



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

Campus Loma Bonita

INGENIERÍA AGRÍCOLA TROPICAL

DISEÑO DE UN MECANISMO

**PARA LA SEPARACION DEL FRUTO DE PIÑA (*Ananas
comosus*)**

TESIS PROFESIONAL

Que presenta

LUIS ALBERTO RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ

Como opción de titulación de la licenciatura

INGENIERÍA AGRÍCOLA TROPICAL

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSE ANTONIO YAM TZEC

LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO



Universidad del Papaloapan

FECHA:	20 de Mayo del 2022
ÁREA:	Vice-Rectoría Académica
OFICIO NÚMERO:	UNPA/VRA/088/2022
ASUNTO:	Autorización de Impresión de tesis.


C. LUIS ALBERTO RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ
PRESENTE:

En base al artículo 120 del reglamento de alumnos, por medio de la presente se aprueba la impresión de la tesis titulada “**DISEÑO DE UN MECANISMO PARA LA SEPARACIÓN DEL FRUTO DE PIÑA (*Ananas Comosus*)**” así como la programación del examen profesional bajo la dirección del Dr. José Antonio Yam Tzec.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente.
terra ubérrima, mens aperta
Bou Lo-tama, chi jí jú




MC. HÉCTOR LÓPEZ ARJONA
Vice-Rector Académico.

C.c.p. Dr. Rogelio Enrique Palacios Torres Jefe de Carrera de la Ingeniería en Agrícola Tropical
C.c.p. L.P. Yesenia Barrientos Arenal. Jefa del Departamento de Servicios Escolares
C.c.p. Dr. José Antonio Yam Tzec. Director de tesis.
C.c.p. Archivo.



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN
CAMPUS LOMA BONITA

Oficio No. JCIAT/43/22

Loma Bonita, Oaxaca a 01 de junio de 2022

M.E. YESENIA BARRIENTOS ARENAL
JEFA DEL DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
PRESENTE

Por este medio le comunico que la Jefatura de Carrera a mi cargo ha designado como jurado del proyecto de tesis titulado **“DISEÑO DE UN MECANISMO PARA LA SEPARACIÓN DEL FRUTO DE PIÑA (*Ananas comosus*)”**, para examen de titulación del egresado **C. LUIS ALBERTO RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ**, a los profesores:

Presidente: M.C. Rey Fernando García Méndez
Secretario: Dr. José Orbelin Gutiérrez Hernández
Vocal: Dr. José Antonio Yam Tzec

Como suplentes:
Dra. Ana Rosa Ramírez Seañez
Dr. Rogelio Enrique Palacios Torres

Sin más por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente

“Terra Uberrima, mens aperta”
Bou Lo tama, Chi Ji Jú


Dr. Rogelio Enrique Palacios Torres
Jefe de la Carrera de Ingeniería Agrícola
Tropical



Vo.Bo

M.C. Héctor López Arjona
Vice-Rector Académico

c.c.p. Archivo

Universidad del Papaloapan. **Campus Loma Bonita**, Av. Ferrocarril s/n, Col. Cd. Universitaria, Loma Bonita, Oaxaca, México.
C.P. 68400. Tel: 01 (281) 87 2 92 30
www.unpa.edu.mx



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GENERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. HIPÓTESIS	13
4. REVISIÓN DE LITERATURA	14
5. MATERIALES Y MÉTODOS	22
5.1 PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL PRODUCTO	22
6. RESULTADOS	27
6.1 Caracterización física de los frutos de piña.	27
6.3 Diseño conceptual del mecanismo	30
6.3.1 Alternativas de solución	31
6.3.2 Evaluación de las alternativas de solución	32
6.3.3 Elección de una alternativa	33
6.4 TEORÍA DEL APARATO DE CORTE	35
6.4.2 POSICION, VELOCIDAD Y ACELERACION DE UN MECANISMO DE CUATRO BARRAS	39
6.5 ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS	41
6.6 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL MECANISMO PROPUESTO	54
6.7 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	55
7. CONCLUSIONES	59
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
9. ANEXOS	64

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Interacción de las fuerzas en desprendimiento del fruto de la piña	18
Figura 2 El proceso de diseño	19
Figura 3. Piña promedio de una parcela en Loma Bonita	29
Figura 4. Estructura de funciones del mecanismo	30
Figura 5. Vistas del mecanismo de corte propuesto A) vista superior, B) vista lateral de la palanca actuadora	35
Figura 6 Esquemas de los aparatos de corte.....	37
Figura 7. Mecanismo de cuatro barras de tipo manivela-balancin.....	39
Figura 8. Diagrama del mecanismo de cuatro barras	39
Figura 9 cuchilla fija 2 Análisis estático 1 cuchilla fija	42
Figura 10 cuchilla libre 1 Análisis estático 2-Tensiones	42
Figura 11 Análisis estático 1-Desplazamientos cuchilla libre	43
Figura 12 Análisis estático 2-Desplazamientos cuchilla fija.....	43
Figura 13 Análisis estático deformaciones unitarias cuchilla fija	44
Figura 14 Análisis estático 2 deformaciones unitarias cuchilla libre	45
Figura 15. Desplazamiento y velocidad lineal A) Desplazamiento B) Velocidad	47
Figura 17. Gráfico momento A) traslacional y B) angular.....	52
Figura 18. Gráfico energía cinética A) traslacional B) angular.....	54
Figura 19 Vista isométrica de un elemento del prototipo en el SolidWorks.....	56

Figura 20. Vista del elemento en el software de la impresora 3D.....	57
Figura 21. Calibración de la impresora en 3D	58
Figura 22. Prototipo impreso en 3D	58

INDICE DE TABLAS

Cuadro 1 Variables medidas en planta.....	27
Cuadro 2 Variables medidas en fruto	28
Cuadro 3. Medias de variables mecánicas	28
Cuadro 4. Matriz morfológica	31
Cuadro 5. Combinación de las diferentes variantes	32
Cuadro 6. Evaluación de alternativas	33

RESUMEN

En la actualidad, la manera en que se lleva a cabo la cosecha de la piña es de forma manual, o mediante el uso de bandas semi-mecanizadas, que ayudan al acarreo de los frutos hacia los extremos de la parcela. En este trabajo, se documenta el procedimiento de la caracterización físico-mecánica de la piña, así como de la caracterización física de la planta, con la finalidad de obtener parámetros para diseñar de manera conceptual un mecanismo que sirva para poder llevar a cabo el desprendimiento del fruto, sin que esta sufra un daño mecánico, la técnica empleada para obtener estos datos, es mediante un muestreo destructivo de las plantas para así poder tomar las medidas de las diferentes variables presentadas en el documento. Como resultados se obtuvo un modelo de piña con medidas de diámetro polar de 11.86 cm y un diámetro ecuatorial de 10.2 cm, al igual se logró caracterizar un modelo para la planta con las siguientes medidas, del suelo a la base del fruto es de 34.84 cm, y con diámetros de 2.53 cm, 2.41 cm y 4.34 cm, superior, ecuatorial e inferior respectivamente, a partir de estos datos desarrolló una maquina con una altura de 36 cm y 35 de ancho, con una cuchilla a unos 30 cm del suelo, esto para poder posicionarse en la parte de la unión de la planta con el pedúnculo del fruto. El material utilizado para su elaboración fue PTR calibre 14 con un costo de 1669 pesos mexicanos. Posteriormente, se realizaron tres tipos de análisis, estático, estático-desplazamiento y deformaciones. El análisis estático fue de tipo VON: Tensión de Von Mises, obteniendo un máximo de $1.146e+00 \text{ N.mm}^{-2}$, para la cuchilla fija y para la cuchilla libre un máximo $5.050e+08 \text{ N.mm}^{-2}$, el estudio de desplazamiento estático se utilizó el modelo URES, se obtuvo una deformación máxima fue $1.014e^{+01} \text{ mm}$ para el caso de la cuchilla libre y para la otra cuchilla su valor fue $2.042e^{-04} \text{ mm}$ para la deformación unitaria

equivalente si hizo un análisis tipo ESTRN, con el cual los resultados fueron de $2.973e^{-6}$ máximo para la cuchilla fija y una deformación máxima de $1.906e^{-3}$ para el caso de la cuchilla libre.

ABSTRACT

The way in which the pineapple harvest is carried out is manual, or through the use of semi-mechanized bands, which help transport the fruits to the ends of the plot. In the present, the procedure of the physical-mechanical characterization of the pineapple is presented, as well as the physical characterization of the plant, with the purpose of obtaining data to conceptually design a mechanism that helps us to carry out the detachment of the fruit, without suffering mechanical damage, the technique used to obtain these data is through a destructive sampling of the plants in order to take the measurements of the different variables presented in the document. As results, a pineapple model was obtained with measurements of a polar diameter of 11.86 cm and an equatorial diameter of 10.2 cm, just as it was possible to characterize a model for the plant with the following measurements, from the ground to the base of the fruit is 34.84 cm, and with diameters of 2.53 cm, 2.41 cm and 4.34 cm, upper, equatorial and lower respectively, from these data it was possible to develop a machine with a height of 36 cm and 35 width, with a blade about 30 cm of the ground, this to be able to position itself in the part of the union of the plant with the peduncle of the fruit. The material used for its elaboration was PTR caliber 14 whit a cost of 1669 Mexican pesos. Three types of analysis were carried out, static, static-displacement and deformations The static analysis was of the VON type: Von Mises tension, obtaining a maximum of $1,146e+00 \text{ N/mm}^2$, for the fixed blade and for the free blade a maximum of $5,050e+08 \text{ N/mm}^2$, the static displacement study was used in the URES model, it obtained a maximum deformation of $1,014e+01 \text{ mm}$ for the case of the free blade and for the other blade its value was $2,042 \text{ e-}04 \text{ mm}$ for the equivalent unitary deformation if an analysis of the ESTRN type was carried out, with data of $2,973e-$

6 maximum for the fixed blade and a maximum deformation of $1,906e-3$ for the case of the free blade.

1. INTRODUCCIÓN

La piña ocupa el segundo lugar en orden de importancia en el cultivo de las frutas tropicales, teniendo una producción a nivel mundial de 28.3 millones de toneladas en el año 2018 (FAO, 2018). En México, la producción de piña está concentrada en la región de cuenca del Papaloapan, donde se obtiene más del 80% de la producción nacional para el consumo en fresco, agroindustrial y exportación (Uriza-Ávila *et al.*, 2018). Sin embargo, actualmente los productores no cuentan con una maquina agrícola que realice el proceso de cosecha de frutos de piña. En este sentido, al diseñar y construir un mecanismo para el corte del fruto de la piña, se espera encontrar la forma más eficiente de realizar la cosecha con un daño mecánico menor y más eficiente que de manera manual. De manera cotidiana, el corte de la piña consiste en la torsión del fruto tomándolo con la mano, inclinándolo un poco hasta que la unión con el pedúnculo se quiebre o se fracture. El objetivo de la presente investigación es caracterizar físicamente los frutos de piña que permita obtener parámetros para el diseño conceptual de un mecanismo que realice el desprendimiento del fruto de la planta.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Diseñar un mecanismo conceptual que realice el desprendimiento del fruto de piña del pedúnculo

2.2 Objetivos específicos

Caracterizar de manera física los frutos de piña y de la planta parámetros como esfericidad, redondez, ángulo de deslizamiento, tamaños de corona y fruto, altura de la planta y tamaño de la hoja serán determinados

Diseñar de manera conceptual un mecanismo que realice la función de separar el fruto de piña del pedúnculo y que cumpla con los requerimientos y limitaciones de diseño.

Calcular los costos del mecanismo propuesto y realizar un análisis socioeconómico.

3. HIPÓTESIS

Es posible obtener parámetros para el diseño conceptual de un mecanismo que realice el desprendimiento del fruto de la planta de forma mecanizada, sin ocasionarle daños físicos al fruto.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

La producción mundial total de las principales frutas tropicales (como mango, papaya, piña, etc.) para el 2018 fue de aproximadamente 100 millones de toneladas, países como la India y Costa Rica son los países con mayor producción de frutas tropicales (Altendorf, 2019). Costa Rica es el mayor productor de piña, mientras que México ocupa el puesto número diez a nivel mundial según los datos obtenidos por la FAO (“FAOSTAT,” 2019). En 2017, la producción mundial fue de aproximadamente 27 millones de toneladas de piña en una superficie de 1,000, 000 de hectáreas cosechadas (“FAOSTAT,” 2019).

En ese mismo año la producción de piña en México fue de aproximadamente 900,000 toneladas, en un área cosechada de 20,000 hectáreas aproximadamente, con un rendimiento de 47.5 t ha^{-1} , siendo sus principales zonas productoras ciudad Isla, Juan Rodríguez Clara, José Azueta, Medellín, Alvarado, Tlalixcoyan y Chacaltianguis, municipios pertenecientes al estado de Veracruz. Oaxaca cuenta con Loma Bonita y Tuxtepec, todos estos municipios se conocen como la región productora del bajo Papaloapan. En el estado de Tabasco la principal zona de interés es la Chontalpa en los municipios de Huimanguillo y Cárdenas. Otros estados como Nayarit y Jalisco también cultivan este fruto. (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2002. *Uriza et. al*, 2018),

La variedad “cayena lisa” es la más popular con un 60 % de la superficie cultivada, por su parte la variedad MD-2 ocupa el 35% y el 5% restante pertenecen a variedades criollas (INIFAP., 2017. *Uriza., et al.*, 2018). La producción de piña en México se desarrolla como agricultura de temporal, siendo un 80-85% del total producido, y el resto de la producción recibe un riego de auxilio o apoyo (*Uriza., et al.*, 2018), para llevar a cabo una buena preparación de la superficie de siembra se deben realizar labores de limpieza del suelo de

malezas y hierbas con el machete (chapeo), incorporación de materia orgánica, encalado dolomítico, para reducción de acidez en los suelos, barbecho, rastreos, nivelación, al igual que las camas de siembra en las cuales se pueden implementar densidades menores a 30,000 plantas por hectárea en hileras sencillas, en densidades mayores se maneja siembra a doble hilera y drenes, una buena práctica que se lleva a cabo es la de cubrir las camas con acolchado, lo cual es una banda de plástico de negro de calibre 150, con 140cm de ancho, una buena forma de colocarse es a 10cm en los laterales(Uriza, 2011, INIFAP., 2017).

