



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

Diseño y desarrollo de un prototipo de módulo  
desespinaador de nopales.

Tesis para obtener el título de ingeniero mecánico

Presentan:

Luis Alberto Mendoza Meza,  
César Noriega Vergara



Director de tesis:

Ing. Mariano García del Gállego

México D.F.

2011

## AGRADECIMIENTOS

**A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, y un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.**

**A mis padres por su infinito cariño, confianza y sobre todo paciencia.**

**A mi amigo y compañero de tesis César Noriega Vergara, por todo el tiempo compartido a lo largo de la carrera, por su comprensión y paciencia.**

**A nuestro director de tesis, Ing. Mariano García del Gallego por su disponibilidad y apoyo brindado.**

**Luis Alberto Mendoza Meza**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la UNAM y mis profesores por compartirme de su sabiduría y experiencias.**

**A mis padres: Francisco y Constantina por su apoyo, confianza y paciencia.**

**Mi más sincero agradecimiento a mis hermanos, familiares y amigos cuyo apoyo y cariño han sido cimiento para todos los proyectos que he emprendido y han sido el impulso y sostén para culminarlos.**

**A mi compañero de tesis Luis Alberto Mendoza Meza por su mesura y paciencia.**

**Un agradecimiento especial para el Ing. Mariano García del Gallego**

**César Noriega Vergara**

**“Puedes esperar 100 años por el chispazo, o resolver el problema en 15 minutos”**

**Genrich Altshuller**

**Una persona usualmente se convierte en aquello que él cree que es. Si yo sigo diciéndome a mí mismo que no puedo hacer algo, es posible que yo termine siendo incapaz de hacerlo. Por el contrario si yo tengo la creencia que sí puedo hacerlo, con seguridad yo adquiriré la capacidad de realizarlo aunque no la haya tenido al principio.**

**(Gandhi)**

**Es duro caer, pero es peor todavía no haber intentado subir**

**(Theodor Roosevelt)**

**Un Ingeniero no ve el mundo... ¡Lo cambia!**

## ÍNDICE DEL CONTENIDO

<b>PRÓLOGO</b> .....	<b>1</b>
El proceso genérico de desarrollo. ....	1
Objetivos.....	3
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2 ANTECEDENTES DEL PROYECTO</b> .....	<b>6</b>
2.1 Información general. ....	7
2.2 Productos existentes.....	8
2.2.1 Máquina desespinaadora Jersa .....	8
2.2.2 Máquina desespinaadora con compensación flotante.....	9
2.2.3 Diseño de carcasa y una nueva propuesta (prototipo b). ....	9
2.2.4 Construcción del modelo de laboratorio para el rediseño.....	10
2.2.5 Otras Máquinas desespinaadoras encontradas. ....	12
<b>3 PLANEACIÓN DEL PRODUCTO.</b> .....	<b>14</b>
3.1 El proceso de desarrollo de productos.....	14
3.2 Identificar oportunidades y recopilación de necesidades.....	17
3.2.1 Recopilación de necesidades por entrevistas a empleados de negocios de comercialización de nopales. (Entrevista). ....	18
3.2.2 Recopilación de necesidades por entrevista a usuario de máquina desespinaadora existente en el mercado (entrevista). ....	19
3.3 El proceso de desespinado manual. ....	20
3.4 Necesidades clasificadas según características similares.....	21
3.5 Declaración de la misión. ....	22
<b>4 GENERACIÓN DEL CONCEPTO</b> .....	<b>23</b>
4.1 Especificaciones objetivo. ....	23
4.2 Generación del concepto. ....	24
4.2.1 Aclarar el problema. ....	26
4.2.2 Descomposición del problema en subproblemas sencillos. ....	26
4.3 Conceptos para el proceso de desespinado de las caras del nopal. ....	27
4.4 Desespinado de las caras del nopal (Cuchillas de corte).....	31

