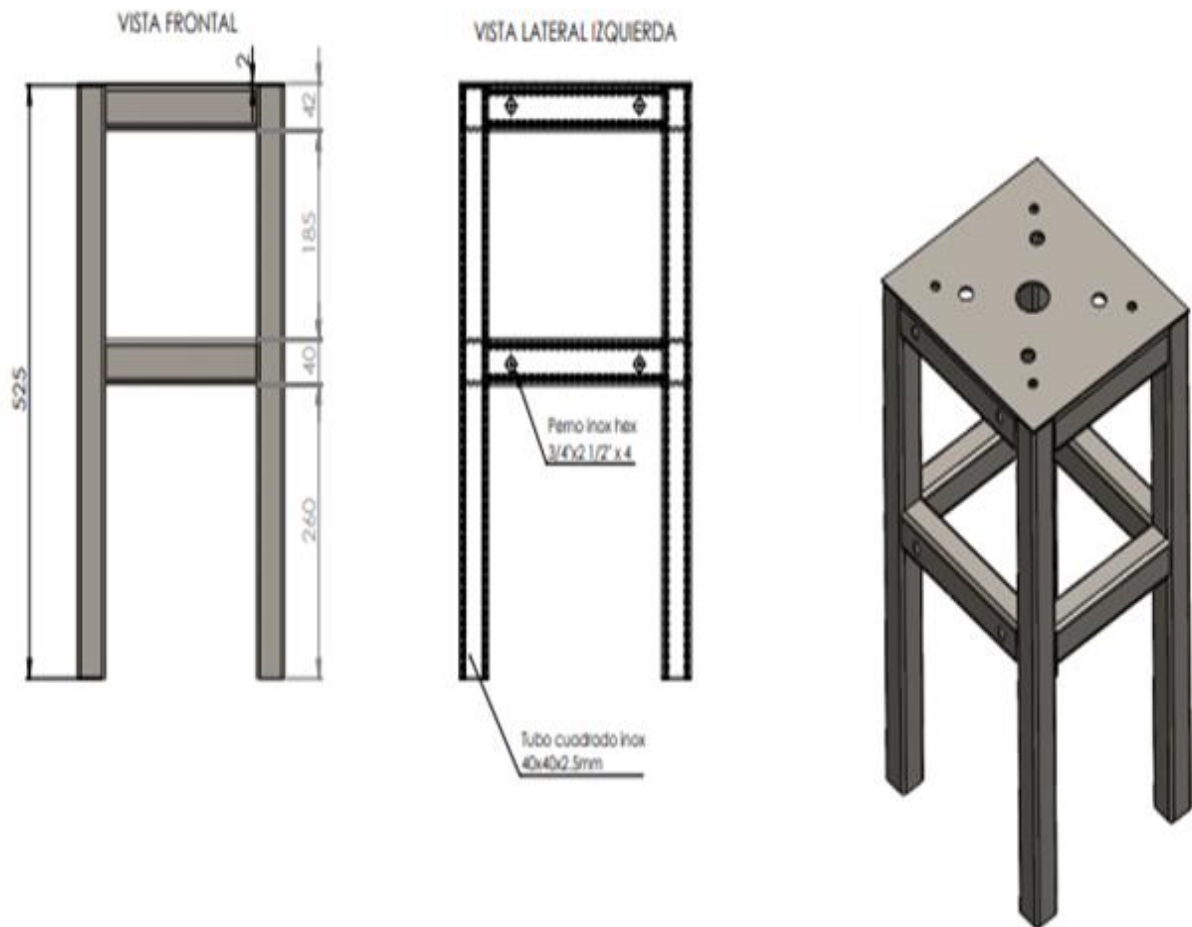


Diámetro del árbol d , mm	Medida nominal de la chaveta, mm		Medida nominal del chavetero, mm				
	$b \times h$	Chablán S		Profundidad		Radio r	
		máx	mín	En el árbol, t_1	En el cubo t_2	máx	mín
6 a 8	2 x 2			1.2	1.0		
8 a 10	3 x 3	0.25	0.16	1.8	1.4	0.16	0.08
10 a 12	4 x 4			2.5	1.8		
12 a 17	5 x 5			3.0	2.3		
17 a 22	6 x 6	0.40	0.25	3.5	2.8	0.25	0.16
22 a 30	7 x 7			4.0	3.3		
22 a 30	8 x 7			4.0	3.3		
30 a 38	10 x 8			5.0	3.3		
38 a 44	12 x 8			5.0	3.3		
44 a 50	14 x 9	0.60	0.40	5.5	3.8	0.40	0.25
50 a 58	16 x 10			6.0	4.3		
58 a 65	18 x 11			7.0	4.4		
65 a 75	20 x 12			7.5	4.9		
75 a 85	22 x 14			9.0	5.4		
85 a 95	25 x 14	0.80	0.60	9.0	5.4	0.60	0.40
95 a 110	28 x 16			10.0	6.4		
110 a 130	32 x 18			11.0	7.4		
130 a 150	36 x 20			12.0	8.4		
150 a 170	40 x 22	1.2	1.00	13.0	9.4	1.0	0.7
170 a 200	45 x 25			15.0	10.4		
200 a 230	50 x 28			17.0	11.4		

