



Universidad  
**Señor de Sipán**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**TESIS**

**DISEÑO DE UNA MAQUINA PELETIZADORA PARA  
BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR CON CAPACIDAD DE  
200 KG/H**

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

**Autor:**

**Bach. Chavez Bazan Alfonso Rafael**

**ORCID: <https://orcid.org/0000-0009-2178-2021>**

**Asesor:**

**Mtro. Vives Garnique Juan Carlos**

**ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0988-9881>**

**Línea de Investigación:**

**Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente**

**Pimentel – Perú**

**2023**

**DISEÑO DE UNA MAQUINA PELETIZADORA PARA BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR  
CON CAPACIDAD DE 200 KG/H**

**APROBACIÓN DEL JURADO**

---

**Dra. GASTIABURU MORALES SILVIA YVONE**

**Presidenta del jurado de tesis**

---

**MSC. ROJAS CORONEL ANGEL MARCELO**

**Secretario del jurado de tesis**

---

**Mtro. VIVES GARNIQUE JUAN CARLOS**

**Vocal del jurado de tesis**



### DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien(es) suscribe(n) la DECLARACIÓN JURADA, soy(somos) egresado (s)del Programa de Estudios de **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro (amos) bajo juramento que soy (somos) autor(es) del trabajo titulado:

### **DISEÑO DE UNA MAQUINA PELETIZADORA PARA BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR CON CAPACIDAD DE 200 KG/H**

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Chavez Bazan Alfonso Rafael	DNI: 16708487	
-----------------------------	---------------	--

Pimentel, 26 de diciembre de 2023

## **Dedicatorias**

Este proyecto de tesis está enteramente dedicado a mis padres que me han apoyado desde siempre. A mi familia por enseñarme siempre a ser fuerte y perseverante.

## **Agradecimientos**

Este proyecto de tesis está dedicado de manera especial a mis padres y a todos mis seres queridos por ayudarme y confiar en mí incondicionalmente en todo momento.

## Índice

<b>Resumen</b> .....	<b>9</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>10</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1. Realidad Problemática.</b> .....	<b>11</b>
<b>1.2. Formulación del problema</b> .....	<b>18</b>
<b>1.3. Hipótesis.</b> .....	<b>18</b>
<b>1.4. Objetivos.</b> .....	<b>18</b>
<b>1.5. Teorías relacionadas al tema.</b> .....	<b>19</b>
<b>II. MATERIALES Y MÉTODO</b> .....	<b>32</b>
<b>2.1. Tipo y Diseño de Investigación.</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2. Variables, Operacionalización.</b> .....	<b>32</b>
<b>2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección</b> .....	<b>35</b>
<b>2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.</b> .....	<b>35</b>
<b>2.5. Procedimiento de análisis de datos.</b> .....	<b>35</b>
<b>2.6. Criterios éticos.</b> .....	<b>36</b>
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>38</b>
<b>3.1. RESULTADOS:</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2. DISCUSIÓN:</b> .....	<b>62</b>
<b>IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>63</b>
<b>4.1. Conclusiones.</b> .....	<b>63</b>
<b>4.2. Recomendaciones.</b> .....	<b>64</b>
<b>Referencias</b> .....	<b>65</b>
<b>Anexos:</b> .....	<b>70</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de fuerzas y presiones ejercidas sobre un volumen elemental dentro del canal de prensa de un troquel plano durante la peletización. ....	20
Figura 2: Caja Negra.....	39
Figura 3: Caja de funciones del sistema de peletizado.....	39
Figura 4: Matriz morfológica.....	40
Figura 5: Diseño conceptual 1 de maquina peletizadora.....	41
Figura 6: Diseño conceptual 2.....	42
Figura 7: Diseño conceptual 3.....	43
Figura 8: Diseño conceptual final.....	44
Figura 9: Forma del agujero del dado.....	47
Figura 10: Fuerza de compresión del rodillo.....	48
Figura 11: Área de compresión.....	48
Figura 12: Presión en el interior del dado.....	49
Figura 13: Sistema funcional del par torsor del rodillo.....	50
Figura 14: Análisis estático de resistencia de la masa del rodillo de compresión.....	52
Figura 15 Desplazamientos equivalentes.....	52
Figura 16: Vista de planta de la matriz de agujeros.....	53
Figura 17: Diseño propuesto para el sistema de corte.....	54
Figura 18: Posición de las cuchillas de corte.....	54
Figura 19: Posición de las cuchillas de corte – vista inferior.....	55
Figura 20: Sistema de transmisión por poleas y banda.....	56
Figura 21: Detalle del eje principal.....	58
Figura 22: Diagrama de fuerzas cortantes y diagrama de momentos.....	59

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades físicas y mecánicas del bagazo de caña de azúcar .....	19
Tabla 2: Composición química y densidad del bagazo .....	19
Tabla 3 Método de reducción de talla, ventajas y mecanismo .....	25
Tabla 4 Parámetros específicos de la máquina peletizadora .....	26
Tabla 5 Características de los Pellets para gasificadores .....	30
Tabla 6: Operacionalización de variables.....	33
Tabla 7 : Variables de entrada y salida .....	38
Tabla 8: Constantes según ángulo de geometría del dado .....	46
Tabla 9: Evaluación dinámica y de potencia del rodillo .....	51
Tabla 10: Dimensionamiento de la matriz de extrusión .....	53
Tabla 11: Cálculo del sistema de corte.....	55
Tabla 12: Parámetros de funcionalidad del motor eléctrico:.....	57
Tabla 13: Diámetros por sección del eje principal .....	60
Tabla 14: Costos de fabricación por sistema y mano de obra .....	61
<b>Anexo 1: Vista isométrica de la máquina en conjunto.....</b>	<b>70</b>
<b>Anexo 2: Plano del sistema de rodillos.....</b>	<b>72</b>
<b>Anexo 3: Selección de Factor de longitud de polea (Fcl) .....</b>	<b>73</b>
<b>Anexo 4: Factor de modificación por arco de contacto.....</b>	<b>74</b>
<b>Anexo 5: Factor de servicio k .....</b>	<b>75</b>
<b>Anexo 6: Factor de seguridad de la matriz.....</b>	<b>76</b>
<b>Anexo 7: Análisis estático de la matriz .....</b>	<b>77</b>

## Resumen

La presente investigación tiene como objetivo la propuesta de diseño de una máquina peletizadora de bagazo de caña con una capacidad de 200Kg/h; para elaborar pellets con dimensión de 6mm de diámetro y 12 mm de longitud para uso en sistemas de combustión; la norma VDI 2221 fue fundamental para obtener el mejor diseño conceptual basado en requerimientos de usuario final y estándares internacionales; cada elemento fue dimensionado bajo un criterio físico mecánico y de resistencia de materiales; utilizando el criterio de Goodman modificado para el análisis por fatiga; se consideró para cada pieza la configuración geométrica óptima que utilice un material menos denso, resistente y disponible en el mercado. La simulación por elementos finitos fue fundamental para analizar el comportamiento estático y cíclico de los elementos sometidos a cargas externa. El cambio de material permitió seleccionar el más adecuado manteniendo un valor de factor de seguridad mayor a uno siendo este resultado seguro ante deformaciones o fallas por fatiga.

El costo calculado para la fabricación de esta máquina fue de 11 580 soles para la máquina con dimensiones de 1.5 x 1.2 x 1.35 m.

**Palabras Clave:** factor de seguridad, fatiga, relación de compactación, potencia

## **Abstract**

The objective of this research is the design proposal of a sugarcane bagasse pelletizing machine with a capacity of 200Kg/h; to produce pellets with a dimension of 6 mm in diameter and 12 mm in length for use in combustion systems; The VDI 2221 standard was essential to obtain the best conceptual design based on end-user requirements and international standards; Each element was sized under physical, mechanical and material resistance criteria; using the modified Goodman criterion for fatigue analysis; The optimal geometric configuration that uses a less dense, resistant and commercially available material is shown for each part. Finite element simulation was essential to analyze the static and cyclic behavior of the elements subjected to external loads. The change of material made it possible to select the most appropriate one while maintaining a safety factor value greater than one, this result being safe against deformations or fatigue failures.

The cost calculated for the manufacture of this machine was 11,580 soles for the machine with dimensions of 1.5 x 1.2 x 1.35 m.

**Keywords:** safety factor, fatigue, compaction ratio, power

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática.

Es probable que los problemas de seguridad energética y conservación ambiental sigan siendo dos de los principales desafíos a largo plazo que enfrenta la existencia humana a nivel mundial [1]. Por su parte, la biomasa lignocelulósica como el bagazo de caña de azúcar (SCB), el rastrojo de maíz, la paja de cereal y los residuos leñosos de bosques (p. ej., abedul, abeto, eucalipto) son sustancias con un alto contenido energético que pueden paliar la inminente crisis energética [2]; [3]. Son materiales orgánicos obtenidos de fuentes biológicas, en su mayoría biomasa vegetal, que es la fuente mundial más abundante de materiales renovables y su producción mundial anual se ha estimado en 1010 MT [3]. El SCB es uno de estos residuos que se encuentran en abundancia a nivel mundial, que tiene la clave para resolver el problema energético mundial y la preocupación ambiental [4].

El bagazo es el residuo sólido que queda después del proceso de extracción del jugo de la caña de azúcar para la producción de azúcar o etanol. La trituración de cada 3 kg de caña de azúcar en los ingenios azucareros produce 1 kg de bagazo, alrededor de 30% aproximadamente [5]. Actualmente, se utiliza principalmente la combustión para producir el calor y la energía necesaria para las fábricas de azúcar y etanol relacionadas [5], mientras que se sabe que con las mejoras tecnológicas es posible suplir los requerimientos energéticos de la planta con solo la mitad de la producción de bagazo [6].

El beneficio de utilizar dicho combustible para combustión a pequeña escala o conversión termoquímica es evidente ya que son recursos renovables que pueden proporcionar combustible auxiliar económico. Al mismo tiempo, dicha aplicación brinda la oportunidad de resolver su problema de eliminación.

El diseño y la operación de los sistemas de combustión de biomasa se basan sustancialmente en varias características de la biomasa, a saber, poder calorífico, humedad, contenido de cenizas y composición elemental [7], [8], [9]. El poder calorífico de un combustible se puede informar en términos de un valor 'inferior' (LHV) o 'superior' (HHV).

La evaluación experimental del valor calorífico de un material combustible derivado de la biomasa se lleva a cabo mediante el uso de una bomba calorimétrica adiabática, la cual registra la variación de entalpía entre los elementos iniciales y los productos generados [8]. Se calcula que, a nivel global, se genera una cantidad aproximada de 700 millones de toneladas de residuos de caña de azúcar, conocidos como bagazo, anualmente [10]. Esta cifra representa alrededor del 25-26 % de la producción total de caña de azúcar.[11], [12].

Estos residuos se utilizan mayoritariamente para la generación de electricidad para calderas de cogeneración en la producción de azúcar, y los excedentes de electricidad se exportan a la red. El uso de SCB como distribución de electricidad convencional ha sido reportado incluso en países en desarrollo como Cuba [13] y Sudáfrica [14]. Sin embargo, el SCB obtenido del consumo doméstico de caña de azúcar se desecha principalmente en las calles, mientras

que parte termina en basureros en países subdesarrollados y en vías de desarrollo. Al igual que otras biomásas, la SCB es rica en carbono, barata, muy abundante y adecuada para la producción de biocarbón [15], y su biocarbón se puede producir a una temperatura relativamente baja sin equipos complejos o sofisticados [16].

China es el tercer mayor productor de azúcar del mundo (después de Brasil e India), y más del 90% de la producción de azúcar está relacionada con la caña de azúcar. La producción de sacarosa da como resultado un importante desperdicio de biomasa; por cada tonelada de caña de azúcar que se muele se producen aproximadamente 150-160 kg de bagazo [17]. China produce casi 33 millones de toneladas de bagazo cada año, la mayor parte del cual es utilizado por las fábricas de azúcar como combustible para calderas para la generación de vapor y electricidad [18]. Sin embargo, las características de su biomasa presentan varios desafíos prácticos como disponibilidad estacional, limitación geográfica, naturaleza higroscópica, baja densidad y alta humedad (>50%) [19]. La peletización mecánica resolvería todos estos desafíos. El bagazo tiene relativamente menos cenizas y mayor rendimiento de materia volátil en comparación con otros residuos de cultivos, como el arroz y la paja de trigo [20]. Esto significa que el bagazo de caña de azúcar tiene un potencial significativo como materia prima de biomasa densificada que puede contribuir a la seguridad energética y al desarrollo sostenible de la industria azucarera.

Estudios recientes han evaluado cómo los parámetros del proceso y los factores biológicos afectan la calidad de los gránulos. Las condiciones óptimas

para los residuos de poda de *Olea europea* L son las siguientes: temperaturas de al menos 150 °C, presiones de aproximadamente 170–180 MPa, contenido de humedad inferior al 10 % wb y tamaño de partícula reducido [21]. Juan et al. encontró que bajo temperaturas de compresión fijas (150 °C), la fabricación de briquetas de bagazo de caña de azúcar y salvado de arroz mejoró la densidad aparente a 1,1939 g/cm<sup>-3</sup> [22]. Wang et al. encontró que los materiales de tamaño mixto tenían un menor consumo de energía, una mayor resistencia a la compresión del producto y una mayor densidad del producto [23]. Huang et al. informaron que la densidad y la resistencia de los gránulos de abedul y alpiste de caña alcanzaron un máximo en el contenido de humedad óptimo, y que el contenido de humedad fue el factor principal que afectó la densidad de los gránulos y la resistencia a la compresión [8]. Li et al. Encontraron que durante la co-peletización de materiales de biomasa (mezclados con lodos de depuradora), la calidad óptima de los gránulos se produjo a 55 MPa de presión aplicada, una temperatura de matriz de 90 °C y un contenido de humedad de 10–15 % [24]. Okot et al. encontraron que el aumento de la presión y la temperatura mejoraba la densidad y la resistencia mecánica de las briquetas de paja de frijol. La resistencia al impacto alcanzó el 96% para partículas de hasta 4 mm de tamaño y con presiones tan bajas como 100 MPa a temperaturas de compactación de 80 °C [25]. Yiu informó que las condiciones óptimas de peletización para el abeto de Douglas con un tamaño de partícula de 1,19 mm fueron 100 °C, 126 MPa y 30 s de tiempo de relajación [26]. Un hallazgo clave de estos estudios es que los parámetros tecnológicos óptimos dependen del tipo de materia prima. Marrugo

et al. evaluaron el efecto del glicerol crudo en el proceso de peletización y la calidad de los gránulos de bagazo de caña de azúcar y encontraron que el glicerol crudo favorecía la compactación de los gránulos y que los tamaños de partículas inferiores a 0,93 mm producían gránulos de bagazo de caña de azúcar de alta calidad [27].

Las ventajas de los pellets de biomasa son múltiples; la peletización facilita el almacenamiento, el transporte y la alimentación en las unidades de tratamiento. El menor contenido de humedad y la menor heterogeneidad de la biomasa densificada también contribuyen a mejorar las tecnologías de conversión. El desarrollo en Suecia muestra que la tecnología de peletización puede ser económicamente rentable si se realiza a gran escala [28].

En la actualidad, la mayor parte del bagazo se utiliza en dispositivos de combustión ineficientes conectados a un ciclo de vapor con parámetros de vapor bajos que producen el calor y la energía necesarios para el proceso del azúcar.

La peletización del bagazo haría posible el uso de procesos de conversión de energía de alta eficiencia con bajos niveles de emisión y un aumento significativo en la producción de electricidad. Además, la peletización hace posible agregar componentes de control de cenizas de manera eficiente, lo que reduce el riesgo de que las cenizas se derritan en los dispositivos de conversión [29]. En comparación con los gránulos de madera, existe muy poca experiencia sobre el comportamiento termoquímico de los diferentes gránulos de bagazo (origen y tamaño). Grandes gránulos de bagazo han sido probados en gasificadores de lecho fluidizado por Olivarez et al. [30], Waldheim et al. [31] y Filippou et al. [32].

Un estudio realizado en una industria de pellets brasileña con el objetivo de determinar las principales propiedades de los pellets de bagazo de caña de azúcar utilizando los estándares de la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT), Agencia de Protección Ambiental (EPA) y Norma Europea de Pellets tuvo como valores medios de las propiedades del pellet encontrados en este estudio: para un diámetro de 9,70 mm, longitud de 22,70 mm, densidad aparente 726,32 kg/m<sup>3</sup>, durabilidad mecánica 98,2 %, humedad 5,49 %, poder calorífico 16,0 MJ kg<sup>-1</sup>, contenido de cenizas 8,70 %, carbono fijo 14,03 %, materia volátil 77,27 %, nitrógeno 0,28 %, azufre 0,02 % y cloro < 0,02 %. Los resultados fueron comparados con los obtenidos de la literatura y se discutieron de acuerdo con los estándares internacionales para pellets de biomasa, pellets de madera y biocombustibles sólidos. El análisis comparativo mostró que existen diferencias entre los resultados encontrados en el estudio en comparación con otros estudios y estándares internacionales [33].