4.4.1	Filtrado de conceptos para cuchilla de corte. ....	33
4.4.2	Exploración sistemática. ....	36
4.4.3	Evaluación de concepto para cuchilla de corte ....	36
4.5	Desespinado del contorno del nopal.....	37
4.6	Conceptos para el proceso de desespinado del contorno. ....	37
<b>5</b>	<b>SELECCIÓN DE CONCEPTO .....</b>	<b>44</b>
5.1	Desespinado del contorno del nopal.....	45
5.1.1	Filtrado de conceptos para mecanismo desorillador .....	45
5.1.2	Evaluación de los conceptos para el mecanismo desorillador. ....	47
<b>6</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....</b>	<b>49</b>
6.1	Principios de construcción de un prototipo.....	49
6.2	Papel del usuario en los prototipos .....	50
6.3	Planeación del prototipo del módulo desespinaador.....	50
6.4	Especificaciones finales del prototipo para el desespinado de las caras del nopal.....	52
6.5	Descripción del mecanismo. ....	52
6.6	Análisis cinemático del sistema de tracción.....	53
6.7	Fabricación de prototipo alfa para el mecanismo desespinaador de caras	55
6.7.2	Prototipo analítico del desorillador.....	58
6.7.3	Prototipo de prueba de mecanismo de corte de las caras del nopal.	58
<b>7</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>62</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>64</b>
	<b>TRABAJO A FUTURO .....</b>	<b>66</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>67</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA.....</b>	<b>86</b>

El proceso de desarrollo de un producto es la secuencia de pasos a actividades a seguir para concebir, diseñar, manufacturar y comercializar un producto, es una actividad multidisciplinaria, se requieren muchos conocimientos y talentos diferentes. Se empieza con una idea y termina con la producción de un objeto físico. Cuando se ve en su conjunto y a un nivel de actividades individuales, el proceso de desarrollo de un producto es intensamente creativo.

Éste trabajo se enfoca al desarrollo de un módulo funcional y altamente indispensable para una desespinaadora de nopales, ya que en éste mecanismo se realizará el proceso clave para el funcionamiento eficiente de una desespinaadora de nopales.

Para el proceso de desarrollo de éste módulo prototipo se tomo en cuenta 5 de las 6 fases del proceso genérico de desarrollo. Debido a los alcances de esta tesis, se excluye la sexta fase en donde se trata el tema de inicio de producción como se muestra en la figura 1-1 y la información complementaria de las fases en la tabla 1-1.

Cada una de las fases se irá describiendo con mayor detalle a lo largo de los capítulos de éste trabajo con excepción de la sexta fase.

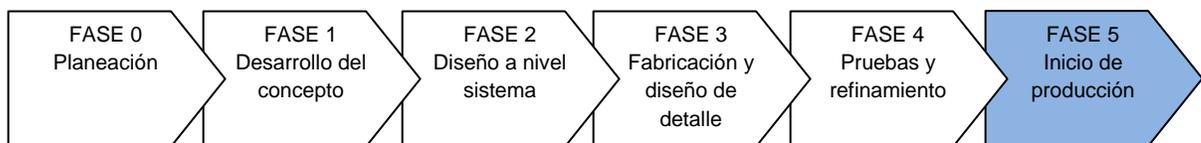
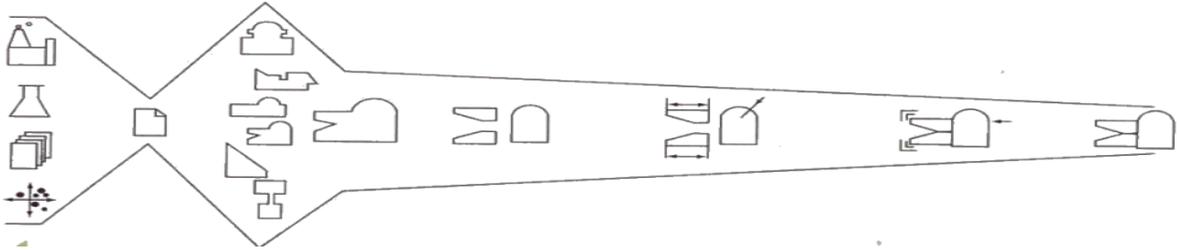


Fig. 1-1. Fases del proceso de desarrollo para el módulo desespinaadora. Tomado de Ulrich Karl, Eppinger Steven. Diseño y desarrollo de productos, Ed. Mc Graw Hill, cuarta edición, México, 2009.

### El proceso genérico de desarrollo.

El desarrollo del prototipo de módulo desespinaadora se basa en el llamado proceso genérico de desarrollo en el cual se incluyen las fases a seguir además de las tareas y responsabilidades de las funciones claves para cada fase.

