

Maquina descascaradora de higuierillas

José Cesar Valdés Nava

Instituto Tecnológico de Celaya

RESUMEN

La agricultura es un actividad de gran importancia en el bajío del México, ya que es la fuente de ingresos de gran cantidad de familias, desgraciadamente, los cambios climatológicos que se viven en la actualidad reducen en gran cantidad la producción y por ende, el ingreso económico de todas estas familias; es por ello, que el gobierno estatal ha realizado proyectos de cultivos alternativos, se les llama así, debido a que normalmente no se cultivan y por lo regular no son de consumo humano; un cultivo de este tipo debe tener las características principales, de soportar las condiciones climatológicas actuales, que se aseguren ganancias para el productor, que su cultivo no ponga en riesgo la demanda de productos alimenticios (arroz, maíz, trigo, etc.), entre algunas otras características. Pero como todo, siempre que se trabaja con algo nuevo, surgen nuevos retos a los que se le debe dar solución para poder continuar; algunos de estos retos para cultivos alternativos, semillas no tan eficientes, falta de maquinaria para dicho cultivo, suficiente demanda a la compra, miedo de los productores sobre un cultivo nuevo, entre otros.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 Justificación

La higuera es un cultivo alternativo que está tomando demasiada fuerza en algunos estados de la república mexicana, como lo es Aguascalientes, Oaxaca, Hidalgo, Guanajuato, Querétaro, entre otros; El gran crecimiento de este cultivo se debe a que crece con facilidad en zonas con climas cambiantes y radicales para otro tipo de cultivos, sus fruto (semillas) contiene aceite con sirven como materia prima para gran cantidad de productos (cosméticos, plásticos, medicinas, aceites automotrices, entre muchos otros) [1]; actualmente se han realizado diversas modificaciones en la semilla para que se obtengan mayor aceite por cosecha y así aumentar la ganancia y existe gran demanda de esta semilla, ya que muchas empresas tienen que importar este aceite de higuera de la India, China y Brasil [1]. Algunos de los retos que se enfrentan con este cultivo, es la inseguridad del productor, ya que comúnmente la higuera se cree que es maleza, además de que el aceite es altamente toxico para el ser humano si se llegara a ingerir, otro reto que enfrenta, es la falta de maquinaria para procesar el producto final (el aceite), ya que este se encuentra en las semillas que están dentro del fruto de la higuera, estas pequeñas semillas son muy frágiles, por lo que se rompen fácilmente, teniendo como resultado menor cantidad de aceite y por lo tanto, menor ganancia [2]. Extraer estas semillas del fruto de la higuera, se le llama descascarado y es una de las etapas críticas de la producción, ya que en cada hectárea se obtiene alrededor de 1.5 a 3 toneladas de fruto y actualmente el productor tarda demasiado descascarando [2], por lo que es necesario una máquina que descascare este fruto, entregando la semilla sin impurezas y lista para la extracción de aceite a una velocidad que haga factible esta operación. Actualmente existen algunas máquinas descascaradoras de higuera, las cuales hay que importar (elevando el costo de adquisición) y no cumplen con las necesidades de los productores mexicanos. Es por ello, que se decide realizar el diseño de una descascaradora de higuera que cumpla con todos los requerimientos de los productores (capacidad, tipo de alimentación, tamaño, etc.), dando solución a uno de los problemas

críticos de este cultivo alternativo; permitiendo así, elevar los ingresos de gran cantidad de familias en nuestro país.

1.2 Objetivo General

Dar solución al descascarado, el cual es uno de los problemas críticos a los que se enfrenta el cultivo de higuierilla, diseñando una máquina que cumpla con las especificaciones y satisfaga todas las necesidades que se tienen en dicho proceso.

1.3 Objetivos Específicos

- Diseñar una máquina que cumpla los siguientes requerimientos:
- Capacidad de descascarado de aproximadamente 500 kg/hr.
- Que funcione en el campo. (No utilizar electricidad).
- Que se pueda transportar fácilmente.
- Que se manipule con un solo operador.
- Que deje la semilla limpia. (Separar la cascara y las impurezas de la semilla).
- Un costo final, no mayor a \$90,000. M.N.

1.4 Caracterización del área de trabajo

El trabajo se llevara a cabo en dos áreas, la primera es una oficina, que cuenta principalmente con una computadora con software CAD y CAE (Solid Works y ANSYS) instalado, un pintarrón, y demás herramientas (calculadora, accesorios común de oficina, libros, etc.) para realizar el diseño mecánico. La segunda área en la que se va a trabajar es en un taller, que cuenta con las máquinas y herramientas (torno, plantas de soldar, esmeril, taladro, herramienta, etc.) necesarias para realizar diversos prototipos y el diseño final.

1.5 Problema a resolver

Al diseñar adecuadamente la máquina descascaradora de higuera, se estaría dando solución a uno de los problemas más importantes a los que se enfrenta el cultivo alternativo de higuera, permitiendo que los productores puedan vender la semilla limpia y lista para extraer el aceite, lo que les generara mayor ingreso, menor desgaste físico, una importante reducción de tiempo de trabajo y poder realizar el descascarado inmediatamente en el campo, reduciendo el riesgo de alguna intoxicación (ya que el descascarado actualmente lo realizan en sus hogares.)

1.6 Alcances

Al diseñar la máquina satisfactoriamente y que sea del gusto de los productores, se puede vender en toda la república mexicana, incluso, se puede vender a otros países que están interesados en este cultivo, países como Colombia, Brasil, Israel, Argentina, Chile, entre algunos otros.

1.7 Limitaciones

Las principales limitaciones, es el hecho, de que no se tiene suficiente fruto de higuera, el cual es necesario para poder realizar las pruebas necesarias para analizar el comportamiento y las fuerzas que se requieren para realizar el correcto descascarado, tampoco se cuenta con la máquina fresadora, la cual es necesaria para hacer los engranes, elementos que seguramente usara la descascaradora de higuera y finalmente, se cuenta con lapso de tiempo corto, se requiere terminar el diseño en 2 meses y medio.

2. MARCO TEORICO

En este capítulo se describe el proceso de descascarado de higuera, posteriormente se mencionan brevemente la metodología de diseño, algunos de los elementos estructurales principales, se explican procesos de fabricación usados para la construcción de la máquina y finalmente se hace referencia a los programas utilizados de CAE y CAD como Ansys-WorkBench y SolidWorks.

2.1 Descascarado de higuera

El descascarado consiste básicamente en quebrar la cascara del fruto de la higuera y así obtener una pequeña semilla, el aceite se obtiene en un proceso llamado extracción y es independiente del descascarado.

La higuera tiene como frutos pequeñas bolitas (véase figura 2.1), el fruto se encuentra ubicado en lo más alto de la planta; se corta y posteriormente se deja secar al sol para que la cascara sea mas frágil y el descascarado mucho más sencillo, una vez que el fruto está seco, se debe quebrar la cascara y así obtener la semilla (véase figura 2.2), finalmente es necesario separar los pequeños pedazos de cascara de la semilla, para que esta pueda pasar a la extracción de aceite sin impurezas.



Figura 2.1.



Figura 2.2.

2.2 Metodología de diseño

Ante un nuevo proyecto se pueden adoptar distintas formas de aproximación, a esto se le llama metodologías del diseño. Estas metodologías se pueden emplear de forma unitaria o combinándolas entre sí para obtener un nuevo enfoque. Se debe tener en cuenta que también influye el ámbito de aplicación, y las disciplinas implicadas en el proceso del proyecto. En este caso, se trabaja con la metodología de diseño mecánico, la cual sigue los siguientes pasos:

1.- Diseño preliminar.

- 1.1 Planteamiento del problema.
- 1.2 Revisión del estado del arte del problema.
- 1.3 Definición del problema.

2.-Diseño básico.

- 2.1 División en subsistemas.
- 2.2 Planteamiento de alternativas de solución de subsistemas.
- 2.3 Selección de alternativas de solución.
- 2.4 Integración de subsistemas.

3.- Diseño de detalle.

- 3.1 Selección de elementos comerciales.
- 3.2 Síntesis y análisis de piezas manufacturadas.
- 3.3 Integración de elementos y subsistemas.
- 3.4 Planos de ensamble de taller.

4.- Prototipos y pruebas.

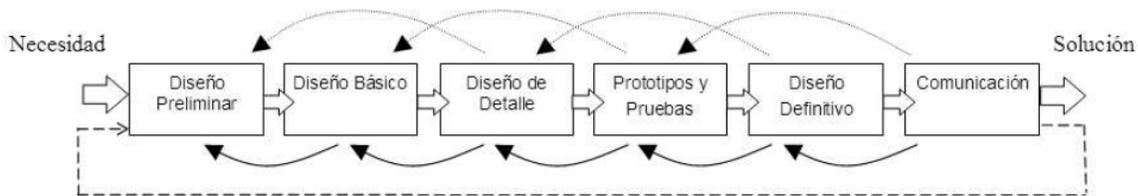
- 4.1 Prototipos virtuales (CAD 3D, CAE, CAM).
- 4.2 Pruebas estáticas y dinámicas.
- 4.3 Retroalimentación.

