

Design and Mechanical Analysis of a #8 Food-Grade Meat Grinder with Gear-Reducer Transmission

No se garantiza la revisión por pares doble ciego de los autores si aparecen los autores.

Después de la aceptación, se carga la versión final con los autores y sus afiliaciones.

; ; Third Author³ 

^{1,3}First and Third Author's University, Country, first.author@email.edu, third.author@gmail.com

²Second Author's University, Country, second.author@email.com

Abstract– This paper presents the design and mechanical analysis of a #8 food-grade meat grinder intended for small-scale processing applications. The system was developed to reduce clogging, overheating, and low efficiency commonly found in domestic grinders. The proposed design integrates a 1.5 HP electric motor coupled to a worm gear reducer (36:1 ratio) to achieve an output speed of approximately 92–100 rpm and a nominal processing capacity of 1.5 kg/min.

Mechanical calculations were performed to estimate axial cutting force, required torque, and power consumption. Shaft sizing was validated using torsion and Von Mises combined stress criteria with a safety factor greater than 2. Stainless steel AISI 304 and 420/440C materials were selected to ensure corrosion resistance, hygiene, and wear durability. Finite element analysis (FEM) was conducted to verify stress distribution in critical components.

Experimental operation demonstrated stable grinding, adequate torque transmission, and safe performance within allowable stress limits. Results confirm that the proposed design offers an efficient, hygienic, and low-cost alternative suitable for small food-processing environments and educational or local production settings.

Keywords— meat grinder, mechanical design, food-grade equipment, power transmission, FEM analysis.

Diseño y análisis mecánico de una picadora de carne de grado alimenticio n.º 8 con transmisión por reductor de engranajes

No se garantiza la revisión por pares doble ciego de los autores si aparecen los autores.
Después de la aceptación, se carga la versión final con los autores y sus afiliaciones.

  Third Author³ 

^{1,2}First and Third Author's University, Country, first.author@email.edu, third.author@gmail.com

²Second Author's University, Country, second.author@email.com

Resumen — Este trabajo presenta el diseño y análisis mecánico de una moladora de carne tamaño #8 de grado alimentario, orientada a aplicaciones de pequeña escala. El sistema fue desarrollado para reducir atascos, sobrecalentamiento y baja eficiencia presentes en molinos domésticos convencionales. El diseño integra un motor eléctrico de 1 HP acoplado a un reductor sinfín-corona con relación 36:1, logrando una velocidad de salida aproximada de 92–100 rpm y una capacidad nominal de 1.5 kg/min. Como valor agregado, se incorporó un accionamiento manual auxiliar como respaldo ante ausencia de energía eléctrica, ampliando la continuidad operativa y versatilidad del sistema.

Se realizaron cálculos mecánicos para estimar la fuerza axial de corte, el par requerido y la potencia consumida. El dimensionamiento del eje fue verificado mediante esfuerzos combinados y criterio de Von Mises con un factor de seguridad mayor a 2. Se seleccionaron aceros inoxidables AISI 304 y 420/440C para garantizar higiene, resistencia a la corrosión y durabilidad al desgaste. Además, se aplicó análisis por elementos finitos (FEM) para validar la distribución de esfuerzos.

Las pruebas de operación mostraron molienda estable, adecuada transmisión de torque y funcionamiento seguro dentro de los límites admisibles. Los resultados confirman que el diseño propuesto constituye una alternativa eficiente, higiénica y de bajo costo para pequeños entornos de procesamiento de alimentos.

Palabras clave-- Picadora de carne, diseño mecánico, equipo de grado alimenticio, transmisión de potencia, análisis FEM.

I. INTRODUCCIÓN

La molienda de carne se considera una operación de reducción de tamaño ampliamente estudiada en la ingeniería de alimentos, donde la energía mecánica se emplea para fracturar y transportar materiales biológicos.