El aprovechamiento de las energías renovables permite el desarrollo sostenible de la economía en el Perú, impulsando el medio ambiente. Este tipo de energía permite la dependencia de los combustibles fósiles. [34] en julio de 2019, la producción de caña de azúcar en la región de Lambayeque alcanzó las 296,357 toneladas, experimentando un aumento del 3.9% en comparación con el año anterior, que registró 285,368 toneladas [35]. El principal subproducto resultante del proceso de transformación de la caña de azúcar es el bagazo, el cual constituye el 30% de la caña molida [36].

Para abordar esta situación, surge la opción de fabricar pelets vegetales como una alternativa para aprovechar los residuos vegetales industriales generados en las actividades de la región. El proceso de producción de pelets implica la compresión de una mezcla de diversos componentes vegetales, ya sea con o sin un tratamiento térmico posterior.

Es importante destacar que la demanda de carbón vegetal y leña ejerce una presión significativa sobre los recursos forestales. La FAO [37] alerta que la superficie forestal a nivel mundial disminuye anualmente entre 12 y 15 millones de hectáreas debido a la tala indiscriminada provocada por la obtención de carbón y leña. Este fenómeno no solo contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero, sino que también intensifica el ya acelerado cambio climático. En consecuencia, la necesidad de encontrar soluciones sostenibles se vuelve cada vez más apremiante.

La necesidad por el reemplazo del carbón como combustible en zonas rurales y AA.HH., utilizado para cocinar alimentos o calentar agua, ha generado la necesidad de buscar biocombustibles disponibles procesados en forma de pelets que reduzcan la contaminación generada por el carbón o combustibles fósiles que se encuentren al alcance de los usuarios.

Ante ello surge la necesidad de ingeniería por el diseño de una máquina peletizadora para procesar la fibra de bagazo de caña de azúcar para obtener pelets para uso en sistemas de combustión urbano y rural.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuáles serán los parámetros de compactación y velocidad de giro de la máquina peletizadora para obtener pelets de bagazo de caña de azúcar según norma ISO 17225-6?

## **1.3. Hipótesis.**

Para poder obtener pelets considerando la norma ISO 17225-6, la compactación y velocidad de giro de la máquina peletizadora debe ser 4 a 15 MPa y 960 rpm

## **1.4. Objetivos.**

### **Objetivo general.**

Diseñar una máquina peletizadora de bagazo de caña de azúcar con capacidad de 200 kg/h

### **Objetivos específicos.**

- Elegir el diseño conceptual óptimo para la máquina peletizadora siguiendo el proceso de diseño de ingeniería establecido por la norma VDI 2221 según características del bagazo.
- Dimensionar los componentes mecánicos de la peletizadora de bagazo utilizando criterios de resistencia mecánica a la fatiga, seleccionado el material adecuado considerando estándares y normas vigentes.
- Validar la resistencia a la fatiga de los elementos críticos de la máquina peletizadora utilizando software CAE.

## 1.5. Teorías relacionadas al tema.

### Propiedades del bagazo de caña de azúcar

Según Jayami [38] en su investigación Sugarcane Fiber Reinforced Polymer Composites Properties, determinó mediante ensayos experimentales las propiedades físicas y químicas del bagazo de caña de azúcar (tabla1 y tabla2).

*Tabla 1: Propiedades físicas y mecánicas del bagazo de caña de azúcar*

PROPIEDADES	MAGNITUD
Resistencia a la tensión (MPa)	20-290
Modulo de Young (GPa)	19,7-27,1
Porcentaje de elongación (%)	1,1

*Tabla 2: Composición química y densidad del bagazo*

Composición química	Origen del Bagazo y Diámetro de los gránulos		
	Cuba (6mm)	Brasil (6mm)	Brasil (12mm)
C	46.90	47.00	47.20
N	0.18	0.21	0.24
H	5.49	5.98	5.77
O	47.4	46.8	46.8
Humedad	16.30	6.70	6.60
Ceniza	1.70	5.50	5.50
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1030-1150	1100-1260	1030-1090

**Peletizado:**

El peletizador consta de una matriz perforada de acero duro con un par de rodillos. Al girar la matriz y los rodillos, la materia prima se fuerza a través de las perforaciones para formar gránulos densificados [39]. Se han realizado esfuerzos para comprender el mecanismo fundamental del proceso de peletización. Kaliyan y Morey [40] propusieron un modelo constitutivo con el objetivo de entender el proceso de densificación y optimizar las condiciones asociadas. Mani et al. [41] examinaron el mecanismo de compresión utilizando una única unidad peletizadora. Holm et al. [42] detallaron las fuerzas que actúan en un conducto de prensa de un peletizador de tipo matriz anular y también desarrollaron un modelo para dicho proceso. Una ilustración similar para una peletizadora de matriz plana se puede ver en Figura 1.

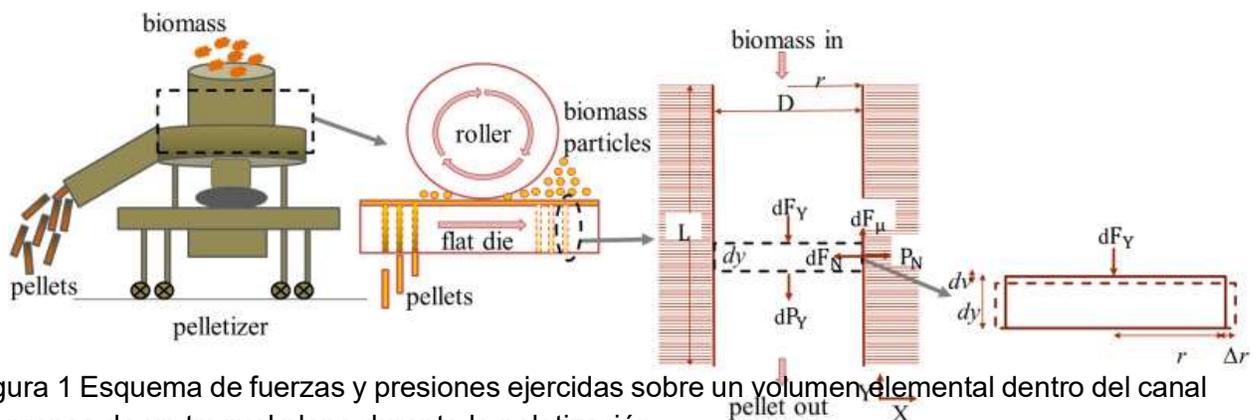


Figura 1 Esquema de fuerzas y presiones ejercidas sobre un volumen elemental dentro del canal de prensa de un troquel plano durante la peletización.

Según Holm et al. [42], en condiciones de estado estacionario, la presión de granulación ( $P_Y$ ) se puede expresar matemáticamente como:

$$P_Y = \frac{P_{NO}}{v_{RL}} (e^{4\mu v_{RL} C} - 1)$$

*Ecuación 1*

donde,  $P_Y$  es la presión en dirección longitudinal,  $P_{NO}$  es la presión de pretensado,  $\nu_{RL}$  es la relación de Poisson,  $\mu$  es el coeficiente de fricción (entre el canal de prensa y la biomasa), el primer índice L denota la dirección de la tensión aplicada (L = ejes longitudinales de las fibras), y el segundo R la dirección de deformación transversal (R = ejes radiales de las fibras);  $c$  es la relación de compresión (relación de canal longitud y diámetro del canal).

$$\nu_{RL} = \frac{\text{longitudinal strain}}{\text{radial strain}} = \frac{dv}{dy} \bigg/ \frac{\Delta r}{r} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\mu = \frac{dF_{\mu}}{dF_N} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$c = \frac{y}{D} \quad \text{Ecuación 4}$$

En el proceso de peletización de biomasa, resulta crucial mantener la presión (PY) dentro de un rango apropiado para lograr la producción de pellets de alta calidad. Esto implica que la optimización de P Y debe realizarse de manera que la generación de gránulos requiera una entrada mínima de energía y permita alcanzar la capacidad máxima de la planta de pellets, al mismo tiempo que se conserva la calidad de los gránulos. En este sentido, es esencial tener conocimiento de los parámetros del proceso que influyen en PY.

La ecuación (1) establece que PY aumenta de manera exponencial con la relación de compresión (c), manteniendo constantes los demás parámetros. Stelte et al. [43] destacó que cuando la presión es excesivamente alta, la peletizadora experimenta obstrucciones, ya que los rodillos no pueden generar la presión necesaria para expulsar el material. Este escenario conlleva a una absorción de

energía innecesariamente elevada por parte de la peletizadora. Por el contrario, cuando la presión es demasiado baja, la producción de gránulos con estándares de calidad resulta inviable. Detalles adicionales sobre la calidad y los estándares de los gránulos serán abordados en una sección posterior.

Sin embargo, la relación de compresión ( $c$ ) se trata de un parámetro específico de la máquina que se mantiene constante para una unidad de peletización determinada durante su funcionamiento. En consecuencia, los parámetros de procesamiento de las materias primas juegan un papel crucial en la producción de pellets de combustible a partir de diversas fuentes. La influencia de parámetros de procesamiento importantes como la temperatura, el contenido de humedad de la biomasa o el tamaño de las partículas no se puede calcular a partir del modelo de Holm.

Se puede suponer con seguridad que los valores de  $v$  y  $\mu$  supuestamente varían con los tipos de biomasa, la temperatura y el contenido de humedad. Se requieren más estudios para probar la aplicabilidad de dichos modelos al peletizar diversas materias primas. Posiblemente, un cambio en cualquiera de esos parámetros de procesamiento tendrá un efecto en  $P_Y$  y, por lo tanto, en el proceso general, así como en la calidad de los gránulos. Se requiere más investigación para probar esta hipótesis.

La hipótesis popular es que la fricción por deslizamiento aumenta cuando la biomasa triturada pasa a través del canal, la temperatura de la matriz aumenta correspondientemente, cuando la matriz alcanza una cierta temperatura y la fricción disminuye a un cierto nivel, el gránulo puede ser expulsado, porque a

temperaturas elevadas, la lignina suaviza, fluye hacia la superficie y ayuda al proceso de unión [43], [44]. Se supone que la materia blanda también proporciona lubricación ayudando así a que los gránulos salgan fácilmente. El contenido de humedad también controla el  $P_Y$  mientras reduce la temperatura de transición vítrea [44]. La humedad en la biomasa actúa como plastificante, lo que aumenta la suavidad de las partículas de biomasa, lo que resulta en una menor fricción dentro del canal de prensa y, por lo tanto, reduce  $P_Y$ .

Además, una disminución en el tamaño de las partículas de biomasa aumenta la fricción debido al aumento en el área de contacto y, por lo tanto, da como resultado un  $P_Y$  más alto. Los experimentos sobre los fundamentos de la peletización se realizan principalmente utilizando una unidad de prensa de peletización única (SPP), esperando que la unidad SPP permita la simulación del proceso de peletización de una fábrica de peletización comercial. Se requieren más investigaciones para examinar el cambio en la presión de granulación para las materias primas de biomasa no leñosa. Además, se espera que las técnicas de preprocesamiento antes mencionadas puedan abordar en parte los problemas en la peletización de diversas materias primas.

### **Tamaño del Pelet:**

Bergström et al. [45] examinó la distribución del tamaño de las partículas de biomasa, específicamente aserrín de pino silvestre, en el proceso de peletización mediante el empleo de una peletizadora de matriz anular con una capacidad de 300 kg/h. Los resultados indicaron que la distribución del tamaño de las partículas tuvo cierto impacto en el consumo de corriente y la resistencia a la

compresión, aunque no se observó un efecto claro en las características del pellet, tales como la densidad aparente y de partículas, el contenido de humedad, la adsorción de humedad durante el almacenamiento y la resistencia a la abrasión.

Además, los autores sugirieron que la molienda de partículas de aserrín por debajo de 8 mm probablemente no sea necesaria cuando se están produciendo gránulos de madera blanda con un diámetro de 8 mm

En una línea similar, Serrano et al. [46] notaron que los tamaños de pantalla del molino de martillos (4 y 7 mm) no tuvieron un impacto significativo en la durabilidad durante sus experimentos en un molino de pellets de matriz anular con una capacidad de 100 kg/h, utilizando paja de cebada.

Theerarattananon et al. [47] también señaló que el impacto del tamaño de partícula no fue significativo, aunque se observó que un tamaño de partícula más grande (6,5 mm en lugar de 3,2 mm) resultó en valores superiores de densidad y durabilidad al producir gránulos a través de una peletizadora de matriz anular utilizando rastrojo de maíz, tallos de sorgo y paja de trigo. Además, se notó una correlación débil entre el tamaño de las partículas y la densidad de los gránulos, pero una correlación fuerte entre el tamaño de las partículas y la generación de finos en la salida del proceso de molienda, utilizando una granuladora de matriz plana con una capacidad de 60–90 kg/h [48]. De la discusión anterior, se puede concluir que la reducción del tamaño de las partículas por debajo de un límite particular tiene un efecto insignificante en la calidad de los gránulos. Cabe señalar que estos efectos son visibles cuando se experimenta con una sola unidad peletizadora. Sin embargo, el tamaño de las partículas tiene una gran influencia

en el proceso, como el consumo de energía, la capacidad de rendimiento y la generación fina también [49].

### **Procesamiento:**

Un proceso típico de producción de pellets de combustible consta de una serie de pasos de preprocesamiento que dependen de las características iniciales de la biomasa. A continuación, la biomasa preprocesada se dirige hacia la peletizadora. Después de la granulación, los gránulos se transportan al enfriador de gránulos y luego al equipo de cribado y embolsado. Entre todos, el preprocesamiento juega un papel importante en un sistema de peletización, ya que mejora la densidad aparente, la densidad de energía, el almacenamiento y las características de manejo de la biomasa. Algunos métodos comunes de preprocesamiento, como reducción de tamaño se muestran en la tabla 2.

*Tabla 3 Método de reducción de talla, ventajas y mecanismo*

<b>Métodos de preprocesamiento</b>	<b>Ventaja</b>	<b>Mecanismo</b>	<b>Referencia</b>
Reducción de talla	Aumenta la densidad aparente y, por lo tanto, la fluidez de la biomasa. Aumenta el área de superficie total y, por lo tanto, promueve la unión entre partículas. Reduce el consumo específico de energía durante la peletización. Mejora el rendimiento	La reducción del tamaño de la biomasa se produce debido al impacto, la compresión, el corte y la abrasión/desgaste. En caso de impacto y compresión, la fuerza se aplica a los materiales instantáneamente (como en los molinos de bolas, molinos de martillos).	[50], [51], [52], [53]

del peletizador y la calidad del pelet

Mientras que, en caso de corte y desgaste, la energía se transfiere durante un tiempo de contacto más largo (como en los molinos de cuchillas, molinos de desgaste).

### **Parámetros específicos de la máquina de peletización:**

La peletización está regulada principalmente por los parámetros del proceso, que incluyen el contenido de humedad, el tamaño de las partículas, la presencia de aglutinantes y otros parámetros de la máquina (como el espacio de presión, el diámetro de la matriz, la longitud del canal, la velocidad de la matriz, etc.). La tabla 3 resume el papel de estos parámetros del proceso y su relación con la calidad del pellet.

*Tabla 4 Parámetros específicos de la máquina peletizadora*

<b>Parámetros</b>	<b>Autor, Año</b>	<b>Observaciones</b>
Parámetros específicos de la máquina	Pradhan, 2018	El tamaño del troquel influye significativamente en la capacidad de rendimiento y los finos generados durante la peletización.
	Holm, 2006	La longitud del canal y el tamaño del troquel regulan la presión de peletización.
	Theerarattanamediodía, 2011	El troquel más grueso mejora la durabilidad de los gránulos.

Los parámetros específicos de la máquina que afectan el proceso de peletización incluyen la dimensión del troquel, la velocidad del troquel, la temperatura del troquel, la brecha de presión (brecha entre el rodillo y el troquel), etc. Kaliyan y Morey [54] estudiaron el efecto de las variables del equipo en la calidad del pellet de alimento para animales. e informó que un tamaño de troquel más pequeño da como resultado gránulos altamente duraderos. Además, la mayor relación longitud/diámetro ( $l/d$ ) corresponde a una mayor durabilidad de los gránulos debido al aumento de la fuerza de corte. Sin embargo, demasiada fuerza de cizallamiento (es decir, un troquel demasiado largo o un diámetro de troquel muy pequeño) bloquearía la peletizadora. La fuerza de corte está determinada por el coeficiente de fricción entre la alimentación y la superficie de la matriz. Según Tumuluru et al. [55] la fuerza de rozamiento ( $F$ ) está relacionado con la dimensión del troquel según la ecuación. (5) :

$$F = F_0 x e^{\frac{4\mu l}{d}}$$

*Ecuación 5*

Donde:

$F_0$  es la fuerza de fricción inicial,

$l$  es la longitud del dado,

$d$  es el diámetro del dado y

$\mu$  es una constante.