Las principales estructuras morfológicas de la planta de piña son: tallo, las hojas, las raíces, el pedúnculo los frutos, los vástagos (Uriza., *et al.*, 2018), las plantas vivas consisten en material sólido que rodea las cavidades llenas de aire y líquido. Las células de fibra con diámetros de 10 a 50 μ m y longitudes superiores a 30 mm, proporcionan la resistencia principal del material vegetal. Algunas paredes celulares tienen una resistencia similar a la del acero, pero las numerosas cavidades reducen en gran medida la resistencia promedio de la sección transversal de la planta. Los tallos y las hojas de las plantas consisten en un gran número de células similares. Estructuralmente, los vástagos pueden verse como materiales con fibras de alta resistencia a la tracción orientadas en una dirección común y unidas por material de mucha menor resistencia. Las células más blandas hacen uso de su turgencia (presión de líquido) para conectar y soportar las fibras. Las secciones del entrenudo son mucho más débiles que los nodos y, por lo tanto, determinan la fuerza de tallo. La resistencia está determinada por la cantidad de paredes celulares secundarias en su posición natural tienen resistencias a la tracción finales que varían hasta 1100 Nmm⁻², un modelo de elasticidad en el rango de 10,000 a

100,000Nmm⁻². Por ejemplo, cuando se utiliza toda la sección transversal del tallo de alfalfa. La resistencia máxima es solo de 8 a 35 Nmm⁻² (Srivastava, Goering, Rohrbach, Buckmaster, 2013).

El proceso de cosecha comienza con la selección individual y detallada de los frutos, para la identificación y selección de los más adecuados para el corte, después se procede al desprendimiento o corte del fruto seleccionado, de tal forma que la planta no sufra daños, así como también se debe cuidar la base o pedúnculo de las piñas (Uriza., *et al.*, 2018).

La maquinaria de apoyo, utilizada para la cosecha de piña es una banda sin fin remolcada por un tractor de mediana potencia, el cual le proporciona la energía para llevar a cabo su función de transporte del fruto, hacia un lugar de interés, las características de este implemento son bandas de 15 metros que cubren la distancia media de una melga de siembra, con unos 30- 40 cm de ancho, donde los jornaleros depositan el fruto (Uriza., *et al.*, 2018). Este tipo de maquinaria de apoyo puede observarse en la región del Papaloapan.

De igual manera, para el diseño de una máquina cosechadora se deben tomar en cuenta las características de los materiales como la flexión. Pueden ocurrir varios modos diferentes de desprendimiento del fruto, por ejemplo; con cuchillas, aplicando torque o una fuerza de tensión. Para el caso del desprendimiento con cuchilla y contra cuchilla, la penetración inicial de la cuchilla da como resultado una deformación del material vegetal. En tallos húmedos y con altas velocidades de cuchilla, la presión de turgencia en los tallos limita la compresión inicial de la planta. Con un movimiento adicional de la cuchilla, se produce un pandeo y compresión considerables del vástago (tallo de una planta joven). Dependiendo de la agudeza y velocidad del cuchillo, la compresión puede avanzar mucho más adelante y hacia los lados del filo del cuchillo. La precompresión antes de la falla

resulta en una acumulación gradual de fuerza sobre la cuchilla y la energía para la precompresión puede consumir del 40% al 60% de la energía total. A medida que las fibras se desvían por delante del borde de la cuchilla, la resistencia al corte del material se moviliza para producir tensiones de tensión de la fibra. Estas tensiones se vuelven lo suficientemente grandes como para causar que las fibras fallen en tensión, con lo cual la carga se transfiere a las fibras más adelante del borde de la cuchilla. Para materiales de cultivo comunes, el corte se produce cuando la presión ejercida por delante del filo de la cuchilla excede de 9 a 30 Nmm^{-2} (De Queiroz *et al.*, 2007).

La mecánica de la cosecha de piña (considerado como un material anisotrópico) realizado con herramienta de corte es una interacción de fuerzas, como se muestra en la siguiente figura 1:

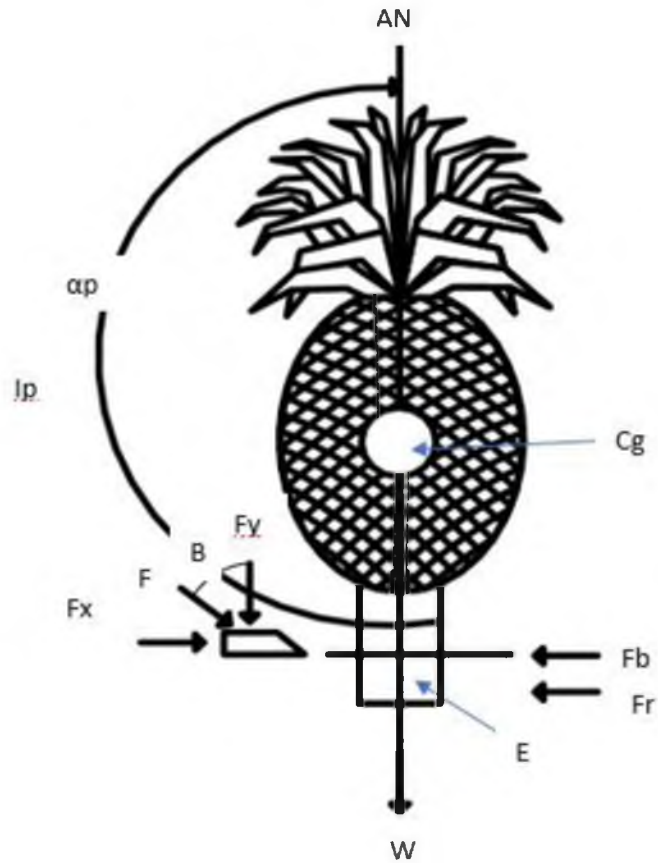


Figura 1 Interacción de las fuerzas en desprendimiento del fruto de la piña

Fuente: elaboración propia

Donde:

- F= fuerza del corte
- Fy= fuerza del corte en y
- Fx= fuerza del corte en x
- Fr= fuerza de fricción
- Fb= resistencia al corte
- Ip= momento de inercia
- α_p = aceleración angular del fruto
- Cg= centro de gravedad
- E= módulo de elasticidad del tejido vegetal en el tallo
- W= peso (Weight)
- AN= aceleración normal

Las propiedades físico-mecánicas del fruto, pueden definirse como aquellas que se relacionan con el comportamiento de los productos agrícolas cuando se le aplican cargas.

La American Society of Agricultural Engineers, de Estados Unidos ha dedicado un grupo importante de investigadores a la determinación de propiedades mecánicas de productos agrícolas. Entre las normas desarrolladas está la ASAE S368.4 DEC00 que trata sobre la prueba de compresión de productos agrícolas (Yam, *et al*, 2010)

Una alternativa de diseño es una idea mediante la cual se pretende resolver un problema. El siguiente esquema (Figura 2), muestra el proceso general del diseño de máquinas (Budynas y Nisbett, 2014).

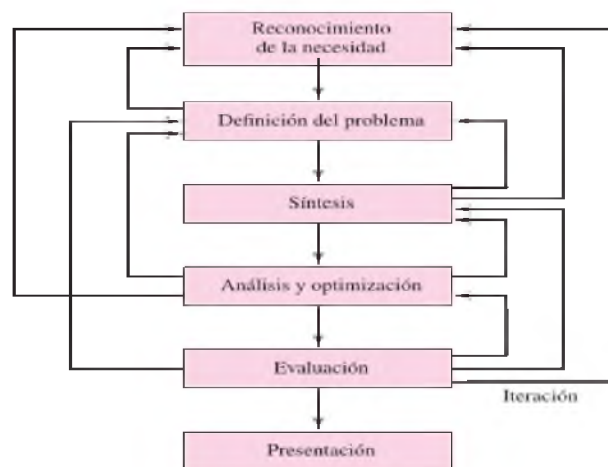


Figura 2 El proceso de diseño

Fuente: (Budynas *et al.*, 2014).

Una de las primeras condiciones que debe reunir una alternativa de maquina agrícola es su factibilidad técnica. En problemas de ingeniería, la generación de alternativas de solución debe desarrollarse paralelamente con la detección de los principios de solución.

De acuerdo, a Norton(2011), el proceso de diseño puede estructurarse de la siguiente manera: identificación de la necesidad, investigación preliminar, planteamiento de objetivos, especificaciones de desempeño, ideación e invención, análisis, selección, diseño detallado, creación de prototipos, pruebas y producción.

Hasta antes del diseño detallado, todo se engloba en un diseño conceptual, el cual, de acuerdo con Mott (2006), se puede englobar en funciones de diseño, requisitos de diseño y evaluación.

El diseño detallado de los principales elementos del prototipo, incluye la creación de un conjunto completo de dibujos de ensamble detallados, o archivos de diseño asistido por computadora (CAD), por cada pieza utilizada en el diseño. Cada dibujo detallado debe especificar todas las dimensiones y las especificaciones de material necesarias (Norton, 2011).

Para el análisis económico, Budynas y Nisbett (2014), propone considerar durante el diseño el uso de medidas normalizadas o tamaños estándar, uso de tolerancias amplias, puntos de equilibrio y comparación de costos de dos o más diseños.

Existen varias formas de evaluación del diseño más conveniente, de manera general, la siguiente ecuación engloba todos los mecanismos de una máquina, propuestas por Shigley (Budynas y Nisbett., 2014), cuyos parámetros los basa en el factor de diseño (Ecuación 1) y en las cargas máximas permisibles (Ecuación 2)

$$n_d = \frac{\text{parámetro de pérdida de función}}{\text{parámetro máximo permisible}} \dots\dots\dots(1)$$

$$cmp = \frac{\text{carga de perdida de función}}{n_d} \dots\dots\dots(2)$$

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Propiedades físico mecánicas del producto

Para la caracterización física, se tomaron muestra de frutos de piña de las parcelas localizadas al azar en el municipio de Loma Bonita, Oaxaca que se localiza en latitud: 18 grados 06' N y longitud: 95 grados 53' W, a 30 msnm.

El diseño y la construcción de los prototipos se realizaron en los talleres de la Universidad del Papaloapan. Con material de acero PTR calibre 14

Para la realización del presente tema de investigación, se plantearon tres etapas; la primera relacionada con la caracterización física de la planta, del fruto y del pedúnculo en el cultivo de la piña, la segunda con el diseño del mecanismo con base en las limitaciones propuestas a partir de la primera etapa y la última comprende el análisis teórico estático y dinámico, así como el análisis económico del mecanismo propuesto.

Etapa 1. Caracterización físico-mecánica de la planta y del fruto de piña.

Las principales características físicas que se obtuvieron de los frutos de piña son los descritos por Mohsenin (Ajit K. Srivastava *et al.*, 2013)

En esta etapa se considera obtener las principales características físicas del sistema fruto-pedúnculo-planta, el muestreo fue completamente al azar, considerando cada fruto de piña como una unidad experimental, obteniendo los datos de las variables antes mencionadas

Para la caracterización física del sistema fruto-pedúnculo-planta, se obtuvo:

- a) Longitud del tallo de la planta
- b) Diámetro ecuatorial del fruto y de la planta

- c) Diámetro polar del fruto y de la planta
- d) Esfericidad, redondez del fruto
- e) Masa del fruto
- f) Angulo de deslizamiento
- g) Tamaño del fruto
- h) Torque en el desprendimiento

La **longitud del tallo** se tomó colocando el flexómetro desde el suelo hacia la parte basal del fruto, donde se encuentra ubicada la unión entre del pedúnculo con el fruto, para obtener el **diámetro ecuatorial y polar del fruto** se utilizó una cinta de medir, para el caso de la **planta** se aplicó un muestreo destructivo, para poder tomar los diámetros en el centro y en ambos extremos facilitando así la implementación del vernier.

El **ángulo de deslizamiento** es el punto en el que cualquier objeto pierde su estado de reposo y comienza a tener un movimiento descendente, ocasionando fricción entre el objeto y la superficie. El cual se midió mediante el uso de una rampa con diferentes grados de inclinación

El **tamaño** de corona se tomó a partir de donde está la unión del fruto, hasta donde está la hoja más larga de esta, el fruto se midió en la unión de este con el pedúnculo, terminando en el punto donde se une el fruto con la corona.

La **redondez** es una aproximación a una forma redonda la cual es obtenida a partir de la siguiente formula (Ecuación 3):

$$redondez = \frac{Ap}{Ac} \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

A_p = área proyectada más larga de un objeto en posición de descanso

A_c = área del círculo circunscrito

La **esfericidad** es la igualdad isoperimétrica de una esfera, siendo calculada, por la siguiente expresión 4:

$$\text{Esfericidad} = \frac{D_i}{D_c} \dots \dots \dots (4)$$

D_i = diámetro del mayor círculo inscrito en el área proyectada

D_c = diámetro del menor círculo circunscrito en el área proyectada

Etapas 2. Diseño del mecanismo

En este apartado se describe el principio físico, el cual se basó en la solución del problema del diseño mecánico, la disposición constructiva o arquitectura del objetivo y la idea general de la apariencia que tiene el producto terminado, mediante la creación de planos, elaborados en programas como AutoCAD o SolidWorks® para ello siguió los siguientes pasos para el diseño conceptual.

- Identificación de la necesidad o problema a resolver.
- Definición del problema
- Generación de alternativas de solución (debe considerar: el establecimiento de la estructura de las funciones y la búsqueda de principios de solución para satisfacer las subfunciones).
- Evaluación y selección de la mejor alternativa (debe considerar: la identificación de los criterios de evaluación)
- Diseño preliminar

Para el diseño del mecanismo se requiere de:

- i. Grados de libertad
- ii. Factor de diseño
- iii. Parámetro de carga
- iv. Facilidad de ensamble, operación y mantenimiento
- v. Costo del mecanismo

Los **grados de libertad** es una característica de los mecanismos, la cual se refiere al número de movimientos necesarios para llevar a cabo una acción, el **factor de diseño** está basado en incertidumbres absolutas de un parámetro de pérdida de función y un parámetro máximo permisible (Budynas y Nisbett., 2014), el **parámetro de carga** se refiere al peso que es capaz de soportar el mecanismo; la facilidad al ensamblaje, operación y mantenimiento hace alusión a que tan fácil es poder manufacturar el mecanismo de corte, así como también la facilidad con la que cualquier persona puede ponerlo a funcionar sin necesidad de ser un experto para ello, el último punto se refiere a que tan complicado es la realización del mantenimiento del mecanismo

Etapa 3. Análisis económico

Son los costos para la construcción del prototipo, que incluye los costos de los materiales, de mano de obra requerida, de uso de instalaciones y consumo de energía eléctrica.