5.- Diseño definitivo.

- 5.1 Planos definitivos: detalle, taller, ensamble y explosión.
- 5.2 Diseño de detalles estéticos y especificaciones de acabados.
- 5.3 Construcción de la pieza en serie.

6.- Comunicación.

- 6.1 Manual de instalación, operación y mantenimiento.
- 6.2 Patente y registro comercial.
- 6.3 Catálogos comerciales.



Cada uno de los pasos tiene su grado de importancia y es importante trabajar en cada uno de ellos para que el resultado sea satisfactorio.

2.3 Diseño de máquinas

Una máquina puede definirse como un aparato formado de unidades interrelacionadas llamadas elementos de máquina, que están dispuestas con el objeto de transformar movimientos y fuerzas. Esta relación entre fuerzas y movimiento distingue el diseño de máquinas del de estructuras; en este último sólo se consideran fuerzas estáticas, mientras que para el primero, se incluye además el análisis de las cargas dinámicas asociadas al movimiento, masa y geometría de cada elemento; de aquí la importancia de los prerrequisitos de la materia.

2.3.1 Diseño de elementos de máquinas

El diseño de elementos de máquinas es parte integral del más extenso y general campo de diseño mecánico. Los aparatos mecánicos comprenden piezas móviles que transmiten potencia y ejecutan pautas específicas de movimiento; es por ello que para diseñar aparatos mecánicos es necesario realizar el diseño mecánico de elementos individuales que componen el sistema; pero también debe poder integrar varios componentes y equipos en un sistema coordinado para satisfacer las necesidades.

2.3.1.1 Materiales

Los materiales de uso corriente en ingeniería se pueden clasificar en dos grandes grupos, a saber:



- Aleaciones ferrosas: Las aleaciones ferrosas se pueden clasificar en aceros y

fundiciones de hierro (hierros colados). Los aceros dependiendo de su contenido de carbono y de otros elementos de aleación se clasifican en:

- Aceros simples.
 - Aceros aleados.
 - Aceros alta aleación.
-
- Aleaciones no ferrosas: El material no ferroso más usado en la actualidad es el aluminio y las aleaciones que forman los siguientes elementos: Cu, Mg, Ni, Si, Zn, Li, etc.
 - Materiales no metálicos: Los materiales no metálicos están constituidos principalmente por los siguientes grupos de materiales:
 - Plásticos.
 - Cerámicos
 - Materiales compuestos.

2.3.1.2 Teorías de falla

Se entiende por falla aquella situación en que un elemento mecánico ya no puede cumplir de manera satisfactoria con la función para la cual fue creado, ya sea porque se ha deformado plásticamente, se ha desgastado o se ha fracturado.

Las teorías de falla tratan de describir las condiciones bajo las cuales puede fallar un elemento mecánico. Por lo tanto, la falla de una pieza, implica estados de esfuerzos en un punto que superan la capacidad inherente del material de soportar dichas cargas, así la suposición básica que constituye el esfuerzo principal máximo o el esfuerzo cortante máximo, alcance o supere el valor del mismo parámetro obtenido en una prueba de tensión simple.

A lo largo de los años se han postulado un sin número de teorías de falla, mencionándose a continuación unas de las más importantes, así como el tipo del material para el que son

válidas.

- Teoría del Esfuerzo Normal Máximo (Materiales frágiles).
- Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo (Materiales dúctiles).
- Teoría de la Energía Máxima de la Distorsión (Materiales dúctiles).
- Teoría de Mohr Modificada (Materiales frágiles).

2.3.1.3 Flechas

Este término se utiliza para designar a cualquier barra giratoria que transmite potencia entre sus extremos.

Quizá la aplicación más importante de las flechas es transmitir potencia desde un sistema que la produce como puede ser un motor eléctrico, una turbina o un motor de combustión interna a un sistema que la consume, como puede ser un generador eléctrico, un compresor, las ruedas de un automóvil, etc.

2.3.1.4 Engranajes

Son elementos de máquinas que transmiten movimientos mediante un enganchamiento continuo de diente por lo tanto se trata de una transmisión positiva, la relación de velocidades entre elemento conductor y conducido se mantiene constante.

Los engranes se clasifican de acuerdo a la posición relativa de acuerdo a las flechas que conectan, existiendo varios tipos de ellos para cada una de las posiciones, tal como se muestra a continuación:

- Flechas paralelas:
 - Dientes rectos.
 - Dientes helicoidales.

- Doble helicoidales.
- Herringbone.

- Flechas que se intersectan:
 - Cónicos rectos.
 - Cónicos espirales.
 - Zerol.
 - Hipoides.

- Flechas que ni son paralelas y ni se intersectan:
 - Sinfín-corona.
 - De sinfín Cavex
 - Helicoidales cruzados.
 - Espiroides.

- Engranajes especiales:
 - Internos.
 - Piñon-cremallera.

2.3.1.5 Transmisiones flexibles

Son elementos de máquinas de amplio uso para la transmisión de potencia, usados generalmente cuando existe una distancia relativamente grande entre las flechas a conectar. Se pueden clasificar de manera general como se muestra a continuación:

- Bandas:
 - Planas.
 - Trapezoidales.
 - Dentadas.
 - Hexagonales.
 - Redondas.

- Cadenas:
 - De rodillos.
 - De dientes invertidos.

2.3.1.6 Rodamientos

En las máquinas y mecanismos se utilizan con frecuencia órganos de transmisión del movimiento, y muy especialmente, del movimiento de rotación, entre los que se pueden destacar árboles y ejes.

Los árboles giran apoyados sobre soportes dispuestos en sus extremos, debiendo estar estos soportes suficientemente dimensionados para poder resistir con toda seguridad los esfuerzos que les transmitan aquellos.

En árbol no gira directamente sobre el soporte, sino que entre ambo se sitúa un elemento intermedio denominado cojinete. En este cojinete, el rozamiento que se produce como consecuencia del giro del árbol, no debe sobrepasar los límites admisibles, reduciéndose éste por medio de una lubricación adecuada.

2.4 Procesos de fabricación

Un proceso de fabricación es el conjunto de operaciones unitarias necesarias para modificar las características de las materias primas. Dichas características pueden ser de naturaleza muy variada tales como la forma, la densidad, la resistencia, el tamaño o la estética.

Para la obtención de un determinado producto serán necesarias multitud de operaciones individuales de modo que, dependiendo de la escala de observación, puede denominarse proceso tanto al conjunto de operaciones desde la extracción de los naturales necesarios hasta la venta del producto como a las realizadas en un puesto de trabajo con una

determinada máquina/herramienta.

La producción, la transformación industrial, la distribución, la comercialización y el consumo son las etapas del proceso productivo.

2.4.1 Torneado

Estas máquinas-herramienta operan haciendo girar la pieza a mecanizar (sujeta en el cabezal o fijada entre los puntos de centraje) mientras una o varias herramientas de corte son empujadas en un movimiento regulado de avance contra la superficie de la pieza, cortando la viruta de acuerdo con las condiciones tecnológicas de mecanizado adecuadas. Desde el inicio de la Revolución industrial, el torno se ha convertido en una máquina básica en el proceso industrial de mecanizado.

La herramienta de corte va montada sobre un carro que se desplaza sobre unas guías o rieles paralelos al eje de giro de la pieza que se tornea, llamado eje Z; sobre este carro hay otro que se mueve según el eje X, en dirección radial a la pieza que se tornea, y puede haber un tercer carro llamado charriot que se puede inclinar, para hacer conos, y donde se apoya la torreta portaherramientas. Cuando el carro principal desplaza la herramienta a lo largo del eje de rotación, produce el cilindrado de la pieza, y cuando el carro transversal se desplaza de forma perpendicular al eje de simetría de la pieza se realiza la operación denominada refrenado.

Los tornos copiadores, automáticos y de control numérico llevan sistemas que permiten trabajar a los dos carros de forma simultánea, consiguiendo cilindrados cónicos y esféricos. Los tornos paralelos llevan montado un tercer carro, de accionamiento manual y giratorio, llamado charriot, montado sobre el carro transversal. Con el charriot inclinado a los grados necesarios es posible mecanizar conos. Encima del charriot va fijada la torreta portaherramientas.