En los experimentos realizados por Pradhan se obtuvo que con relaciones  $l/d$  de 2,7 ( $d=15$  mm) y 3,3 ( $d =12$  mm), la densidad máxima de gránulos de

residuos de jardín obtenida fue de 1397 y 1482 kg m<sup>-3</sup> respectivamente [56]. También se comprobó que una matriz más pequeña (d=12 mm) generalmente resultó en una mayor durabilidad. Sin embargo, se observó una capacidad de rendimiento comparativamente menor y la ocurrencia frecuente de obstrucciones en el troquel más pequeño (d=12 mm) con un contenido de humedad de alimentación y un tamaño de molienda particulares. Además, la relación entre la longitud y el diámetro de los gránulos influye significativamente en la alimentación neumática [57].

La temperatura del molde es otro parámetro de control importante y, por lo tanto, los productores comerciales de gránulos utilizan la técnica de precalentamiento para formar un producto de alta calidad, ya que ayuda a aumentar el rendimiento y reducir el requerimiento de energía específica [55]. Ren et al. [58] estudió la peletización del aserrín de abeto de Noruega en condiciones estrictamente controladas a escala de laboratorio a diferentes temperaturas (26–144 °C), contenidos de humedad (6,3–14,7 % db) y presión (46–114 MPa). Los autores encontraron que la alta temperatura y el bajo contenido de humedad aumentaron la densidad seca de los gránulos; sin embargo, la presión tuvo un efecto muy pequeño en el rango probado de 46–114 MPa. Shaw et al. [59] también informaron que el aumento de la temperatura de la matriz (de 70 a 100 °C) aumentó significativamente la densidad de los gránulos y la resistencia a la tracción; esto puede deberse a un mayor empaquetamiento y unión de partículas de biomasa. La posible razón podría deberse al ablandamiento del polímero de

biomasa a temperaturas más altas. Es importante recordar que el precalentamiento requiere energía adicional durante la peletización.

### **Uso de los Pelets:**

#### **Uso residencial:**

La utilización común de pellets de combustible en calderas y estufas residenciales se centra principalmente en pellets de madera, especialmente en países europeos. Sin embargo, los dispositivos de conversión de energía a pequeña escala no han sido ampliamente probados para combustibles de biomasa que no son de madera. Investigaciones recientes se han enfocado en explorar la idoneidad de los pellets de combustible no leñosos en estufas residenciales. Cardozo et al. [60] llevaron a cabo pruebas con gránulos de combustible (diámetro de 6 mm) hechos de bagazo, cáscara de girasol y nuez de Brasil en un quemador de gránulos, comparándolos con gránulos de madera del mismo tamaño. Los resultados mostraron una disminución en la entrada de energía del combustible, niveles más altos de oxígeno en los gases de combustión y ciclos de eliminación de cenizas más cortos al utilizar pellets no leñosos. Como se mencionó anteriormente, el establecimiento de estándares de calidad para los pellets de combustible es crucial para optimizar la eficiencia de la combustión y prevenir problemas técnicos en los dispositivos de conversión de energía.

#### **Uso en gasificador:**

Los pellets de combustible desempeñan un papel esencial en el gasificador de biomasa, donde son empleados para producir gas generador. Este gas

resultante no solo puede ser utilizado como combustible directo, sino que también se presta a la posibilidad de ser transformado en diversos productos de valor añadido. El gas generado encuentra aplicaciones tanto en procesos térmicos como en la generación de energía, destacando su versatilidad en el panorama energético e industrial. En la tabla 4 se resumen varios estudios experimentales recientes sobre la gasificación de pastillas de combustible. La literatura muestra la influencia de los tipos de materias primas y los parámetros de calidad de los gránulos en el rendimiento del gasificador.

*Tabla 5 Características de los Pellets para gasificadores*

<b>Pellets de combustible</b>	<b>Parámetros de calidad del pellet</b>	<b>Resultados</b>	<b>Referencias</b>
Pellets de madera y pellets de madera-PET	<b>Diámetro:</b> 6 mm cada uno <b>Humedad:</b> 6,18 y 5,12 % <b>LHV:</b> 18,41 y 19,96 MJ kg <sup>-1</sup> <b>Ceniza:</b> 0,41 y 0,24 %	<b>Gasificador:</b> gasificación en lecho fluidizado <b>Relación de equivalencia óptima:</b> 0,6 (madera) y 0,3 (madera-PET) <b>Composición del gas de síntesis:</b> mayor concentración de H <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> O (pellets de madera) y mayor concentración de CO <sub>2</sub> y CO (madera-PET) <b>Frío eficiencia de gas:</b> 58% (madera) y 37% (madera-PET) <b>Valor calorífico ( MJ Nm<sup>-3</sup> ):</b> 4,8–5,2 (madera) y 3,5–4,5 (madera-PET)	[61]

Pellets de aserrín de madera (WSP) y pellets de mezcla de semillas de girasol (MIX)	<p><b>Diámetro:</b> 6 y 10 mm</p> <p><b>Longitud:</b> 10–30 y 30–60 mm</p> <p><b>Densidad de partículas:</b> 1120 y 1105 kg m<sup>-3</sup></p> <p><b>Humedad:</b> 9,5 y 12 %</p> <p><b>Tasa de alimentación:</b> 54,2 y 44,7 kg h<sup>-1</sup></p> <p><b>Ceniza:</b> 2,1 y 4,99 %</p> <p><b>LHV:</b> 18,43 y 19,54 MJ·kg<sup>-1</sup></p>	<p><b>Gasificador:</b> gasificador de tiro descendente a escala piloto (200 kW)</p> <p><b>Relación de equivalencia:</b> 0,3 (WSP) y 0,29 (MIX)</p> <p><b>Gas frío <math>\eta</math> :</b> 67,7 (WSP)–70% (MIX)</p> <p><b>Rendimiento de gas ( m<sup>3</sup> por kg de biomasa ):</b> 2,2 (WSP) )–2,4 (MIX)</p> <p><b>Poder calorífico ( MJ m<sup>-3</sup> ):</b> 5,5–6,0 (WSP) y 5,6–5,7 (MIX)</p>	[62]
Pellets de madera, Pellets de bagazo, Pellets de racimo de fruta vacío (EFB)	<p><b>Diámetro:</b> 6, 8 mm</p> <p><b>Longitud:</b> 11–13 mm</p> <p><b>Densidad aparente:</b> 580–630 kg m<sup>-3</sup></p> <p><b>Densidad de partículas:</b> 1013–1152 kg m<sup>-3</sup></p> <p><b>Masa:</b> 0,5 g</p>	<p><b>Gasificador:</b> gasificador de tiro descendente (reactor de 150 mm de diámetro; 3 kg h<sup>-1</sup> ventilador de succión)</p> <p><b>Tiempo de ignición:</b> 3–4 min (madera); 5–7 min (bagazo); y 15 min (EFB); Los gránulos EFB más pequeños (6 mm) reaccionan más rápido que los de 8 mm</p> <p><b>Valor calorífico (MJ m<sup>-3</sup>):</b> 5,4 (madera); 5,0 (bagazo); 4.3 (balines EFB de 6 mm) y 4.1 (balines EFB de 8 mm)</p>	[63]

## II. MATERIALES Y MÉTODO

### 2.1. Tipo y Diseño de Investigación.

La presente investigación es de tipo aplicada debido a que realiza un análisis de las propiedades mecánicas del bagazo de caña de azúcar para diseñar una máquina peletizadora considerando las normas y estándares relacionados a la aplicación. El diseño de investigación es analítico en el que se tratarán las variables de las propiedades mecánicas del bagazo de caña de azúcar y las propiedades mecánicas del material y geometría de los componentes de la máquina peletizadora según normas vigentes.

### 2.2. Variables, Operacionalización.

- **Variables Independientes:**

Resistencia de compresión del bagazo de caña de azúcar

Volumen del pelet

- **Variable Dependiente:**

Velocidad de giro de la máquina peletizadora

Factor de Seguridad

Tabla 6: Operacionalización de variables

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Resistencia de compresión del bagazo de caña de azúcar	Se define como el esfuerzo máximo que el bagazo puede soportar antes de compactarse.	Revisión bibliográfica de la resistencia de compactación del bagazo.	Resistencia la compactación	$\sigma = F/A$	1	Guía de revisión bibliográfica	MPa	Numérica	razón
Volumen del pelet	La cantidad de una sustancia que ocupa un volumen particular	Revisión bibliográfica de las normas y estándares recomendados para pelets como biocombustibles	m <sup>3</sup>	Largo x ancho x espesor	1	Guía de revisión bibliográfica	m <sup>3</sup>	Numérica	razón

Factor de seguridad	El factor de seguridad a la fatiga es la relación entre el valor límite $\sigma_A$ de la amplitud del esfuerzo $\sigma_a$ y el esfuerzo amplitud en sí.	Revisión bibliográfica de las ecuaciones que determinan el factor de seguridad sobre la falla a fatiga.	Factor de seguridad Soderberg	$\frac{\sigma_m}{S_y} + \frac{\sigma_a}{S_e} < 1$	1	Guía de revisión bibliográfica	adimensional	Numérica	razón
Velocidad de giro	Es la velocidad de rotación de un eje de transmisión considerando que una vuelta es $\pi$ radianes	Revisión bibliográfica de las ecuaciones que determinan el cálculo de la velocidad de giro de un eje.	Radianes por minuto	$P = T \times w$	1	Guía de revisión bibliográfica	Rad/s	Numérica	razón

### **2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección**

**Población de estudio:** propiedades físico mecánicas y geometría del pelet

**Muestra:** volumen y densidad del pelet

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

**Técnicas de recolección de datos:**

- a) **Recolección de datos:** Se tendrá en cuenta las informaciones y consejos de especialistas en el tema, así como también de revistas, libros, artículos científicos, tesis locales, nacionales e internacionales.

### **2.5. Procedimiento de análisis de datos.**

**Etapa 1:** Determinar la geometría de recomendada para pelets de combustión.

**Etapa 2:** Determinar la geometría de la máquina peletizadora.

**Etapa 3:** Dimensionar la maquina peletizadora según cálculos con criterios de resistencia a la fatiga mecánica.

**Etapa 4:** Determinar la velocidad y fuerza de compactación del máquina peletizadora.

## **2.6. Criterios éticos.**

- En este proyecto de investigación, nos regiremos por principios fundamentales que servirán como base para nuestros valores, tales como la dedicación, responsabilidad y honestidad. Estos principios están fundamentados en dos documentos clave: el Código de Ética del Colegio de Ingenieros (CIP, 1999) y el código de ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS, 2017).
- El Código de Ética del Colegio de Ingenieros (CIP), aprobado en la III sesión ordinaria del congreso nacional de consejos departamentales en la ciudad de Tacna los días 22, 23 y 24 de abril de 1999, establece en su Artículo 2º que los ingenieros deben promover y defender la integridad, el honor y la dignidad de su profesión. Esto implica contribuir con su conducta a la formación y mantenimiento de un consenso público que respete la profesión, basado en la honestidad e integridad con que esta se desempeña. Además, los ingenieros deben ser honestos e imparciales, sirviendo con fidelidad al público, a sus empleadores y a sus clientes, esforzándose por aumentar el prestigio, la calidad y la idoneidad de la ingeniería y apoyando a sus instituciones profesionales y académicas.
- En el Artículo 5º del mismo código se establece que los ingenieros deben asegurarse de que los recursos humanos, económicos, naturales y materiales sean utilizados de manera racional y adecuada, evitando su abusivo dispendio. Además, deben respetar y hacer respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.
- Por otro lado, el Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), ratificado por acuerdo de consejo universitario con resolución rectoral N° 0851-2017/USS, tiene como finalidad proteger los derechos, la vida, la salud, la intimidad, la dignidad y el bienestar de las personas que

participan en actividades de investigación científica, tecnológica e innovación.

Se ajusta a los principios éticos acogidos por la normativa nacional e internacional y a los acuerdos suscritos por el país en esta materia.

- El Artículo 3º del Código de Ética de Investigación de la USS establece que este código es de cumplimiento obligatorio para todas las autoridades académicas, administrativas, docentes, estudiantes, egresados y personal administrativo de la Universidad Señor de Sipán.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. RESULTADOS:

##### Diseño Conceptual

El uso de la norma VDI 2221 en el proceso de diseño de una máquina ha demostrado resultados significativos. Gracias a su enfoque sistemático, se logró una definición clara de los objetivos y requisitos del proyecto y aseguró que todo el equipo de diseño estuviera alineado. La generación y evaluación de múltiples conceptos permitió una selección más informada del diseño final, que cumplió con eficiencia los criterios de costo, rendimiento y seguridad. La documentación detallada facilitó la comunicación y la implementación sin problemas, mientras que la validación continua garantizó un producto final de alta calidad que cumplió con los estándares requeridos:

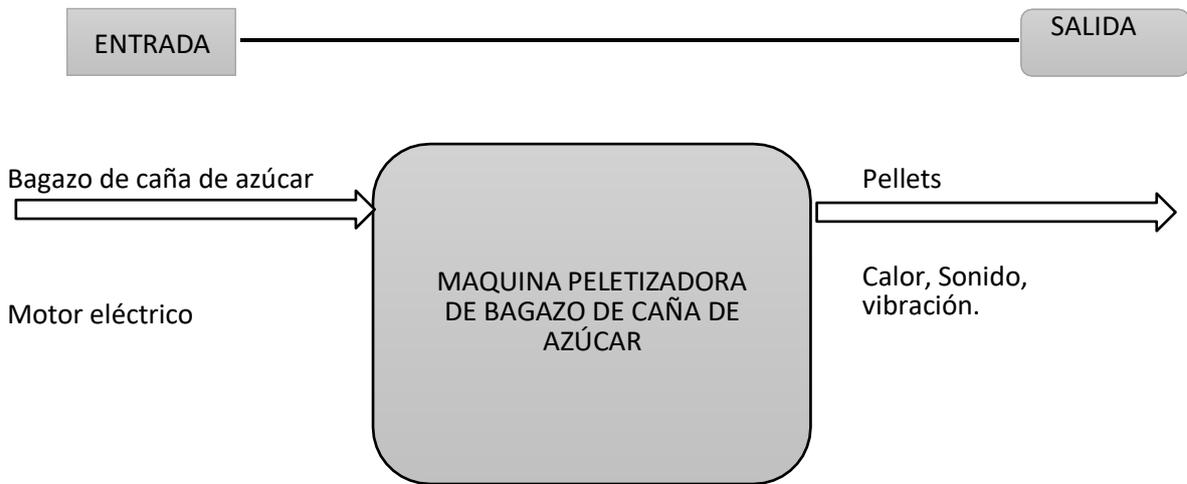
##### Diseño de la Black Tool

Las entradas y salidas de la maquina peletizadora de bagazo de caña de azúcar, se presentan en la tabla 7 y figura 2 considerando los requisitos para el diseño de ésta.

*Tabla 7 : Variables de entrada y salida*

ENTRADA		SALIDA	
<b>Material</b>	Bagazo de caña de azúcar	<b>Material</b>	Pellets
<b>Energía</b>	Motor eléctrico	<b>Energía</b>	Calor, sonido, Vibración
<b>Señales</b>	Tipo Visual	<b>Señales</b>	Tipo visual

Figura 2: Caja Negra



Después de establecer los parámetros de entrada y salida en la caja negra, se desarrolló la estructura de funciones de la maquina peletizadora de bagazo de caña de azúcar según se muestra en la figura 3 identificando cada función que debe realizar la máquina y el sistema que se requiere incluir dentro de la máquina.