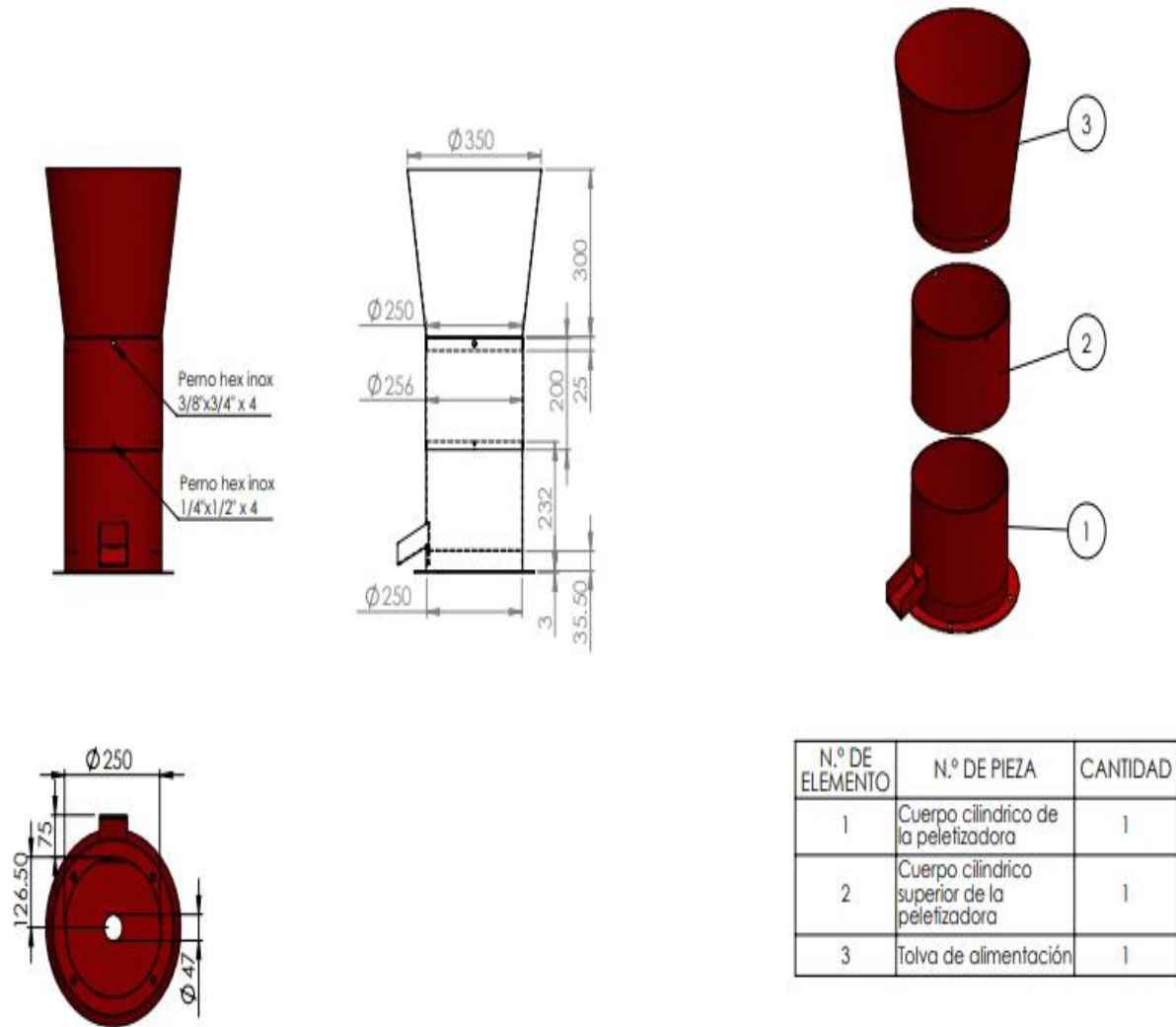
Anexos 13

Planos de la máquina peletizadora de alimento balanceado

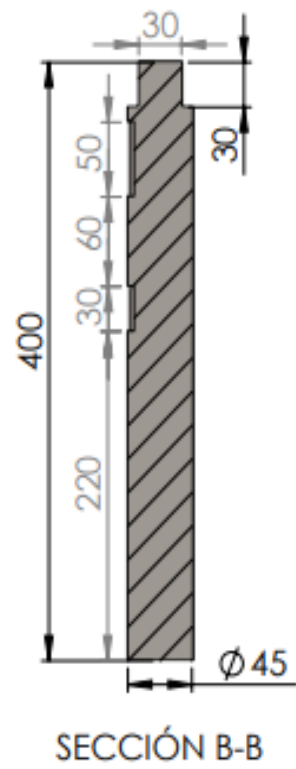
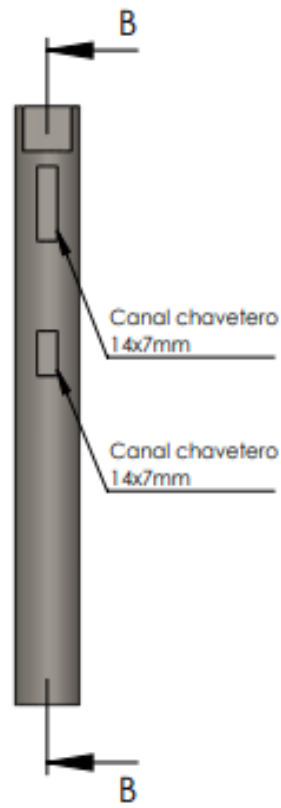