2.4.2 Taladrado

El taladro es una máquina herramienta donde se mecanizan la mayoría de los agujeros que se hacen a las piezas en los talleres mecánicos. Destacan estas máquinas por la sencillez de su manejo. Tienen dos movimientos: El de rotación de la broca que le imprime el motor eléctrico de la máquina a través de una transmisión por poleas y engranajes, y el de avance de penetración de la broca, que puede realizarse de forma manual sensitiva o de forma automática, si incorpora transmisión para hacerlo.

2.5 Vibraciones mecánicas

Una vibración mecánica es el movimiento de una partícula o cuerpo que oscila alrededor de una posición de equilibrio. La mayoría de las vibraciones en máquinas y estructuras son indeseables debido al aumento de los esfuerzos y pérdidas de energía que las acompañan. Por lo tanto, es necesario eliminarlas o reducirlas en el mayor grado posible mediante diseño apropiado.

Las vibraciones mecánicas pueden clasificarse desde diferentes puntos de vistas como se muestra a continuación:

- Dependiendo de la excitación:
 - Vibración libre.
 - Vibración forzada.

- Dependiendo de la disipación de la energía:
 - Amortiguada.
 - No amortiguada.

- Dependiendo de la linealidad de los elementos:
 - Lineal.
 - No lineal.

2.6 Dibujo asistido por computadora (CAD)

El diseño asistido por computadora es el uso de un amplio rango de herramientas

computacionales que asisten a ingenieros, arquitectos y a otros profesionales del diseño en sus respectivas actividades.

Estas herramientas se pueden dividir básicamente en programas de dibujo en dos dimensiones (2D) y modeladores en tres dimensiones (3D). Las herramientas de dibujo en 2D se basan en entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos y polígonos, con las que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Los modeladores en 3D añaden superficies y sólidos.

El usuario puede asociar a cada entidad una serie de propiedades como color, usuario, capa, estilo de línea, nombre, definición geométrica, etc., que permiten manejar la información de forma lógica. Además pueden asociarse a las entidades o conjuntos de éstas otro tipo de propiedades como material, etc., que permiten enlazar el CAD a los sistemas de gestión y producción.

2.6.1 SolidWorks

SolidWorks es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico. Es un modelador de sólidos paramétrico.

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

2.7 Método de elementos finitos (MEF)

El método de Elementos Finitos (FEA – Finite Element Analysis) tiene múltiples aplicaciones en el análisis y en el diseño en distintos campos de la Ingeniería, tales como

en construcciones metálicas, maquinaria industrial e hidráulica, aeronáutica, entre otros. El software para la solución de problemas por medio del método de elementos finitos ANSYS, es actualmente usado por diferentes empresas, universidades y centros de investigación en todo el mundo.

El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios, pero en menor número, ya que el primero puede acercarse bastante más al diseño óptimo.

La idea general del método de los elementos finitos es la división de un continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no.

En cualquier sistema a analizar podemos distinguir entre:

1. Dominio. Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema.
2. Condiciones de contorno. Variables conocidas y que condicionan el cambio del sistema: cargas, desplazamientos, temperaturas, voltaje, focos de calor, etc.
3. Incógnitas. Variables del sistema que deseamos conocer después de que las condiciones de contorno han actuado sobre el sistema: desplazamientos, tensiones, temperaturas, etc.

El método de los elementos finitos supone, para solucionar el problema, el dominio discretizado en subdominios denominados elementos. El dominio se divide mediante puntos (en el caso lineal), mediante líneas (en el caso bidimensional) o superficies (en el

tridimensional) imaginarias, de forma que el dominio total en estudio se aproxime mediante el conjunto de porciones (elementos) en que se subdivide. Los elementos se definen por un número discreto de puntos, llamados nodos, que conectan entre sí los elementos. Sobre estos nodos se materializan las incógnitas fundamentales del problema^[8].

En el caso de elementos estructurales estas incógnitas son los desplazamientos nodales, ya que a partir de éstos podemos calcular el resto de incógnitas que nos interesen: tensiones, deformaciones, etc. A estas incógnitas se les denomina grados de libertad de cada nodo del modelo. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo.

2.7.1 Ansys-Workbench

Ansys-WorkBench es un revolucionario entorno de trabajo que permite integrar en una sola herramienta desde los análisis preliminares más simples hasta los más complejos estudios de detalle y validación. La eficacia del entorno se basa en tres pilares básicos: la facilidad de manejo, la automatización del proceso de simulación y la transferencia de información.

Ansys-WorkBench es, por tanto, un sistema que les va a permitir integrar todas las herramientas necesarias a lo largo del desarrollo: generación y modificación de la geometría, simulación de su comportamiento, estudio de modelos de elementos finitos, estudios de sensibilidad y optimización de cualquier parámetro, conexiones con diferentes CAD 3D, PDM e incluso la integración de software propio de su empresa al ser Ansys-WorkBench una plataforma abierta y fácilmente programable.

2.8 Mantenimiento

Es una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de

confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones, etc.

El mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas. Decimos que algo falla cuando deja de brindarnos el servicio que debía darnos o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el bien en cuestión.

2.8.1 Objetivos del mantenimiento

El mantenimiento tiene una serie de objetivos, los principales objetivos se enlistan a continuación:

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar las fallas sobre los bienes.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o paro de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidente y aumentar la seguridad de las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Balancear el costo de mantenimiento con el correspondiente lucro cesante.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

2.8.2 Tipos de mantenimiento

Tradicionalmente, se han distinguido 5 tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen:

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento predictivo.

- Mantenimiento cero horas (Overhaul).
- Mantenimiento en uso.

3. DESARROLLO

La metodología que se utilizó durante el proceso de diseño de la maquina descascaradora de higuera se describe a continuación:

1.- Diseño preliminar.

- 1.1 Planteamiento del problema.
- 1.2 Revisión del estado del arte del problema.
- 1.3 Definición del problema.

2.-Diseño básico.

- 2.1 División en subsistemas.
- 2.2 Planteamiento de alternativas de solución de subsistemas.
- 2.3 Selección de alternativas de solución.
- 2.4 Integración de subsistemas.

3.- Diseño de detalle.

- 3.1 Selección de elementos comerciales.
- 3.2 Síntesis y análisis de piezas manufacturadas.
- 3.3 Integración de elementos y subsistemas.
- 3.4 Planos de ensamble de taller.

4.- Prototipos y pruebas.

- 4.1 Prototipos virtuales (CAD 3D, CAE, CAM).
- 4.2 Pruebas estáticas y dinámicas.
- 4.3 Retroalimentación.

5.- Diseño definitivo.

- 5.1 Planos definitivos: detalle, taller, ensamble y explosión.

5.2 Diseño de detalles estéticos y especificaciones de acabados.

5.3 Construcción de la pieza en serie.

6.- Comunicación.

6.1 Manual de instalación, operación y mantenimiento.

6.2 Patente y registro comercial.

6.3 Catálogos comerciales.

3.1 Diseño preliminar

3.1.1 Planteamiento del problema

Como se ha mencionado anteriormente, el descascarado es una etapa clave en el proceso de extracción de aceite de higuera, en el cual se rompe la cascara y se obtienen tres pequeñas semillas que contienen el aceite. Algunos de los aspectos más importantes a considerar en el diseño son los siguientes:

- Las semillas se rompen fácilmente y si se rompen, pierden el aceite, por lo tanto son pérdidas, la máquina debe romper la cascara sin lastimar la semilla.
- Debe trabajar en el campo, por lo tanto no debe usar electricidad.
- Que sea fácil de transportar.
- Debe limpiar la semilla, separar la cascara de la semilla.

3.1.2 Revisión del estado del arte del problema

La higuera se cultiva en temporal, es un cultivo relativamente sencillo, no presenta mayor dificultad para ser cultivada; la cosecha se realiza a inicios del mes de noviembre, el fruto se deja un par de semanas al sol y una vez seco, se descascarar para así obtener las pequeñas semillas a las cuales se extrae el aceite.

En una hectárea, se obtiene de 1.5 a 3 toneladas de semilla descascarada, cada tonelada en el mercado actual se paga a \$6,000 M.N., si la semilla no se vende descascarada el precio por tonelada es menor, haciendo que el productor pierda utilidades.

Actualmente, descascaran con una máquina de origen colombiano (véase figura 3), con una capacidad de 300 kg/hr y trabaja con un motor de 220 volts, esta máquina realiza el descascarado mediante dos platos, uno fijo y el otro en rotación sobre su propio eje, la semilla entra entre ambos platillos y por medio de la fuerza centrífuga tiende a salir entre los platillos, obligando a romper la cascara para que la semilla pueda salir expulsada, el espacio entre los platillos se tiene que ajustar en función del tamaño del fruto, posteriormente se separa la semilla de la cascara por medio de un ventilador.