La estimación de la capacidad de procesamiento y de los requerimientos de potencia del sistema se realizó siguiendo principios comúnmente aplicados en el diseño de equipos de procesamiento de alimentos [1]. Es un proceso fundamental en

la industria alimentaria; sin embargo, los molinos domésticos y de bajo costo presentan problemas recurrentes como atascos, sobrecalentamiento y baja eficiencia mecánica, lo que reduce su vida útil y compromete la calidad del producto procesado [2]. [3]. Es una operación ampliamente utilizada en la industria alimentaria, donde el material es sometido a compresión y cizallamiento para obtener partículas homogéneas [4].

El uso de factores de seguridad mayores a dos es consistente con prácticas de diseño de maquinaria para garantizar operación confiable y prevenir fallas prematuras [5].

Diversos estudios han abordado el diseño de máquinas de molienda para mejorar el rendimiento y la accesibilidad. Bako et al. desarrollaron un molino manual y motorizado con eficiencias cercanas al 70% [2]. mientras que otros trabajos propusieron diseños didácticos y de pequeña escala empleando acero inoxidable y cálculos de torque y potencia para garantizar seguridad estructural [3]. [6]. No obstante, muchos de estos diseños no incorporan validación estructural mediante simulación numérica ni priorizan la facilidad de mantenimiento y desmontaje higiénico.

En este contexto, el presente trabajo propone el diseño y análisis mecánico de una moladora de carne tamaño #8 orientada a pequeña escala, integrando criterios de diseño higiénico, transmisión de potencia robusta y verificación por elementos finitos, con el objetivo de mejorar la confiabilidad y seguridad del proceso. Asimismo, se contempla una modalidad manual complementaria orientada a mejorar la resiliencia operativa del sistema en condiciones de interrupción eléctrica.

El uso de factores de seguridad mayores a dos es consistente con prácticas de diseño de maquinaria para garantizar operación confiable y prevenir fallas prematuras [5].

Según la International Organization for Standardization, los equipos en contacto con alimentos deben garantizar superficies higiénicas, facilidad de limpieza y resistencia a la corrosión para prevenir la contaminación del producto [7].

El objetivo principal de este trabajo es diseñar, dimensionar y validar mecánicamente los componentes críticos del sistema de transmisión (eje, tornillo, rodamientos y acoples) mediante cálculos analíticos y verificación por elementos finitos (FEM), garantizando seguridad, eficiencia y cumplimiento de requisitos higiénicos de grado alimentario. Los resultados buscan aportar una alternativa tecnológica de bajo costo aplicable a microempresas, laboratorios educativos y producción local de alimentos.

II. METODOLOGÍA

El desarrollo se basó en una metodología sistemática de diseño de máquinas que incluye definición de requerimientos, modelado de cargas, dimensionamiento estructural y verificación de seguridad, conforme a prácticas estándar de ingeniería mecánica [8].

El diámetro mínimo del eje se estimó empleando teoría clásica de torsión para ejes circulares macizos, siguiendo criterios de diseño mecánico ampliamente utilizados en ingeniería [9].

A. Definición de requerimientos

El modelado del proceso de molienda se realizó considerando esfuerzos de corte y compresión del material, siguiendo enfoques reportados en estudios previos sobre sistemas de molienda de carne y separación de partículas duras [10].

La simulación numérica permitió verificar la integridad estructural del eje y del tornillo sometidos a cargas combinadas de torsión y compresión axial, reduciendo el riesgo de fallas mecánicas [11].

Asimismo, la validación estructural mediante análisis por elementos finitos se fundamenta en metodologías empleadas en investigaciones recientes sobre simulación numérica de procesos de corte y molienda de alimentos [12].

Se establecieron como parámetros de operación una capacidad de procesamiento de 1.5 kg/min, velocidad de tornillo cercana a 100 rpm y cumplimiento de normativas higiénicas para contacto con alimentos. Asimismo, se consideraron criterios de seguridad mecánica, facilidad de desmontaje y mantenimiento, y uso de componentes comerciales de bajo costo.