ESTRUCTURA METALICA



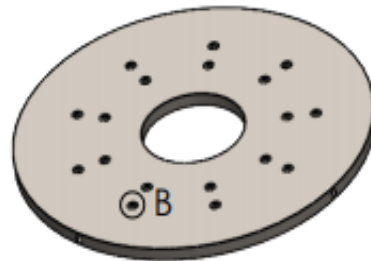
CAMARA DE PELETIZACION



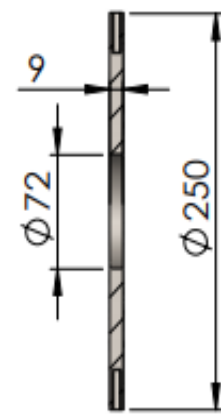
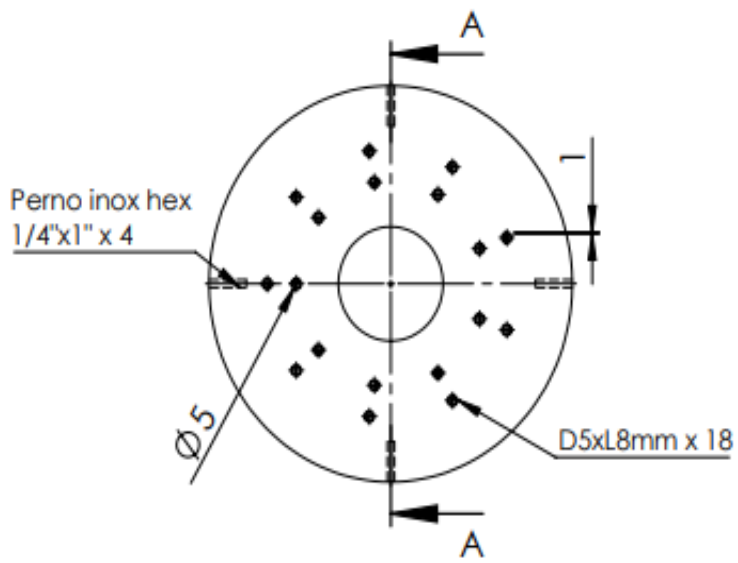
EJE PRINCIPAL