Descascaradora Colombiana.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) desarrolló una maquina descascaradora de higuera durante los años 2012, 2013 y 2014, trabajando en colaboración con distintas instituciones académicas y con un financiamiento del gobierno federal de aproximadamente cinco millones de pesos. El resultado fue una máquina descascaradora con una capacidad aproximada a unos 150 kg/hr, con un motor de combustión interna con una potencia de 13 Hp, con grandes problemas en la limpieza ya que elimina mucha semilla buena, además de los problemas

de dimensiones y aunque aún no está a la venta se puede apreciar altos costos debido a la gran cantidad de materiales usados.



Descascaradora INIFAP.

3.1.3 Definición del problema

Obtener la solución de ingeniería más práctica y funcional que dé solución a uno de los principales problemas que se presenta en la cadena productiva del cultivo de la higuierilla, el descascarado.

De acuerdo con las necesidades actuales en la producción del cultivo de la higuierilla en nuestro país, se tienen los siguientes requerimientos:

- Capacidad de descascarado de aproximadamente 500 kg/hr.
- Que se realice el trabajo directamente en el campo (tierras cultivadas).
- Que se pueda transportar fácilmente.
- Operación con máximo dos operadores.
- Que se entregue la semilla limpia (sin cascara, sin impurezas).

- Fácil mantenimiento.
- Que descascare la gran cantidad de variedades de semilla (diferentes tamaños).
- Eficiencia arriba del 90%.
- Costo de operación no mayor a \$200.00 M.N. por jornada (8 horas).
- Un costo final, no mayor a \$90,000.00 M.N.

3.2 Diseño básico

Para el desarrollo de la máquina descascaradora de higuera, se decide separar en cuatro subsistemas principales, de tal manera que se puedan estar trabajando por separado y después realizar la integración de los subsistemas.

3.2.1 División de subsistemas

Se definen cuatro subsistemas principales:

- Descascarado.
- Generación de potencia.
- Transmisión de potencia.
- Limpieza (separación de cascara e impurezas de la semilla).

3.2.2 Planteamiento de alternativas de solución de subsistemas

Para generar una solución innovadora y que cumpla con los requerimientos antes mencionados, es necesario generar gran cantidad de alternativas buscando la mejor idea para obtener el resultado deseado. A continuación se mencionan las principales alternativas de cada subsistema.

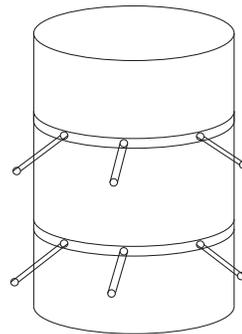
3.2.2.1 Descascarado

Para realizar las alternativas de descascarado se tomaron en consideración las siguientes características del cultivo de higuera.

- Tamaño de fruto: De 1cm hasta 3cm.
- Tamaño de semilla: De 0.5cm hasta 2cm
- Características físicas de la semilla: Es frágil y se rompe fácilmente, lo cual no debe pasar en el proceso de descascarado.
- Capacidad: Debe descascarar aproximadamente 500 kg/hr.

3.2.2.1.1 Cilindro giratorio con varillas

La primer propuesta consiste en un cilindro giratorio, dicho cilindro cuenta con varillas y se encuentra dentro de una cámara; el fruto con cascara pasa entre las paredes internas de la cámara y el cilindro giratorio. La fuerza ejercida por las varillas girando romperá el fruto de higuera liberando las semillas.

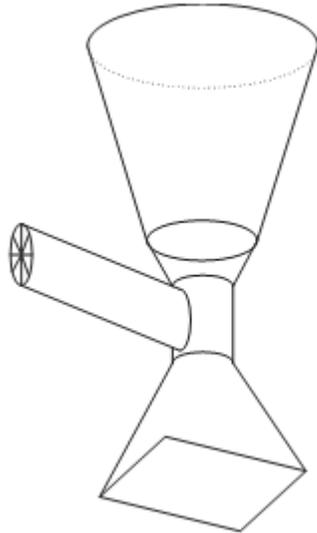


Propuesta cilindro giratorio.

3.2.2.1.2 Dos conos truncados, uno fijo y otro girando

La segunda propuesta consiste en dos conos truncados, uno giratorio y otro fijo. El cono truncado giratorio se encuentra dentro del cono truncado fijo. El fruto de higuera pasa

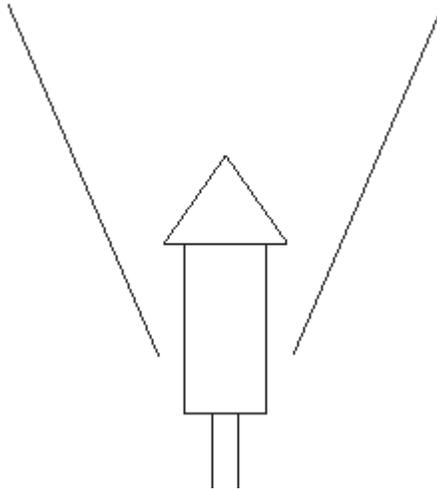
entre las paredes externas del cono giratorio y las paredes internas del cono fijo, la fricción que se genera romperá el fruto de higuera liberando la semilla.



Propuesta dos conos truncados.

3.2.2.1.3 Un cilindro giratorio y un cono truncado fijo

La tercera propuesta consiste en un cilindro giratorio y un cono truncado fijo, el cilindro giratorio se encuentra dentro del cono truncado fijo. El fruto de higuera pasa entre las paredes externas del cilindro giratorio y las paredes internas del cono fijo; la fricción que se genera romperá el fruto de higuera liberando la semilla.



Propuesta cilindro giratorio y un cono truncado.

3.2.2.2 Generación de potencia.

Para que la máquina realice el descascarado es necesario un motor, el cual es el encargado de generar de suministrar la energía necesaria para realizar el trabajo. Teniendo en consideración que sea de fácil mantenimiento, económico y confiable se tienen las siguientes propuestas.

3.2.2.2.1 Motor eléctrico

Un motor eléctrico es un tipo de máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son utilizados en infinidad de sectores, tales como instalaciones industriales, comerciales y particulares. Su uso está generalizado en ventiladores, vibradores, bombas de agua, electrodomésticos, entre muchos otros. Existen de corriente directa (CD) y corriente alterna (CA).

3.2.2.2 Motor de combustión interna

Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que transforma la energía química en energía mecánica a partir de un combustible que arde dentro de la cámara de combustión.

Comercialmente se pueden encontrar motores de combustión interna dependiente del ciclo:

- De dos tiempos (2T): efectúan una carrera útil de trabajo en cada giro.
- De cuatro tiempos (4T): efectúan una carrera útil de trabajo cada dos giros.

3.2.2.3 Toma de fuerza

La toma de fuerza es un eje de rotación que transmite energía para el accionamiento de las máquinas acopladas al tractor, situado normalmente en la parte posterior de mismo. La velocidad de rotación de la toma de fuerza depende del régimen de giro del motor, en función de la necesaria para que la máquina pueda realizar la tarea requerida; de forma que a mayor velocidad del motor tiene a su salida mayor velocidad la toma de fuerza y viceversa. En un principio la velocidad estaba normalizada a 540 rpm, con la aparición de los tractores de potencia, se aumentó la velocidad normalizada a 1000rpm.

3.2.2.3 Transmisión de potencia

Se le denomina transmisión de potencia a un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos u órganos de una máquina; es parte fundamental de cualquier máquina.

Considerando los tipos de motor a utilizar, ya que estos pueden como salida una flecha en vertical o en horizontal, se presentan las siguientes propuestas.

3.2.2.3.1 Bandas

Las bandas o correas de transmisión es un tipo de transmisión mecánica basado en la unión de dos o más ruedas, sujetas a un movimiento de rotación, por medio de una cinta o correo continua, la cual abraza a las ruedas ejerciendo fuerza de fricción suministrando energía desde la rueda motriz.

Para transmitir potencia entre dos flechas paralelas haciendo uso de bandas no existe mayor complicación, en cambio, para transmitir potencia entre dos flechas que se intersectan es mucho más complicado, se requieren unas bandas planas no muy comerciales y requerimientos geométricos que dificultan su instalación.

3.2.2.3.2 Juntas universales

La junta universal o junta cardan, es un componente mecánico, que permite transmitir potencia entre dos flechas no alineadas, permiten un ángulo máximo de 45° ; generalmente se montan en parejas, de manera que el cambio de velocidad angular que genera la primera junta se compensa con la segunda, de esta forma se pueden sumar los ángulos de cada junta consiguiendo 90° y así transmitir potencia a flechas que se intersectan.

Presentan una larga útil, mínimo mantenimiento, soportan elevados pares y elevadas velocidades de funcionamiento, entre otras características que lo hacen una buena opción considerando que la máquina realizará el trabajo en exteriores.