- Los costos horario total, es el costo que se genera por el uso del prototipo y se compone de los costos fijos (depreciación, inversión y reparación) y costos de operación.
- Los costos de materia prima.

- Los ingresos por la comercialización
- Las utilidades y relación beneficio-coste

6. RESULTADOS

6.1 Caracterización física de los frutos de piña.

De acuerdo a los datos obtenidos en las mediciones de todas las muestras de piña se obtuvieron los promedios de las variables de medidas que caracterizan una planta y un fruto de piña en su estado físico dichas variables medidas en 32 plantas se resumen en los cuadros 1, se especifica las medidas de la planta, cuadro 2, describe las propiedades físicas del fruto y cuadro 3, describe las variables mecánicas respectivamente.

Cuadro 1. Variables medidas en planta

Variable	Unidades	Media	Desviación estándar
Longitud de tallo	cm	34.84	6.071
Diámetro ecuatorial	cm	2.41	0.240
Diámetro polar inferior	cm	4.34	0.864
Diámetro polar superior	cm	2.53	0.293
Largo de hoja más pegada al suelo	cm	54.38	13.069
Largo de la hoja "D"	cm	78.68	8.939

Cuadro 2. Variables medidas en fruto

Variable	Unidades	Media	Desviación estándar
Longitud de la corona	Centímetros	18.04	3.870
Diámetro polar	Centímetros	11.86	1.157
Diámetro ecuatorial	Centímetros	10.20	0.131
Área estimada	Centímetros cuadrados	176	27.798
Diámetro del círculo circunscrito menor	Centímetros	8.80	0.562
Diámetro del círculo circunscrito mayor	Centímetros	12.49	1.266
Área (cm)	centímetros	66.30	10.007
Redondez	Adimensional	7.51	0.873
Volumen	Centímetros cúbicos	620	71.667
Esfericidad	Adimensional	1.42	0.147
Masa	Gramos	836.66	72.439

Cuadro 3. Medias de variables mecánicas

Variable	Unidades	Media	Desviación estándar
Angulo de reposo con corona	Grados	41.91	6.034
Angulo de reposo sin corona	Grados	45.59	4.865
Angulo de corte	Grados	41.67	10.517

A partir de los datos reportados en las tablas 1, 2 y 3, la figura 3 se presentan las medidas de una planta de piña promedio a partir del cual se realizará el diseño conceptual de los principales elementos para el mecanismo de desprendimiento.

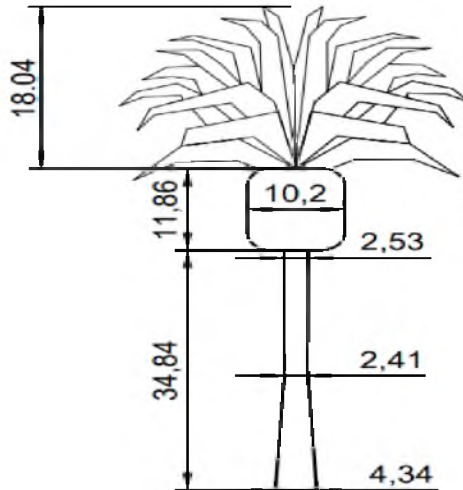


Figura 3. Piña promedio de una parcela en Loma Bonita

6.2 Planteamiento del problema de diseño

La manera más eficiente que existe hasta ahora para llevar a cabo la cosecha de piña es mediante la implementación de bandas semi mecanizadas, cuya única función es la de transportar los frutos, hacia las zonas de carga, disminuyendo el tiempo de acarreo del fruto, con el diseño de un mecanismo que separe al fruto del pedúnculo se busca reducir aún más este tiempo, además de crear un prototipo funcional, para después ser implementado en una maquina cosechadora.

Con esto se busca reducir el tiempo de cosecha, así como también abaratar los costos de la producción, al igual que se disminuirían los riesgos que la cosecha de piña representa o que son propiciados por los trabajadores.

6.3 Diseño conceptual del mecanismo

Este apartado comprende el establecimiento de estructuras de función, la búsqueda de principios de solución convenientes (o compatibles) y su combinación en variantes de concepto en cuestión a la cosecha del fruto de piña.

De acuerdo al problema esencial: Se trata de diseñar un mecanismo que permita separar mecánicamente el fruto de piña de la planta garantizando buena calidad y costos de construcción competitivos.

Estructura de funciones

Con base en el flujo de energía, señales y materiales, se propone la siguiente estructura de funciones Figura 4, donde dicha figura describe la secuencia del desprendimiento del fruto, con las características mencionadas en los cuadros 1 y 2.

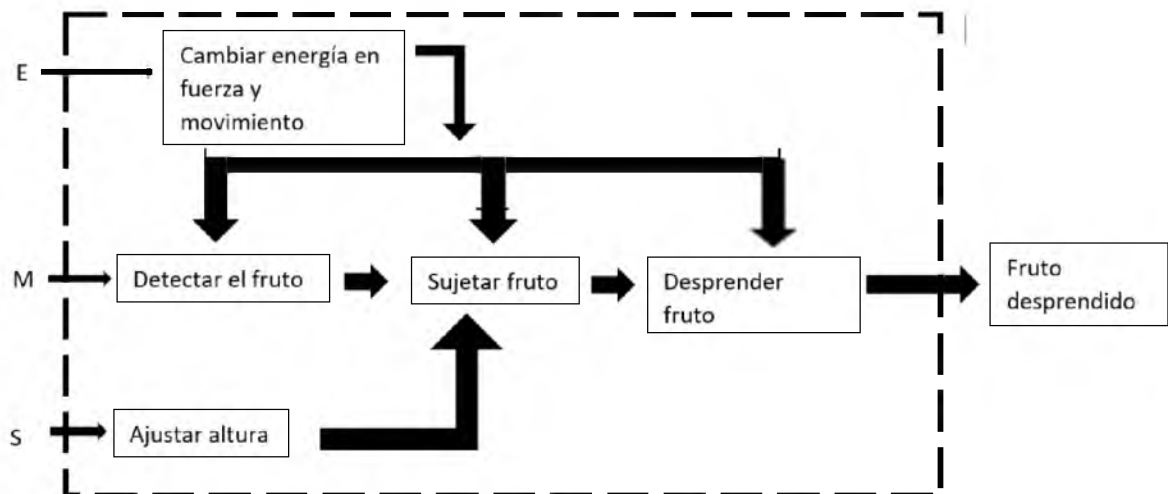


Figura 4. Estructura de funciones del mecanismo

Búsqueda de principios de solución

Este proceso se realizó mediante métodos convencionales con una revisión de literatura. La propuesta está basada en el prototipo de Saldaña *et al.*, (2012) el cual es un prototipo de una cosechadora-desmenuzadora del agave tequilana Weber, así como también de algunos mecanismos de una trilladora tradicional, empleada en la cosecha de maíz.

6.3.1 Alternativas de solución

En base a las subfunciones, se presenta la matriz morfológica con los principios de solución que satisfacen la función global, la cual se describe en el cuadro 4

Cuadro 4. Matriz morfológica

Subfunción	Alternativas de solución		
Detección del fruto	Mecánica (D1)	Automática por color (D2)	
Sujeción del fruto	Con dedos o pinzas (S1)	Neumático (S2)	
Desprendimiento del fruto	Mediante cuchillas mecánicas (F1)	Torsión con rodillos (F2)	Torsión con mecanismo de 2 barras (F3)

Al tener las alternativas de solución, se deben combinar para encontrar las variantes que serán posteriormente evaluadas, como las que se describen en el cuadro 5.

Cuadro 5. Combinación de las diferentes variantes

Variante	Descripción
D1S1F1	Detección de manera mecánica, sujeción con dedos o pinzas y desprendimiento con cuchillas
D1S1F2	Detección de manera mecánica, sujeción con dedos o pinzas y desprendimiento con torsión por rodillos
D1S1F3	Detección de manera mecánica, sujeción con dedos o pinzas y desprendimiento con torsión por mecanismo de cuatro barras
D1S2F1	Detección de manera mecánica, sujeción de manera neumática y desprendimiento con cuchillas
D1S2F2	Detección de manera mecánica, sujeción de manera neumática y desprendimiento con torsión
D1S2F3	Detección de manera mecánica, sujeción de manera neumática y desprendimiento con torsión mediante mecanismo de dos barras
D2S1F1	Detección mediante cámara, sujeción con dedos o pinzas y desprendimiento con cuchillas
D2S1F2	Detección mediante cámara, sujeción con dedos o pinzas y desprendimiento con torsión por rodillos
D2S1F3	Detección mediante cámara, sujeción con dedos o pinzas y desprendimiento con torsión por mecanismo de cuatro barras
D2S2F1	Detección mediante cámara, sujeción de manera neumática y desprendimiento con cuchillas
D2S2F2	Detección mediante cámara, sujeción de manera neumática y desprendimiento con torsión
D2S2F3	Detección mediante cámara, sujeción de manera neumática y desprendimiento con torsión mediante mecanismo de dos barras

6.3.2 Evaluación de las alternativas de solución

Para evaluar la evaluación de todas las soluciones obtenidas anteriormente, se realizó a una escala del 1 al 5 donde 1 significa que no cumple con la totalidad del requerimiento y 5 cumple totalmente con las necesidades planteadas (cuadro 6), para ello hay que considerar que el objetivo del mecanismo, tenga la posibilidad de ser un dispositivo mecánico que permita más adelante agregar algún sistema de automatización.

Cuadro 6. Evaluación de alternativas

Variante	Parámetros de evaluación				Puntos totales
	Mecanismo con pocos grados de libertad	Facilidad de ensamblaje	Mecanismo de bajo costo	Facilidad de operación	
D1S1F1	5	5	5	5	20
D1S1F2	5	4	5	4	18
D1S1F3	5	5	4	4	18
D1S2F1	5	4	3	3	15
D1S2F2	5	4	2	1	12
D1S2F3	5	4	3	4	16
D2S1F1	5	3	1	5	14
D2S1F2	5	2	1	5	13
D2S1F3	5	2	1	5	13
D2S2F1	5	2	1	5	13
D2S2F2	5	2	1	5	13
D2S2F3	5	2	1	5	13

6.3.3 Elección de una alternativa

A partir de la evaluación anterior (cuadro 6), se optó por elegir la variante D1S1F1 (Detección de manera mecánica, sujeción con dedos o pinzas y desprendimiento con cuchillas), siendo una de las variantes que presenta mejor opción de ajuste comparado con las otras

El mecanismo propuesto está formado por 5 elementos Figura 5A, una “T”(A) con una pinza(B) en cada extremo para fijar la piña, una base para sujetar una cuchilla(C) y una contra cuchilla (D), con la cual se realizará el desprendimiento del pedúnculo, la cuchilla

se activa mediante el uso de un actuador o palanca (E), el cual cuenta con 8 piezas, una placa (F) que va soldada en un extremo con dirección hacia la cuchilla, mientras que por el otro lado lleva un barreno, que permite el uso de un balero con el cual admite el aumento de la velocidad a la que se desplaza la cuchilla, en este extremo posee una unión con un eslabón (G) el cual cuenta con dos barrenos en cada uno de sus extremos, con diámetro de 1 pulgada cada uno, en el extremo libre, está unido a una especie de corredera (H), la cual está sujeta por dos eslabones (I) con las mismas características entre ellos, los cuales en su otro extremo están sujetos a un eslabón que junto a otras dos piezas forma parte de la palanca, las cuales consisten en: un brazo articulado y la otra es la base que va fijada al piso del banco, esto permite que el brazo se fije y logre accionar la cuchilla, en la parte del centro va unida a una corredera por medio de dos eslabones, permitiendo así obtener el movimiento mencionado.

La Figura 5B, está compuesta por tres elementos, el primero es una masa sólida (E1), el siguiente elemento es un eslabón (E2) con 3 barrenos, uno que va unido a la masa sólida, otro unido en medio de los eslabones de la corredera, y una base (E3), la cual está fija para permitir el movimiento del eslabón.