MATRIZ PLANA DE 18 AGUJEROS



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

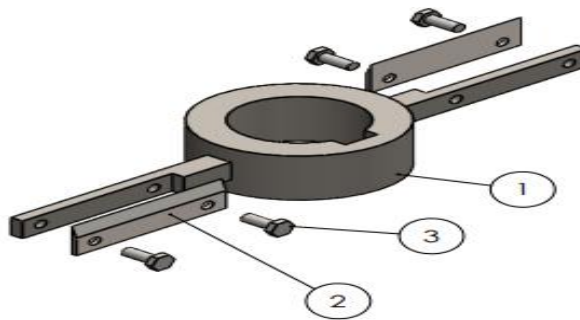
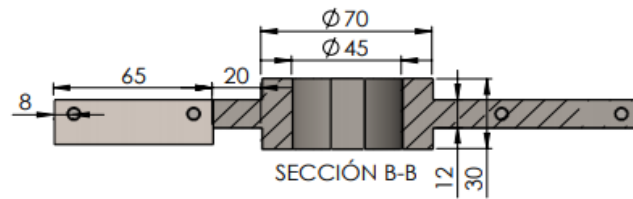
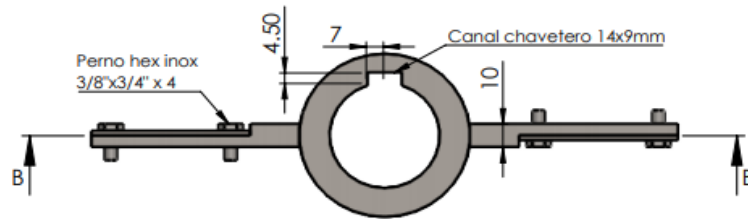


SECCIÓN A-A

SISTEMA DE CUCHILLA DE CORTE

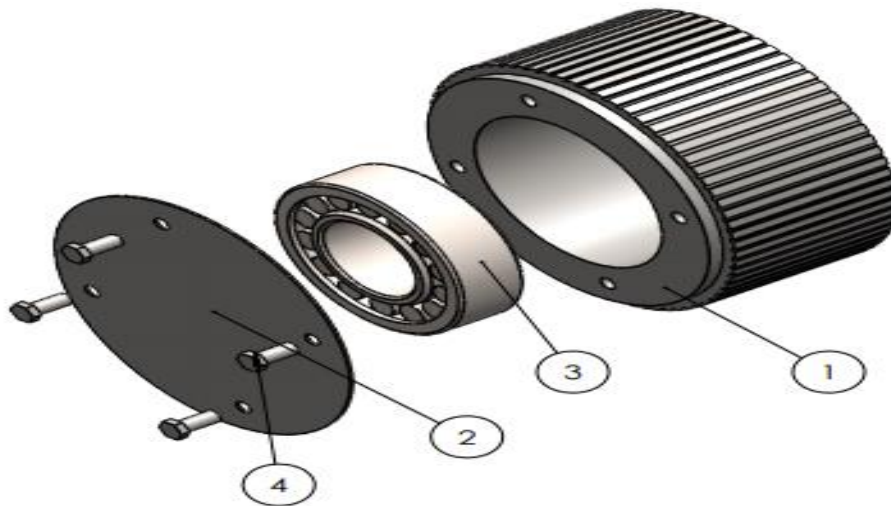
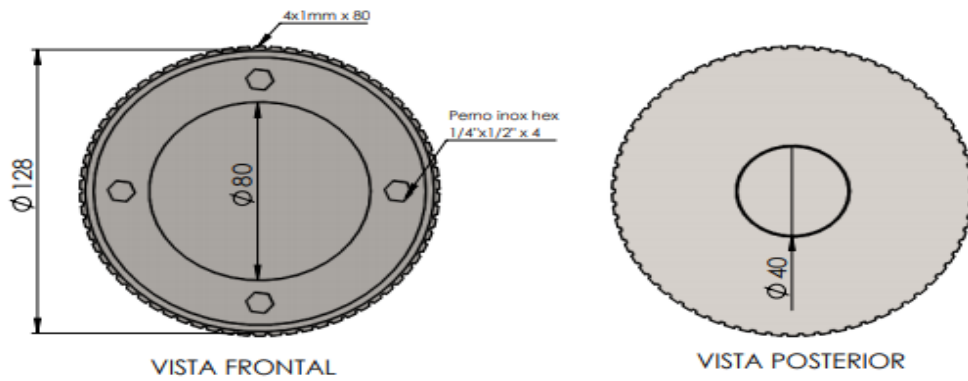
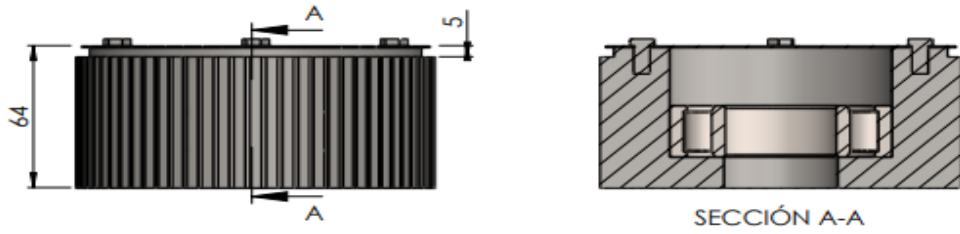