3.2.2.3.3 Engranés

El engrane es un componente mecánico utilizado para transmitir potencia de un componente a otro en una máquina; existe gran cantidad de tipos de engranes que permiten su uso en gran cantidad de aplicaciones, tanto para flechas paralelas, flechas que se intersectan y para flechas que no son paralelas y ni se intersectan.

Su principal desventaja para su uso en la máquina descascaradora es que son muy sensibles a la contaminación ya que se disminuye la vida útil; esto puede representar un problema considerando que la máquina realizará el trabajo en exteriores.

3.2.2.4 Limpieza (separación de cascara e impurezas en la semilla)

La limpieza consiste en separar la semilla de la cascara, se plantea realizar este trabajo mediante gravedad y aplicación de aire; una vez que se realice el descascarado la semilla ya liberada y la cascara caerán por gravedad, haciendo uso de un ventilador se inyecta aire haciendo que por la diferencia de pesos entre la semilla y la cascara, la cascara salga por un extremo y la semilla caiga por el otro extremo.

3.2.3 Selección de alternativas de solución

3.2.3.1 Descascarado

Para realizar el trabajo del descascarado, se analizaron las tres propuestas y esto fue lo que se obtuvo del razonamiento:

- Cilindro giratorio con varillas: Es muy probable que debido a la dureza de las varillas y la aplicación de la fuerza (golpe) dañe la semilla de higuera, por lo tanto, queda descartada.
- Dos conos truncados: Es buena opción ya que realiza el trabajo aplicando una fuerza de fricción sin dañar demasiado la semilla, la desventaja es que solo se puede descascarar un tamaño de semilla, por lo tanto, también queda descartada.
- Un cilindro giratorio y un cono truncado fijo: Al igual que la segunda opción, también aplica una fuerza de fricción, además permite descascarar diferentes tamaños de semilla, ya que la distancia entre las paredes internas del cono y las paredes externas del cilindro se va reduciendo. Es por ello que esta es la opción que se elige para desarrollar los prototipos.

3.2.3.2 Generación de potencia

Para generar la potencia de la máquina se tenían tres propuestas, a continuación de indican por que fueron descartadas dos, dejando la mejor opción para nuestro diseño:

- **Motor eléctrico:** En el mercado existen gran cantidad de motores eléctricos, con diferentes características y para diversas aplicaciones, pero se descarta para nuestro diseño debido a que una de las principales características que debe tener la descascaradora es la posibilidad de trabajar en el campo (tierras de cultivo), algo que sería prácticamente imposible con un motor eléctrico.
- **Toma de fuerza:** La toma de fuerza es una muy buena opción para los productores agrícolas que cuentan con su tractor, ya que sin necesidad de utilizar otro motor pueden estar trabajando sus implementos, la desventaja para nuestro diseño es que nuestra máquina debe tener la versatilidad de trabajar tanto en el campo, como en una bodega o en una casa, además que al ser un cultivo alternativo y los principales productores de higuierilla sean de escasos recursos, difícilmente tendrán un tractor para trabajar la descascaradora.
- **Motor de combustión interna:** El motor de combustión es la mejor opción para nuestro diseño, comercialmente existe gran cantidad de motores, con diversas características y de excelente calidad; se pueden trabajar en el campo sin ningún problema y su costo no es muy elevado. Hay dos opciones de motores de combustión interna:
 - **Dos tiempos (2T):** Son motores muy económicos y de gran versatilidad ya que se puede operar en cualquier orientación, pero como principal desventaja es que son altamente contaminantes ya que en su combustión se quema aceite continuamente; incluso en algunos países su venta ya está prohibida.
 - **Cuatro tiempos (4T):** Son motores muy comerciales, menos contaminantes que los motores de dos tiempos, de gran potencia, uso más eficiente de

combustible, su principal desventaja es que la mayoría de los motores comerciales de cuatro tiempos tienen su flecha de salida horizontal.

3.2.3.3 Transmisión de potencia

Considerando que el motor es de combustión interna de cuatro tiempos, esto implica que la flecha de salida del motor será horizontal y la flecha encargada de generar el movimiento en el cilindro será vertical, se requiere una transmisión de potencia para flechas que se intersecten (perpendiculares); bajo esta consideración se elige como transmisión de potencia las juntas universales, a continuación se presentan las razones:

- **Bandas:** De una manera muy especial y muy poco común se puede transmitir potencia entre flechas que se intersectan mediante bandas del tipo planas, el problema es que se requieren condiciones geométricas muy específicas, no son muy fáciles de adquirir y complican el mantenimiento.
- **Engranajes:** Los engranes son una muy buena alternativa para transmitir potencia entre flechas que se intersectan; una de sus principales desventajas es el desgaste tan rápido cuando se usan en ambientes con mucho polvo, además que su costo es más elevado a comparación de las otras alternativas.
- **Juntas universales:** Ya que las juntas universales presentan una larga vida útil, mínimo mantenimiento, soportan elevados pares y elevadas velocidades y se adquieren a bajo costo, son una muy buena opción para la transmisión de potencia, para lograr transmitir entre flechas que se intersectan e requieren dos juntas universales. Por las características ya mencionadas se decide utilizar las juntas universales como principal opción para la transmisión de potencia.

3.2.3.4 Limpieza (separación de cascara e impurezas en la semilla)

Se utilizará el principio de separación por gravedad y aire, donde la diferencia de pesos entre la cascara y la semilla hará que la cascara salga volando por un extremo del ducto y la semilla limpia por el otro extremo. Se propone que el ducto sea un tubo de 4 pulgadas y el aire ingrese por el mismo extremo por el que salga la semilla.

3.2.4 Integración de subsistemas

Para la integración de los subsistemas es necesario contar con una estructura en la cual se puedan montar todos los elementos que conformarán la máquina. Se propone una estructura en forma de prisma rectangular con la finalidad de montar todos los elementos dentro de ella y así estén protegidos ante una posible caída.

Partiendo de la estructura se empieza a hacer la distribución de todos los subsistemas y elementos correspondientes. Se inicia con el descascarado, después con la ubicación del motor, posteriormente con la transmisión de potencia y por último el sistema de limpieza.

3.3 Diseño de detalle

Una vez que se tienen bien definidos los subsistemas de la máquina descascaradora, es necesario realizar un análisis para definir las piezas que se van a comprar (piezas comerciales con características generales) y las piezas que se van a manufacturar y por lo cual es necesario hacer su diseño correspondiente; posteriormente realizar la integración de los elementos comprados y los elementos manufacturados.

3.3.1 Selección de elementos comerciales

Los elementos que se van a comprar deben tener características muy generales y que cumplan con las normas de calidad requeridas; para decidir si los elementos los realizamos nosotros en el taller o se compran se consideran los siguientes puntos:

- Calidad: Algunas piezas se requiere que se cumplan con estándares de calidad muy altos que en nuestro taller difícilmente alcancemos.
- Maquinaria y herramienta: Algunos elementos no los podemos manufacturar en el taller por falta de alguna herramienta o maquinaria necesaria para su manufactura.
- Costo: Algunos elemento si los podemos manufacturar en nuestro taller, pero el valor que nos representa es mayor que el costo comercial del elemento.

Bajo los puntos anteriores de consideración, se realiza un análisis de cada subsistema y se llega a las siguientes conclusiones:

- Descascarado: Debido a las dimensiones muy específicas de nuestro sistema de descascarado, los únicos elementos comerciales son:
 - Balero de carga: De la marca SKF, que ofrece gran calidad a un muy buen precio, con medida de 1 pulgada.
 - Caucho: Se requiere caucho para cubrir las paredes del cono y cilindro por donde se realizará el trabajo de descascarado, creando una superficie con alta fricción y suave para no dañar la semilla. Se compra caucho con inserción de tela acabado textil con 3/16 pulgadas de grosor, se considera con inserción de tela para que tenga más durabilidad.
 - Retenes: Para tratar de obtener la mayor vida útil del balero de carga, se coloca un retén para que cubra el balero de cualquier impureza que se presente durante el trabajo.
- Generación de potencia: Se elige el motor de combustión interna de cuatro tiempos y se considera como la mejor opción un motor HONDA modelo Gx160, este modelo cuenta con una potencia de 5.5 Hp, velocidades de 1800rpm a 3600rpm con un torque máximo de 10.3 N·m a 2,600rpm. Los retos que representa el uso de este motor es que cuenta con un cigüeñal horizontal (lo cual es de gran

importancia para la transmisión de potencia) y es de un solo cilindro ocasionando mucha vibración por lo que se requiere también de soportes anti vibratorios, pequeños soportes que se colocan en la base del motor para reducir las vibraciones.