Figura 3: Caja de funciones del sistema de peletizado

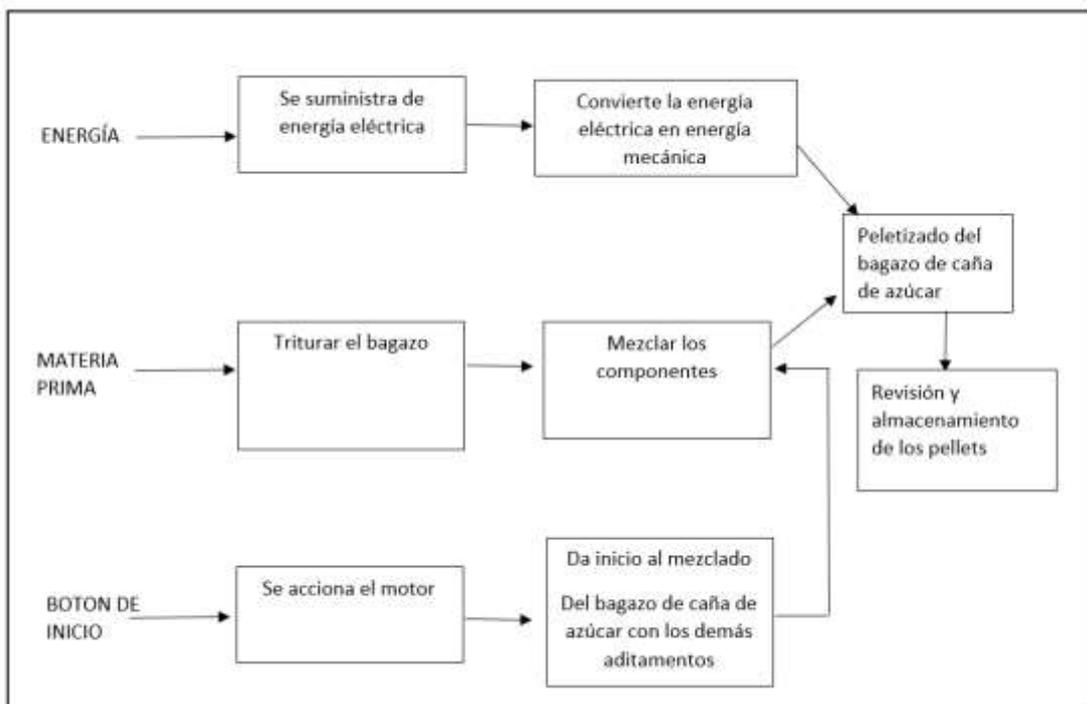
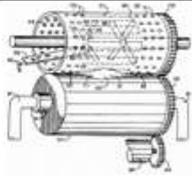


Figura 4: Matriz morfológica

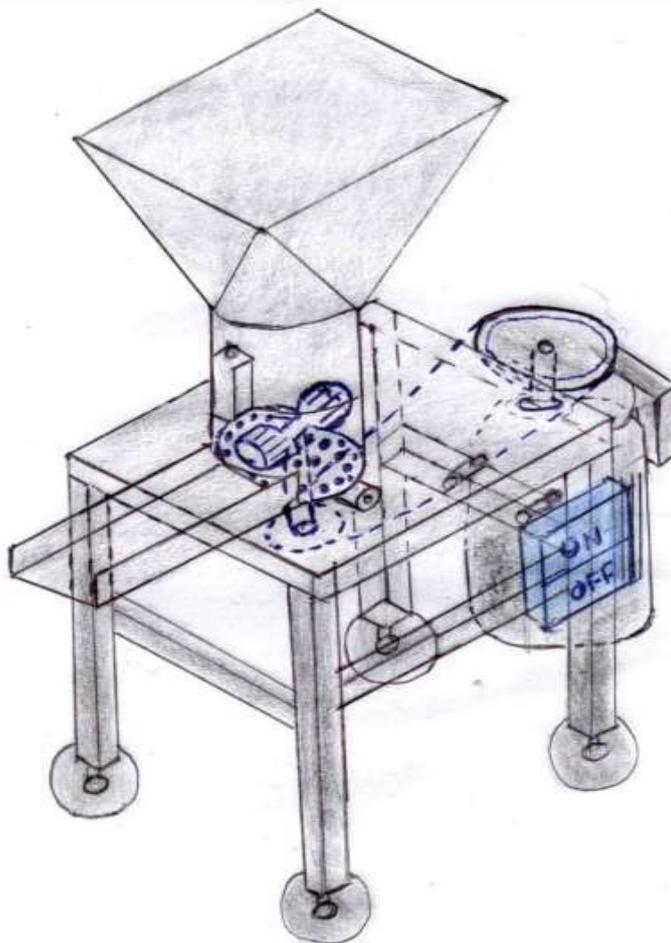
Funciones	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4
Encendido de la Maquina				
Tolva de alimentación				
Transmisión				
Matriz de Peletizado				
Rodillos				
Motor				

La matriz morfológica es una herramienta versátil que sirve para organizar, explorar, evaluar y desarrollar soluciones en el proceso de diseño. Ayuda a los diseñadores y equipos de proyectos a abordar problemas de manera estructurada y a considerar una variedad de opciones antes de tomar decisiones finales; la figura 3 muestra las soluciones de diseño conceptual que se describen a continuación:

## Diseño conceptual 1

El primer diseño conceptual comienza con el interruptor de encendido y apagado, para iniciar el trabajo de la máquina de peletizado. Después de darle marcha a la maquina se tiene que ingresar la materia prima en este caso bagazo de la caña de azúcar, para ello se seleccionó una tolva de alimentación con sección rectangular la peletizadora se moverá por una transmisión por bandas, después de ingresar la materia prima nos encontraremos con la matriz y los rodillos que producirán el peletizado, se seleccionó una matriz plana y un par de rodillos conectados para que gire alrededor de la matriz, finalmente se alimentara de energía a través de un motor eléctrico.

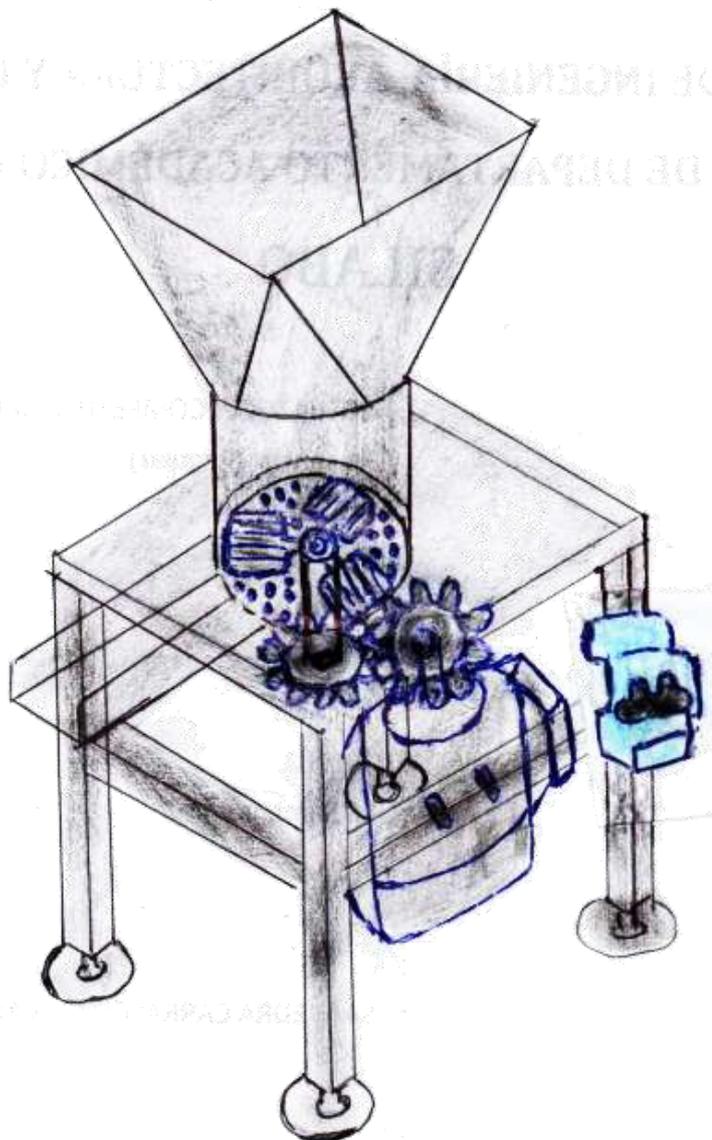
Figura 5: Diseño conceptual 1 de maquina peletizadora



## Diseño conceptual 2

El segundo diseño tiene una llave termomagnética para darle comienzo al proceso de peletizado, después se ingresa la materia prima a través de la tolva seleccionada en nuestra matriz anterior, la maquinaria se moverá por una transmisión por bandas, el cual estará conectado a un motor de combustión, el bagazo pasará por una matriz plana y por tres rodillos.

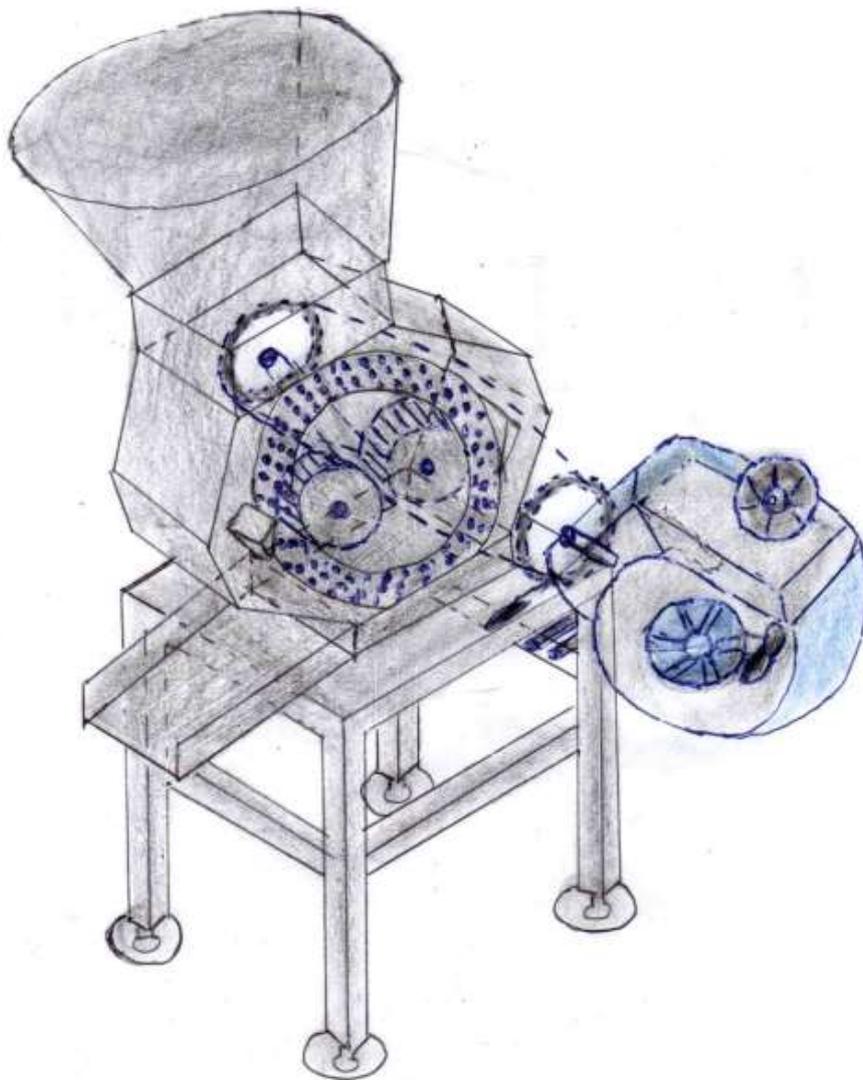
*Figura 6: Diseño conceptual 2*



### Diseño conceptual 3

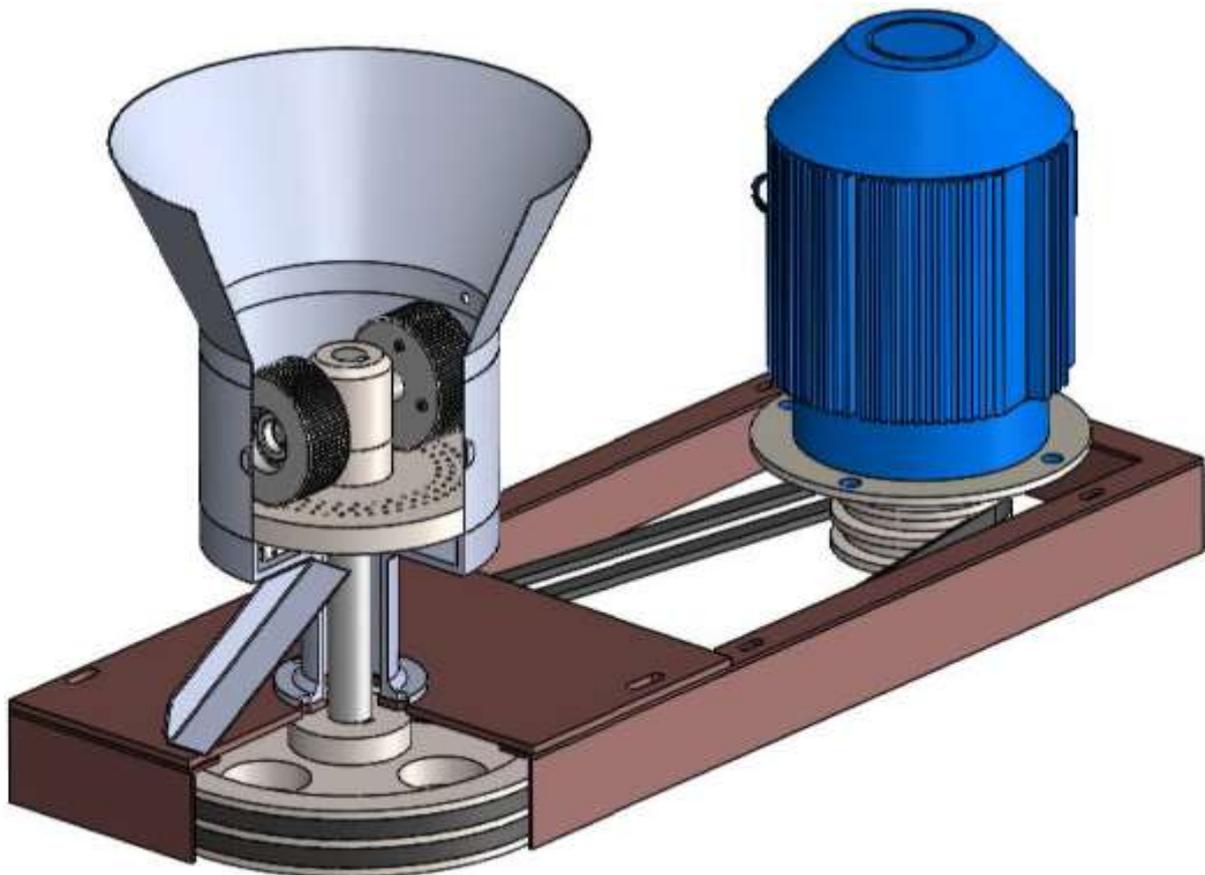
El tercer diseño conceptual inicia con un arrancador de arranque por cuerda que manejará el encendido, la maquinaria se moverá por una transmisión por bandas, el cual estará conectado a un motor de combustión, tendrá una matriz anular giratoria y dentro de ella dos rodillos juntos para darle un peletizado uniforme.

*Figura 7: Diseño conceptual 3*



Las soluciones planteadas tienen un sistema de transmisión que al compararlo podemos indicar que la propuesta de sistema de transmisión por engranaje queda descartado debido a que requiere de lubricación y el ambiente de trabajo contiene polución; de igual manera el sistema de transmisión por cadena además de necesitar lubricación, se usa en sistemas con menores velocidades; por tanto el mejor diseño de transmisión es la que usa banda flexible debido a que la polución no la contaminará ya que no usa lubricante.

*Figura 8: Diseño conceptual final*



## DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DE LA MÁQUINA PELETIZADORA

### Dimensionamiento del pellet

Considerando el flujo másico de 200Kg/h y según la tabla 4, se recomienda tener un diámetro entre 6 a 8 mm con tiempos de ignición entre 5–7 min; para este caso seleccionaremos un diámetro de 6 mm para una ignición rápida; por tanto, tenemos según la ecuación 6 la relación entre longitud y diámetro del Pellet:

$$l \leq 2 \times \phi_{\text{pellet}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde  $l$  es la longitud del pellet y  $\phi$  es el diámetro; teniendo la longitud un valor de 12 mm que se encuentra dentro del rango según lo especificado en la tabla 4. Con un volumen de  $3.39 \times 10^{-7} \text{ m}^3$ .

La relación de compresión del pellet es requerida para poder determinar la presión necesaria que se aplicará a la materia prima a fin de poder pasar a través del agujero del diámetro requerido; para ello se usará la ecuación 7:

$$RC = \frac{1}{\phi_{\text{pellet}}/l} \quad \text{Ecuación 7}$$

Reemplazando el diámetro y longitud del pellet obtenemos un valor de relación de compresión de 2.

