

DISEÑO DE LA FAJA DE TRANSPORTE Y SELECCIÓN DEL EJE PARA EL PROCESO DE CORTE DE AJÍ JALAPEÑO

DESIGN OF THE CONVEYING SYSTEM AND AXIS SELECTION FOR AJÍ GALAPEÑO CUTTING PROCESS

Roberto Belarmino Quispe Cabana¹

¹ Ingeniero Mecánico, Universidad Continental.

E mail: rquispe@continental.edu.pe

Resumen

Las empresas del sector agroindustrial usualmente realizan el corte de forma manual (capacidad de 15 kg/h por persona y utilizan de 60 a 70 personas en sus líneas de producción) o con maquinaria funcional que existe en el mercado, con diseños que no satisfacen los requerimientos de las empresas, pues generan un alto porcentaje de descarte (de 25 % a 35 %) y una capacidad operativa de 600 kg/h. Debido a que el tamaño del ají jalapeño es irregular y la deflexión que pueda generar el eje podría repercutir en el corte, se plantea como objetivo reducir el descarte o disminuir la merma (menor a 8 %) mediante un adecuado posicionamiento de la faja transportadora y selección del diámetro del eje. El material utilizado en la construcción es de acero inoxidable para el sistema de alimentación, transporte, corte y descarga, por el contacto que tienen los elementos mecánicos de estos sistemas, entre ellos el sistema de corte con el ají jalapeño. Para lograr un corte adecuado (por mitad), la velocidad, tanto del sistema de transporte como para el corte, se regula con un variador de velocidad. Con el adecuado posicionamiento de las fajas transportadoras en ángulo de 45° y una correcta selección del diámetro para soportar el esfuerzo de torsión y momento flector se logra reducir la merma por descarte a menos del 8 %, es decir a 3,4 %; bajo estos parámetros se logra una producción total promedio de 1584 kg/h y una producción neta de 1583 kg/h.

Palabras clave: Ángulo; ají jalapeño; corte; eje.

Abstract

The agroindustrial companies usually perform the cut manually (capacity of 15 kg/h per person, using 60 - 70 people in their production lines) or with functional machinery that exists in the market with designs that do not match the requirements of the companies. This matter generates a high percentage of discarding (from 25 to 35 %) and operative capacity of 600 kg/h.

Because the size of the jalapeño pepper is irregular and the deflection that the shaft can generate can have an impact on the cut, the objective is to reduce the discarding or reduction of less than 8% by means of an adequate positioning of the conveyor belt, selection of the diameter of the axis.

The material used in the construction is stainless steel for the feeding, transport, cutting and unloading system; by the contact that the mechanical elements of these systems have, including the cutting system with the jalapeño pepper. The speed variator regulated the speed, both for the speed of the transport system and cutting, to achieve a proper cut (by half). With the proper positioning of the conveyor belts at a 45° angle and a correct diameter selection to withstand the torsional stress and moment of bending, it is possible to reduce the waste by discarding at less than 8 %, that is, at 3.4 %. Under these parameters, was achieved a total production of 1584 kg/h with a net production of 1583 kg/h.

Keywords: Angle; jalapeño pepper; cut; axis.

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con información proporcionada por el gremio exportador, solo el 3,6 % de nuestras exportaciones contienen una tecnología mediana y alta. En tanto, en Chile este porcentaje asciende a 5,3 %, en Colombia a 10,3% y en México a 66,1 % [1]. Las empresas que fabrican máquinas agroindustriales en el ámbito local y nacional son pocas e incluso sus productos o máquinas no tienen la calidad para ser vendidos a mayor escala a nivel local o nacional. Las máquinas agroindustriales del medio en su mayoría son adquiridas por importación.

El ají jalapeño (conocido también como chile) pertenece al género *Capsicum*; el fruto donde se encuentran las semillas es una baya hueca carnosa o semicartilaginosa, puede alcanzar distintos tamaños, desde poco menos de 1 cm hasta 30 cm de largo, y su forma va de lo redondo a lo alargado, en colores que oscilan de distintos tonos de amarillo y verde, en estado inmaduro, a rojo y hasta café al madurar; es también un alimento de gran valor nutritivo. Se considera que es el vegetal con mayor concentración de ácido ascórbico; en fresco contiene más del doble de vitamina C que el limón y la naranja y casi seis veces más que la toronja; en seco, por su parte, contiene vitamina A en una proporción mayor que las zanahorias, por ejemplo. Asimismo, los chiles (ajíes jalapeños) poseen cantidades significativas, aunque menores, de vitaminas E y B, y de algunos minerales [2].