- Transmisión de potencia: Los elementos que se van a comprar son:
 - Chumaceras: Son elementos que sufren mucho desgaste y tenían una vida útil mediana, lo cual sin duda alguna será necesario remplazar lo cual no significa mayor problema ya que también son elementos muy comerciales y de un costo accesible, además el costo de manufactura que nos representaría es mucho mayor que el comercial.
 - Juntas universales: Son elementos muy comerciales, de un costo muy accesible (mucho menor que el de manufactura para nosotros).
 - Engranés: Son una parte fundamental del subsistema de transmisión de potencia; probablemente la más delicada. Se requieren un par de engranes cónicos, los cuales deben tener el material, tratamiento y especificaciones indicadas para soportar el trabajo en el campo, además deben estar integrados dentro de una caja que este sellada y cuente con los empaques necesarios; en un principio se consideró la manufactura, pero no lográbamos conseguir la calidad requerida, además que la elaboración de la caja se dificulta demasiado, por lo que se decide comprar una caja de engranes de la marca swissmex, la cual ya está diseñada para trabajar en maquinaria agrícola, cuenta con toda las especificaciones necesarias para trabajar en el campo; la relación de engranes, el tamaño y peso son los indicados para nuestra máquina.
 - Bandas y poleas: Estos elementos son muy comunes en todo tipo de maquinaria, existen de gran variedad de tamaños, de costo bajo y de gran calidad; estos elementos ni siquiera se consideran para realizar su manufactura.

- Soportes anti vibratorios: Pequeños soportes que se colocan en la base de toda la transmisión de potencia, necesarios para reducir la vibración que se presenta debido al motor.
- Sistema de limpieza:
 - Turbina para ventilador: Es un elemento de larga vida útil, es de acero y su manufactura a simple vista no es muy elaborada, es un elemento que se pudiera considerar para su manufactura; se decide comprar este elemento ya que el balanceo (de gran importancia) se nos dificulta realizarlo en nuestro taller, teniendo en cuenta que se encuentra en el mercado una turbina que cumple con las características que requerimos.
 - Chumaceras: Son elementos que sufren mucho desgaste y tenían una vida útil mediana, lo cual sin duda alguna será necesario reemplazar lo cual no significa mayor problema ya que también son elementos muy comerciales y de un costo accesible, además el costo de manufactura que nos representaría es mucho mayor que el comercial.
- Extras: Aquellos elementos comerciales que no corresponden a ningún subsistema, pero son necesarios para cumplir con nuestros objetivos son:
 - Llantas: Para lograr que la máquina se pueda transportar, se requieren de llantas, de acuerdo al diseño, se consideran tres llantas, dos de 16 pulgadas y una de 10 pulgadas, neumáticas; bien podíamos considerar llantas duras para evitar pinchaduras, estas son muy difícil de usar en terrenos no planos, por lo tanto se decide por unas llantas neumáticas.
 - Pintura: Necesaria para recubrir todas las superficies, protegiendo contra la corrosión además de mejorar la presentación del equipo. Considerando el trabajo que se presenta, se elige una pintura epoxica ya que tienen gran resistencia a la fricción.

3.3.2 Síntesis y análisis de piezas manufacturadas

Las piezas manufacturadas son las piezas esenciales de nuestra máquina, aquellas que harán la diferencia entre otras máquinas; deben cumplir con características específicas para que realicen el trabajo, las principales características para realizar el diseño son las siguientes:

- Trabajo a realizar.
- Perfecta sincronía entre todos los elementos de la máquina.
- Dimensiones.
- Materiales.
- Cargas y esfuerzos.
- Manufactura.
- Vibraciones.
- Mantenimiento.
- Durabilidad.

A continuación se describe brevemente el análisis de las piezas manufacturadas siguiendo las características anteriores.

- Descascarado:
 - Cono: Las características a analizar para esta pieza son las dimensiones (en conjunto con el cilindro), material y manufactura, debido a que va fija a la estructura de la máquina y no se le aplican grandes fuerzas no se lleva un análisis más profundo de las otras características.
 - Dimensiones: Las dimensiones del cono están en relación con las dimensiones del cilindro, ya que el espacio entre ambas piezas será por donde se realice el trabajo de descascarado, además de esa consideración, se toma en cuenta la capacidad de descascarado, ya que si el cono es más grande más semilla puede pasar a través del él y por lo tanto mayor capacidad de descascarado, tras un par de

- prototipos y varias pruebas se consiguieron las dimensiones ideales para nuestros objetivos.
- Material: El material a utilizar es lamina de acero estructural ASTM A-36 conocida como lamina negra, el calibre es 18, ya que nos ofrece la durabilidad y resistencia necesaria. Debido a que la higuera no es un alimento, no es necesario utilizar acero inoxidable.
 - Manufactura: Para elaborar el cono se requiere cortar, rolar y soldar; el equipo necesario es una cizalla para lámina, roladora y planta de soldar.
- Cilindro: Las características a analizar en esta pieza son las dimensiones (en conjunto con el cono), material, fuerzas aplicadas, manufactura y vibraciones. Durante el trabajo de descascarado el cilindro está girando sobre un eje, este movimiento realiza el trabajo de descascarado.
- Dimensiones: Las dimensiones del cilindro están en relación con las dimensiones del cono, ya que el espacio entre ambas piezas será por donde se realice el trabajo de descascarado, tras un par de prototipos y varias pruebas se consiguieron las dimensiones ideales para nuestros objetivos.
 - Material: El material a utilizar es lamina de acero estructural ASTM A-36 conocida como lamina negra, ésta puede ser de diferente calibres, por lo cual es necesario analizar las fuerzas que se le aplican y contemplar el peso del cilindro, entre más grueso el calibre más pesado será nuestro cilindro lo cual genera mayor vibración provocado por desbalanceo del mismo; considerando lo anterior, el equilibrio entre resistencia y peso es la lámina de calibre 18. Debido a que la higuera no es un alimento, no es necesario utilizar acero inoxidable.
 - Cargas y esfuerzos: Al estar girando hace que la semilla se desplace hacia abajo por el espacio entre el cono y el cilindro creando una fuerza de fricción entre el cilindro, la semilla y el cono; debido a que

el cilindro gira sobre un eje, la fuerza de fricción genera una fuerza de torsión que se transmitirá a la flecha encargada de transmitir la potencia debido a que el cilindro y la flecha están sometidos a una unión fija, por lo tanto, la torsión no es motivo de análisis para el diseño del cilindro, en cambio, la fuerza ejercida para la unión fija entre el cilindro y la flecha puede provocar deformación.

- **Manufactura:** Para elaborar el cilindro se requiere cortar, rolar y soldar; el equipo necesario es una cizalla para lámina, roladora y planta de soldar.
- **Vibraciones:** La vibración para este elemento es un tema de gran importancia, ya que permanentemente estará girando sobre su propio eje y si no se tiene cuidado en el diseño y manufactura del cilindro puede crear grandes vibraciones. Para reducir al máximo las vibraciones generadas por la rotación del cilindro es necesario prestar demasiada atención en el balanceo, es por ello, que una vez elaborado el cilindro se balancea estáticamente (antes de colocarle el caucho y después de colocarle el caucho) y se realizan pruebas de balanceo dinámico.
- **Transmisión de potencia:** Los elementos encargados de transmitir la potencia a partir del motor de combustión interna crean un sistema de elementos comerciales (mencionados anteriormente) y elementos que hay que diseñar y manufacturar, estos últimos elementos son dos flechas de las cuales es necesario realizar su diseño:
 - **Flecha corta:** Es la flecha encargada de transmitir la potencia del sistema de poleas a la caja de engranes cónicos, para el diseño se considera las dimensiones, material, fuerzas aplicadas y manufactura.
 - **Dimensiones:** Las dimensiones están dadas de acuerdo a la geometría de todos los elementos que intervienen en el sistema (motor, sistema de poleas, juntas universales, caja de engranes, etc.) y de acuerdo a las fuerzas aplicadas; la geometría del sistema nos

dará la longitud y para el diámetro es necesario realizar un análisis considerando las fuerzas, esfuerzos y el material.