Los principales requerimientos de diseño fueron:

- Capacidad ≥ 1.5 kg/min
- Velocidad del tornillo: 90–100 rpm
- Par mínimo estimado: 10 N·m
- Superficies en contacto con alimento: acero inoxidable grado alimentario
- Factor de seguridad estructural ≥ 2

B. Análisis morfológico

Se desarrolló una matriz morfológica para evaluar soluciones de diseño alternativas para los principales subsistemas de la picadora de carne, incluyendo la selección del motor, el tipo de reductor, el diámetro del eje, la selección de materiales y el sistema de seguridad. El objetivo era comparar configuraciones factibles basándose en la capacidad de torque, el costo, la viabilidad, la higiene y la seguridad operacional.

La Tabla I presenta las alternativas evaluadas y la configuración seleccionada.

Tabla 1

Componentes	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Motor	1.5 HP 	0.5 HP 	1 HP Siemens 
Reductor	NMRV-40 (36:1) 	NMRV-40 (30:1) 	NMRV-50 (36:1) 
Eje	Ø14 mm AISI 304	Ø16 mm AISI 304	Ø20 mm 17-4PH
Material del tornillo	AISI 304	AISI 304	17-4PH
Cuchilla/Placa	AISI 304	AISI 420	AISI 440C
Sistema de seguridad	Protector + pasador fusible + acople de garra	Protector simple	Protector + fusible + limitador de par

C. Modelado del proceso de molienda

El esfuerzo requerido para triturar la carne se estimó considerando dos contribuciones principales: fuerza de corte

en la placa perforada y resistencia por presión del flujo del material.

La fuerza de corte se calculó como:

$$F_{\text{corte}} = \tau \cdot A_{\text{cizalla}} \quad (1)$$

con $\tau \approx 2$ MPa y área de cizalla calculada en el plato ($\approx 6.36 \times 10^{-4} \text{ m}^2$).

donde τ representa el esfuerzo cortante efectivo del material (≈ 2 MPa) y A el área total de cizallamiento de los orificios del plato.

Adicionalmente, se modeló una pérdida de presión equivalente ΔP asociada al flujo a través de los orificios. La fuerza axial total resultó:

$$F_{\text{presión}} = \Delta P \cdot A_{\text{plato}} \quad (2)$$

A partir del paso del tornillo p y la eficiencia del tornillo η_s , el par requerido se estimó mediante:

$$T = \frac{F \cdot p}{2\pi \cdot \eta_s} \quad (3)$$

con $p=18$ mm, $\eta_s=0.5 \rightarrow T \approx 9.6 \text{ N}\cdot\text{m}$

Finalmente, la potencia mecánica necesaria se obtuvo como:

$$P = \frac{T \cdot \omega}{\eta_{\text{total}}} \quad (4)$$

con $\omega \approx 11 \text{ rad/s}$, $\eta_{\text{total}}=0.3 \rightarrow P_{\text{motor}} \approx 0.35 \text{ kW}$.

donde ω es la velocidad angular del tornillo. Considerando pérdidas mecánicas totales ($\eta_{\text{tot}} \approx 0.30$), se seleccionó un motor con potencia nominal superior al valor calculado.

D. Selección del sistema de transmisión

Para garantizar alto torque a baja velocidad se adoptó un sistema motor–reductor sinfín-corona. Se empleó un motor eléctrico de 1.5 HP acoplado a un reductor NMRV con relación 36:1, obteniéndose una velocidad de salida aproximada de 92–100 rpm y un par disponible muy superior

al mínimo requerido, proporcionando margen de seguridad frente a atascos.

E. Dimensionamiento del eje motriz

El eje del tornillo se diseñó considerando esfuerzos combinados de torsión y flexión. El diámetro mínimo por torsión pura se estimó mediante:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3} \leq \tau_{\text{adm}} \quad (5)$$

con $FS=2$, material AISI 304, $\sigma_y=215$ MPa $\rightarrow d \approx 14.2$ mm $\rightarrow$ se adopta $\varnothing 16$ mm.

von

donde la expresión corresponde al modelo analítico de esfuerzo cortante en ejes sólidos [9].