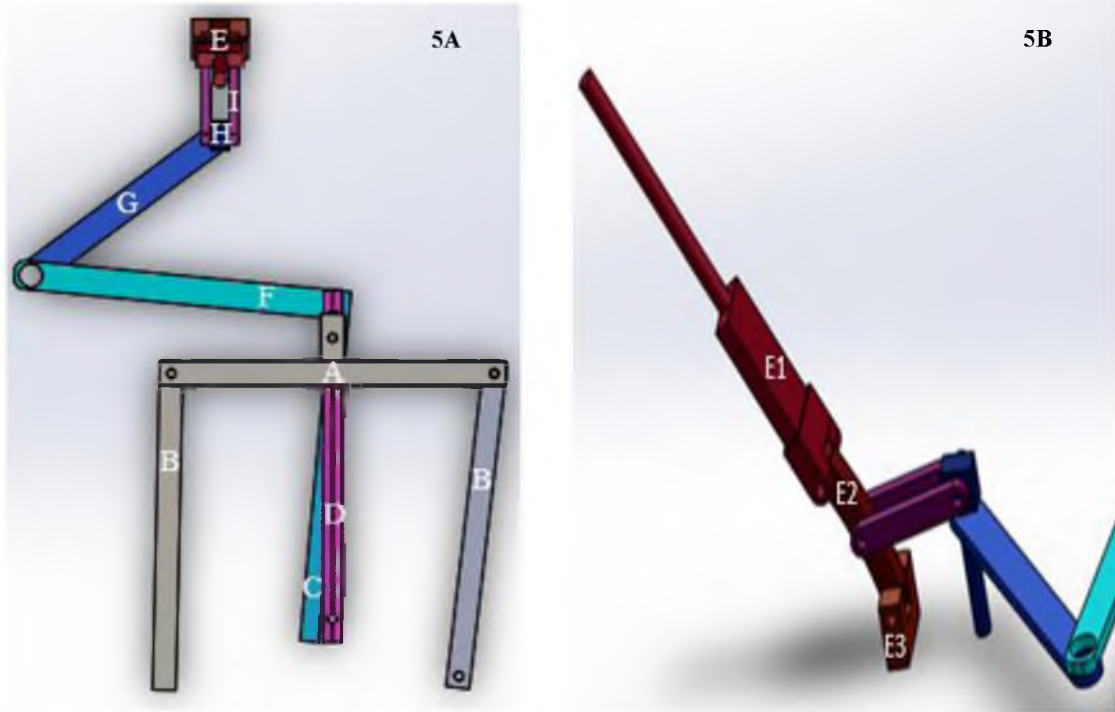


Figura 5. Vistas del mecanismo de corte propuesto A) vista superior, B) vista lateral de la palanca actuadora

6.4 Teoría del aparato de corte

Los aparatos de corte poseen dos principios para cortar los tallos: sin apoyo y con apoyo. Los aparatos de corte con apoyo se producen de segmento-dedo y de dos cuchillas como se aprecia en la figura 6A. El par cortante es el segmento 2 y la platina de contracorte del dedo 1. El segmento lleva a la planta hacia la platina de contracorte, y aprisionándola en el espacio que forman estos elementos, es cortada. En el momento del corte el tallo se apoya al mismo tiempo sobre la platina de contracorte y sobre el apéndice del dedo, es decir, en dos apoyos. Esto disminuye el peligro de la flexión del tallo y aumenta la seguridad del corte, sobre todo en plantas de tallos delgados que tienen poca rigidez.

Cuando se cosechan tallos gruesos como el de la planta de piña, no es recomendable utilizar los dos apoyos en el aparato de corte, ya que aumenta la fuerza que actúa en el segmento y el dedo, lo que al mismo tiempo conduce al aflojamiento de las fijaciones y puede producir roturas de los dedos y de los segmentos. Por eso, en este caso, se recomienda usar dedos sin el apéndice superior (Figura 6B).

La velocidad de corte de los aparatos de corte mencionados es de 1.5 a 3 m/s. Son menos consumidores de energía en comparación con el corte sin apoyo. Las velocidades altas no son permisibles por el efecto de las fuerzas de inercia en el movimiento de la cuchilla.

En el aparato de corte de las cuchillas el tallo se corta con apoyo en un punto. Este aparato posee dos cuchillas con movimiento opuesto. Cumplen dos funciones, por un lado, cumplen la función de elementos cortantes y, por otro, de elementos de apoyo. El desplazamiento de cada cuchilla es menor que en el de segmento-dedo. Mientras menor sea el desplazamiento de la cuchilla, menor será el efecto de la fuerza de inercia actuando en la cuchilla. Junto a esto, el movimiento opuesto de la cuchilla mejora el equilibrio general de la máquina por el que se aumenta su durabilidad y se mejora la calidad del trabajo. Sin embargo, las segadoras con aparatos de doble cuchilla poseen un mecanismo de transmisión de las cuchillas de construcción compleja (Figura 6C).

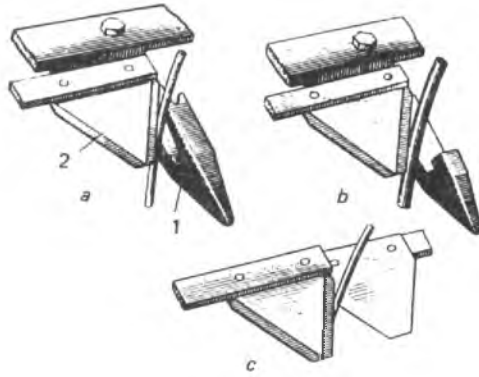


Figura 6 Esquemas de los aparatos de corte

(a) Con apoyo de platina de contracorte. (b) Con apoyo sin apéndice superior. (c) Con apoyo por segmento.

Fuente: Silveira, (1998).

6.4.1 Transmisión de movimiento de las cuchillas.

Para la transmisión de movimiento de las cuchillas, utilizamos un mecanismo de cuatro barras como se muestra en la figura 7.

Para el cálculo de movilidad o grados de libertad del mecanismo propuesto se utilizó la ecuación 5 Gruebler (Shigley, *et al*, 1998), la cual se considera 4 eslabones, 4 uniones de orden principal y cero uniones de orden superior.

$$\text{grados de libertad} = 3(4 - 1) - 2(4) - 0 = 1 \dots\dots\dots(5)$$

Analizando los resultados obtenidos de la ecuación de Grubler se encontró que solo necesita un actuador para accionar el mecanismo propuesto.

Para verificar que el mecanismo que se esta proponiendo cumple con los objetivos de trabajo, se aplica el criterio de grashof a nuestro mecanismo con las medidas consideradas en los planos, en la cual se puede determinar si el mecanismo planteado siempre tiene movimiento y cuando se cumpla con la siguiente condicion (Ecuación 6):

$$s + l \leq p + q \dots\dots\dots(6)$$

Donde :

s= longitud del eslabon mas corto.

l= longitud del eslabon mas largo

p,q= eslabones de longitud intermedia

De acuerdo a los criterios establecidos por Myszka (2012), se puede clasificar al mecanismo planeado de tipo manivela-balancin, la cual se describe en la figura 7.

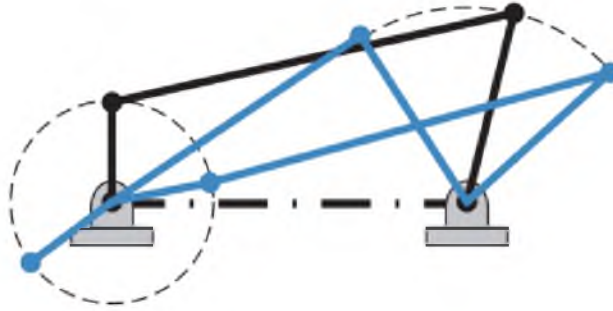


Figura 7. Mecanismo de cuatro barras de tipo manivela-balancin

6.4.2 Posición, velocidad y aceleración de un mecanismo de cuatro barras

Considerando la Figura 8, donde se presenta el mecanismo de cuatro eslabones (L_1 , L_2 , L_3 , L_4) con uniones (A, B, C, D) y ángulos de los eslabones con respecto a la horizontal (θ_1 , θ_2 , θ_3) y ángulo γ entre eslabones 3 y 4, las ecuaciones de posición (Ecuaciones 7, 8, 9, 10) de manera analítica son:

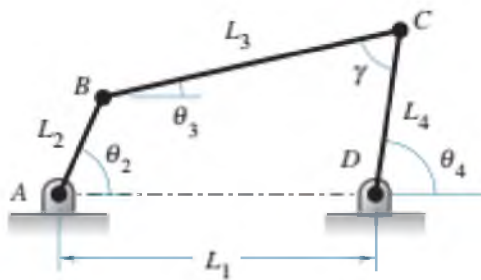


Figura 8. Diagrama del mecanismo de cuatro barras

Las ecuaciones que describen las posiciones del mecanismo propuesto para el corte del fruto de piña, son las siguientes la posición del eslabón BD lo describe la ecuación 7,

ángulo de la posición de Gama (ecuación 8), ángulo de theta 3 (ecuación 9) y el ángulo de theta 4 (ecuación 10)

$$BD = \sqrt{L_1^2 + L_2^2 - 2(L_1)(L_2) \cos(\theta_2)} \dots\dots\dots(7)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left[\frac{(L_3)^2 + (L_4)^2 - (BD)^2}{2(L_3)(L_4)} \right] \dots\dots\dots(8)$$

$$\theta_3 = 2 \tan^{-1} \left[\frac{-L_2 \sin \theta_2 + L_4 \sin \gamma}{L_1 + L_3 - L_2 \cos \theta_2 - L_4 \cos \gamma} \right] \dots\dots\dots (9)$$

$$\theta_4 = 2 \tan^{-1} \left[\frac{L_2 \sin \theta_2 - L_3 \sin \gamma}{L_2 \cos \theta_2 + L_4 - L_1 - L_3 \cos \gamma} \right] \dots\dots\dots (10)$$

Para encontrar la velocidad angular de los eslabones 3 y 4, es necesario derivar las ecuaciones de posición, encontrándose los nuevos modelos matemáticos (Ecuación 11 y 12)

$$\omega_3 = -\omega_2 \left[\frac{L_2 \sin(\theta_4 - \theta_2)}{L_3 \sin \gamma} \right] \dots\dots\dots(11)$$

$$\omega_4 = -\omega_2 \left[\frac{L_2 \sin(\theta_3 - \theta_2)}{L_4 \sin \gamma} \right] \dots\dots\dots(12)$$

De igual manera si se deriva con respecto al tiempo las ecuaciones de las velocidades angulares (Ecuación 11 y 12), se puede encontrar la aceleración de los eslabones 3 y 4 (Ecuación 13 y 14).

$$\alpha_3 = \frac{\alpha_2 L_2 \sin(\theta_2 - \theta_4) + \omega_2^2 L_2 \cos(\theta_2 - \theta_4) - \omega_4^2 L_4 + \omega_3^2 L_3 \cos(\theta_4 - \theta_3)}{L_3 \sin(\theta_4 - \theta_3)} \dots\dots\dots(13)$$

$$\alpha_4 =$$

$$\frac{\alpha_2 L_2 \sin(\theta_2 - \theta_3) + \omega_2^2 L_2 \cos(\theta_2 - \theta_3) - \omega_4^2 L_4 + \omega_3^2 L_3 \cos(\theta_4 - \theta_3) \omega_3^2 L_3}{L_3 \sin(\theta_4 - \theta_3)} \dots\dots\dots(14)$$

Existen métodos gráficos y numéricos para solucionar las ecuaciones anteriores y encontrar los valores característicos del mecanismo propuesto. Se presenta más adelante, los resultados gráficos para posición, velocidad y aceleración obtenidos a partir de simulación de movimiento en el software SolidWorks ®.

6.5 Análisis de los principales elementos

6.5.1 Análisis estático

Se realizó un análisis estático con malla tipo sólida, donde calcularon las fuerzas de cuerpo libre, el material que se fue utilizado fue AISI 1010 Barra de acero laminada en caliente, el modelo utilizado fue Isotrópico elástico lineal, con propiedades como límite elástico de 180 N.mm^2 , límite de tracción de $200,000 \text{ N.mm}^2$, coeficiente de Poisson de 0.29, densidad de 7.87 g.cm^{-3} , modulo cortante de $80,000 \text{ N.mm}^2$. El análisis estático fue de tipo VON: Tensión de Von Mises, obteniendo un min de $8.722e^{-02}$, y un máximo de $1.146e+00 \text{ N.mm}^2$, para la cuchilla fija (Figura 9) y para la cuchilla libre (Figura 10) de $2.003e+03 \text{ N.mm}^2$ y $5.050e+08 \text{ N.mm}^2$ respectivamente, para la cuchilla libre los valores son menores ya que el estudio lo interpreta como una viga en precipicio, por ende, al aplicar una carga en el extremo tiende a tener un momento, por lo cual se ocasiona una deformación.

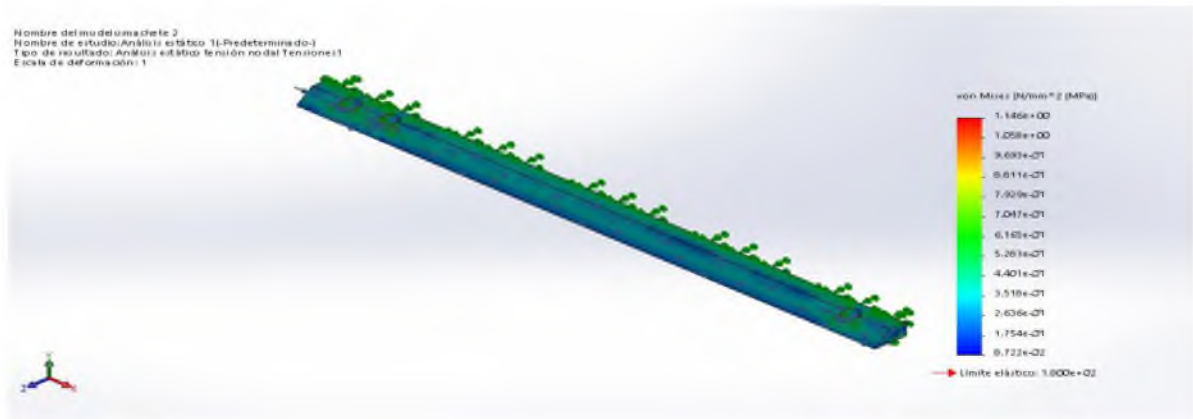


Figura 9 cuchilla fija 2 Análisis estático 1 cuchilla fija

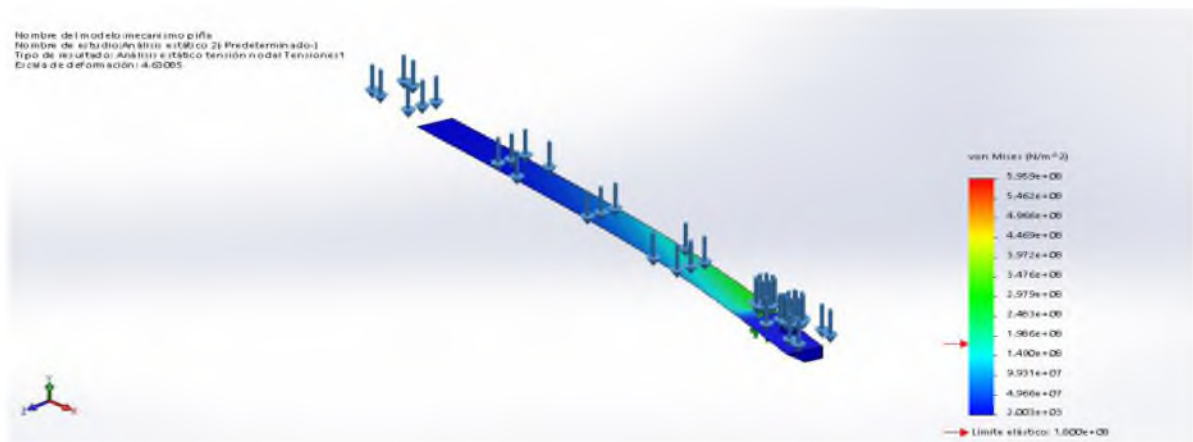


Figura 10 cuchilla libre 1 Análisis estático 2-Tensiones

Para realizar el estudio de desplazamiento estático se ocupó el modelo URES, con valores de $1.061e^{-01}$ mm y $1.014e^{+01}$ mm para el caso de la cuchilla libre (Figura 11) y para la cuchilla fija (Figura 12) sus valores fueron $0.000e^{+00}$ mm $2.042e^{-04}$ mm cabe recalcar que los valores son mínimos y máximos respectivamente, en la cuchilla fija se presenta un desplazamiento mayor, debido a las sujeciones que tiene, es decir la cuchilla con movimiento solo tendrá un desplazamiento en el área libre, Figura 11 mientras que la cuchilla fija Figura 12 el desplazamiento afecta a toda la cuchilla