Figura 1. Ají jalapeño (Foto: captura de Youtube)

Tradicionalmente, el principal proveedor de ají jalapeño al mercado estadounidense ha sido México. Sin embargo, se observa que otros países han empezado a ganar terreno en el mercado, entre otros destacan India, China, El Salvador y Perú. Entre las principales empresas peruanas exportadoras del ají jalapeño destaca Agro Mantaro.

El objetivo es reducir las mermas producto de un mal corte en el ají jalapeño a través de un análisis del

sistema de corte; merma por descarte se considera a aquellos cortes realizados que no son por la mitad del ají y repercuten en la producción neta, en su respectiva presentación y en el proceso para su venta posterior. Para ello, se analizan diversos principios de cortes y de diseño, para luego plantear el diagrama funcional, una matriz morfológica, evaluación y presentación de la alternativa de prototipo para su respectiva fabricación.

Se evalúa el funcionamiento de la máquina en vacío, así como bajo carga de ají jalapeños; se observa, asimismo, la calidad de corte que desarrolla; se mide la producción y el porcentaje de merma que genera.

II. DISEÑO CONCEPTUAL

Estudio comparativo de principios de funcionamiento

- **Principio de funcionamiento de máquina cortadora-forma de rodajas**

El producto se entrega a dos cintas de alimentación de alta velocidad (1) dispuestas en forma de V (Figura 2). Las correas están sincronizadas con la rueda rebanadora giratoria (2) para garantizar el avance adecuado del producto por revolución de la rueda. Las cuchillas (3) bajo tensión sirven como radios y sostienen el aro de la rueda rebanadora; están ligeramente inclinadas para crear un ángulo uniforme entre el cubo y el aro (Figura 2).

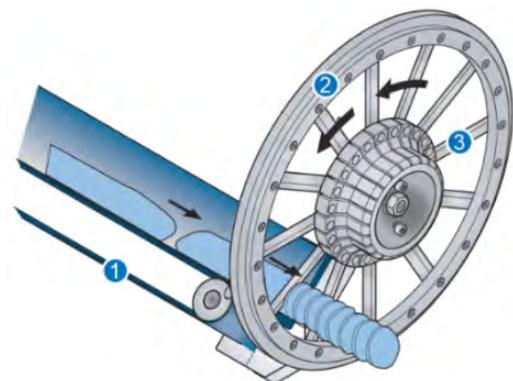


Figura 2. Principio de corte por rodajas y disposición de faja transportadora. Fuente: URSHEL®[3]

- **Principio de funcionamiento de máquina cortadora-forma de rodajas**

Consta de un gabinete con doble puerta de acceso para ajustes y producto, un sistema de cuchillas y bases con ruedas de altura ajusta. Su diseño



permite una fácil y rápida limpieza del equipo; su capacidad es de 75 a 100 kg/h (depende de la habilidad del operario) y la alimentación es manual. Las dimensiones son largo total: 900 mm, ancho total: 906 mm, altura total: 1100 mm, altura de descarga: 525 mm (Figura 3).

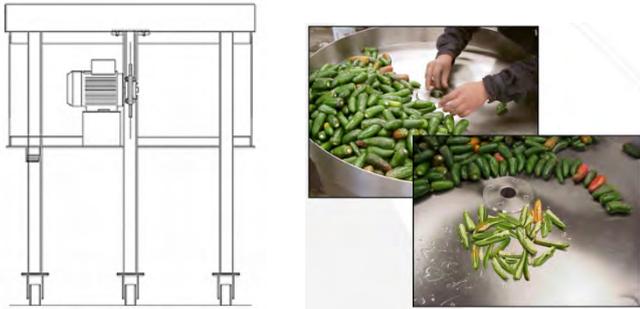


Figura 3. Principio de corte a mitad de ají jalapeño

III. DISEÑO FUNCIONAL

Caja negra

El ají jalapeño previamente lavado y sin el pedúnculo es transportado en la máquina para ser cortado por mitad, y por supuesto a la salida hay dos conductos, uno para el fruto partido por mitad y otro para derivar el olor (Figura 4).