Utilizando acero inoxidable AISI 304 ($\sigma_y \approx 215$ MPa) y un factor de seguridad de 2 para garantizar operación confiable bajo variaciones de carga, siguiendo recomendaciones típicas de diseño de elementos de maquinaria [8], se obtuvo un diámetro mínimo cercano a 14 mm, adoptándose un diámetro normalizado de 16 mm.

Posteriormente, se verificó el estado de esfuerzos combinados empleando el criterio de Von Mises:

$$\sigma_{\text{vm}} = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)} \quad (6)$$

confirmando que las tensiones permanecen por debajo del límite elástico permisible.

La verificación de esfuerzos combinados se realizó mediante el criterio de energía de distorsión (Von Mises), recomendado para materiales dúctiles [9].

F. Selección de materiales

Se seleccionó acero inoxidable AISI 304 debido a su adecuada resistencia a la corrosión, buena trabajabilidad y cumplimiento de requisitos sanitarios para contacto con alimentos, propiedades ampliamente documentadas en manuales metalúrgicos especializados. Para cuchillas y plato se emplearon aceros inoxidables martensíticos AISI 420/440C templados, los cuales presentan mayor dureza y resistencia al desgaste, características necesarias para mantener el filo de corte durante operación continua [14].

El empleo de superficies lisas, desmontables y resistentes a la corrosión responde a principios de diseño higiénico recomendados para equipos de procesamiento de alimentos, facilitando la limpieza y evitando contaminación cruzada [4].

G. Verificación por elementos finitos (FEM)

Los componentes críticos (eje, tornillo y conjunto cuchilla-plato) se analizaron mediante simulación por elementos finitos. Se aplicaron como condiciones de carga el empuje axial estimado y el par transmitido, fijando las restricciones en la zona de acople al motorreductor. La simulación permitió identificar concentraciones de esfuerzo y validar que el diseño cumple con los factores de seguridad establecidos.

III. DISEÑO DEL SISTEMA

La selección de un sistema motor-reductor sinfín-corona se alinea con soluciones empleadas en molinos de carne de pequeña y mediana escala, donde se prioriza la disponibilidad de alto torque a bajas velocidades para evitar atascos y mejorar la estabilidad operativa [2]. [6].

El sistema propuesto corresponde a una moledora de carne tamaño #8 accionada eléctricamente, compuesta por un conjunto motor-reductor, tornillo sinfín, cuchilla rotatoria, plato perforado, eje motriz y estructura sanitaria de acero inoxidable. El diseño prioriza alto torque a baja velocidad, facilidad de limpieza y confiabilidad mecánica. La Fig. 1 muestra el ensamble general del equipo.



Figura 1
Moledora de carne #8 ensamblada

A. Arquitectura general

La arquitectura funcional del molino sigue el principio de transporte y compresión progresiva del material. La carne es introducida por la tolva y desplazada por un tornillo helicoidal hacia la cuchilla y el plato perforado, donde se produce el corte por cizallamiento. Este mecanismo requiere elevadas fuerzas axiales y torque, por lo que se implementó una reducción mecánica de velocidad para aumentar la capacidad de trituración.

El sistema se divide en tres subsistemas principales:

- Generación de potencia (motor eléctrico)
- Transmisión de torque (reductor y acople)
- Mecanismo de molienda (tornillo-cuchilla-plato)

B. Selección del motor

La potencia requerida por el proceso se estimó analíticamente considerando las fuerzas de corte y pérdidas mecánicas. Aunque la potencia mínima calculada fue cercana a 0.35 kW, se seleccionó un motor comercial de 1.5 HP (0.75 kW) a 220 V para proporcionar margen de seguridad frente a atascos o variaciones de carga.