- **Material:** Considerando el ambiente, fuerzas, esfuerzos, dimensiones, trabajo, maquinabilidad y costo se elige un acero AISI-SAE 1045 que de acuerdo a sus propiedades mecánicas, físicas y químicas es un excelente material para nuestro elemento, alguna de sus principales ventajas son la dureza, tenacidad y buena maquinabilidad, sus principales aplicaciones están destinadas a la elaboración de partes de transmisión y aplicaciones mecánicas como flechas, pernos, impulsores, rotulas, entre otros.
- **Cargas y esfuerzos:** Nuestro elemento es una flecha corta sometida a torsión, considerando el torque máximo de motor de combustión interna elegido (10.3 N·m) y de acuerdo a nuestro sistema de poleas, la flecha corta trabaja a un torque máximo de 30.9 N·m, utilizando resistencia a de fluencia de 310 MPa y considerando la cuña como un concentrador de esfuerzos, se obtiene el diámetro necesario para nuestra flecha que es de 5/16 de pulgada. También se tiene que considerar las flexión ocasionada por la longitud de la flecha, para ello se colocan chumaceras de banco para disminuir considerablemente la flexión.
- **Manufactura:** La manufactura de esta flecha se realiza en un torno convencional, ya que nos permite dar el diámetro adecuado, balancear la flecha, darle acabado; se requiere un cuñero el cual se realiza mediante un taladro fresador y un cortador horizontal de 1/4 de pulgada.

Por lo tanto, de acuerdo a la geometría del sistema se obtiene una flecha de 32 cm de largo, para la cual es necesario utilizar dos chumaceras de banco que disminuyan la flexión de la flecha, en cuanto al diámetro, si bien nuestro análisis nos indica un diámetro

de tan solo 5/16 de pulgada debido a que los esfuerzos no son muy grandes, se decide colocar una flecha de una diámetro de una pulgada, esto debido a que la mayoría de refacciones para maquinaria agrícola (chumaceras, juntas universales, baleros, etc.) que se manejan comercialmente son de una pulgada, el aumento de diámetro no representa mayor problema debido a que el material a utilizar (AISI-SAE 1045) es económico.

- Flecha de cilindro: Esta flecha es la encargada de transmitir la potencia de la salida de la caja de engranes al cilindro, se tiene una unión fija al cilindro, por lo tanto, la velocidad angular de la flecha es la velocidad angular del cilindro; para la manufactura se consideran las dimensiones, material, cargas y esfuerzos, manufactura y vibraciones.
 - Dimensiones: La longitud de la flecha está dada por la geometría del sistema, se considera principalmente la altura que se requiere para la limpieza de la semilla y el recorrido que debe tener el cilindro para descascarar diferentes tamaños de semillas, para el diámetro es necesario realizar un análisis considerando las fuerzas, esfuerzos y material.
 - Material: Considerando el ambiente, fuerzas, esfuerzos, dimensiones, trabajo, maquinabilidad y el costo también se elige un acero ASI-SAE 1045.
 - Cargas y esfuerzos: Nuestro elemento es una flecha larga, que trabaja verticalmente, encargada de mover el cilindro para que este realice el descascarado; la flecha se somete a varias cargas que se consideran para obtener el diámetro indicado; utilizando resistencia a la fluencia de 310 MPa del acero AISI-SAE 1045 y una torsión de aproximadamente 41 N· m generado por la salida de la caja de engranes, obteniendo así un diámetro de 3/8 de pulgada. Para cargar el peso de la flecha y el cilindro y reducir los esfuerzos por dichas cargas en la flecha se decide colocar una sección de carga que consiste en una sección de mayor diámetro donde mediante un balero cónico cargue el peso de la flecha y del cilindro, de esta

manera la flecha gira libremente con sus rodamientos adecuados. Debido a este cambio de diámetro (de sección) se crean concentradores de esfuerzos, los cuales se tienen que considerar en todo momento, al igual que la cuña, dentro del diseño de esta flecha.

- **Manufactura:** La manufactura de esta flecha se realiza en un torno convencional, ya que nos permite dar el diámetro adecuado, hacer cambio de sección que es de gran importancia, balancear, darle acabado; se debe tener especial cuidado en la manufactura de esta flecha debido a su gran longitud se pueden generar vibraciones indeseables y crear muchos problemas en la elaboración, otra consideración importante es que en esta flecha intervienen dos baleros, para los cuales se requieren especificar correctamente las tolerancias en las dimensiones de la flecha.
- **Vibraciones:** Debido a la longitud de la flecha, a que en un extremo (superior) está libre y que gira con una masa externa (cilindro) en un extremo (inferior), esta flecha tiende a vibraciones con las que se debe tener mucho cuidado, ya que estas vibraciones pueden dañar considerablemente a la máquina y también dañar considerablemente el descascarado.

Por lo tanto, teniendo todas las consideraciones anteriores, se decide utilizar una flecha de 1 pulgada de diámetro con una longitud de 110cm de acero AISI-SAE 1045 elaborada en torno convencional, con cambio de sección a de 1 pulgada a 1 ¼ de pulgada, con tolerancias específicas para baleros y especial cuidado en el balanceo de la flecha. Si bien, el diseño nos arrojó un diámetro de 3/8 de pulgada aproximadamente, se decide utilizar un diámetro de 1 pulgada con el fin de estandarizar las dimensiones en las flechas, además de que es la pieza más crítica en el diseño y como el costo del material no lo permite es pertinente dejar sobrada la flecha para las cargas y esfuerzos que soportará. Es de gran importancia cuidar el proceso de manufactura, ya que se requiere que la flecha

este perfectamente balanceada y también se cumplan las tolerancias señaladas en los planos, debido a que si la flecha que holgada en la sección de los baleros ya que si no se cumple esto, la flecha tendrá vibraciones no deseadas y pondrá repercutir en el proceso de descascarado y dañar la máquina y sus elementos.

- Sistema de limpieza: Los elementos encargados de realizar la limpieza de la semilla crean un sistema de elementos comerciales (mencionados anteriormente) y elementos que se requieren manufacturar, para este sistema solo se requiere elaborar un ducto.
- Ducto de limpieza: El ductos de limpieza son es aquel por donde pasa la semilla descascarada y las cascara (ya separadas), es en este ducto pasa una corriente de aire que separa la cascara de la semilla, la cascara sale por el extremo superior y la semilla cae (debido a su peso) por el extremo inferior, las consideraciones para su diseño son las dimensiones, material y manufactura.
 - Dimensiones: Las dimensiones de los ductos están en función de la geometría del sistema, la capacidad de descascarado (500 Kg/hr) y la relación que exista de diferencia de pesos entre la semilla y la cascara (si la relación es pequeña, se requiere un ducto más largo y si la relación es grande se requiere un ducto más corto).
 - Material: El material a utilizar es una lámina de acero estructural ASTM A-36 de calibre 18, ya que nos ofrece la resistencia, peso y permite la manufactura sin mayor problema.
 - Manufactura: Para elaborar el ducto se requiere una cizalla para cortar la lámina, una dobladora para lámina que realice dobleces a ángulos de 90 grados, taladro, remaches y remachadora.

Por lo tanto, se tiene un ducto cuadrado de 210cm de largo con lados interiores de 17cm, lo que nos da un área transversal de 289 cm^2 la cual es adecuada para que se haga la

limpieza de la semilla, fluya la cascara con el aire hacia el extremo superior y caiga la semilla limpia por el extremo inferior.

3.4 Prototipos y pruebas

Es necesario realizar diversas pruebas para cumplir con el objetivo, para dichas pruebas se requieren realizar prototipos tanto virtuales como reales; los prototipos virtuales nos sirven para desarrollar las ideas, ver la viabilidad, realizar ensambles, entre otras, por otro lado, los prototipos reales nos permiten realizar pruebas, ver cómo se comportan los elementos por separado, en conjunto y analizar el comportamiento de la semilla al realizar el descascarado, todo esto nos permite realizar modificaciones para solucionar problemas o para obtener mejoras para finalmente conseguir los objetivos planteados.

3.4.1 Prototipos virtuales

Mediante el software solidworks se diseñaron y se simularon los principales elementos de nuestra máquina, permitiendo aterrizar ideas, realizar ensamblajes, crear planos para manufacturar los diversos elementos, entre otros.



3.4.2 Pruebas estáticas y dinámicas

Para realizar las pruebas estáticas y dinámicas se realizaron tres prototipos, cada uno permitió realizar mejoras en varios aspectos como dimensiones, capacidad, mantenimiento, eliminar fallas, entre otros.

- Primer prototipo:
 - Pequeño prototipo para ver el comportamiento de la semilla.
 - Prueba de principio de descascarado (cono truncado - cilindro)
 - Descascarado satisfactorio.
 - Para un solo tamaño de semilla.
 - Capacidad de aproximadamente 5^o Kg/hr.



- Segundo prototipo:

- Descascarado satisfactorio para un solo tamaño de semilla.
- El uso de juntas universales dificulta la fabricación.
- La capacidad no es la deseada.
- Muy pesada.
- Muy grande.
- Soporte del cilindro estorboso.
- Aún no realiza la limpieza de la semilla.



- Tercer prototipo:
 - Descascarado satisfactorio para un solo tamaño de semilla.
 - Capacidad cerca de la deseada.
 - Limpieza irregular (se atasca).
 - Tamaño correcto.
 - Peso correcto.
 - Visualmente no muy agradable.