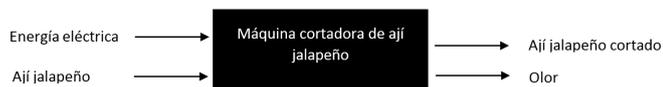


Figura 4. Caja negra

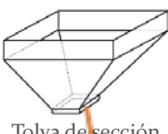
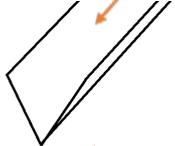
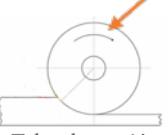
Estructura funcional



Figura 5. Estructura funcional

El flujo del esquema empieza por activar el sistema de alimentación de energía eléctrica, que acciona el motor del sistema de transmisión y de corte; en ese instante comienza el llenado del ají a la tolva, y es transportado por una faja transportadora hacia el sistema de corte; el fruto cortado pasa a un recipiente y el olor del picor se deriva hacia el ambiente por la parte superior (Figura 5).

Matriz morfológica

Función	Soluciones posibles		
	1	2	3
Carga del material	Manual 	Gravedad 	Faja 
Alimentar	Tolva de sección cuadrada 	Tolva de sección circular 	
Accionamiento eléctrico	Motor eléctrico 		
Reducción de velocidad	Motor-reductor 	Reductor de velocidad mecánico 	Variador de velocidad 
Transporte	Banda plana 	Banda transportadora dispuesta en V 	
Corte	Tolva de sección circular 	Cuchilla rebanadora. Longitudinal 	

Alternativa de solución

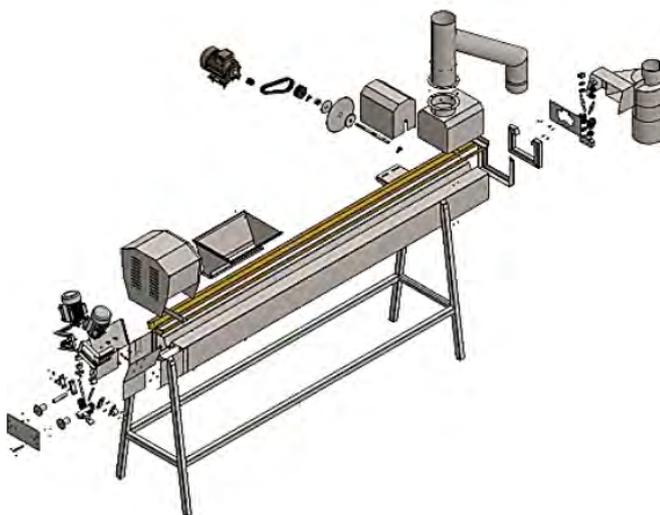
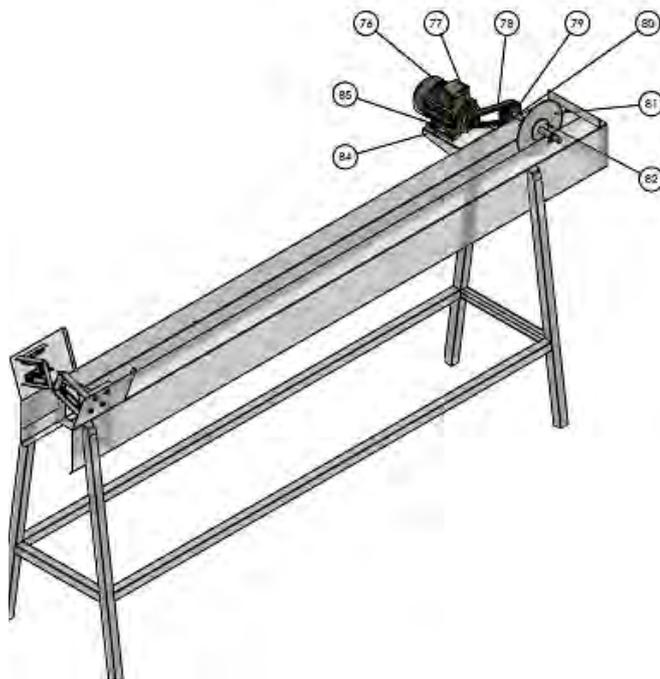


Figura 6. Presentación de sistema de corte y (en despiece) de propuesta final. Fuente: Elaboración propia

IV. ANÁLISIS DE DETALLE

Ángulo de posición de banda transportadora para ají jalapeño

Para disponer el ángulo de inclinación y la faja de transportadora, se determina el tamaño promedio de los ajíes jalapeños, según los datos asignados en la Tabla 1.