El volumen de bagazo de caña de azúcar necesario para producir los pellets será de  $6.78 \times 10^{-7} \text{ m}^3$  determinado mediante la ecuación 8:

$$V_{\text{merma}} = V_{\text{pellet}} \times RC \quad \text{Ecuación 8}$$

Por tanto, la densidad del pellet producido será de 2520 kg/m<sup>3</sup> considerando la ecuación 9 para los valores de RC= 2 y densidad aparente de 1260 kg/m<sup>3</sup> para un valor de prueba experimental de diámetro 6mm según la tabla 2.

$$\rho_{pellet} = \rho_{pajilla} \times Rc \quad \text{Ecuación 9}$$

### Dimensionamiento del dado

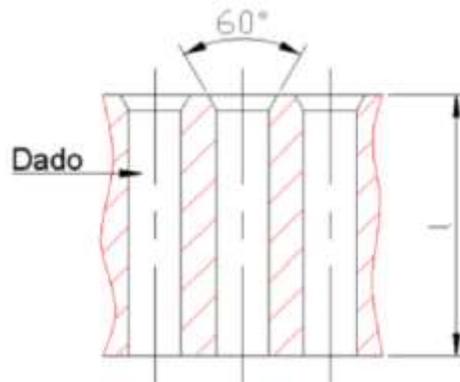
Para determinar la dimensión del dado se requiere hallar la presión de compactación en el agujero del dado según su forma (fig. 5), considerando la constante empírica para el ángulo del dado de 60°, recomendado por la facultad de ciencias y tecnología de Bolivia según la tabla 8 y ecuación 10 de la deformación por extrusión del bagazo de caña de azúcar según (Arpi, 2010).

$$E_x = a + [b \times \ln(Rc)] \quad \text{Ecuación 10}$$

Tabla 8: Constantes según ángulo de geometría del dado

Ángulo	Constante	Valor
30°- 45°	a	0.70 – 0.78
	b	1.00 – 1.10
50°- 60°	a	0.80 – 0.90
	b	1.20 – 1.15

Figura 9: Forma del agujero del dado



Por tanto, reemplazando en la ecuación 10 tenemos un valor de deformación de 1.351 para una relación de compresión de 2, valor de constante a 60° de:  $a=0.9$  y  $b=1.5$

Según la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT), Agencia de Protección Ambiental (EPA) y Norma Europea de Pellets el esfuerzo de fluencia promedio para el bagazo de caña de azúcar oscila entre 2 a 30 MPa según su % de humedad; por tanto, la presión que ejercerá el rodillo será de 40.53 MPa utilizando la ecuación 11, con una deformación de 1.351.

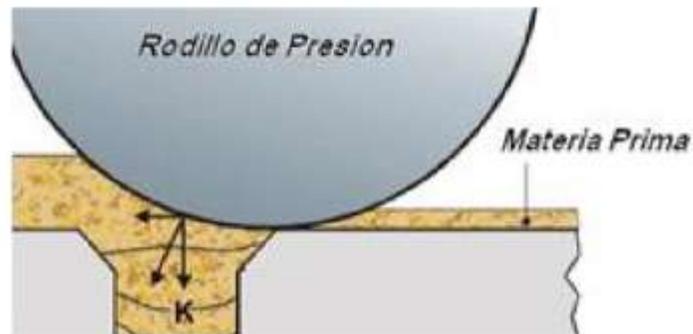
$$P_{Rodillo} = \bar{Y}_f \times E_x \quad \text{Ecuación 11}$$

Para determinar la fuerza que el rodillo deberá aplicar sobre la matriz que contiene el dado se usará la ecuación 12 según el centro de investigación técnico de Finlandia, 2002.

$$F_K = P_{Rodillo} \times A_{Dado} \quad \text{Ecuación 12}$$

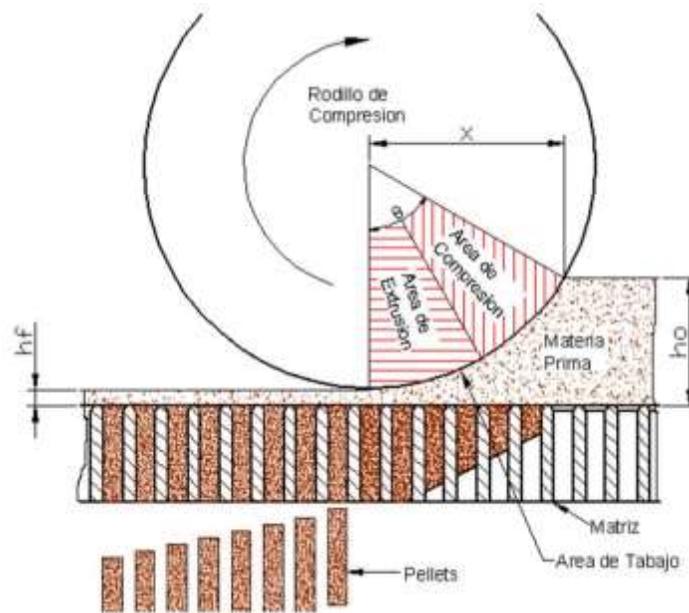
Para un área de 28.27 m<sup>2</sup> se tiene una fuerza de compactación necesaria de 1145.96 N, figura 10.

Figura 10: Fuerza de compresión del rodillo



Ante la fuerza de compresión que ejerce el rodillo sobre el dado se determina la presión del dado sobre el material desde el espesor inicial del material  $h_0$  y el espesor final  $h_f$  después de la compactación según la figura 7.

Figura 11: Área de compresión



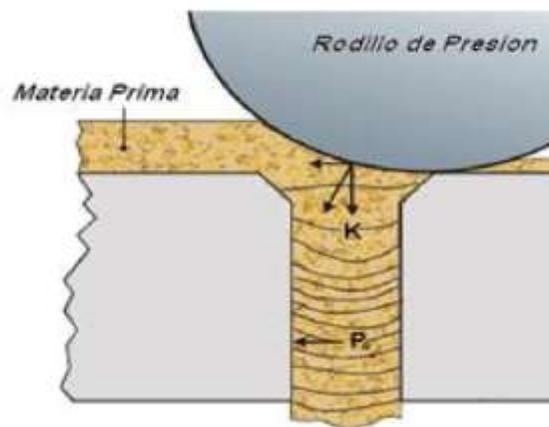
Considerando el espesor final y su efecto de fricción en el rodillo se determina la presión adicional necesaria para superarla según la ecuación 13 con un resultado de 2MPa para un espesor final de 0.2 mm o 0.0002 m y un diámetro de pellet de 0.006m.

$$P_f = \bar{Y}_f \times \frac{2h_f}{\theta_{pellet}} \quad \text{Ecuación 13}$$

La presión ejercida en las paredes del dado será determinada por la ecuación 14 en la que el coeficiente de fricción entre el bagazo y el acero es de 0,7 según El centro de investigación técnico de Finlandia, por tanto, el valor es de 21.43 MPa.

$$P_0 = \frac{P_f \times \phi_{pellet}}{4 \times \mu \times h_f} \quad \text{Ecuación 14}$$

Figura 12: Presión en el interior del dado



En el proceso de compresión del bagazo de caña de azúcar existirá una fuerza de fricción que impedirá el avance vertical en el interior del dado, por tanto, usando la ecuación 15 tenemos una fuerza de fricción de 1080.072 N

Si:  $F_R < F_K$ , entonces se cumple la condición de diseño debido a que se requiere mayor fuerza de compactación para vencer la fuerza de fricción en el avance del material.

El radio del rodillo de compresión se determinará con las variables de espesor inicial ( $h_o$ ), espesor final ( $h_f$ ) y coeficiente de fricción ( $\mu$ ), según la ecuación 15, obteniendo un resultado de 14 cm (ver fig. 7).

$$h_o - h_f = \mu^2 \times r_{rodillo} \quad \text{Ecuación 15}$$

Consideramos que el material requerido para la fabricación del rodillo es acero con una densidad promedio de  $7860 \text{ kg/m}^3$  usando la ecuación 16 obteniendo un valor de 8.46 kg para un espesor promedio de 0.07 m y un volumen de rodillo de  $0.0010077 \text{ m}^3$ .

$$m_{Rodillo} = V_{Rodillo} \times \rho_{Acero}$$

El par torsor del rodillo requerido para aplicar la presión necesaria para la generación de los pellets estará según el comportamiento del sistema de la figura

*Figura 13: Sistema funcional del par torsor del rodillo*

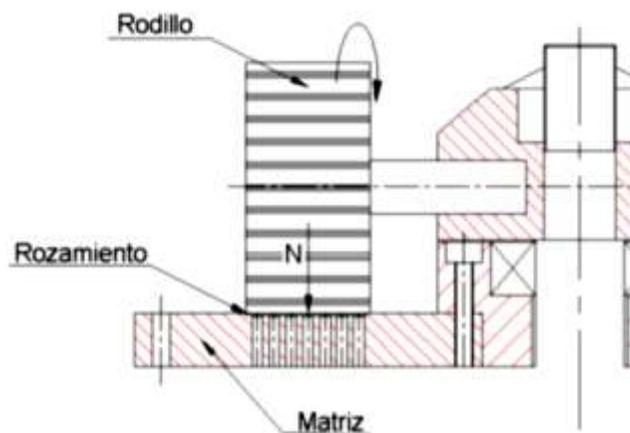


Tabla 9: Evaluación dinámica y de potencia del rodillo

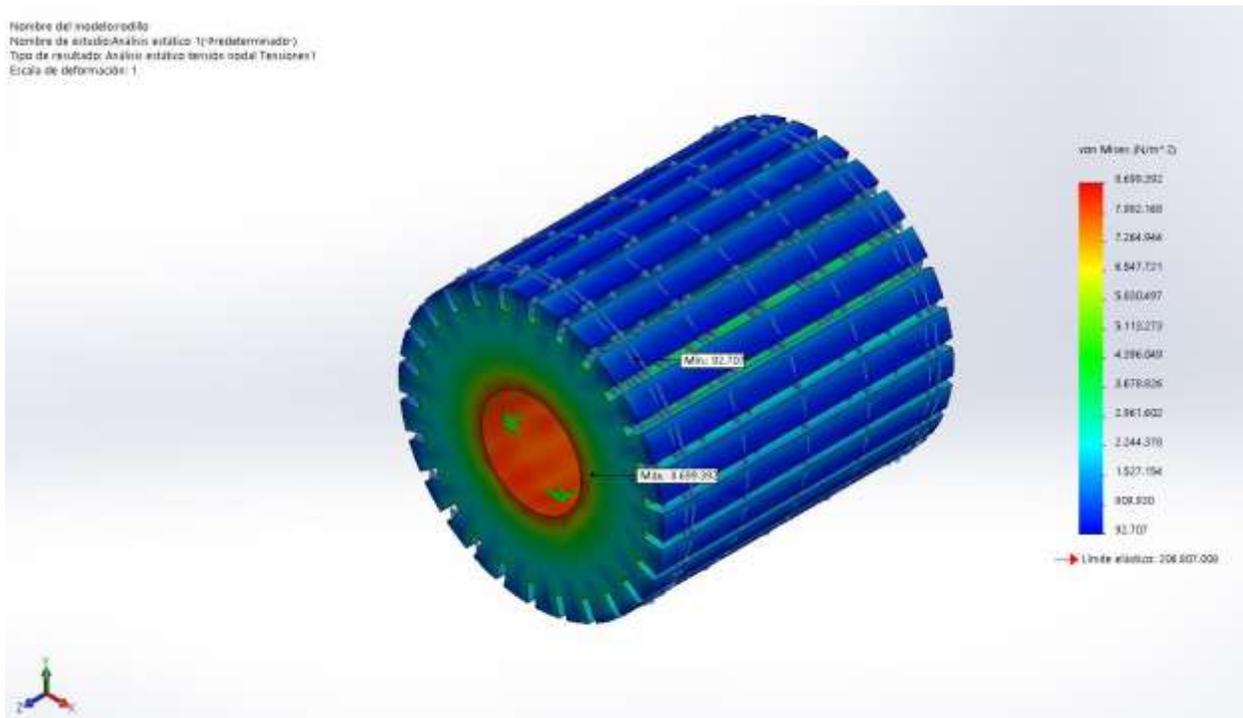
Variable	Descripción	Ecuación	Resultado
$X$	Desplazamiento angular del área de trabajo	$x \approx \sqrt{r_{Rodillo} \times (h_o - h_f)}$	0.05 m
$a_{nrodillo}$	Aceleración normal del rodillo	$a_{nrodillo} = \frac{F_K}{m_{Rodillo}}$	127.66 m/s <sup>2</sup>
$v_{rodillo}$	Velocidad tangencial del rodillo	$v_{rodillo} = \sqrt{a_{nrodillo} \times r_{rodillo}}$	2.989 m/s
$\omega_{rodillo}$	Velocidad de giro del rodillo	$\omega_{rodillo} = \frac{v_{rodillo}}{r_{rodillo}}$	42.7 rad/s 407.75 rpm
$P_{rodillo}$	Potencia del rodillo	$P_{rodillo} = \frac{2\pi \times N_{rodillo} \times F_K \times X}{60000}$	2.31 KW
$T_{rodillo}$	Torque de los rodillos sobre el eje principal	$T_{rodillo} = \frac{P_{rodillo}}{\omega_{rodillo}}$	54.098 N.m

#### **Análisis de resistencia del rodillo:**

Se consideró para la fabricación del rodillo el material isotrópico elástico al acero AISI 304 con propiedades mecánicas de límite elástico 206 MPa. Límite de tracción de 517 MPa con densidad de 8000kg/m<sup>3</sup>.

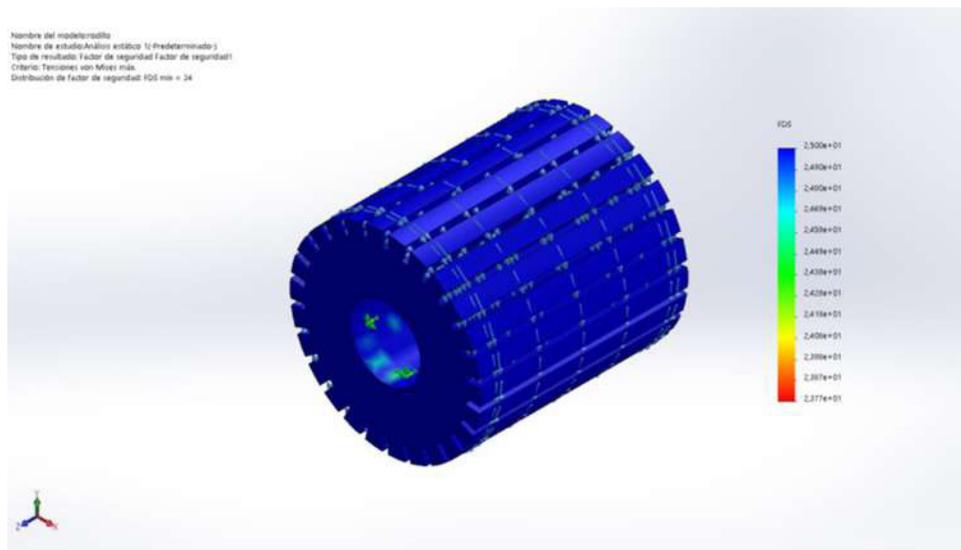
El análisis de esfuerzos sobre el rodillo considerando la presión sobre el material a compactar no arrojó como resultados un valor máximo de 8.70 KPa ubicado en el agujero de la masa de compresión, sin embargo, este valor es menor a la resistencia de fluencia del material por lo que se asegura la resistencia frente a al análisis de resistencia debido a carga estática según la figura 10.

Figura 14: Análisis estático de resistencia de la masa del rodillo de compresión.



Los desplazamientos del material son parte de la evaluación del comportamiento del elemento debido a la deformación que se genera, en la figura 11 podemos visualizar un desplazamiento máximo de  $3.42 \times 10^{-5}$  mm, esto indica que el elemento es rígido.

Figura 15 Desplazamientos equivalentes



Uno de los parámetros de análisis muy importante es el factor de seguridad el que se evaluó con el software de análisis CAE con un valor mínimo de 2.37 considerado aceptable para el diseño mecánico de la masa compactadora.

Para dimensionar la matriz de extrusión se considerarán las variables descritas en la tabla 10 considerando la figura 12 del esquema de la matriz horizontal de agujeros. Con un resultado de 137 agujeros en la matriz horizontal plana.