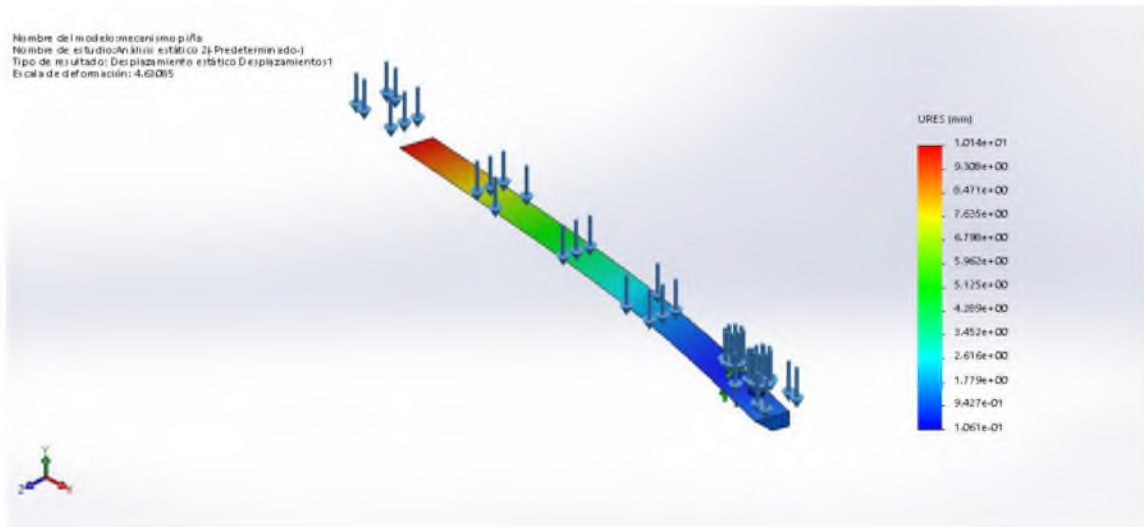


Figura 11 Análisis estático 1-Desplazamientos cuchilla libre

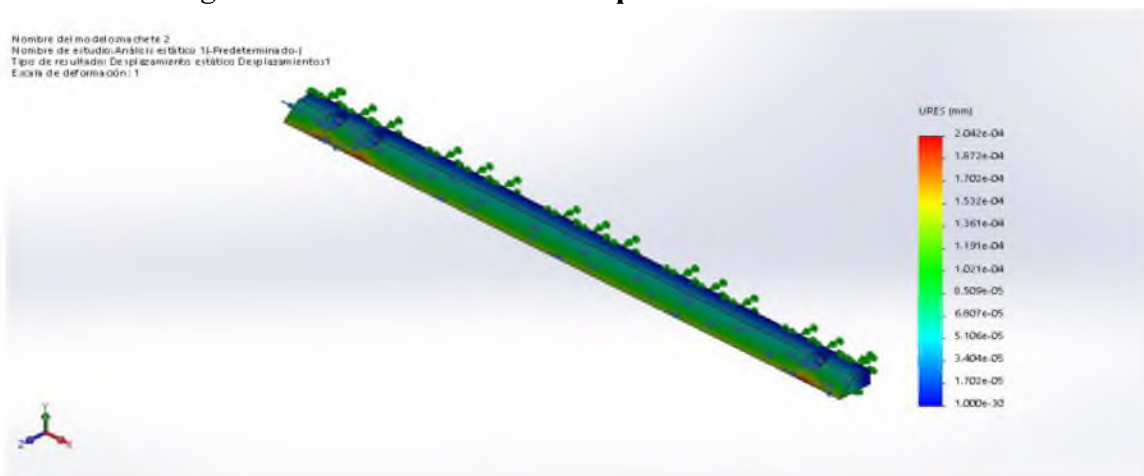


Figura 12 Análisis estático 2-Desplazamientos cuchilla fija

Para simular la deformación unitaria equivalente SolidWorks ocupó un análisis tipo ESTRN, con el cual se obtuvieron datos de $3.868e^{-07}$ como mínimo y de $2.973 e^{-6}$ como máxima para la cuchilla fija Figura 13 y una deformación mínima de $1.403e^{-8}$ mínima y $1.906e^{-3}$ máxima para el caso de la cuchilla libre (Figura 14), la deformación afecta a toda la cuchilla fija (Figura 13), mientras que la cuchilla libre solo se ve afectada en una zona en específico cercana a la sujeción de la misma.

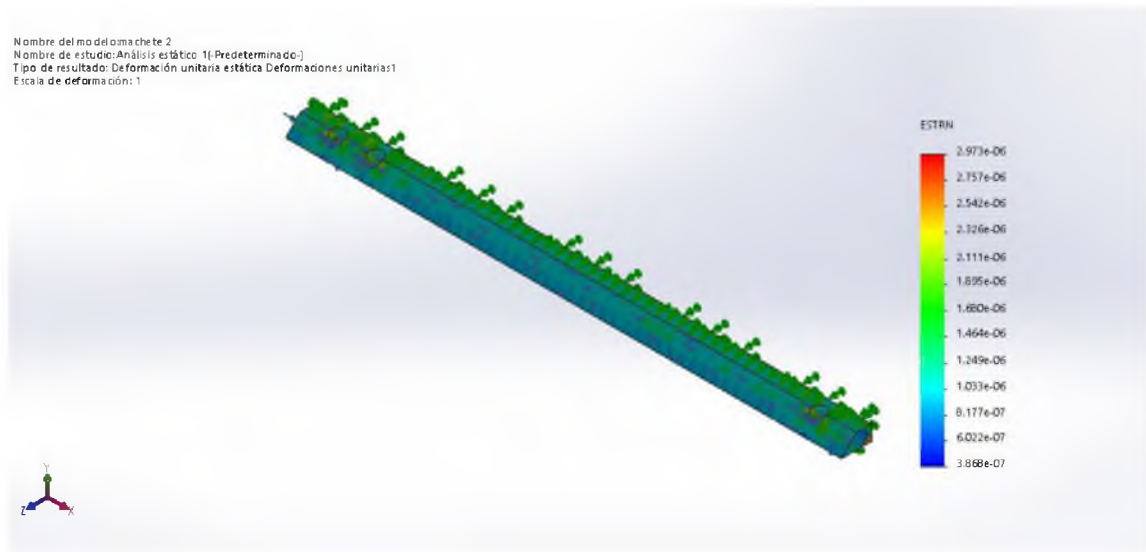


Figura 13 Análisis estático deformaciones unitarias cuchilla fija

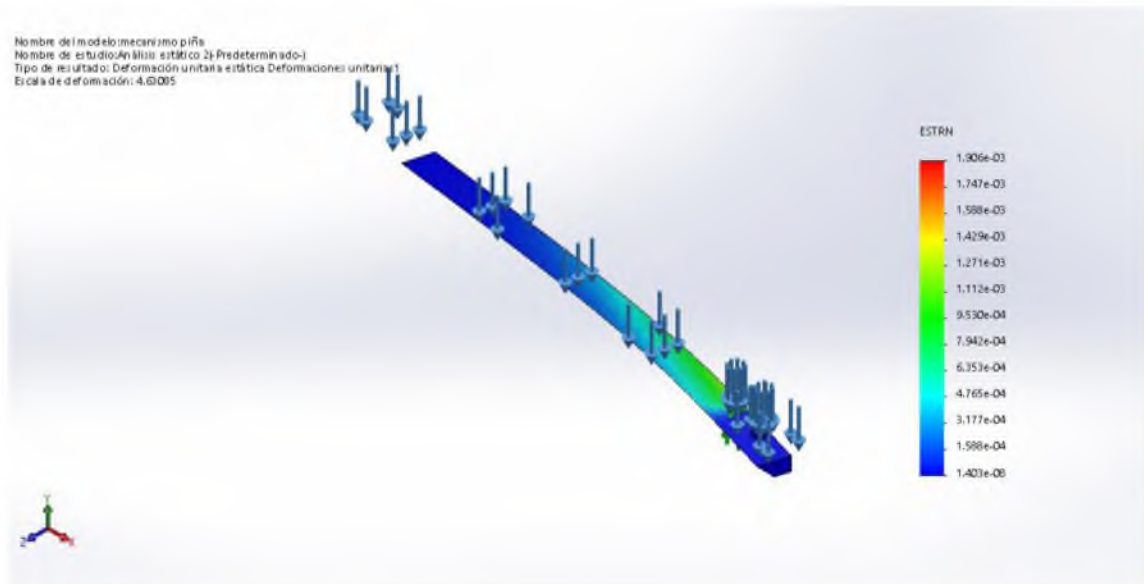


Figura 14 Análisis estático 2 deformaciones unitarias cuchilla libre

6.5.2 Análisis de movimiento

Para el análisis de movimiento se realizó un estudio con el Motion de SolidWorks®, en el cual simula el movimiento a partir de ciertos datos como, el tipo de activador, el cual puede ser un motor rotatorio, lineal o un motor de relación de posición de trayecto, al igual que se le pueden agregar resortes y amortiguadores al estudio.

6.5.2.1 Características mecánicas lineales

La Figura 15A describe el desplazamiento de una cuchilla en una posición inicial de más de 50.8 cm, en la cual la cuchilla está abierta, después inicia un recorrido de alrededor de 0.3 cm en un minuto y medio, permanece en esa posición por otro segundo, después comienza a avanzar hasta 50.9cm, tardando menos de 1 segundo en su desplazamiento, una vez que llega a su distancia máxima permanece ahí en la espera de que una fuerza vuelva a interactuar sobre ella

En la Figura 15B se muestra la velocidad de manera constante arriba de 0 cm.s^{-1} , pero menor a 4 cm.s^{-1} , luego de un tiempo la velocidad comienza a disminuir alcanzando la velocidad 0 cm.s^{-1} , y permanece de esa manera por unas fracciones de segundo, después por la interacción de una fuerza la aceleración se vuelve exponencial, con lo cual logra una velocidad máxima de 18 cm.s^{-1} , al mismo tiempo que sucede un frenado, que se presenta cuando el sistema ha llegado a su punto de equilibrio o su fase final con el cual vuelve a velocidad 0 cm.s^{-1} y se mantiene de forma permanente

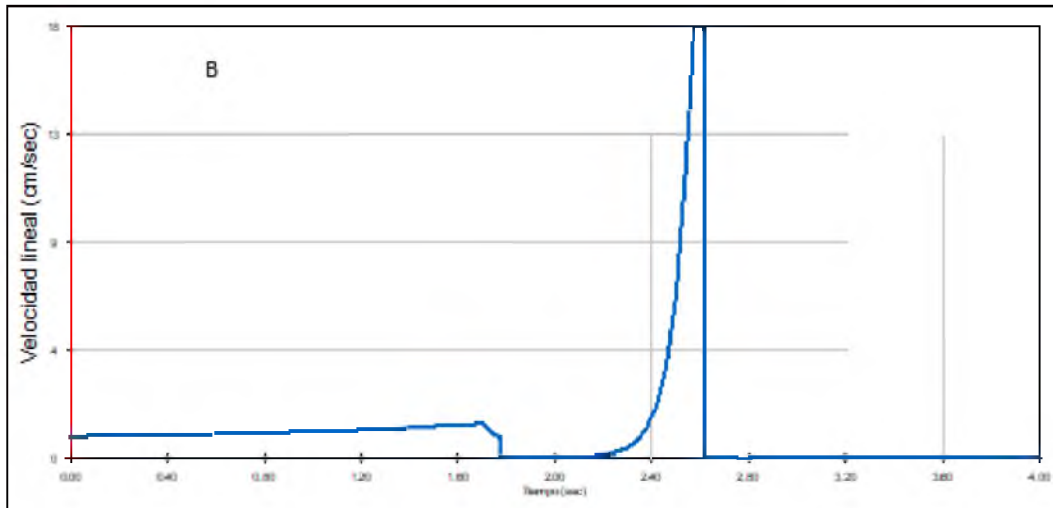
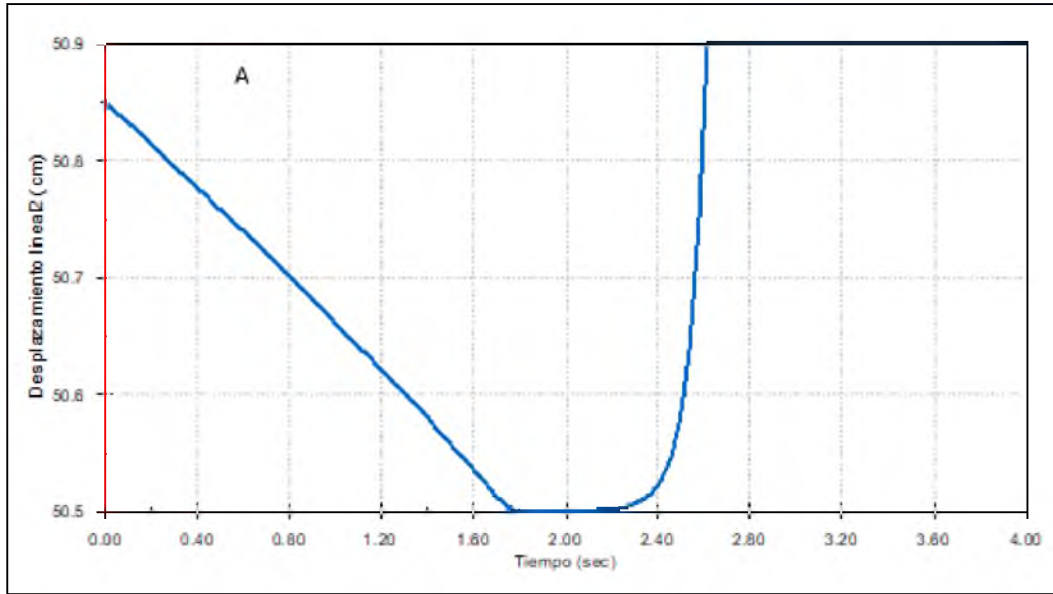