Tabla 1. Dimensión promedio de ají jalapeño

Tamaño pequeño		
Diámetro	Mínimo	20 mm
	Máximo	30 mm
Longitud	Mínimo	40 mm
	Máximo	65 mm
Tamaño grande		
Diámetro	Mínimo	22 mm
	Máximo	30 mm
Longitud	Mínimo	54 mm
	Máximo	75 mm

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7 se muestra el ángulo máximo y mínimo de acuerdo con el tamaño de los ajíes jalapeños. De aquí se obtiene la fijación del ángulo de la faja transportadora, que es de $47,92^\circ$ aproximadamente; el ángulo para la fijación es de 45° .

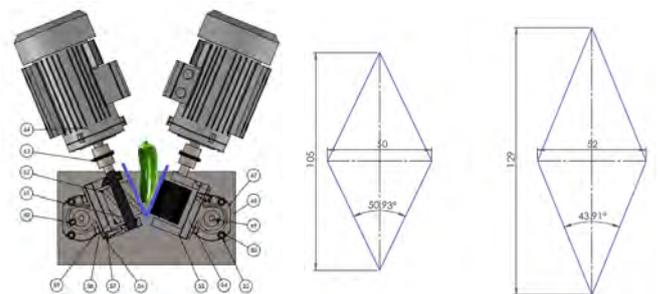


Figura 7. Ángulo promedio de la disposición de faja transportadora. Fuente: Elaboración propia

Selección del material

Para elegir el mejor material, la selección debe comprender las consideraciones de disponibilidad, costo total, propiedades del material y los procesos de manufactura aplicando la experiencia, el conocimiento experto de ingeniería, índice de selección y el conocimiento de los posibles modos de falla [3].

El tipo de acero a seleccionar es un acero austenítico inoxidable 304', elegido por su aplicación para equipos químicos y tuberías, componentes de intercambiadores térmicos, equipos y utensilios de manipulación de lácteos y alimentos, recipientes y componentes criogénicos, aplicaciones arquitectónicas y estructurales expuestas a atmósferas no marinas.

**Tabla 2.** Propiedad a tensión del acero inoxidable 304

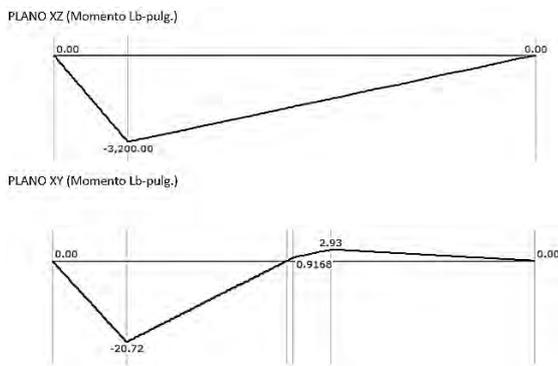
Material	Resistencia ultima		Resistencia a la cedencia	
	kl/pulg ²	MPa	kl/pulg ²	MPa
Acero inoxidable 304	83	572	40	276

Fuente: Juvinal R. (2013, p. 782)

Diámetro del eje del sistema de corte

El eje es uno de los elementos motrices que va a estar sometido a esfuerzo flexionante y de corte; para dimensionar al eje, se utiliza la teoría de relación elíptica ASME. El criterio ASME elíptico también toma en cuenta la fluencia, pero no es completamente conservador a lo largo de todo su rango [4].

a) Momento flector máximo en el eje



$$M_{\max} = \sqrt{3200^2 + 20.72^2} = 3200,067 \text{ lb.pul.}$$

b) Torsión

$$T = 63\,025 H_{\text{nom}} K_s n_d / n$$

$$= 63025(2) (1,5)(1,1) / 1750 = 118,847 \text{ lb.pulg}$$

c) Diámetro del eje

Mediante la teoría de relación elíptica ASME, se realiza un análisis de falla por fatiga con la siguiente ecuación:

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

Tabla 3. Resultado con motor de corte a 60 Hz y el motor del sistema de transporte a 23 Hz