Figura 16: Vista de planta de la matriz de agujeros

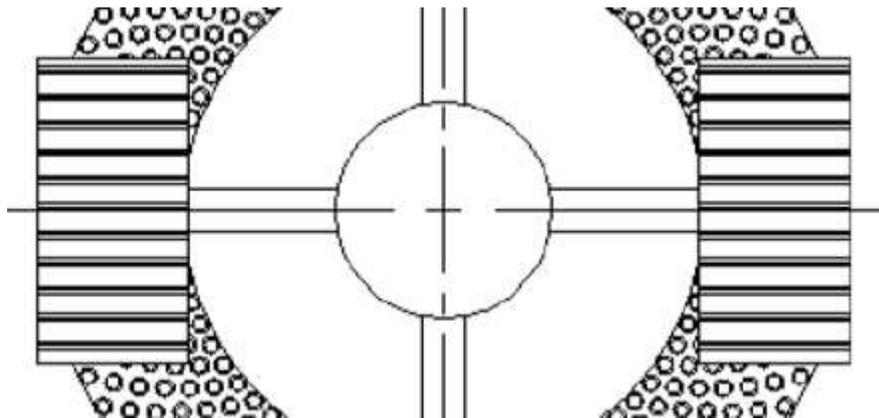


Tabla 10: Dimensionamiento de la matriz de extrusión

Variable	Descripción	Ecuación	Resultado
$\omega_2$	Velocidad del eje principal	$\omega_2 = \frac{v_{rodillo}}{R'}$	21.35 rad/s 203.87 rpm
$\theta$	Ángulo del área de trabajo del rodillo	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{x}{r_{Rodillo}}\right)$	0.62 rad
$t_{extrusion}$	Tiempo de salida de los pellets	$t_{extrusión} = \frac{\theta}{\omega_2}$	0.029 s
$a_{extrusion}$	Aceleración en el interior del dado de la matriz	$F_K - Fr = m_{merma} \times a_{extrusión}$	0.329 m/s <sup>2</sup>
$v_{extrusion}$	Velocidad de extrusión del pellet	$v_{extrusión} = v_0 + (a_{extrusión} \times t_{extrusión})$	0.00955 m/s

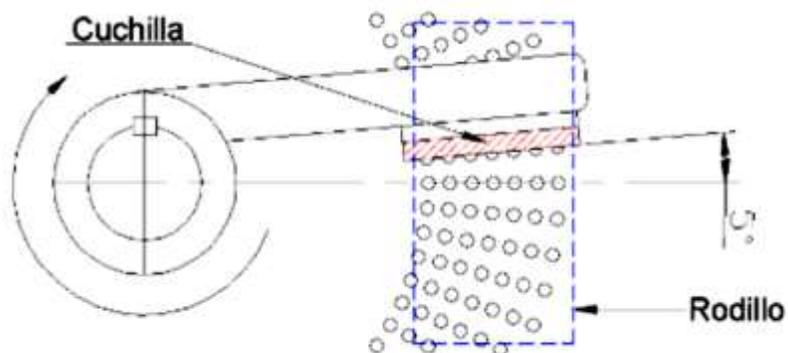
$Q$	Flujo volumétrico de pelletizado	$Q = 200 \frac{kg}{h} \times Y_{pellet}$	0.267 m <sup>3</sup> /h 74 x10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> /s
#Agujeros	Números de agujeros de extrusion para dos rodillos	$Q = (v_{extrusión} \times \#Rodillos) \times (A_{dado} \times \#Agujeros)$	137

El sistema de corte estará conformado por cuchillas acopladas al eje principal según la figura 13 para el corte de los pellets a 1.2 cm según se estableció como requisito del diseño. Para el ángulo requerido para establecer el corte debe ser de 5° respecto al eje horizontal según la figura 14; la figura 15 muestra el ensamble de los dos rodillos. EL material de las cuchillas será el acero tipo HSS utilizado para corte de madera en el proceso de cepillado.

Figura 17: Diseño propuesto para el sistema de corte



Figura 18: Posición de las cuchillas de corte

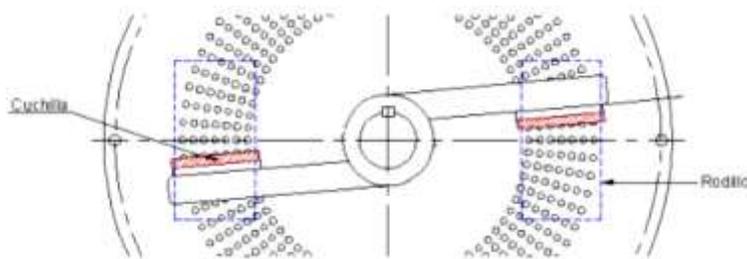


En la tabla 11 se muestran los resultados sobre el cálculo del sistema de corte en dónde J es la presión de la resistencia de la pajilla (N/cm<sup>2</sup>), para este caso J=6566 N/cm<sup>2</sup>. Consideraremos una superficie de corte del área del agujero para un conjunto de 3 agujeros alineados.

Tabla 11: Cálculo del sistema de corte

Variable	Descripción	Ecuación	Resultado
$P_{cc}$	Potencia de corte	$P_{cc} = J \times S \times v_{extrusión} \times 2cuchillas$	709.18 W
$T_{cuchillas}$	Torque de las cuchillas	$T_{cuchillas} = \frac{P_{cc}}{\omega_2}$	33.22 N.m
$P_{Total}$	Potencia total requerida del trabajo	$P_{total} = P_{rodillos} + P_{cuchillas}$	3.019 KW 4hp $\approx$ 5hp

Figura 19: Posición de las cuchillas de corte – vista inferior



### Selección de del Sistema de transmisión mecánico:

El sistema de transmisión estará conformado por un motor eléctrico, un eje principal y transmisión por bandas y poleas. El motor eléctrico tendrá una potencia de 5hp según la tabla 11.

## Transmisión por polea:

La figura 16 muestra el sistema de transmisión seleccionado conformado por banda, polea conductora y polea conducida (figura 16) con una relación de transmisión de 2.5 y una banda tipo "C" recomendada por la ABNT y diámetro de poleas de 212 mm (conductora) y 537 mm (conducida). La table N° 12 muestra los cálculos de las variables del sistema de transmisión para determinar el código de correa a usar.

*Figura 20: Sistema de transmisión por poleas y banda*

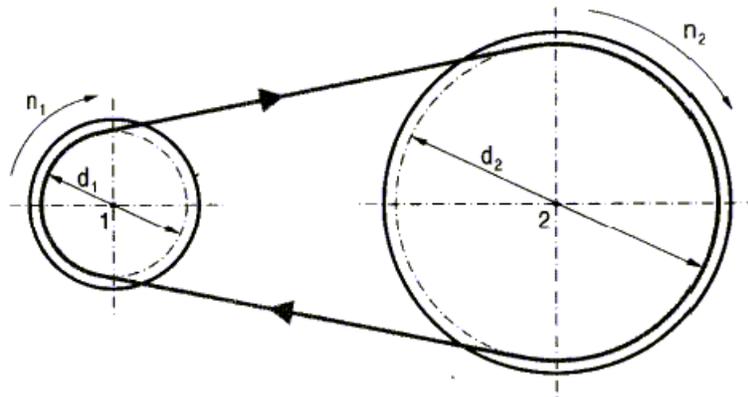


Tabla 12: Parámetros de funcionalidad del motor eléctrico:

Variable	Descripción	Ecuación	Detalle	Resultado
$T_p$	Torque de la polea de transmisión de potencia	$T_p = \frac{P_{total}}{\omega_{matriz}}$	$\omega_{matriz}$ : velocidad de matriz	139.15 N.m
$E$	Distancia entre ejes de poleas (E)	$i \geq 3$ $E \geq d_2$ $E \geq \frac{(i+1) \times d_1}{2} + d_1$	E: Distancia entre ejes de poleas. i: relación de transmisión. $d_2$ : Diámetro de la polea conducida. $d_1$ : Diámetro de la polea motriz.	1000 mm
$L_p$	Longitud de la correa	$L_p = 2E + \frac{\pi}{2}(d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4E}$		3204.9 mm $\approx$ 3212 mm
#	Cálculo del número de correas	$\# = \frac{P_c \times K}{P_c \times FcA \times Fcl}$	$Fcl$ : Factor de longitud = 0.98 $FcA$ : Factor de contacto: 0.95 $K$ : Factor de corrección de potencia = 1.3	2
$F_f$	Fuerza de flexión	$F_f = \frac{T_p}{r_2} \times 1.5$	$r_2 = 22.86$ cm	778.30 N

### Eje principal:

La figura 17 muestra el detalle geométrico con dimensiones del eje principal propuesto para la máquina de producción de pellets. Para ello tomaremos los siguientes datos:

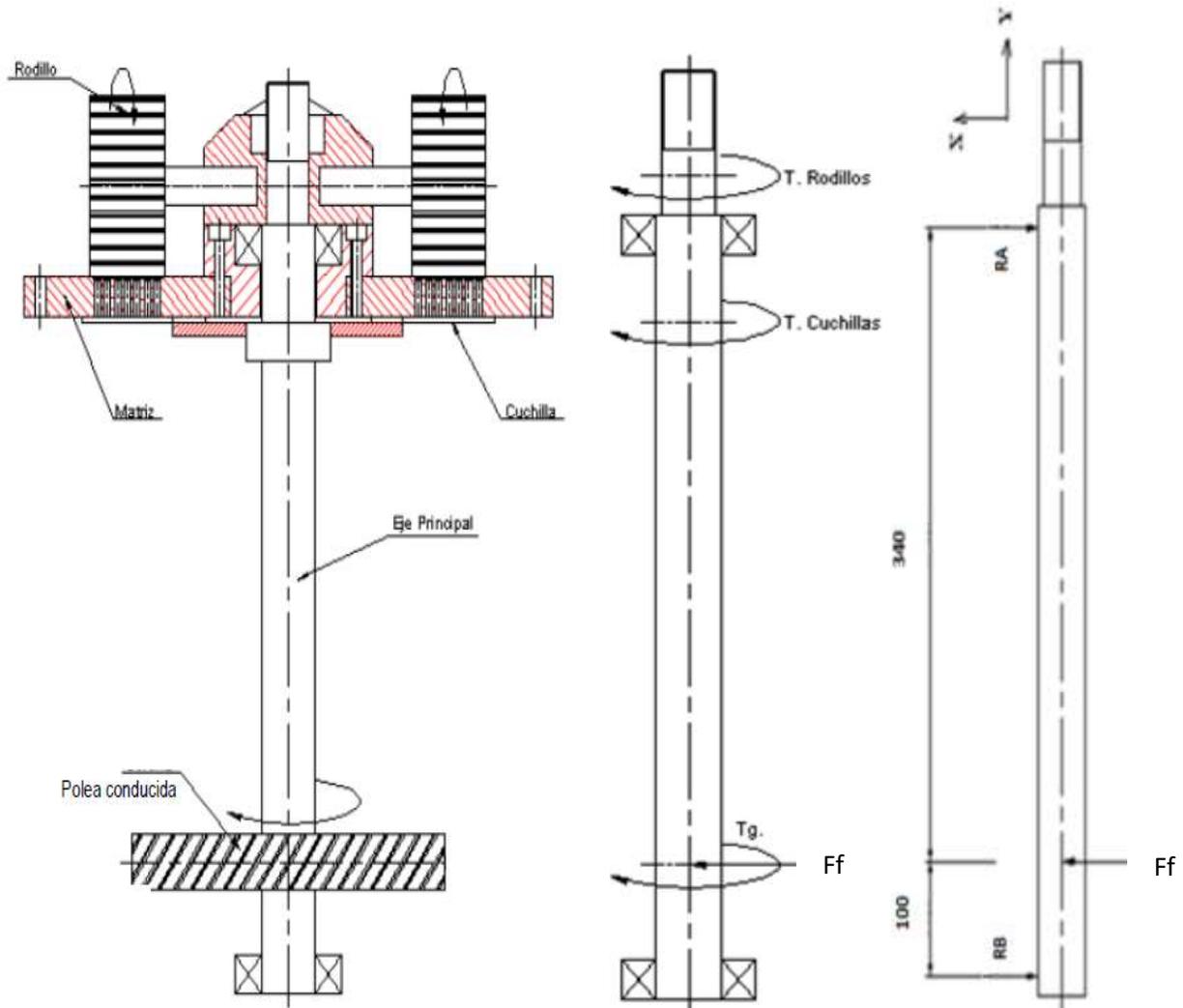
Torque de polea:  $T_p = M1 = 139.15$  N.m;

Torque de cuchillas:  $T_c = M2 = 32.22$  N.m;

Torque de rodillos:  $T_r = M3 = 54.098$  N.m;

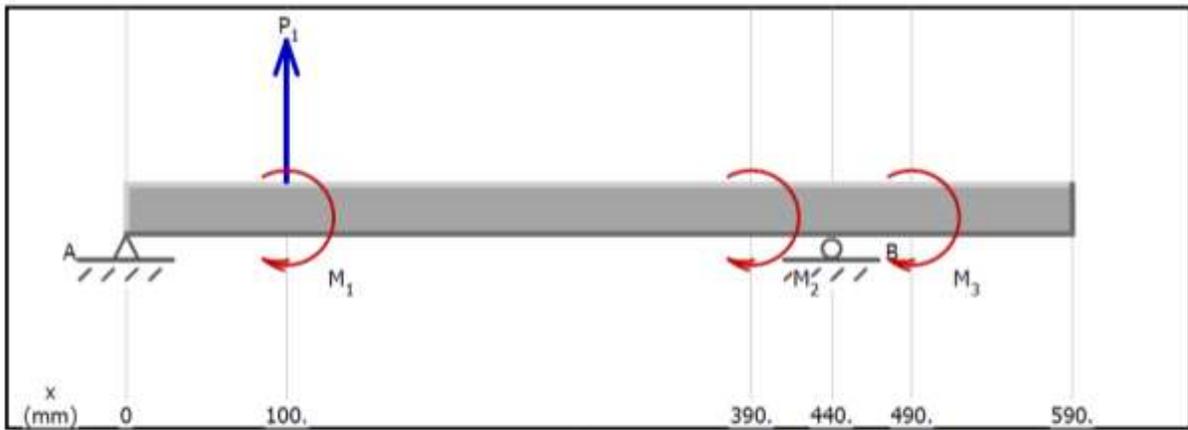
además de la fuerza de flexión de la polea:  $F_f$ .

Figura 21: Detalle del eje principal



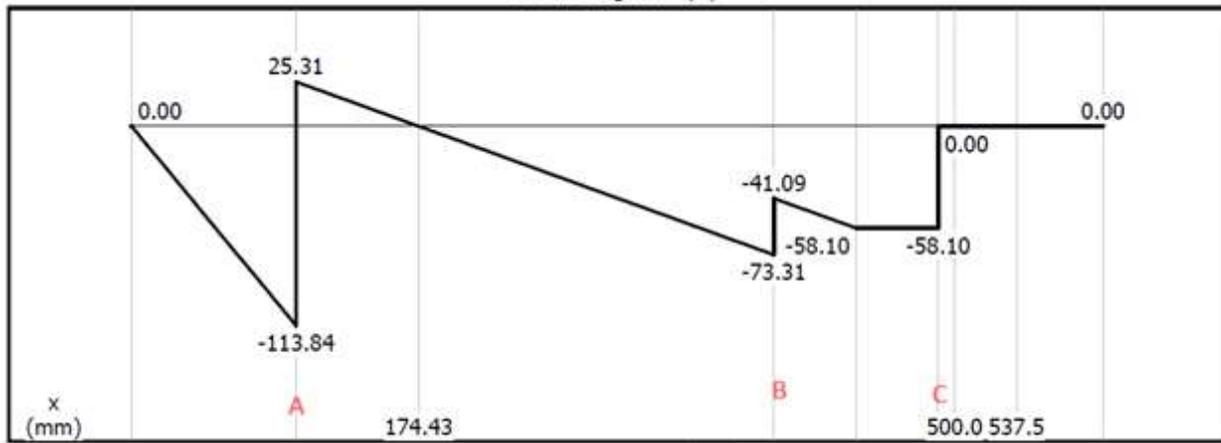
Con ayuda del software Md Solid se determinaron los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores en la que se puede evidenciar un máximo valor del momento flector 113.84 Nm a 100 mm (ver figura 18).

Figura 22: Diagrama de fuerzas cortantes y diagrama de momentos



$P_1 = 798.3 \text{ N (up)}$   
 $M_1 = 139.15 \text{ N-m (cw)}$   
 $M_2 = 32.22 \text{ N-m (cw)}$   
 $M_3 = 58.098 \text{ N-m (cw)}$

$A_y = 1,138.39 \text{ N (down)}$   
 $B_y = 340.09 \text{ N (up)}$



Moment Diagram (N-m)

Para determinar el diámetro mínimo del eje se utilizará el criterio de fatiga para un diseño conservador de Goodman modificado para un valor de factor de seguridad de 1.5 y factores concentradores de esfuerzo de fatiga  $K_f = 1.2$ . Considerando que los pellets no tienen una comercialización en el rubro de alimentos se utilizará el acero SAE 1040 CD para su fabricación.

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \dots \quad \text{Ecuación 16}$$

*Tabla 13: Diámetros por sección del eje principal*

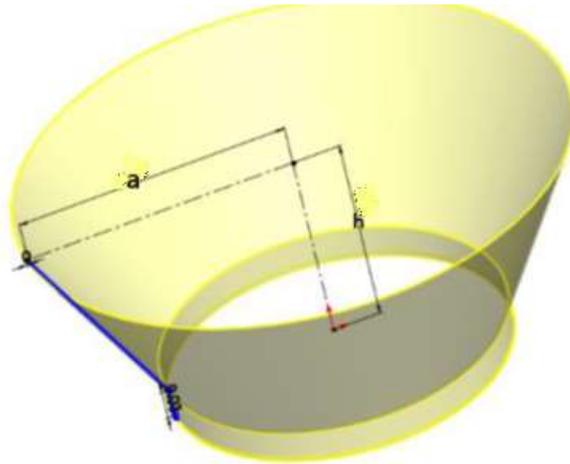
Sección	n	Kf	Kfs	Tm (N.m)	Ma (N.m)	Sy (MPa)	Su (MPa)	Se (MPa)	d (mm)
A	1.5	1.2	1.2	139.150	113.84	320	570	278.28	21.68
B	1.5	1.2	1.2	32.220	73.31	320	570	278.28	17.20
C	1.5	1.2	1.2	58.098	58.10	320	570	278.28	16.86

La tabla 13 muestra los resultados de los diámetros de sección del eje principal, sin embargo, para efectos de fabricación se tomarán los diámetros de 21.68 mm para un diámetro uniforme a lo largo de los rodamientos; para la longitud de eje en el acople del sistema de rodillos, éste tendrá un diámetro mínimo de 17.20 mm.