El proceso genérico de desarrollo del producto consta de seis fases, como se muestra en la tabla 1-1. El proceso se inicia con una fase de planeación, que es el vínculo con actividades de desarrollo en investigación y tecnología. La salida de la fase de planeación es la declaración de la misión del proyecto, que es la entrada requerida para empezar la fase de investigación del concepto y que sirve como guía para el equipo de desarrollo. La conclusión del proceso de desarrollo del producto es el lanzamiento del producto en sí, en cuyo momento el producto queda disponible para su adquisición en el mercado.



<b>Fase 0</b> <b>Planeación</b>	<b>Fase 1</b> <b>Desarrollo del concepto</b>	<b>Fase 2</b> <b>Diseño a nivel sistema</b>	<b>Fase 3</b> <b>Diseño de detalle</b>	<b>Fase 4</b> <b>Pruebas y refinamiento</b>	<b>Fase 5</b> <b>Inicio de la producción</b>
<b>Mercadotecnia</b> Articular oportunidad de mercado. Definir segmentos de mercado.	Recabar necesidades de clientes. Identificar usuarios líderes. Identificar productos competitivos.	Desarrollar plan para opciones de producto y familia extendida de productos. Establecer objetivos de precios de venta.	Desarrollar plan de mercadotecnia.	Desarrollar promoción y lanzar materiales. Facilitar pruebas de campo.	Poner la primera producción a disposición de clientes clave.
<b>Diseño</b> Considerar plataforma y arquitectura del producto. Evaluar nuevas tecnologías.	Investigar factibilidad de conceptos del producto. Desarrollar conceptos de diseño industrial. Construir y probar prototipos experimentales.	Generar arquitecturas alternas del producto. Definir subsistemas e interfaces principales. Refinar diseño industrial.	Definir geometrías de piezas. Seleccionar materiales. Asignar tolerancias. Completar documentación de control de diseño industrial.	Probar confiabilidad. Probar vida útil. Probar desempeño. Obtener aprobaciones legales. Implementar cambios de diseño.	Evaluar los resultados de la primera producción.
<b>Manufactura</b> Identificar restricciones de producción. Establecer estrategias para la cadena de suministro.	Estimar costo de manufactura Evaluar factibilidad de producción.	Identificar proveedores para componentes clave. Efectuar análisis de fabricar contra comprar. Definir esquema final de ensamble. Establecer costos objetivos.	Definir procesos de producción de piezas. Diseñar herramental. Definir procesos de aseguramiento de la calidad. Iniciar adquisición de herramental para fabricación.	Facilitar el inicio de producción de los proveedores. Refinar procesos de fabricación y ensamble. Capacitar personal. Refinar procesos de aseguramiento de la calidad.	Iniciar operación de todo el sistema de producción.
<b>Otras funciones</b> Investigación: demostrar tecnologías disponibles. Finanzas: Indicar metas de planeación. Dirección general: asignar recursos al proyecto.	Finanzas: facilitar análisis económico. Legal: investigar cuestiones de patentes.	Finanzas: facilitar análisis de fabricar contra comprar. Servicio: identificar cuestiones de servicio.		Ventas: desarrollar plan de ventas.	

**Tabla 1-1. Proceso genérico de desarrollo del producto. Se muestran seis fases, incluyendo las tareas y responsabilidades de las funciones clave del proyecto para cada fase. Tomado de Ulrich Karl, Eppinger Steven. Diseño y desarrollo de productos, Ed. Mc Graw Hill, cuarta edición, México, 2009.**

## Objetivos

- 1.- Desarrollar el diseño a través de la metodología del proceso genérico de desarrollo del producto y apoyándose en el método de cinco pasos para la generación de conceptos.
  - 2.- Diseñar un prototipo de módulo desespínador de nopales que contribuya a dar solución al proceso desespínado.
  - 3.- Servir como una plataforma básica para el diseño y fabricación de equipos similares.
-

# 1 INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se aborda el desarrollo de un mecanismo funcional a nivel prototipo de un módulo desespinator de nopales. Con base en la metodología de diseño del proceso genérico de desarrollo, de las 6 fases que propone esta, se toman 5 fases que van desde la planeación del producto hasta la fabricación del prototipo. Se define brevemente cada fase para entender la metodología de diseño como herramienta esencial que nos proporciona los elementos requeridos para lograr los objetivos del producto diseñado.