Figura 15. Desplazamiento y velocidad lineal A) Desplazamiento B) Velocidad

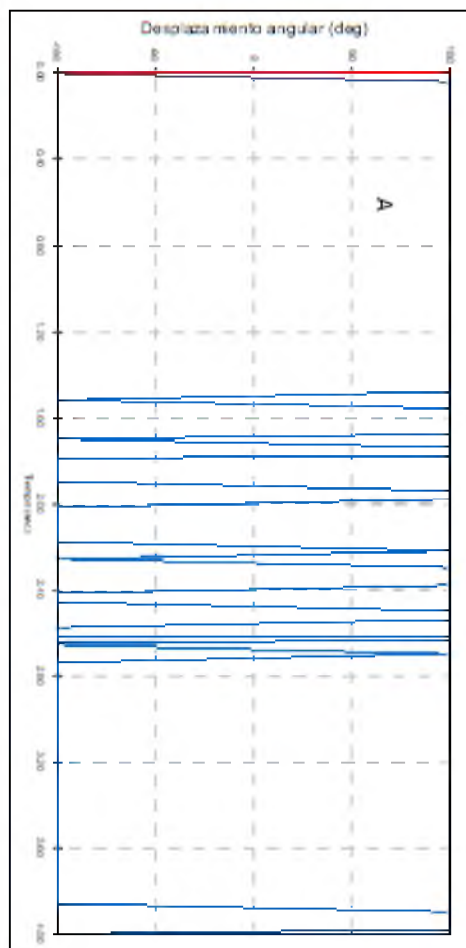
6.5.2.2 Características mecánicas angulares

El cambio de posición con respecto a los grados de libertad, el cambiando se genera de -180° a 180° con cada desplazamiento, en un tiempo de 1.40 segundos permanece constante el desplazamiento, y antes de los 2.60 segundos el desplazamiento se vuelve nulo, cerca de los 4 segundos se da un último desplazamiento, la cuchilla libre genera un movimiento giratorio, con el cual realiza el desprendimiento del fruto-pedúnculo Figura 16A.

La cuchilla se comporta de la misma manera que de forma lineal, comenzando con una velocidad constante de menos de $0.3142 \text{ rad. s}^{-1}$, después da comienzo a un frenado, hasta llegar con la otra cuchilla, en donde dura unas milésimas de segundo, hasta que una fuerza externa ejercida por un resorte lo hace incrementar la velocidad a $1.274 \text{ rad. s}^{-1}$ temporalmente, siendo esta la velocidad máxima, acelera de manera exponencial, y se da por terminada la operación del corte de fruto de piña, Figura 16B.

En la Figura 16C se muestra que la aceleración que se genera en el primer segundo la cual es constante con un valor a 0 rad.s^{-1} , pasando ese tiempo sufre un incremento exponencial a $166.016 \text{ rad.s}^{-1}$, y a la siguiente milésima de segundo da inicio a una desaceleración, la cual pasa de reposo, un instante después una fuerza interviene para dar comienzo a una nueva aceleración de 41.504 rad/s^2 , la cual en determinado punto se vuelve estable de manera momentánea, para conseguir un último incremento sin alcanzar la aceleración antes mencionada, y comenzar una desaceleración que termina con el proceso de corte de la piña





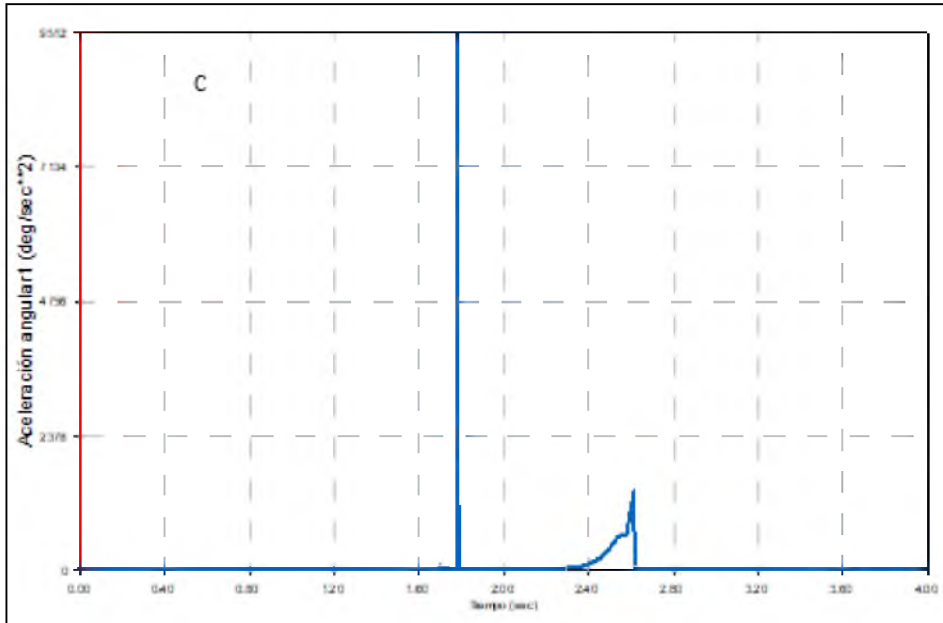


Figura 16 Desplazamiento, velocidad y aceleración angular A) Desplazamiento B) Velocidad C) Aceleración

6.5.2.3 Momento traslacional y angular

La Figura 17A muestra una aceleración constante menor a 0.01873 N.s , pasando un tiempo de un 1.60 segundos, comienza a decrecer, para después volverse constante en 0 N.s , pasando los dos segundos la aceleración incrementa de manera exponencial hasta alcanzar 0.07494 N.s , hasta volverse estable un par de milésimas de segundo después pierde aceleración de manera abrupta y permanece en reposo permanentemente

En el momento angular sucede lo mismo que en el momento traslacional, al inicio del desprendimiento de la fruta de piña la variación de la aceleración es menor a 0.0015027 Nm.s , después de un determinado tiempo disminuye para posteriormente aumentar a 0.0060107 Nm.s Figura 17B.

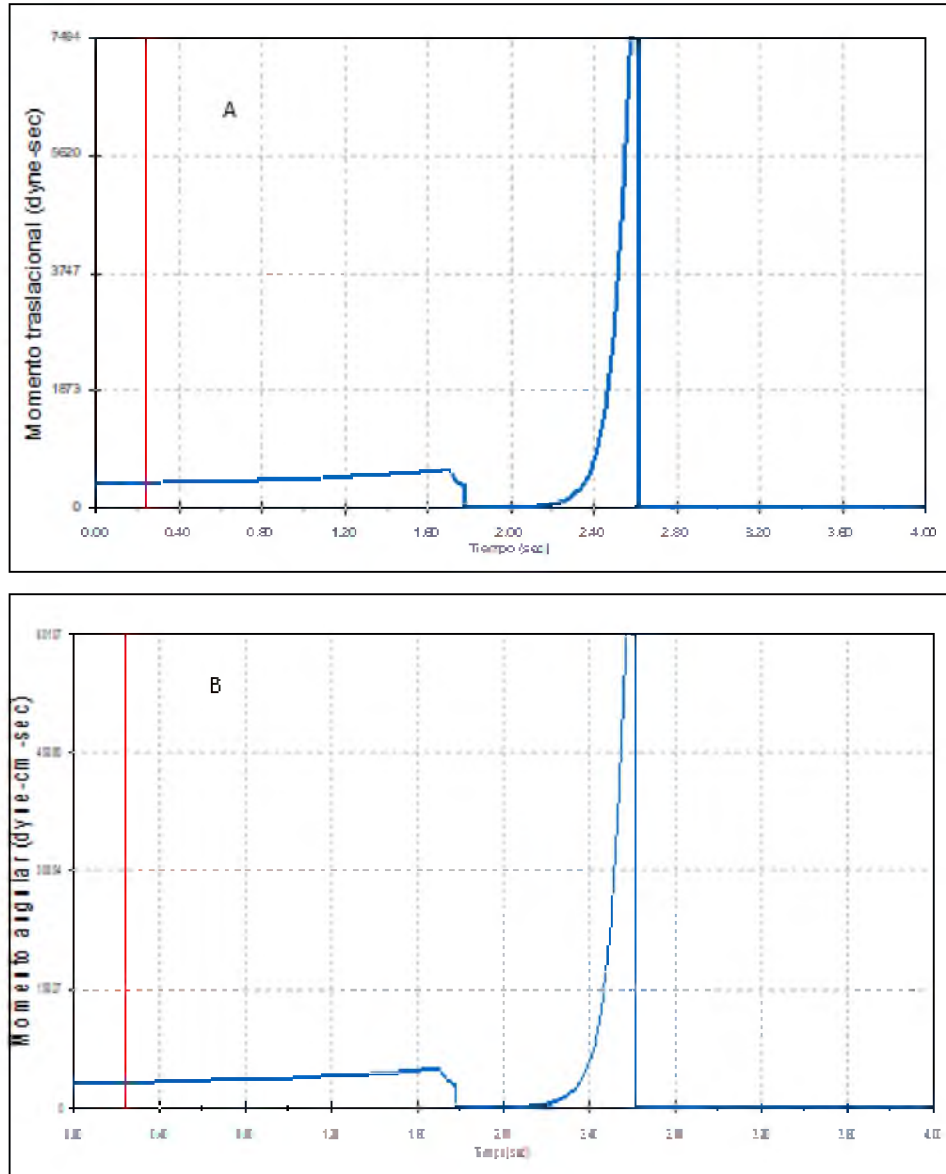


Figura 17. Gráfico momento A) traslacional y B) angular

6.5.2.4 Energía traslacional y angular

La Figura 18A describe el comportamiento de la energía traslacional, en un tiempo dado se mantiene constante en un valor a 0 segundos al transcurrir 2.40 segundos aumenta a 0.0066985 Joules y mintiéndose unas milésimas de segundos, para después ceder la energía y volver a ser constante 0 Joules.

En la Figura 18B se muestra un suceso similar al del gráfico de energía cinética traslacional, con la diferencia en la cantidad de energía empleada la cual es de 0.0038095 Joules, aumenta la energía de manera exponencial manteniéndose una fracción de tiempo y después pierde la energía.

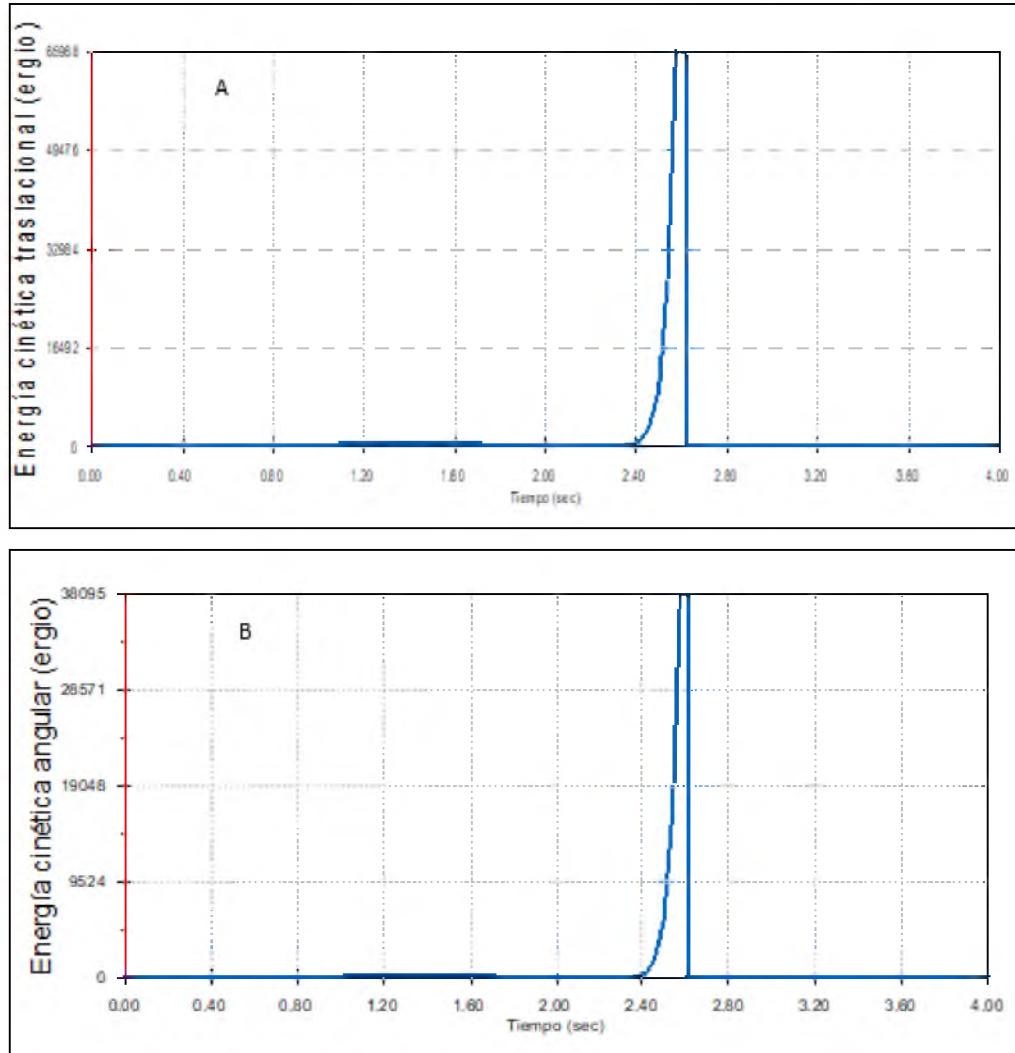


Figura 18. Gráfico energía cinética A) traslacional B) angular

6.6 Análisis económico del mecanismo propuesto

Para llevar a cabo este estudio se cotizó los costos de los diferentes materiales que se emplearan en la fabricación del prototipo, así como de la mano de obra empleada

Se debe tomar en cuenta los costos al emplear materiales como el PTR y otros aceros estos pueden variar en cuanto los precios ya que su valor en el mercado se encuentra cambiando constantemente.