### **Dimensionamiento de la tolva:**

La tolva será dimensionada teniendo en consideración la capacidad de producción de 200Kg/h con una pendiente de 35° y ángulo de descarga

de 55°; con esta configuración tendremos un flujo másico de 11.19  $kg/s$  aproximadamente según la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT). Para  $a=30$  cm y  $h= 50$  cm., fabricada en acero SAE 1020 CD.



#### Costos de Fabricación:

Para determinar los costos de fabricación se agrupó por sistemas y mano de obra para el montaje de los elementos ya dimensionados en los ítems anteriores.

Tabla 14: Costos de fabricación por sistema y mano de obra

Elementos	Cantidad	P. Unit. (S/.)	P. Total (S/.)
Sistema de Potencia	1	3500	3500
Sistema de Transmisión	1	850	850
Sistema de compactación	1	2630	2630
Sistema de Corte	1	200	200
Sistema de alimentación	1	2500	2500

Sistema estructural	1	650	650
Servicio de Montaje	1	1250	1250
		Total	11580

### 3.2. DISCUSIÓN:

El diseño conceptual seleccionado en esta investigación tuvo requerimientos principales sobre la funcionalidad y mantenimiento, siendo así se determine el uso de dos rodillos de compactación y un sistema de transmisión flexible con uso de poleas con canal en V. Al igual que Anirudha, en su investigación Design and Fabrication of Biomass Pelleting Machine, 2018; en el que considera el sistema de alimentación por gravedad para mejorar la producción.

Sobre la fuerza de compactación necesaria para un agujero en la fabricación del pellet fue de 1145.96 N; valor que se asemeja a los 1536 N calculados por Peter, 2017, en su investigación denominada Design of a sawdust pelleting machine.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones.

- El diseño fue desarrollado en consonancia con los diseños conceptuales utilizando la Norma VDI 2221, ajustándose a nuestras necesidades específicas y considerando los aspectos de funcionalidad y mantenimiento de la máquina peletizadora para seleccionar su diseño conceptual.
- Los elementos fundamentales de la máquina peletizadora, como el rodillo de compactación y el eje principal de transmisión, fueron fabricados considerando criterios físico-mecánicos y de resistencia de materiales. Se llevaron a cabo simulaciones utilizando software CAE, los cuales arrojaron resultados favorables con factores de seguridad superiores a uno, indicando un nivel de seguridad adecuado.
- El eje principal fue calculado utilizando el enfoque conservador de Goodman para la fatiga ante los ciclos de trabajo, lo que resultó en un diámetro de 17.20 mm para un acero 1040 CD. Se emplearon software como Md Solid y SolidWorks para simular tanto el comportamiento estático como el de fatiga. Los resultados mostraron un factor de seguridad superior a uno, en línea con el análisis teórico, confirmando así que el componente principal, al que se acoplarán otros elementos de transmisión, es seguro.

## **4.2. Recomendaciones.**

- Es necesario examinar el desgaste de los rodillos durante la producción de pellets con el fin de sugerir un material resistente que sea económicamente viable.
- La evaluación de las pérdidas mecánicas en los sistemas de transmisión es crucial, por lo que se recomienda analizar varias configuraciones de transmisión para mejorar el diseño. En este estudio, se consideraron los criterios de mantenimiento y funcionalidad para dicha optimización.

## Referencias

- [1] M. A. M. E.-N. A. K. H. B. Mohammad Javad Sheikhdavoodi, «Gasification of sugarcane bagasse in supercritical water; evaluation of alkali catalysts for maximum hydrogen production,» *Journal of the Energy Institute*, vol. 88, pp. 450-458, 2015.
- [2] C.-Y. Yin, «Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses,» *Fuel*, pp. 1128-1132, 2011.
- [3] Y. O. O. M. A. A. G. S. A. Elijah Olawale Ajala, «Lactic Acid Production from Lignocellulose – A Review of Major Challenges and Selected Solutions,» *ChemBioEng*, 2020.
- [4] C. P. P. P. O. F. B. M. P. d. C. L. A. C. Jose A. Scaramucci, «Energy from sugarcane bagasse under electricity rationing in Brazil: a computable general equilibrium model,» *Energy Policy*, pp. 986-992, 2006.
- [5] A. G. B. O. E. O. C. R. G.J.M. Rocha, «Steam explosion pretreatment reproduction and alkaline delignification reactions performed on a pilot scale with sugarcane bagasse for bioethanol production,» *Industrial Crops and Products*, pp. 274-279, 2012.
- [6] C. M. I. S. A. S. M. H. B. C. M. d. A. G. Jackson de Moraes Rocha, «Dilute mixed-acid pretreatment of sugarcane bagasse for ethanol production,» *Biomass and Bioenergy*, pp. 663-670, 2011.
- [7] S. C. G. G. Jigisha Parikh, «A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuel,» *Fuel*, pp. 487-494, 2005.
- [8] B. B. R. G. T. W. A.A. Tortosa Masiá, «Characterising ash of biomass and waste,» *Fuel Processing Technology*, pp. 1071-1081, 2007.
- [9] J. A. S. R. I. M. M.T. Miranda, «Energetic characterization of densified residues from Pyrenean oak forest,» *Fuel*, 2009.
- [10] S. C. V. B. F. B. L. W. R. D. J. Monteiro, «Sugarcane bagasse waste in composites for multilayered armor,» *European Polymer Journal*, vol. 78, pp. 173-185, 2016.
- [11] J. N. S. S. A. Moretti, «Self-compacting concrete incorporating sugarcane bagasse ash,» *Construction and Building Materials*, vol. 172, pp. 635-649, 2018.
- [12] M. V. E. S. H. Frías, «Brazilian sugar cane bagasse ashes from the cogeneration industry as active pozzolans for cement manufacture,» *Cement and Concrete Composites*, vol. 33, pp. 490-496, 2011.

- [13] G. G. A. G. R. Candido, «Characterization and application of cellulose acetate synthesized from sugarcane bagasse,» *Carbohydr. Polym.*, pp. 280-289, 2017.
- [14] C. M. V. T. L. Mashoko, «Life cycle inventory of electricity cogeneration from bagasse in the South African sugar industry,» *J. Cleaner Prod.*, pp. 42-49, 2013.
- [15] E. E. M. A. S. O. A. A. K.O. Iwuozor, «Effect of salt modification on biochar obtained from the thermochemical conversion of sugarcane bagasse,» *Sugar Tech*, pp. 1-11, 2022.
- [16] B. G. M. Z. Anne Elise Creamer, «Carbon dioxide capture using biochar produced from sugarcane bagasse and hickory wood,» *Chemical Engineering Journal*, pp. 174-179, 2014.
- [17] J. K. H. A. R. S. S. B. J. A. U. B. H. Wolfgang Stelte, «A study of bonding and failure mechanisms in fuel pellets from different biomass resources,» *Biomass and Bioenergy*, vol. 5, pp. 910-918,, 2011.
- [18] D. J. G. C. F. Niels Peter K. Nielsen, «Effect of extractives and storage on the pelletizing process of sawdust,» *Fuel*, vol. 89, pp. 94-98, 2010.
- [19] E. F. J. J. K. D. M. Jaya Shankar Tumuluru, «Advanced imaging techniques to understand the impact of process variables on the particle morphology in a corn stover pellet,» *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 161, pp. 130-145, 2020.
- [20] H. L. Yadong Li, «High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel,» *Biomass and Bioenergy*, vol. 19, pp. 177-186, 2000.
- [21] G. T. Ingwald Obernberger, «Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour,» *Biomass and Bioenergy*, vol. 27, pp. 653-669, 2004.
- [22] R. V. M. Nalladurai Kaliyan, «Factors affecting strength and durability of densified biomass products,» *Biomass and Bioenergy*, vol. 33, pp. 337-359, 2009.
- [23] I. S. Carly Whittaker, «Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability – A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 71, pp. 1-11, 2017.
- [24] S. S. C. J. L. Hasti Hosseinizand, «Co-pelletization of microalgae *Chlorella vulgaris* and pine sawdust to produce solid fuels,» *Fuel Processing Technology*, vol. 177, pp. 129-139, 2018.
- [25] L. T. G. S. Phani Adapa, «Compaction characteristics of barley, canola, oat and wheat straw,» *Biosystems Engineering*, vol. 104, 2009.
- [26] F. X. J. W. R. B. L. M. S. S. P. V. Z. P. D. W. K. Theerarattananoon, «Physical properties of pellets made from sorghum stalk, corn stover, wheat straw, and big bluestem,» *Industrial Crops and Products*, vol. 33, pp. 325-332, 2011.
- [27] G. W. C. G. Y. Y. W. L. D. W. Xiaopeng Bai, «Co-pelletizing characteristics of torrefied wheat straw with peanut shell,» *Bioresource Technology*, vol. 233, pp. 373-381, 2017.

- [28] G. a. O. I. Thek, «Wood Pellet Production Costs under Austrian and in Comparison to Swedish Framework Conditions,» *Biomass Bioenergy*, vol. 27, pp. 671-693, 2004.
- [29] H. C. H. U. S. L. Bentzen JD, «Straw gasification,» de *In: Proceedings of the 12th European conference and technology exhibition on biomass for energy, industry and climate protection*, Amsterdam, 2002.
- [30] C. Erlich, «Comparative study of residue pellets from cane sugar and palm-oil industries with commercial wood pellets, applied in downdraft gasification,» Department of Energy Technology School of Industrial Technology and Management Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden , Stockholm, 2009.
- [31] M. M. M. R. L. V. L. Lars Waldheim, «Biomass Power Generation: Sugar Cane Bagasse and Tras,» *Progress in Thermochemical Biomass*, pp. 509 - 523, 2008.
- [32] M. R. Q. Medeiros, M. E. Cruz, A. J. K. Leiroz, R. F. Reinaldo y G. L. Verissimo, «Numerical modeling of the sugarcane bagasse gasification in a fast fluidized bed reactor,» *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2020.
- [33] V. A. R. J. Ferreira L., «Sugarcane bagasse pellets: characterization and comparative,» *Acta Scientiarum. Technology* , pp. 461-468, 2017.
- [34] OSINERGMIN, «La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático,» 2017.
- [35] INEI, «Perú: Panorama Económico Departamental,» 2019.
- [36] A. B. y. P. P. A. Becerra, «Sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia,» *Ingeniería Solidaria*, vol. 12, pp. 133-149, Octubre 2016.
- [37] FAO, «La transición al carbón vegetal,» *Viale delle Terme*, 2017.
- [38] E. & R. M. & B. D. & B. M. K. & K. A. & K. A. Jayamani, «Comparative Study of Fly Ash/Sugarcane Fiber Reinforced Polymer Composites Properties,» *Bioresources*, 2020.
- [39] J. S. Tumuluru, C. T. Wright, K. L. Kenney y R. J. Hess, «A Technical Review on Biomass Processing: Densification, Preprocessing, Modeling and Optimization,» *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 2010.
- [40] N. Kaliyan y R. V. Morey, «Constitutive model for densification of corn stover and switchgrass,» *Biosystems Engineering*, 2009.
- [41] S. MANI, L. G. TABIL y S. SOKHANSANJ, «Evaluation of compaction equations applied to four biomass species,» *Canadian biosystems engineering*, pp. 55-6, 2004.
- [42] U. B. H. J. E. H. a. L. H. S. Jens K. Holm, «Toward an Understanding of Controlling Parameters in Softwood and Hardwood Pellets Production,» *Energy & Fuels*, pp. 2686-2694, 2006.

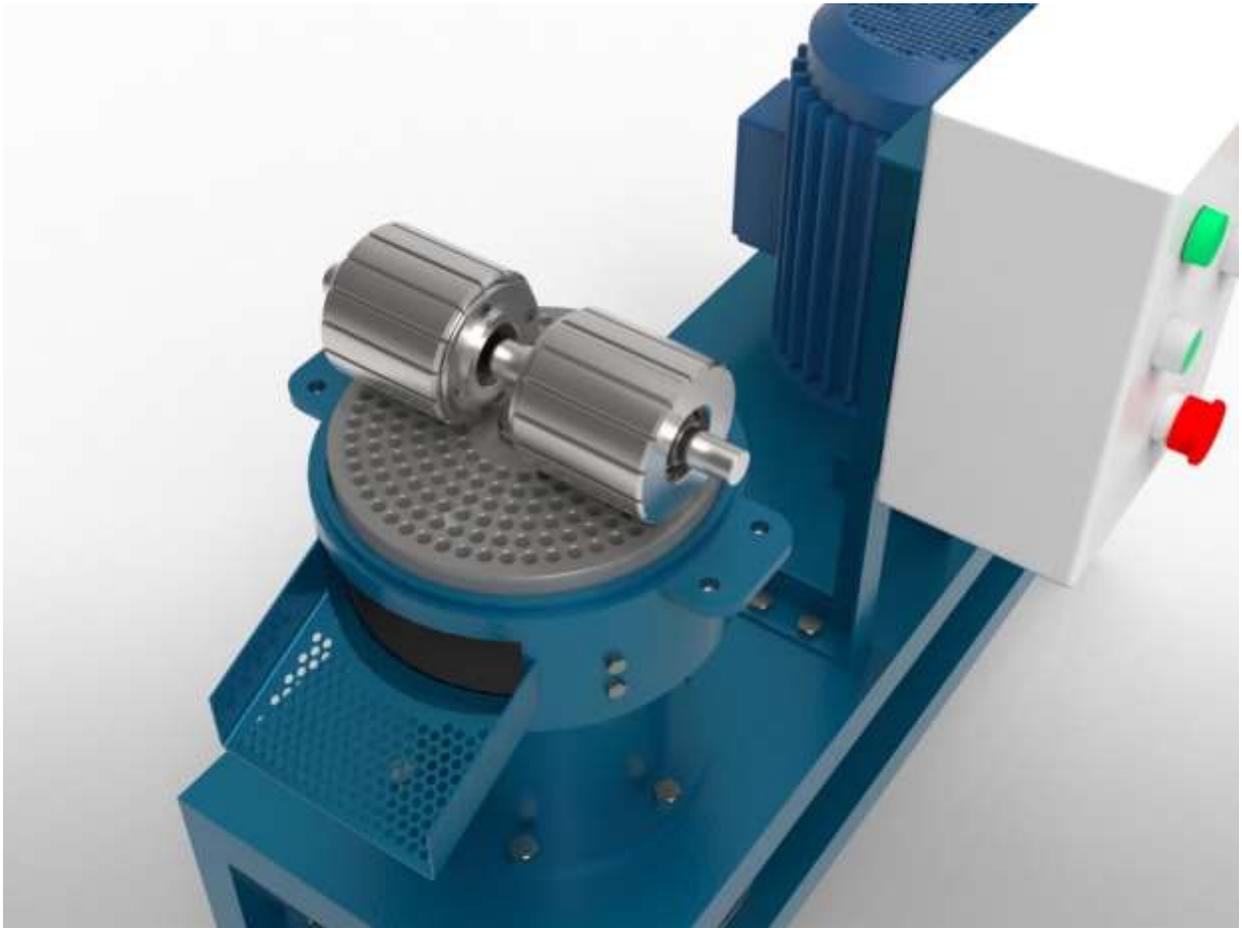
- [43] W. Stelte, J. K. Holm, A. R. Sanadi, S. Barsberg, J. Ahrenfeldt y U. B. Henriksen, «Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions,» pp. 3285-3290, 2011.
- [44] J. S. Tumuluru, «Effect of process variables on the density and durability of the pellets made from high moisture corn stover,» *Biosystems Engineering*, pp. 44-57, 2014.
- [45] D. Bergström, S. Israelsson, M. Öhman, S.-A. Dahlqvist, R. Gref, C. Boman y I. Wästerlund, «Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellets,» *Fuel Processing Technology*, 2008.
- [46] C. Serrano, E. Monedero, M. Lapuerta y H. Portero, «Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets,» *Fuel Processing Technology*, 2011.
- [47] K. Theerarattananoon, J. W. F. Xu, R. Ballard, L. Mckinney, S. Staggenborg, P. Vadlani, Z. Pei y D. Wang, «Physical properties of pellets made from sorghum stalk, corn stover, wheat straw, and big bluestem,» *Industrial Crops and Products*, 2011.
- [48] P. Pradhan, A. Arora y S. M. Mahajani, «Pilot scale evaluation of fuel pellets production from garden waste biomass,» *Energy for Sustainable Development*, 2018.
- [49] V. L. Claudia Kirsten, H.-W. Schröder y J.-U. Repke, «Hay pellets — The influence of particle size reduction on their physical–mechanical quality and energy demand during production,» *Fuel Processing Technology*, pp. 163-174, 2016.
- [50] C. Mayer-Laigle, N. Blanc, R. Rajaonarivony y X. Rouau, «Comminution of Dry Lignocellulosic Biomass, a Review: Part I. From Fundamental Mechanisms to Milling Behaviour,» *Bioengineering*, 2018.
- [51] Z. Miao, T. Grift, A. Hansen y K. Ting, «Energy requirement for comminution of biomass in relation to particle physical properties,» *Industrial Crops and Products*, 2011.
- [52] S. Mani, L. G. Tabil y S. Sokhansanj, «Grinding performance and physical properties of wheat and barley straws, corn stover and switchgrass,» *Biomass and Bioenergy*, pp. 339-352, 2004.
- [53] C. Igathinathane, A. Womac, S. Sokhansanj y S. Narayan, «Size reduction of high- and low-moisture corn stalks by linear knife grid system,» *Biomass and Bioenergy*, 2019.
- [54] N. Kaliyan y R. V. Morey, «Factors affecting strength and durability of densified biomass products,» *Biomass and Bioenergy*, pp. 337-359, 2009.
- [55] J. S. Tumuluru, C. T. Wright y J. R. H. a. K. L. Kenney, «A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application,» *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, 2011.
- [56] P. Pradhan, A. Arora y S. M. Mahajani, «Pilot scale evaluation of fuel pellets production from garden waste biomass,» *Energy for Sustainable Development*, 2018.