Al inicio se exponen los antecedentes de éste proyecto que ostentan tanto las necesidades existentes y dificultades que han existido en otros productos enfocados a representar un apoyo a la industrialización del nopal. Ya revisados los antecedentes, se procede a realizar una planeación de diseño, identificando oportunidades así como recopilando información de necesidades directas del usuario. Con esta información se declara la misión para el desarrollo del producto documentando la descripción, propuesta de valor, objetivos de negocio, mercados, suposiciones críticas y elementos involucrados con el producto.

En las siguientes etapas se generan y evalúan conceptos basados en la revisión de patentes y trabajos realizados encaminados en el mismo sentido, en los que se han probado y analizado diferentes estructuras y funcionamientos de mecanismos de desespinado. Para esto se recopila información importante que refiere conceptos utilizados y resultados obtenidos en desespinatoras prototipo así como en las ya comercializadas.

Se proponen ideas técnicamente viables y que representan un diseño eficaz. Se someten en conjunto con los conceptos elegidos de los trabajos ya realizados, a un filtro de selección y criterios personales formados al involucrarse profundamente en la práctica del proceso manual de desespinado. A través de esto se implementa un prototipo de prueba.

Los alcances de éste proyecto están destinados a un trabajo final de tesis, ya que se analiza una parte modular esencial para el eficiente desempeño de una máquina desespinatora de nopales integral. Para esto el presente trabajo se limitara a un prototipo alfa, definido como aquel que se emplea por lo general para evaluar si el producto funciona como se pretende. De igual forma, otras limitaciones serán las características físicas del nopal sometido a pruebas de desespinado.

Es necesario precisar las características de prototipos físicos para entender el grado de desarrollo y complejidad realizada en esta labor de diseño: en un prototipo denominado alfa los materiales y geometrías serán semejantes a las piezas que se usarán en la versión de diseño de producción del mecanismo, no necesariamente cumpliendo con las especificaciones técnicas de diseño, es decir, se puede simular un material con algún otro, de geometrías, capacidades o cualidades requeridas. Por ejemplo, las piezas de plástico de un prototipo alfa, pueden maquinarse o moldearse en hule en lugar de moldearse por inyección.

Los prototipos beta se emplean por lo general para evaluar la confiabilidad y defectos en el producto. Estos prototipos se otorgan con frecuencia a clientes para probarlos en el ambiente pretendido de uso. Sus piezas suelen hacerse con procesos reales de producción o las suministran los proveedores pretendidos de los componentes, pero el producto por lo general no se ensambla con las herramientas de ensamble final como lo podría hacer un equipo automatizado.

Los prototipos de pre-producción son los primeros productos realizados con todo el proceso de producción. En éste punto el proceso de producción todavía operará a plena capacidad fabricando cantidades limitadas del producto. Estos prototipos son utilizados para verificar la capacidad del proceso de producción así como sometidos a pruebas rigurosas de uso y calidad.

Una vez definidas estas características entre prototipos, se toman las decisiones preliminares acerca del número de pruebas, tiempo requerido de ensamble, restricciones, así como de materiales simulados y los requeridos específicamente por el diseño propuesto. Por lo tanto, aunque se tienen claras las necesidades que debe resolver el sistema, el presente proyecto no se involucrara profundamente en algunos aspectos, tal es el caso de detallar en el tipo de materiales utilizados, costos y elementos comerciales adquiridos para la construcción de éste prototipo, por ejemplo, baleros, bandas, tornillos, etc.

Se fabricará el prototipo objetivo para que, a partir de los resultados obtenidos en su funcionamiento, se pueda continuar en un futuro proyecto, con la forma iterativa que involucra el desarrollo de un producto. Así mismo destacar la necesidad de buscar recursos y enfoques multidisciplinarios para extender las posibilidades tecnológicas innovadoras que puedan implementarse en un proyecto de producto integral.

## 2 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

La producción del nopal se ha incrementado durante la última década; no sólo aumentó la superficie sembrada, sino también los estados donde se cultiva. México es el país líder en la producción de nopal verdura, por tener la mayor superficie bajo cultivo, el único país competidor es E.U.A. con una superficie mucho menor.