El uso de un motor sobredimensionado mejora la estabilidad térmica, reduce el esfuerzo del sistema y prolonga la vida útil de los componentes.

C. Sistema de reducción de velocidad

Para transformar la alta velocidad del motor en alto torque a baja velocidad se utilizó un reductor sinfín-corona tipo NMRV con relación de reducción $i = 36:1$. Esta configuración permitió obtener velocidades de salida cercanas a 92–100 rpm, adecuadas para molinos tamaño #8.

Las principales ventajas del reductor seleccionado son:

- Alto torque en salida
- Operación silenciosa
- Diseño compacto
- Disponibilidad comercial y bajo costo

El par transmitido en el eje de salida supera ampliamente el torque mínimo requerido por el proceso, garantizando operación segura ante sobrecargas.

D. Diseño del tornillo sinfín

El tornillo helicoidal se diseñó con diámetro exterior aproximado de 50 mm y paso de 18 mm, dimensiones compatibles con estándares comerciales de molinos #8. Su función es transportar, comprimir y forzar el material hacia el plato perforado.

Se seleccionó acero inoxidable AISI 304 debido a:

- Resistencia a corrosión
- Cumplimiento sanitario
- Facilidad de manufactura
- Resistencia mecánica adecuada

Estas características permiten contacto seguro con alimentos y simplifican la limpieza del sistema.

E. Diseño del eje motriz y acople

El eje motriz transmite el torque desde el reductor hacia el tornillo. Considerando torsión y flexión combinadas, se adoptó un diámetro normalizado de 16 mm en acero inoxidable AISI 304, cumpliendo un factor de seguridad mayor a 2.

Se empleó un acople de garra elastomérico para:

- absorber vibraciones
- compensar desalineaciones
- proteger el motor

Adicionalmente, se incorporó un pasador fusible como elemento de protección mecánica, el cual falla de manera controlada en caso de bloqueo del sistema, evitando daños mayores.

F. Selección de rodamientos

El eje está soportado por rodamientos radiales de bolas para cargas laterales y un rodamiento axial para soportar el empuje generado por la compresión de la carne. Esta combinación permite absorber simultáneamente cargas radiales y axiales, mejorando la estabilidad y reduciendo el desgaste.

La selección de apoyos y rodamientos se realizó considerando reacciones radiales y axiales según prácticas convencionales de diseño de maquinaria [9].

Se utilizó lubricación grado alimentario (NSF H1) para garantizar compatibilidad sanitaria.

G. Materiales y diseño higiénico

Todos los componentes en contacto con alimento fueron fabricados en aceros inoxidables de grado alimentario. La carcasa y la tolva se construyeron en AISI 304 con superficies lisas y pulidas para evitar acumulación de residuos.

Las cuchillas y el plato se fabricaron en AISI 420/440C templado, proporcionando mayor dureza y resistencia al desgaste, lo que mantiene el filo de corte durante operación continua.

El resultado es un equipo compacto, desmontable y apto para entornos de pequeña producción o aplicaciones educativas.

IV. RESULTADOS Y VALIDACIÓN

Los resultados del diseño se evaluaron mediante cálculos analíticos, verificación estructural y pruebas de funcionamiento del prototipo. Se analizaron principalmente la capacidad de procesamiento, el torque transmitido, los

esfuerzos mecánicos en el eje y la estabilidad operativa del sistema.

A. Capacidad de procesamiento

A partir del dimensionamiento geométrico del tornillo sinfín y su velocidad de operación ($\approx 92\text{--}100$ rpm), se estimó un caudal másico teórico de 1.5 kg/min (0.025 kg/s). Durante la operación del prototipo, el equipo mantuvo un flujo continuo de material sin atascos, confirmando que la capacidad objetivo de diseño fue alcanzada.

Este valor es consistente con los requerimientos establecidos para aplicaciones de pequeña escala y supera el rendimiento típico de molinos manuales domésticos.