- [57] I. Obernberger y G. Thek, «Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour,» *Biomass and Bioenergy*, 2004.
- [58] C. Rhén, R. Gref, M. Sjöström y I. Wästerlund, «Effects of raw material moisture content, densification pressure and temperature on some properties of Norway spruce pellets,» *Fuel Processing Technology*, 2005.
- [59] M. Shaw, C. Karunakaran y L. Tabil, «Physicochemical characteristics of densified untreated and steam exploded poplar wood and wheat straw grinds,» *Biosystems Engineering*, 2009.
- [60] E. Cardozo, C. Erlich, L. Alejo y T. H. Fransson, «Combustion of agricultural residues: An experimental study for small-scale applications,» *Fuel*, 2014.
- [61] T. Robinson, B. Bronson, P. Gogolek y P. Mehrani, «Comparison of the air-blown bubbling fluidized bed gasification of wood and wood–PET pellets,» *Fuel*, 2016.
- [62] M. Simone, F. Barontini, C. Nicoletta y L. Tognotti, «Gasification of pelletized biomass in a pilot scale downdraft gasifier,» *Bioresource Technology*, 2012.
- [63] C. Erlich y T. H. Fransson, «Downdraft gasification of pellets made of wood, palm-oil residues respective bagasse: Experimental study,» *Applied Energy*, 2011.
- [64] P. R. K. S. Maruti Patil, «Multi-objective optimization of the two-stage helical gearbox with tribological constraints,» *Mechanism and Machine Theory*, vol. 138, pp. 38-57, 2019.

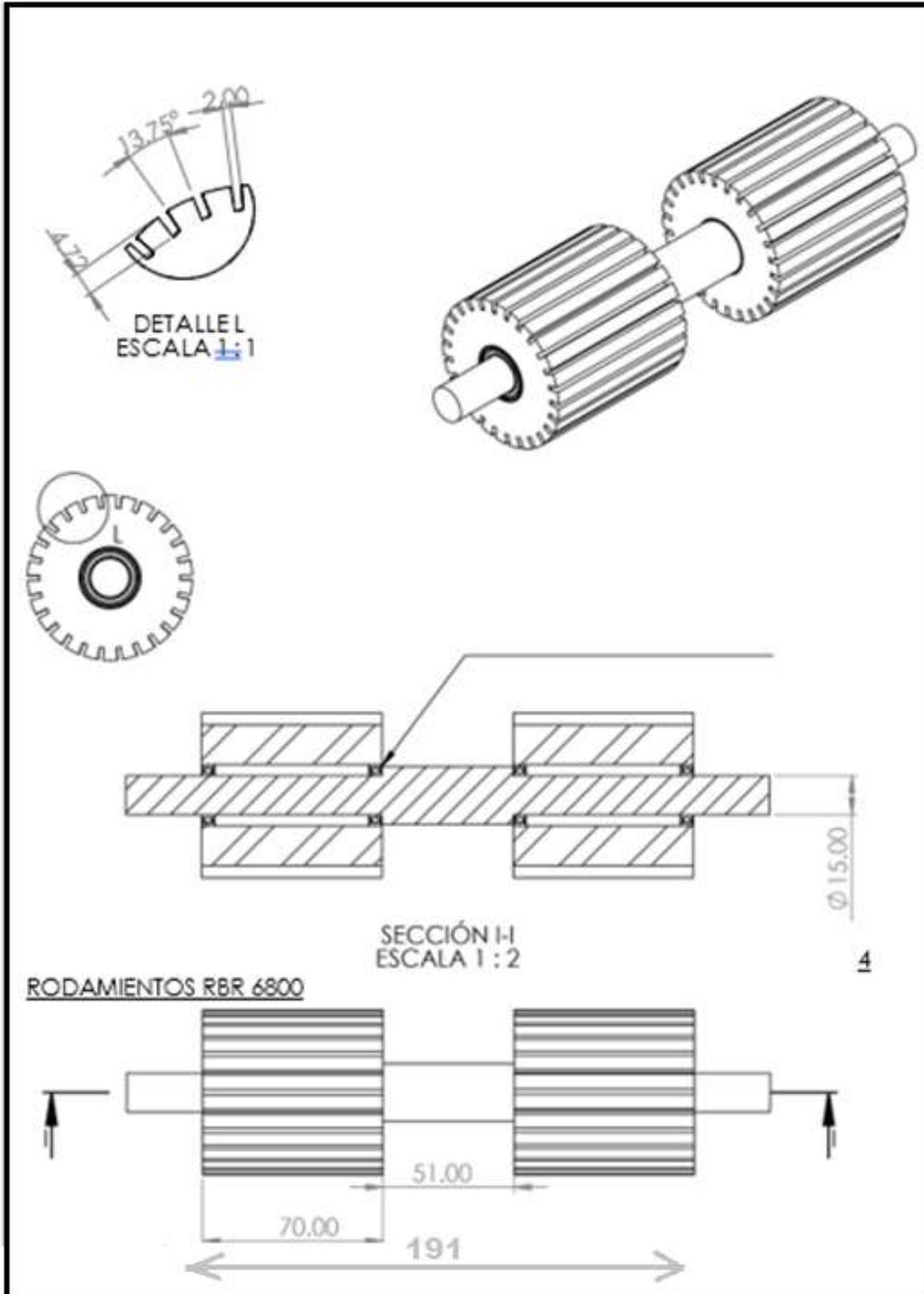
**Anexos:**

***Anexo 1: Vista isométrica de la máquina en conjunto***





Anexo 2: Plano del sistema de rodillos



**Anexo 3: Selección de Factor de longitud de polea (Fcl)**

Sección de la correa						
Longitud correa	Z	A	B	C	D	E
16	0.80	-	-	-	-	-
24	0.83	-	-	-	-	-
26	0.84	0.81	-	-	-	-
31	0.89	0.84	-	-	-	-
35	0.92	0.87	0.81	-	-	-
38	0.93	0.88	0.83	-	-	-
42	0.95	0.90	0.85	-	-	-
46	0.97	0.92	0.87	-	-	-
51	0.99	0.94	0.89	0.80	-	-
55	1.00	0.96	0.90	0.81	-	-
60	-	0.98	0.92	0.82	-	-
68	-	1.00	0.95	0.85	-	-
75	-	1.02	0.97	0.87	-	-
80	-	1.04	0.98	0.89	-	-
81	-	1.04	0.98	0.89	-	-
85	-	1.05	0.99	0.90	-	-
90	-	1.06	1.00	0.91	-	-
96	-	1.08	1.02	0.92	-	-
97	-	1.08	1.02	0.92	-	-
105	-	1.10	1.04	0.94	-	-
112	-	1.11	1.05	0.95	-	-
120	-	1.13	1.07	0.97	0.86	-
128	-	1.14	1.08	0.98	0.87	-
144	-	-	1.11	1.00	0.90	-
158	-	-	1.13	1.02	0.92	-

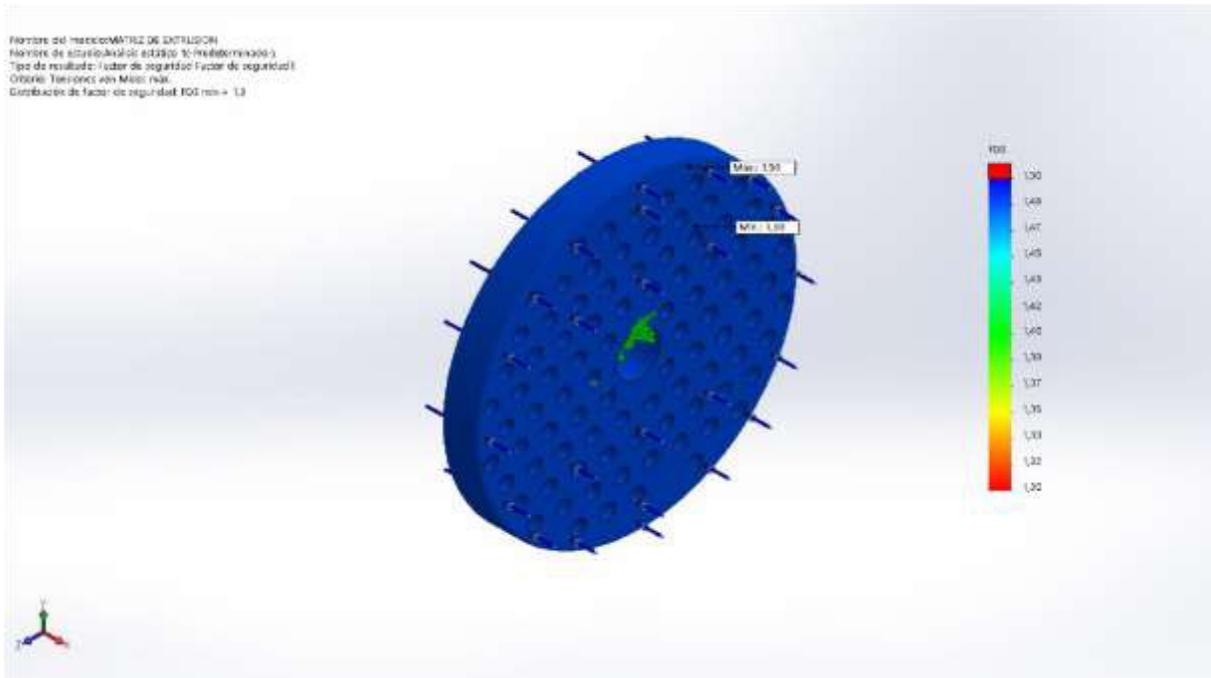
#### **Anexo 4: Factor de modificación por arco de contacto**

Arco de contacto sobre polea menor	Poleas acanaladas	Poleas acanalada/plana
180°	1.00	0.75
175°	0.99	0.76
170°	0.98	0.77
167°	0.97	0.78
164°	0.96	0.79
160°	0.95	0.80
157°	0.94	0.81
154°	0.93	0.81
150°	0.92	0.82
147°	0.91	0.83

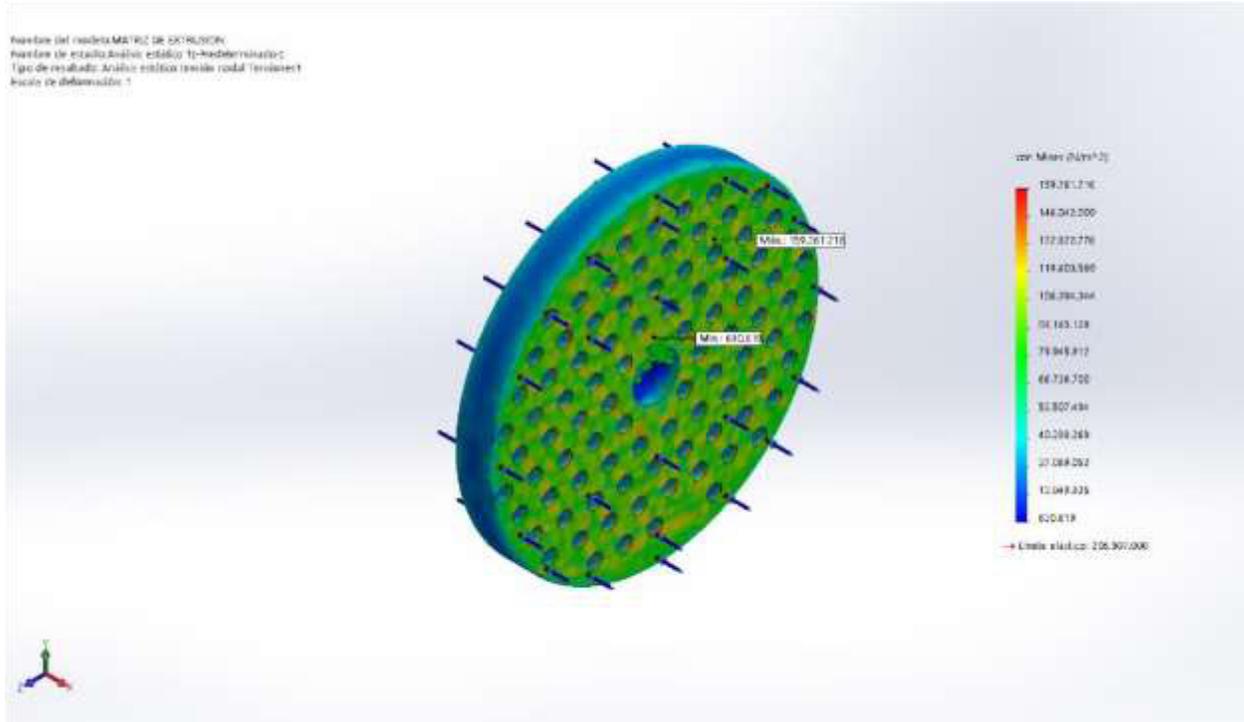
## Anexo 5: Factor de servicio k

CLASE DE TRABAJO	EJEMPLOS DE MÁQUINAS ACCIONADAS	TIPOS DE MÁQUINAS MOTRICES					
		Motores de Corriente Alterna con par de Arranque <b>Normal</b>			Motores de Corriente Alterna con par de Arranque <b>Elevado</b>		
		Horas de Servicio Diarias			Horas de Servicio Diarias		
		Menos de 10	De 10 a 16	Más de 16	Menos de 10	De 10 a 16	Más de 16
Ligero	Agitadores para líquidos. Aspiradores. Bombas y compresores centrífugos. Transportadores de cinta para carga ligera. Ventiladores y bombas hasta 7,5 Kw.	1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Mediano	Amasadoras. Cizallas y prensas. Cribas rotativas y vibrantes. Generadores y excitatrices. Máquinas herramientas. Maquinaria para artes gráficas. Maquinaria para lavanderías. Transportadores de cinta para carga pesada. Ventiladores y bombas a partir de 7,5 Kw.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Pesado	Ascensores. Bombas de desplazamiento positivo. Centrifugadores. Compresores de pistón. Maquinaria para labrar madera. Maquinaria para cerámicas. Maquinaria para papeleras. Maquinaria Textil. Molinos de martillos. Sierras alternativas. Elevadores de cangilones. Transportadores de Tomillo.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Extra Pesado	Grúas Montacargas. Machacadoras y molinos (mandíbulas, conos, bolas, barras, etc). Maquinaria para caucho y plásticos.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

## Anexo 6: Factor de seguridad de la matriz



## Anexo 7: Análisis estático de la matriz



NOMBRE DEL TRABAJO

**DISEÑO DE UNA MAQUINA PELETIZADO  
RA PARA BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR  
CON CAPACIDAD DE 200 KG\_H**

AUTOR

**ALFONSO RAFAEL CHAVEZ BAZAN**

RECUENTO DE PALABRAS

**8822 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**46120 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**54 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**4.4MB**

FECHA DE ENTREGA

**Mar 21, 2024 12:20 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Mar 21, 2024 12:21 AM GMT-5**

### ● 20% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 13% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado

**ACTA DE ORIGINALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo, **Silvia Yvone Gastiaború Morales**, Coordinador de Investigación y Responsabilidad Social de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** y revisor de la investigación aprobada mediante **Resolución N° 0391-2023/FIAU-USS** de(l) los Bachiller(es):

**CHAVEZ BAZAN ALFONSO RAFAEL,**

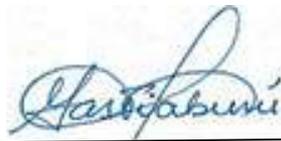
Titulada:

**DISEÑO DE UNA MAQUINA PELETIZADORA PARA BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR CON CAPACIDAD DE 200 KG/H**

Se deja constancia que la investigación antes indicada tiene un índice de similitud del **20%** verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el software de similitud TURNITIN.

Por lo que concluye que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con lo establecido en la Directiva de Similitud aprobada mediante Resolución de Directorio N° 015-2022/PD-USS de la Universidad Señor de Sipán.

Pimentel, 21 de marzo de 2024



---

**Dra. Silvia Yvone Gastiaború Morales**

**DNI N° 16481433**