Aunque se siembra en 23 estados de la República, son cuatro entidades las principales productoras de nopal: Distrito Federal, casi el 80% de la producción en Milpa Alta, Morelos, Estado de México y Aguascalientes. De las 436,222 toneladas cosechadas al año, 97% se consume fresco y el 3% restante es utilizado como materia prima por las industrias de alimentos, farmacéutica y perfumería.

Su demanda también se ha incrementado en el extranjero, y aunque México es el principal exportador, la cantidad de nopal vendida en otras partes del mundo aún es poca, menos del 1% de la producción nacional. Estados Unidos es el principal mercado, le sigue Japón, Canadá y algunos países europeos.

Las espinas del nopal son el principal problema, puesto que dificultan su manejo y aceptación. En México el nopal tierno se mueve en toda la cadena de comercialización con espinas y es el detallista en el tianguis, el mercado municipal o en la tienda de la cadena comercial donde es ofrecido desespinado al consumidor.

El desespinado también es un problema importante para las plantas procesadoras del producto porque implica la contratación de mucha mano de obra especializada en esta labor; como se realiza manualmente, implica poca uniformidad en el corte además de otras desventajas como la lentitud del proceso, deficiencia y poca rentabilidad.

El desespinado del nopal al momento de la venta es una de las prácticas claves para el éxito de la explotación de esta verdura. En general se realiza manualmente con cuchillo; un “limpiador” desespina alrededor de 1000 unidades de nopal (50 kg aprox.) en una jornada cobrando en la actualidad de \$120.00 a \$150.00 pesos. Generalmente a las fábricas procesadoras se les piden 10 ó 20 ton. A la semana, pero entregadas en un día, por lo que tendrían que contratar mucho personal para desespinar. Esto genera los problemas de abastecimiento a grandes cadenas comerciales y frena la exportación del producto.

Existen actualmente algunos prototipos de desespadoras de nopales, una de las más eficientes, se desarrolló en Michoacán, así como varios intentos y patentes que se mencionarán en éste trabajo de tesis como referencia de productos de competencia y segmentos en el mercado.

Diversas instituciones y empresas se encuentran desarrollando el proceso mecanizado. Percibiendo esta necesidad tecnológica, se pretende diseñar y desarrollar un prototipo clave de módulo desespador de nopales que cumpla con las necesidades del productor o empresa abastecedora de esta verdura (mayor rapidez en el tiempo de desespado, rentabilidad, eficiencia en la presentación final del producto, etc.).

## **2.1 Información general.**

Los aportes nutricionales del nopal, así como su versatilidad para ser cocinado o preparado para su industrialización como alimentos, bebidas, medicamentos, cosméticos etc., ha hecho que se incremente la demanda en las últimas décadas en el mundo. A pesar de esto, nuestro país sólo exporta el 1% de su producción nacional.

Los nopales en la dieta diaria son muy recomendables, tanto por sus aportes nutricionales como por sus beneficios medicinales. Actualmente se llevan a cabo diferentes tipos de investigaciones tanto para la innovación de tecnología para su procesamiento, como para la mejora del cultivo por parte de centros e instituciones como se citan en los siguientes ejemplos:

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, trabaja en el mejoramiento genético del nopal para incrementar su contenido de proteína y hacerlo más resistente a las heladas y plagas; asimismo desarrolla tunas de colores diferentes a los tradicionales para hacer más atractivo éste fruto. En el caso particular del nopal forrajero, busca mejorar el contenido nutricional, así como facilitarle al ganado el consumo de éste producto.

El Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), trabaja en el perfeccionamiento de un proceso para elaborar papel a partir de la penca del nopal, aprovechando los residuos de las podas al finalizar la cosecha.

En la UNAM el doctor Mario Enrique Rodríguez, del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, encabeza el proyecto "Harina de nopal como tratamiento preventivo en osteoporosis".

Así mismo en varias instituciones Universitarias, se han desarrollado prototipos de máquinas desespadoras para apoyar el proceso remoción de espinas. Hasta la fecha no se ha logrado desarrollar una máquina eficaz que cumpla con los requerimientos de los clientes o usuarios.

## 2.2 Productos existentes.

Revisando la literatura se encuentran algunos trabajos, tesis y prototipos desarrollados de los que se pueden obtener nuevos conceptos, indagando cual fue el método para llegar al diseño, así como las características en su funcionamiento, las ventajas y desventajas que estos tienen en el proceso final de desespinado, analizando el motivo por el cual ningún producto se ha desarrollado proveyendo los requerimientos del sector nopalero.