VISTA FRONTAL



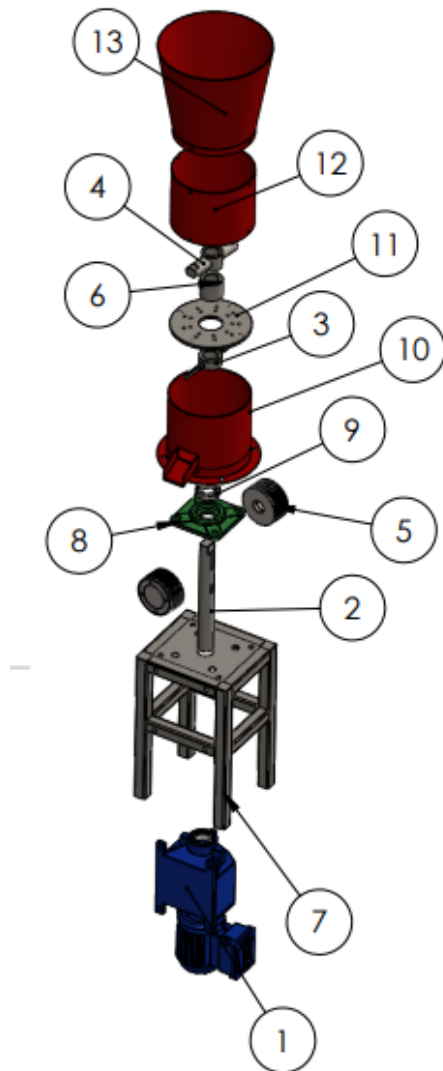
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Aro de soporte de las cuchillas	1
2	Cuchilla de corte	2
3	Perno de cuchilla	4

SISTEMA DE RODILLOS DE COMPRESION



N.º DE PIEZA	N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD
Rodillo de compresión	1	1
Tapa de rodillo	2	1
radial cylindrical roller bearing_skf	3	1
Perno de rodillo	4	4

MAQUINA PELETIZADORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Motorreductor WEG 7 HP	1
2	Eje principal	1
3	Sistema de cuchillas de corte	1
4	Soporte de los rodillos	1
5	Sistema de rodillos de compresión	2
6	Anillo matriz	1
7	Estructura metálica	1
8	Chumacera TIPO F	1
9	radial cylindrical roller bearing_skf	1
10	Cuerpo cilindrico de la peletizadora	1
11	Matriz plana de 18 agujeros	1
12	Cuerpo cilindrico superior de la peletizadora	1
13	Tolva de alimentación	1