De igual manera para la mano de obra, se manejan los costos que se tienen en la zona, establecidos por el personal calificado para llevar a cabo esa labor. En el cuadro 7 se describen los costos del material, así como de la mano de obra y el total de la construcción.

Cuadro 7. Costos de producción

Concepto	Costos (M.N Pesos mexicanos)
Material (PTR)	489.00
Mano de obra	1180.00
total	1669.00

6.7 Construcción del prototipo

Por la economía del proceso, se decidió construir el prototipo mediante impresión en 3D. Para poder llevar a cabo la impresión 3-D, se requirió el archivo en formato STL que el mismo SolidWorks permite generar este tipo de formato, para poder enviar el prototipo a la impresora. En la Figura 19 es un ejemplo del formato STL exportado desde SolidWorks®.

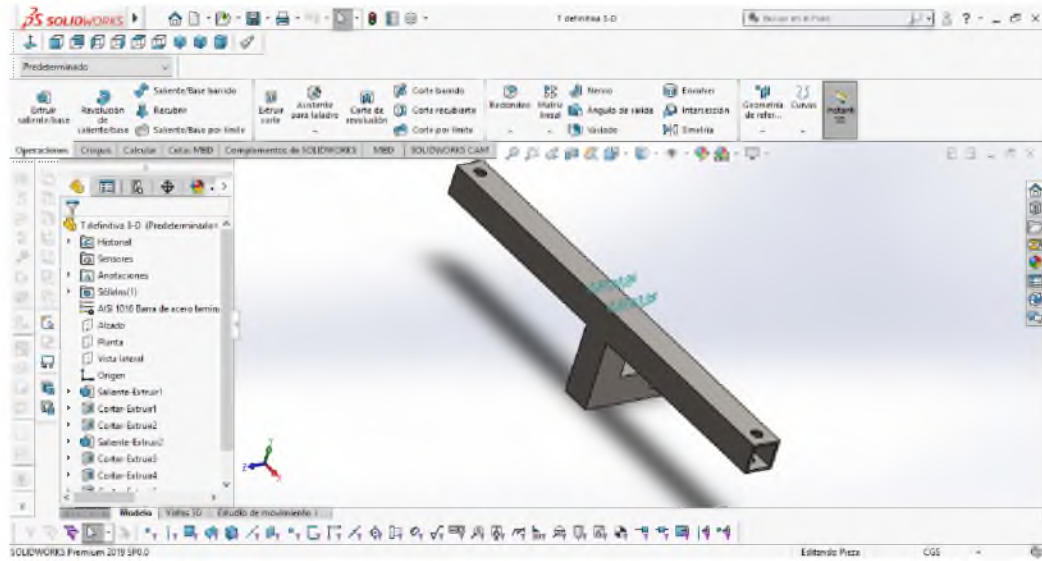


Figura 19 Vista isométrica de un elemento del prototipo en el SolidWorks

El software que se utiliza para imprimir es Ultimaker Cura versión 4.13.1, se puede apreciar la plataforma del programa en la Figura 20 en el cual se programa el proceso y características físicas del modelo, es decir se especifican las dimensiones de las piezas a imprimir, la forma en que será llenada, en este caso se eligió un relleno mediante rejilla, la calidad de los perfiles, el porcentaje de relleno, entre otras cosas, una vez establecido se codifica el archivo a lenguaje de la impresora.



Figura 20. Vista del elemento en el software de la impresora 3D

Para realizar la impresión es necesario la calibración Figura 21, empezando desde la cama de extrusión la cual se debe de nivelar para que el extrusor no tenga problemas a la hora de ir fundiendo el PLA, seguidamente se elige el objeto que se desea imprimir desde los comandos que presenta la pantalla del equipo de impresión 3-D, lo siguiente es precalentar el extrusor, así como la cama de extrusión, lo cual lo realiza la máquina de manera automática, con esto se finaliza el proceso de maquinado de las piezas, lo que sigue es esperar que el código no tenga ningún fallo y poder tener cada uno de los elementos que componen el prototipo, de acuerdo a lo que se aprecia en la Figura 22.



Figura 21. Calibración de la impresora en 3D

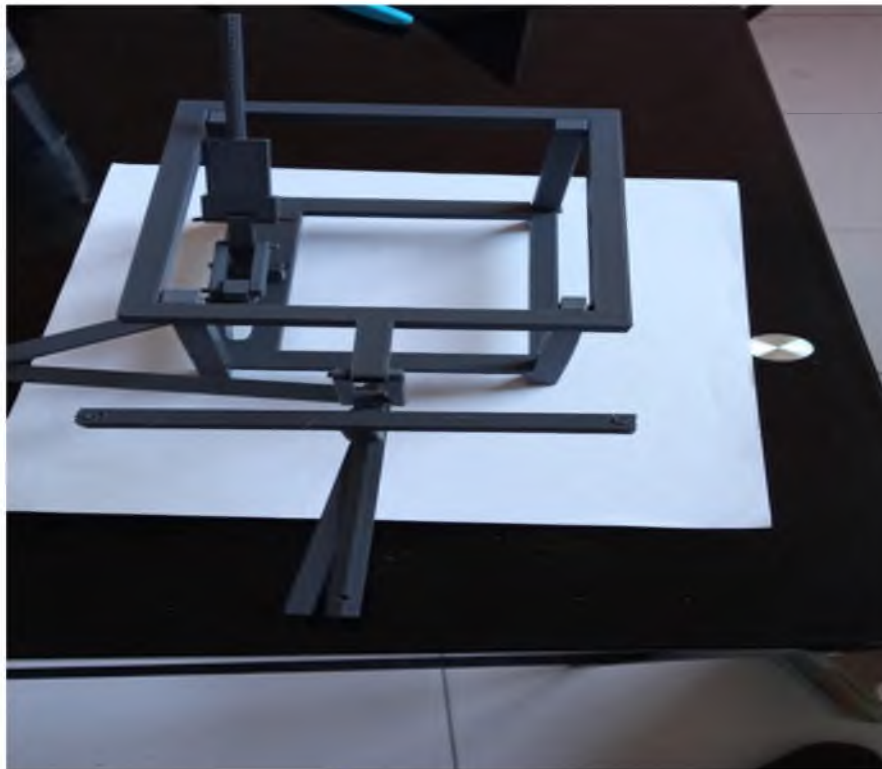


Figura 22. Prototipo impreso en 3D

7. CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se caracterizaron las propiedades físicas los frutos de piña y de la planta de la variedad MD2, parámetros como esfericidad, redondez, ángulo de deslizamiento, tamaños de corona y fruto, altura de la planta y tamaño de la hoja serán determinados. Se encontró que el promedio de la piña es de 11.86 cm.

Posteriormente, se diseñó el concepto de un mecanismo capaz de separar el fruto de piña del pedúnculo, de igual manera, se realizó el análisis estructural del prototipo mediante el análisis estático, estático-desplazamiento y deformaciones, se determinó que la carga máxima de la estructura es de un máximo de $1.146e+00 \text{ N.mm}^{-2}$, para la cuchilla fija y para la cuchilla libre de $5.050e+08 \text{ N.mm}^{-2}$ así como una deformación máxima es de $1.014e+01 \text{ mm}$ para el caso de la cuchilla libre y para la otra cuchilla su valor fue $2.042e-04 \text{ mm}$, se realizó la comprobación por medio del software SolidWorks, con ello se garantiza los requerimientos de desempeño y se enmarcan las limitaciones de diseño propuesto. Posteriormente, se calcularon los costos directos del mecanismo, en el cual se estableció que un costo de 1669.00 pesos mexicanos.

Finalmente, la propuesta de diseño tiene el funcionamiento deseado, es decir se mueve de manera adecuada para cortar el fruto de piña, teniendo en cuenta la profundidad y el recorrido de las cuchillas, esto de acuerdo al prototipo construido por impresión 3D. Este mecanismo requiere de pruebas de campo para corroborar la veracidad de su funcionamiento, así como también poder descubrir los fallos que tiene el sistema, para hacer los ajustes correspondientes.

El siguiente paso es diseñar un mecanismo que pueda transportar el fruto hacia un depósito o almacenamiento, así como también diseñar un vehículo que sea capaz de transportar

toda la carga con lo cual se construiría una maquina cosechadora de piña, también se pueden hacer diferentes pruebas con otros elementos de corte para realizar el desprendimiento del fruto, como cuchillas de aluminio o de acero inoxidable para hacer más eficaz el proceso, así como también diferentes tipos de sujeción de la fruta, como pinzas con una forma más redonda.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ajit K. Srivastava, Carroll E. Goering, Roger P. Rohrbach, Dennis R. Buckmaster, 2013. Engineering Principles of Agricultural Machines, Second Edition, Engineering Principles of Agricultural Machines, Second Edition. <https://doi.org/10.13031/epam.2013>
- Altendorf, S., 2019. Mayor tropical Fruits, market review 2017. Retrieved from CC BY-NC-SA 3.0 IGO. URL <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> fecha de consulta octubre de 2019
- BUDYNAS, RICHARD G. NISBETT, K.J., 2014. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, novena edicion McGraw Hill/ interamericana editores S.A de C.V, Ciudad de México, México
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2002. La problemática actual de la producción de piña en México palacio legislativo de san Lorenzo Ciudad de México, México.
- De Queiroz, D.M., Santos, F.L., Pinto, F.D.A.D.C., 2007. Analysis of coffee harvesting process by vibration. 2007 ASABE Núm. Doc. 071142 St. Joseph, Michigan
- Dominico Díaz, R.J.C.Cruz, A.E.G., 2002. Modelacion del proceso cosecha-manipulacion-transporte de la piña en la empresa de ciego de Ávila revista ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 11, núm. 2, pp. 37-40 Universidad Agraria de la Habana Fructuoso Rodríguez Pérez La Habana, Cuba disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93211207>. Rev. Ciencias Técnicas

Agropecu. 11. Fecha de consulta; enero de 2020

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). Las principales frutas tropicales. Análisis del mercado 2018. fecha de consulta: Septiembre de 2020 de <http://www.fao.org/3/ca5692es/CA5692ES.pdf>.

FAOSTAT [WWW Document], n.d. URL <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/> fecha de consulta: octubre de 2019.

FAOSTAT [WWW Document], n.d. URL <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/> Fecha de consuta: octubre de 2019.

José, M., Calzada, E., Jorge, M., Narváez, A., Mayor, O., 2017. Directorio.

MYSZKA, D. Máquinas y Mecanismos. 4ta ed. México: Pearson, 2012

Mott, R.L., 2006. Diseño de Elementos de Máquinas 4ta Edición Robert L. Mott 944.

Norton, R.L., 2011. Diseño de maquinaria: Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos (2a. ed. --). México D. F.: McGraw-Hill. .

Saldaña Robles, N., Gutiérrez Vaca, C., Serwatowski Hlawinska, R., Saldaña Robles, A., Flores Ortega, A., Quiroz Ramírez, C., Cabrera Sixto, J.M., García Barrón, S., Juárez Guaní, A., 2012. Propuesta de una cosechadora-desmenuzadora de Agave tequilana Weber para la producción de bioetanol y revisión de los procedimientos existentes. Acta Universitaria, vol 22, num. 2, febrero-marzo, 2012, pp. 9-18. universidad de Guanajuato, Guanajuato, México

Silveira Remus, J.A. 1998 Teoria y calculo de maquinas agricolas, Edit Pueblo y educacion, 419 pp