Pruebas	Cantidad	Tiempo	Merma (kg)	Merma (%)	Producción total (kg/h)	Producción neta
1	11 kg	17 s	0,60	5,5	2329	2328
2	11 kg	17 s	0,64	5,81	2329	2328
3	11 kg	17 s	0,62	5,3	2329	2328

$$d = \left[\frac{16(2)}{3,14} \left[4 \left(\frac{1,32 \times 3200,067}{50185} \right)^2 + 3 \left(\frac{0,872 \times 118,847}{40000} \right)^2 \right] \right]^{1/3}$$

$$d = \left[\frac{16(2)}{3,14} \left[4 \left(\frac{1,32 \times 3200,067}{50185} \right)^2 + 3 \left(\frac{0,872 \times 118,847}{40000} \right)^2 \right]^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = 1,19 \text{ pulg.}$$

V. RESULTADO

Máquina

La máquina es de accionamiento eléctrico y el material es de acero inoxidable; está regulada por variadores de velocidad para el sistema de transporte y de corte.

El producto cortado cae hacia abajo. Al realizar la prueba en vacío, la máquina no presentó problemas.

**Figura 6.** Máquina cortadora de ají jalapeño.

Fuente: Cortesía Proyecto Innovate Perú.

Producción

La prueba bajo carga se realizó varias veces; el resultado que se plasma en la Tabla 3 genera menos producción en comparación con el resultado anterior; sin embargo, genera menos pérdida por descarte o mermas producidas por un mal corte que en promedio es de 3,4 %.

Tabla 4. Resultado con motor de corte a 25 Hz y el motor que acciona la faja de transporte a 23 Hz

Pruebas	Cantidad	Tiempo	Merma (Kg)	Merma (%)	Producción total kg/h	Producción neta
1	11 kg	25 s	0,37	3,3	1584	1583
2	11 kg	25 s	0,39	3,5	1584	1583
3	11 kg	25 s	0,36	3,2	1584	1583

Corte

La merma es mayor cuando la velocidad del disco de corte es a 60 Hz (manipulado con el variador de frecuencia); la merma aumenta por la misma velocidad lineal y centrífuga tanto al ingreso del disco de corte como al salir de ella.

Los cortes mejoran al manipular los motores eléctricos de accionamiento a una frecuencia de 23 a 25 Hz y disminuyen la merma (cortes de ají que no pasan por el medio como resultado de la prueba, ver Figura 8).



Figura 7. Separación por destacarte de cortes asimétricos



Figura 8. Muestra de un buen corte (por el medio).

VI. CONCLUSIONES

- El ángulo de posicionamiento adecuado de la faja transportadora depende del tamaño de los ajíes jalapeños, para este caso es de 45°.
- El diámetro del eje del sistema de corte que garantiza soportar los esfuerzos a los que estará sometido es de 1,19 pulg (13/16 «) con un factor de seguridad de 2.
- El porcentaje de merma varía con la velocidad de

producción, encontrándose que debería ser de 1583 kg/h para tener una merma por descarte de 3,3 %.

VII. RECOMENDACIONES

- Considerar la seguridad en la manipulación del sistema de corte de la máquina.
- Monitorear constantemente y realizar el mantenimiento previsto.
- Innovar en el sistema de corte para producir diferentes tipos de secciones en otros frutos a fin de multiplicar sus funciones.

VIII. AGRADECIMIENTO

A la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Continental.
Al FYNCIT e Innovate Perú.

V. REFERENCIAS

- [1] Diario Gestión (edición digital), *Economía* <<https://gestion.pe/economia/3-6-exportaciones-peruanas-contiene-tecnologia-mediana-alta-95664>> [Consulta: Junio, 2015]
- [2] Aguirre, E. y Muñoz, V. El chile como alimento. *Revista de la Academia Mexicana de Ciencias* 66 (3), (2015). [Consulta en línea]. Recuperado de http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66_3/PDF/Chile.pdf
- [3] URSHEL® *Cortadora TranSlicer 2000® Cutter Brochure* https://es.urschel.com/sites/es.urschel.com/files/L2551SP_TRS2ofs.pdf [Consulta: Junio, 2015]
- [4] Juvinall, R. *Diseño de elementos de máquinas*. 2.ª edición. México: Limusa-Wiley, 2013.
- [5] Budynas, R. y J. Keith. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: Mc Graw Hill Interamericana, 2008.