B. Fuerza axial, torque y potencia

El análisis del proceso de corte y compresión arrojó una fuerza axial aproximada de:

$$F_{\text{axial}} \approx 1670 \text{ N}$$

A partir del paso del tornillo y la eficiencia del sistema, el par requerido en el eje fue:

$$T \approx 9.6 \text{ N}\cdot\text{m}$$

La potencia mecánica estimada en el tornillo fue cercana a 100 W. Considerando pérdidas por fricción y transmisión ($\eta_{\text{tot}} \approx 0.30$), la potencia del motor necesaria se estimó en aproximadamente 0.35 kW.

Para garantizar confiabilidad, se seleccionó un motor de 1 HP (0.75 kW), proporcionando un amplio margen de seguridad ante sobrecargas o variaciones del proceso.

C. Verificación del eje motriz

El eje fue dimensionado inicialmente por torsión pura, obteniéndose un diámetro mínimo cercano a 14 mm. Se adoptó un diámetro normalizado de 16 mm.

Posteriormente, se evaluaron esfuerzos combinados de torsión y flexión mediante el criterio de Von Mises. Los resultados indicaron que las tensiones equivalentes permanecen por debajo del límite elástico del acero inoxidable AISI 304, cumpliendo un factor de seguridad mayor a 2.

Esto confirma que el eje opera dentro de la zona elástica incluso bajo condiciones de carga máxima.

D. Reacciones en cojinetes

A partir del diagrama de cargas del eje, se determinaron las reacciones radiales en los apoyos:

$$R_A \approx 96 \text{ N}$$

$$R_B \approx 288 \text{ N}$$

Estas cargas se encuentran dentro de la capacidad nominal de los rodamientos seleccionados, asegurando operación estable y desgaste reducido.

E. Validación por elementos finitos (FEM)

Se realizó un análisis por elementos finitos aplicando como condiciones de carga el empuje axial estimado y el par transmitido al tornillo, restringiendo el sistema en la zona de acople con el motorreductor.

Los resultados mostraron concentraciones de esfuerzo en las zonas de transición geométrica, pero sin superar los valores admisibles del material. La distribución de esfuerzos confirmó la integridad estructural de los componentes críticos.

F. Funcionamiento del prototipo

El equipo ensamblado operó de manera continua y estable, evidenciando:

- molienda uniforme del producto
- ausencia de vibraciones significativas
- correcta transmisión de torque
- facilidad de desmontaje y limpieza

El comportamiento observado validó los supuestos de diseño y confirmó la viabilidad técnica del sistema propuesto.

V. DISCUSIÓN

TABLA 1

Comparación entre el diseño propuesto y Choto (2013)

Parámetro	Diseño propuesto	Choto (2013) ESPOCH
Tipo de equipo	Picadora de carne #8 con reductor	Molino tipo picadora para carnes
Capacidad de procesamiento	90 kg/h (1.5 kg/min)	68 kg/h
Velocidad de operación	92–100 rpm	80 rpm
Potencia del motor	1.5 HP	0.5 HP
Sistema de transmisión	Reductor sinfin-corona 36:1	Tornillo sin fin convencional
Materiales principales	AISI 304 / AISI 440C	Acero convencional
Factor de seguridad	>2	No reportado

Análisis de esfuerzos	Von Mises y esfuerzos combinados	Diseño teórico convencional
Enfoque higiénico alimentario	Sí	Parcial
Evaluación de costos	Incluida	Incluida
Análisis de eficiencia energética	Considerado	No reportado
Modo dual de operación	Sí	No

La Tabla 1 muestra que el diseño propuesto presenta mejoras respecto al trabajo de Choto (2013), principalmente en capacidad de procesamiento (90 kg/h frente a 68 kg/h), mayor disponibilidad de torque mediante reductor sinfin-corona y una validación estructural más robusta mediante análisis por elementos finitos. Asimismo, la incorporación de materiales grado alimentario AISI 304 y AISI 440C fortalece criterios de higiene, resistencia a la corrosión y durabilidad del sistema.