- Dos salidas de semilla descascarada lo cual dificulta el trabajo.



- *Cuarto prototipo:*
 - Descascarado satisfactorio para diferentes tamaños de semilla.
 - Capacidad deseada.
 - Limpieza satisfactoria.
 - Tamaño correcto.
 - Peso correcto.
 - Ahorro en tiempos de mantenimiento.



3.4.3 Retroalimentación

Durante las pruebas estáticas se notaron algunos errores en el diseño mecánico, modificaciones para mejorar la capacidad de descascarado, la movilidad, el mantenimiento, problemas de descascarado, problemas de limpieza, entre algunos otros.

- Primer prototipo: Se elaboró este pequeño prototipo con la finalidad de probar el proceso de descascarado con la alternativa que se eligió en el diseño básico, los resultados fueron satisfactorios, la semilla se descascaraba de buena forma, se decidieron hacer unas modificaciones en la distancia existente entre el cilindro y el cono y se decide elaborar un prototipo de mayor tamaño.
- Segundo prototipo: Desde un inicio se diseñó este prototipo sobrado para obtener un punto de partida, se tuvieron varias observaciones:
 - Máquina muy pesada.
 - Difícil transporte.
 - La transmisión de potencia era simplemente a base de juntas universales (sin caja de engranes), lo cual dificultó demasiado su manufactura debido al ángulo crítico en cada junta (45 grados).

- Demasiadas vibraciones.
 - Se requerían modificaciones en la distancia existente entre el cilindro y el cono.
 - Es necesario disminuir todas las dimensiones.
 - Se decide no colocar el sistema de limpieza debido a que el descascarado no es el deseado.
 - Si bien, el descascarado no era el indicado, la capacidad fue mayor a 500 Kg/hr.
- Tercer prototipo: Teniendo la experiencias de los prototipos anteriores se realizaron las siguientes modificaciones:
 - Modificación en la distancia existente entre el cono y el cilindro.
 - Integrar una caja de engranes para el sistema de transmisión de potencia, se decide utilizar las juntas de engranes ya que corrigen pequeños errores de desalineación entre flechas.
 - Se diseña una nueva flecha de transmisión para el cilindro.
 - Se coloca caucho en las superficies de descascarado.
 - Finalmente se obtiene descascarado satisfactorio, pero es para un solo tipo de semilla.
 - La capacidad es cerca de la deseada, aunque se tienen problemas con el sistema de poleas (velocidad angular - torque).
 - El sistema de limpieza presenta muchos problemas, es muy irregular, se atasca repentinamente.
 - Se presentan fuertes problemas de vibraciones, debido al motor de combustión interna (de un solo pistón), desbalanceo del cilindro y fallas en las tolerancias permitidas para los baleros en la flecha de transmisión para el cilindro.
 - Cuarto prototipo: Considerando que en el prototipo anterior se obtuvieron buenos resultados en el descascarado y el sistema de transmisión funcionó mucho mejor, se decide trabajar en el sistema de limpieza y en reducir al máximo posible las vibraciones.

- Se reducen considerablemente las vibraciones realizando las siguientes acciones:
 - Se instala una base de amortiguación al motor.
 - Se trabaja en la manufactura del cilindro, logrando balancearlo estáticamente reduce considerablemente las vibraciones creadas por el mismo.
 - Se reduce el tamaño del cilindro para que la longitud de la flecha también sea menor.
 - Se realiza un nuevo diseño de flecha de transmisión para el cilindro, donde se reduce considerablemente la longitud y se eligen las tolerancias adecuadas para los baleros (eliminando movimientos no deseados y dejando solo la rotación de la flecha).
- Se decide cambiar el sistema de limpieza, teniendo las siguientes modificaciones:
 - Se eliminan los tubos.
 - Se descarta la idea de tener dos salidas, ya que es muy difícil repartir uniformemente el flujo del aire.
 - Se diseña un ducto de aire, considerando la capacidad de descascarado y el flujo de aire.
- El descascarado es satisfactorio.
- Se obtiene la capacidad deseada.
- La limpieza es satisfactoria.
- Se puede transportar sin complicaciones.
- Las vibraciones disminuyeron considerablemente, lo suficiente para no crear daños en el equipo y afectar el descascarado.

3.5 Diseño definitivo

Después de elaborar los cuatro prototipos, resolver los diversos problemas a los que se enfrentaron se realiza el diseño definitivo, el cual resulta muy similar al cuarto prototipo

pero con mejoras importantes pensando ya en el usuario final, mejoras como en el mantenimiento, movilidad de la máquina, durabilidad, reducción de costos y comodidad al momento de trabajar con el equipo.

Se desarrollan los planos definitivos, se estandarizan los materiales (remaches, tornillos, baleros, chumaceras, opresores, etc.) y se elabora un plan de fabricación.

También se realizan trabajos en la estética, se eligen los colores (basados en los colores de la empresa) y se elige dónde colocar el logotipo de la empresa.



Descascaradora final.

3.6 Comunicación

Se trabaja en la elaboración de un manual (escrito y video) de instalación, operación y mantenimiento, se solicita una búsqueda tecnológica al Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial y se realiza el documento para presentar la máquina descascaradora como modelo de utilidad ante el mismo y se realiza un campaña de publicidad a nivel nacional para promover la venta de la máquina.

4. RESULTADOS

4.1 Observaciones

La descascaradora ya finalizada, se puso a trabajar y se obtuvieron los siguientes resultados.

- Se inició una empresa a partir de este proyecto.
- Capacidad de descascarado final fue de aproximadamente 500 Kg/hr.
- Funcionó sin ningún problema en el campo.
- Se puede transportar fácilmente.
- Deja la semilla limpia. (separara la cascara y las impurezas de la semilla).
- Costo final al mercado de \$75,000. M.N. más I.V.A.
- Soluciona el problema de descascarado de higuierilla a nivel nacional.
- Puede descascarar otras semillas diferentes a la higuierilla (jatropha, sachu inchi, cacahuate, entre otros.)

4.2 Presentaciones

- A los principales productores de higuierilla en Guanajuato (Segundo prototipo).
- Feria agrícola 2013 en Salvatierra, Guanajuato (Segundo prototipo).
- INIFAP en diversas fechas (Tercer y cuarto prototipo).
- Productores de Oaxaca (Tercer prototipo).

- Productores de higuera del estado de Querétaro (Cuarto prototipo).
- Empresarios interesados en producir turbosina mediante aceite de higuera (Cuarto prototipo).
- Se presentó a Javier Usabiaga, quien es el Secretario de Desarrollo Agropecuario y Rural (SDAyR) (Cuarto prototipo).
- Feria agrícola 2015 en Salvatierra, Guanajuato (cuarto prototipo).
- Diversas ocasiones promoviendo el cultivo de la higuera alrededor del estado de Guanajuato.
- Recorrido de higuera en el estado de Guanajuato organizado por la Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural del estado de Guanajuato, donde participaron representantes de SAGARPA a nivel nacional, productores y empresarios de diversas partes de nuestro país.

4.3 Aprobaciones

Mediante varias presentaciones y gran cantidad de pruebas de la máquina descascaradora se obtienen las siguientes aprobaciones:

- Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural (SDAyR): Secretaría encargada del desarrollo de la agricultura en el estado de Guanajuato, pionera a nivel nacional en el estudio de la higuera.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP): Dependencia de SAGARPA líder en ciencia y tecnología para el campo mexicano.
- ARTLUX; Empresa queretana dedicada a la elaboración de gran cantidad de productos químicos, especializados en productos para automóvil, también elaboran productos cosméticos, medicamentos y plásticos.
- SOLBEN: Empresa mexicana, pionera en el desarrollo de tecnología para elaborar biocombustibles en México y el mundo.

REFERENCIAS

- [1] Soares Severino Liv, "Cultivo de higuierilla", EMBRAPA, Brasil, Octubre, 2005.
- [2] Rodríguez Arias Daniel Eduardo, "El cultivo de higuierilla, estudio de caso municipio de balboa", Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, 2010.
- [3] Soares Severino Liv, "Cultivo de higuierilla", EMBRAPA, Brasil, Octubre, 2005.
- [4] Ing. Federico Delgado S, "La Higuierilla, Petróleo Verde", Higueroil, 17 de junio de 2006.
- [5] M. en I. Felipe Díaz, "Diseño de elementos de máquinas", UNAM.
- [6] Budynas-Nisbett, "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley", 8va Edición, Mc Graw Hill.
- [7] Marks, "Manual del ingeniero mecánico", 9na Edición, Mc Graw Hill.
- [8] O.C. Zienkiewicz, "El método de los elementos finitos", Reverenté.