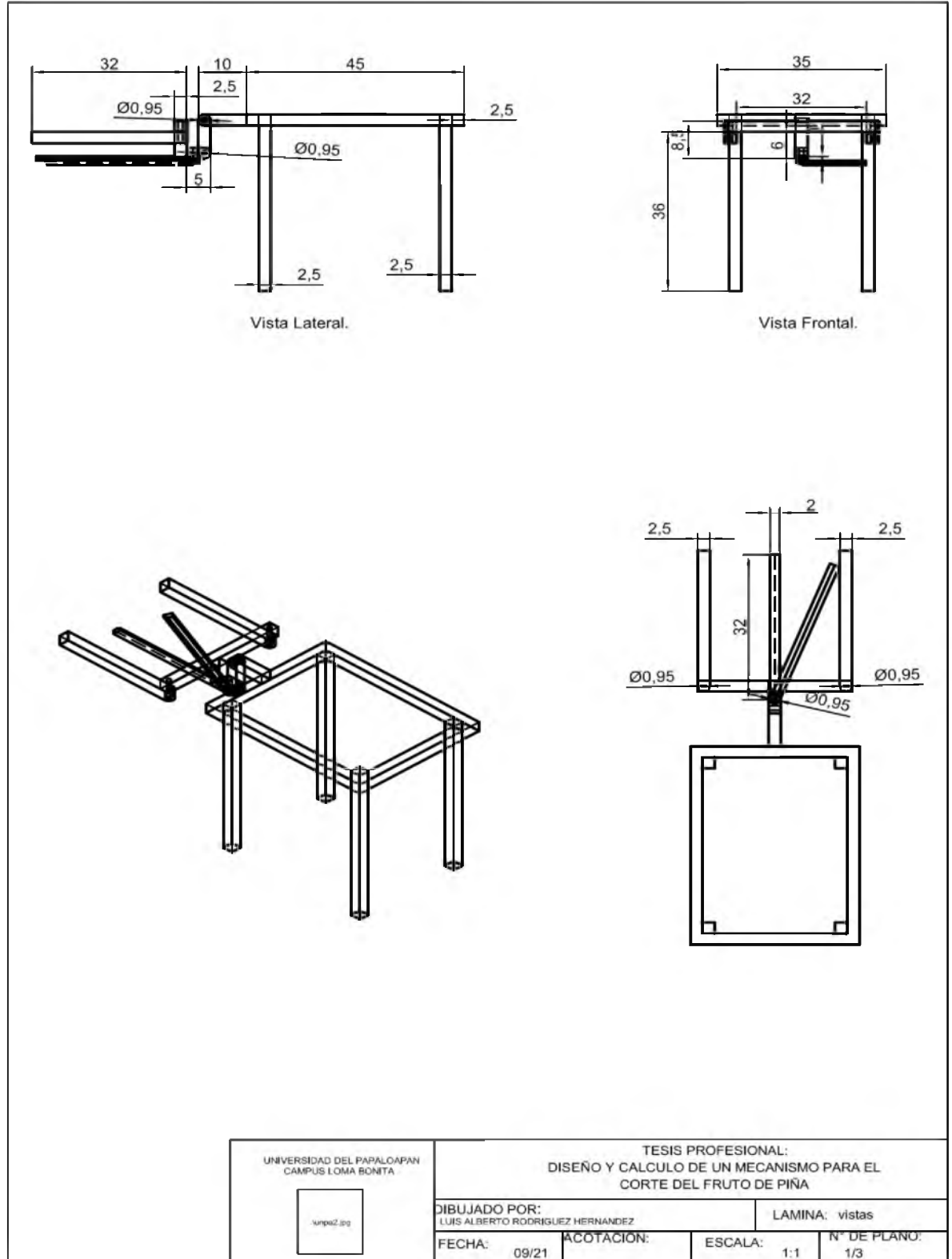
Uriza Ávila, D.E., Torres Ávila, A., Aguilar Ávila, J., Santoyo Córtes, V.H., Zetina Ledezma, R., & Rebolledo Martínez, A., 2018. La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación, colección Trópico húmedo, chapingo, Estado de México, México: UACH

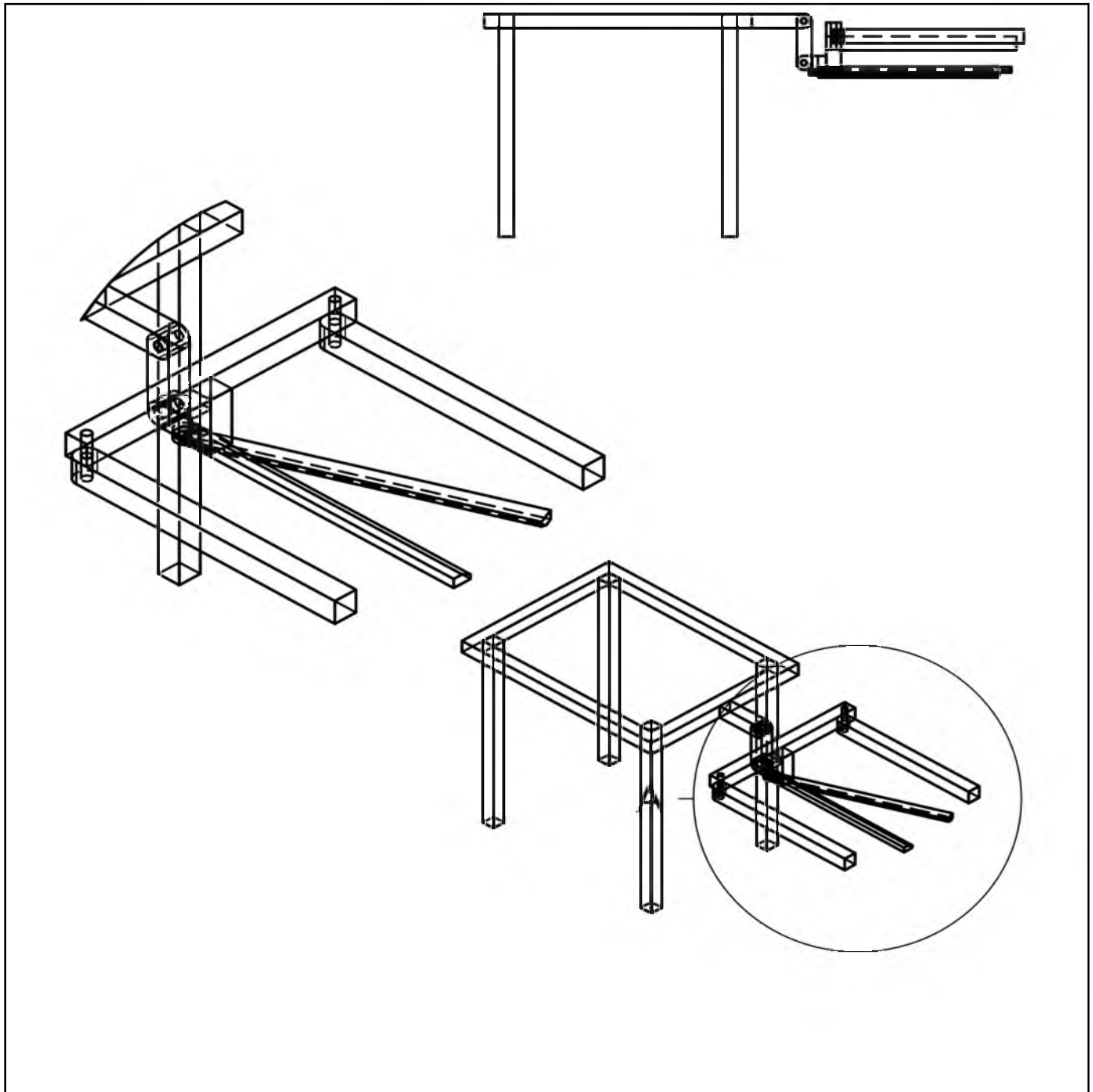
Uriza, D.E., 2011. Programa Estratégico para el Desarrollo Rural Sustentable de la Región Sur-Sureste de México: Tropicó Húmedo 2011. paquete tecnológico de piña MD2 (Ananas comosus var. comosus) Establecimiento y mantenimiento Sagarpa/INIFAP Veracruz, México

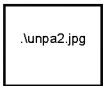
Vaca-Navarro, D., Gutiérrez-Vaca, C., Rucoba-García, A., Hernández-Ruiz, J., Hernández-Ruiz, J., Villafaña-Aguilera, A., 2019. Estudio de viabilidad económica y comercial para el prototipo de una cosechadora troceadora de agave. Rev. Tecnol. en Marcha 32, 12–19.

Yam, J.A., Villaseñor, C.A., Romantchik, E., Escobar, M.S., Peña, M.Á., 2010. Análisis de frutos de guayaba (*Psidium Guajava L.*) bajo compresión y su relación con los procesos fisiológicos. Ing. Agrícola y Biosist. 1, 63–68.

9. ANEXOS





UNIVERSIDAD PAPALOAPAN CAMPUS LOMA BONITA	DEL TESIS PROFESIONAL: DISEÑO Y CÁLCULO DE UN MECANISMO PARA EL CORTE DEL FRUTO DE PIÑA
	DIBUJADO: LUIS ALBERTO RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ LÁMINA: Figuras vistas lateral e isométricas con acercamiento al mecanismo de desprendimiento
FECHA: 09/2021	ACOTACIÓN: ESCALA: 1:1 N° DE PLANO: 2/3

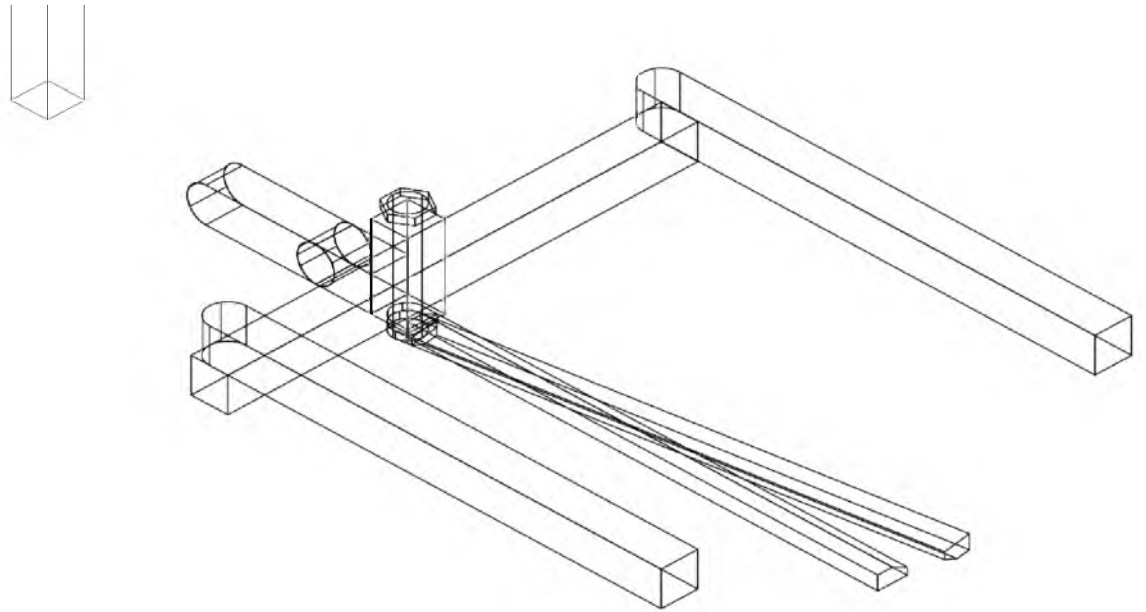
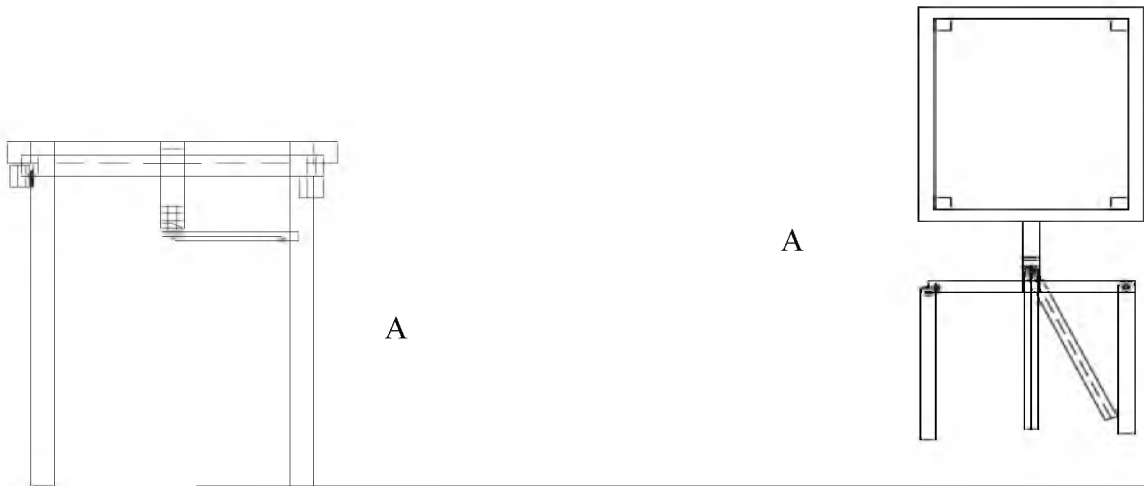
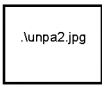


Figura soporte de las cuchillas, y pinzas para realizar el corte



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN CAMPUS LOMA BONITA 	TESIS PROFESIONAL: DISEÑO Y CÁLCULO DE UN MECANISMO PARA EL CORTE DEL FRUTO DE PIÑA		
	DIBUJADO: LUIS ALBERTO RODRIGUEZ HERNÁNDEZ		LÁMINA: Figuras vistas frontal y superior de Las cuchillas y sistema de sujeción del fruto
	FECHA: 09/2021	ACOTACION:	ESCALA: 1:1

XXIII

Congreso Internacional
y Congreso Nacional de
Ciencias Agronómicas
del 06 al 09 de octubre de 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



Otorga la presente

CONSTANCIA

a: **LUIS ALBERTO RODRIGUEZ HERNANDEZ**

Por su participación como

PONENTE

en la modalidad Cartel del trabajo titulado

CARACTERIZACION FISICA DE LA PLANTA DE PIÑA (*Ananas comosus*) PARA EL DISEÑO DE UN MECANISMO DE DESPRENDIMIENTO DE UNA MAQUINA COSECHADORA

cuyos autores son:

Rodríguez Hernández Luis Alberto, ~~Yam Tzec~~ José Antonio

Chapingo, Estado de México, del 06 al 09 de octubre de 2020

Dr. Juan Martínez Solís
Presidente

Dr. J. Jesús Magdaleno Villar
Secretario

M.C. Wendy Karina Casténum Ferro
Secretaria



Universidad del Papaloapan

otorga la presente

CONSTANCIA

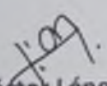
A: Luis Alberto Rodríguez Hernández

Por su ponencia :

Diseño de un mecanismo para desprendimiento del cultivo de piña

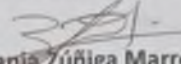
VIII Foro de Producción Animal y IV Foro de Agricultura Tropical

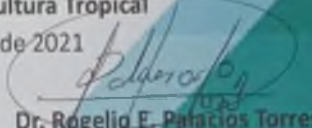
Loma Bonita, Oaxaca; 1 al 3 de diciembre de 2021


M. C. Héctor López Arjona
Vicerrector Académico



VICE-RECTORIA
ACADEMICA


Dra. Tania Zúñiga Marroquín
Jefa de Carrera
Licenciatura en Zootecnia


Dr. Rogelio E. Palacios Torres
Jefe de Carrera
Ingeniería Agrícola Tropical