La eficiencia energética del sistema evalúa la relación entre la potencia suministrada por el motor y la potencia útil aprovechada en la molienda, según:

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{entrada}}} \times 100$$

El diseño propuesto utiliza un motor de **1.5 HP (1.12 kW)** acoplado a un reductor sinfin-corona 36:1. Considerando una eficiencia mecánica estimada de **80 %** para este tipo de transmisión, la potencia útil disponible es:

$$P_{\text{útil}} = 1.12(0.80) = 0.896 \text{ kW}$$

Esto indica una potencia útil aproximada de **0.90 kW**, suficiente para una capacidad de procesamiento de **1.5 kg/min** y velocidades de salida de **92–100 rpm**.

El uso del reductor mejora la disponibilidad de torque y la estabilidad del proceso, favoreciendo una operación eficiente para aplicaciones de pequeña escala, aunque con pérdidas por fricción propias del sistema. En trabajos futuros se recomienda validar experimentalmente el consumo energético y la eficiencia real del equipo.

Los resultados obtenidos son consistentes con trabajos previos que reportan mejoras en la estabilidad operativa al emplear sistemas de transmisión con reducción mecánica y materiales inoxidables grado alimentario [2]. [13].

El uso de aceros inoxidable grado alimentario mejora la resistencia a corrosión, facilita la limpieza y cumple con prácticas de diseño higiénico recomendadas para equipos de procesamiento de alimentos [14].

La velocidad de rotación cercana a 100 rpm favorece una molienda uniforme sin incremento excesivo de temperatura, condición importante para preservar la calidad del producto cárnico durante el procesamiento [4].

La estimación del torque requerido ($\approx 9.6 \text{ N}\cdot\text{m}$) y de la potencia mecánica ($\approx 100 \text{ W}$ en el tornillo) evidenció que la demanda energética del proceso es relativamente baja; sin embargo, la selección de un motor de mayor potencia (1.5 HP) proporciona un margen de seguridad importante frente a atascos o variaciones en la dureza del material procesado.

Comparado con diseños manuales o de baja potencia reportados en la literatura, el uso de un sistema motor-reductor sinfín-corona mejora significativamente la disponibilidad de torque a bajas velocidades, lo que se traduce en operación más estable y menor probabilidad de bloqueo. Asimismo, la velocidad de salida cercana a 100 rpm coincide con valores recomendados para molinos tamaño #8, favoreciendo una molienda uniforme sin sobrecalentamiento.

Desde el punto de vista estructural, el dimensionamiento del eje mediante criterios de torsión y esfuerzos combinados, junto con la validación por elementos finitos, confirmó que las tensiones permanecen por debajo del límite elástico del material con un factor de seguridad mayor a 2. Esto indica que el sistema puede operar de manera continua sin riesgo de falla plástica o fatiga prematura.

El enfoque adoptado concuerda con metodologías modernas de diseño integradas, donde el análisis de esfuerzos, selección de materiales y confiabilidad estructural se evalúan de manera conjunta [9].

En conjunto, el sistema propuesto logra un balance adecuado entre costo, robustez mecánica, higiene y facilidad de fabricación, constituyendo una alternativa viable para microempresas, laboratorios educativos y producción local de alimentos.

VI. CONCLUSIONES

Se diseñó y desarrolló una moledora de carne tamaño #8 orientada a aplicaciones de pequeña escala, cumpliendo los requerimientos de capacidad, seguridad e higiene establecidos al inicio del proyecto.

El modelado analítico permitió estimar fuerzas axiales, torque y potencia del proceso de molienda, determinando un requerimiento de aproximadamente $9.6 \text{ N}\cdot\text{m}$ y validando la

selección de un motor de 1 HP con reductor 36:1 para garantizar operación confiable.

El eje motriz y los componentes críticos fueron dimensionados mediante criterios de torsión y Von Mises, alcanzando factores de seguridad mayores a 2, lo cual fue corroborado mediante análisis por elementos finitos.

La selección de materiales inoxidables de grado alimentario aseguró resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y cumplimiento de normativas sanitarias.

Las pruebas de funcionamiento evidenciaron molienda estable, adecuada transmisión de torque y ausencia de fallas mecánicas, confirmando la viabilidad técnica del diseño.

Como aporte adicional, el sistema incorpora un accionamiento dual manual-eléctrico que mejora la continuidad del proceso y amplía las posibilidades de operación.

Como trabajo futuro, se propone optimizar la geometría del tornillo, evaluar eficiencia energética experimental y explorar escalamiento del sistema para mayores capacidades de procesamiento.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Los autores expresan su sincero agradecimiento al Dr. Víctor Raúl Guillén por su constante asesoría, orientación técnica y motivación durante el desarrollo del presente proyecto. Su acompañamiento académico fue fundamental para la correcta ejecución y validación del sistema propuesto.

REFERENCIAS

- [1] . A. Singh and D. Heldman, Introduction to Food Engineering, 6th ed., Academic Press, 2023.
- [2] S. Bako, E. P. Mijinyawa, M. B. Ndaluman, and K. C. Bala, "Design, construction and testing of a meat grinding machine," Proceedings of the 49th NSChE Annual Conference, Kaduna, Nigeria, pp. 14–23, 2019. A. Singh and D. Heldman, Introduction to Food Engineering, 6th ed., Academic Press, 2023.
- [3] H. R. Choto Chariguamán, "Diseño de un molino tipo picadora para la molienda de carnes y productos afines, destinado al área de alimentos del CESTTA-ESPOCH," Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2013.
- [4] P. Fellows, Food Processing Technology: Principles and Practice, 5th ed., Woodhead Publishing, 2022.
- [5] R. C. Juvinall y K. M. Marshek, Fundamentos del Diseño de Elementos de Máquinas, 5ª ed., Limusa Wiley, 2012
- [6] G. R. Vidangos Ponce, J. E. Otazu Luque, A. F. Aucallpa Paucar, I. C. Chuquija Flores, J. C. Naca Monje, and J. J. Vega Yopez, "Construcción de un molino de carne con fines didácticos para el proceso de elaboración

de hot dog de carne de alpaca,” *Engenharia: o pilar do desenvolvimento energético*, vol. 1, pp. 10–24, 2024. doi: 10.37885/240115513.

- [7] ISO 22000:2018, Food Safety Management Systems — Requirements for organizations in the food chain.
- [8] R. L. Norton, *Machine Design: An Integrated Approach*, 6th ed., Pearson, 2020.
- [9] J. E. Shigley and C. R. Mischke, *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill, 2008.
- [10] Y. Zhao and J. G. Sebranek, “Technology for meat-grinding systems to improve removal of hard particles from ground meat,” *Meat Science*, vol. 45, no. 3, pp. 389–402, 1997. doi: 10.1016/S0309-1740(96)00114-3.
- [11] J. Mackerle, “Finite element analysis in food processing equipment,” *Engineering Analysis with Boundary Elements*, vol. 31, 2016
- [12] “Numerical simulations of food cutting and grinding processes: FEM and CFD approaches,” *Processes*, vol. 12, no. 1808, pp. 1–18, 2024. doi: 10.3390/pr12091808.
- [13] W. R. Aguirre Reinoso and M. S. Berneo Castro, “Diseño y construcción de una máquina cortadora tipo tazón de acero inoxidable para carne de res con capacidad de 10 kg/hora para la microempresa ‘Lucita Carnes y Embutidos’,” Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2019
- [14]. ASM International, *Stainless Steels Handbook*, ASM, 2018
- [15] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, *Shigley’s Mechanical Engineering Design*, 10th ed., McGraw-Hill, 2015