De las máquinas desespadoras aquí mencionadas, algunas se quedaron como prototipo experimental, otras se encuentran en fase de desarrollo, y existen pocas que están a disposición del cliente anunciando su venta por internet proporcionando las especificaciones de funcionamiento.

### 2.2.1 Máquina desespadora Jersa

Maquinaria Jersa diseño una máquina desespadora<sup>1</sup> figura 2-1. Para una empresa ubicada en la delegación Milpa Alta, la cual no funcionó con las expectativas del cliente, por la cual se rediseño varias veces sin poder lograr el objetivo de una desespadora eficiente según los usuarios operadores de esta máquina.



Fig. 2-1. Máquina desespadora Jersa. Tomado de

<http://www.giga.com/~mag/Desespadora.htm>, fecha de consulta: 21 de Agosto de 2009.

<sup>1</sup> En el anexo A.1. se muestra una algunos datos recopilados referentes a esta máquina desespadora Jersa.

### 2.2.2 Máquina desespinaadora con compensación flotante.

Se encontró que el centro de diseño y manufactura de la facultad de ingeniería de la UNAM (C.D.M) inicio un proyecto de una máquina desespinaadora (Prototipo A)<sup>2</sup> hace ya bastante tiempo (12 años aproximadamente) que no fue concluida con resultados óptimos y fue abandonado dicha máquina se muestra en la figura. 2-2.

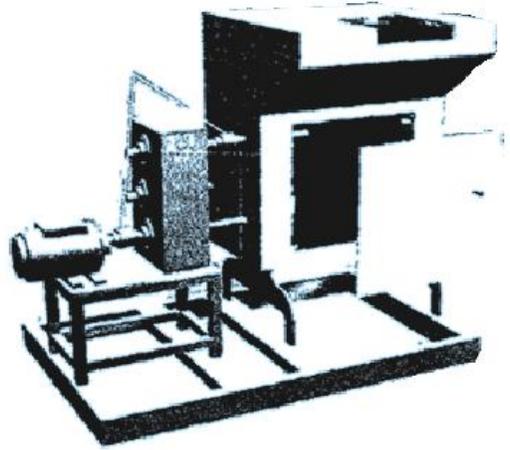


Fig. 2-2. Prototipo A. Tomado de la tesis, Raúl Castillo Hernández, “Diseño de Carcasa Para Máquina Desespinaadora de Nopal” UNAM, 2001.

### 2.2.3 Diseño de carcasa y una nueva propuesta (prototipo b).

Diseño de carcasa y una nueva propuesta (prototipo b)<sup>3</sup> figura 2-3. El CIDI (Centro de Investigaciones de Diseño Industrial, Facultad de Arquitectura, UNAM) y el CDM trabajaron en forma conjunta en éste proyecto. Para llegar a la propuesta final de diseño, se tomaron en cuenta los datos proporcionados por la investigación ergonómica del prototipo desarrollado en la facultad de ingeniería (Prototipo A).

---

<sup>2</sup> En el anexo A.2, A.3, A.4 se muestra algunas de las características, problemas y desventajas del Prototipo A.

<sup>3</sup> En el anexo A.5 se muestran imágenes e información más detallada del Prototipo B.

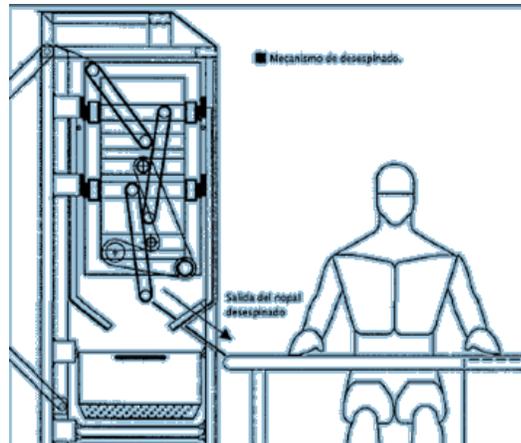


Fig. 2-3. Prototipo B.

Tomado de tesis, Raúl Castillo Hernández, "Diseño de Carcasa Para Máquina Desespinaadora de Nopal" UNAM. 2001.

#### 2.2.4 Construcción del modelo de laboratorio para el rediseño.

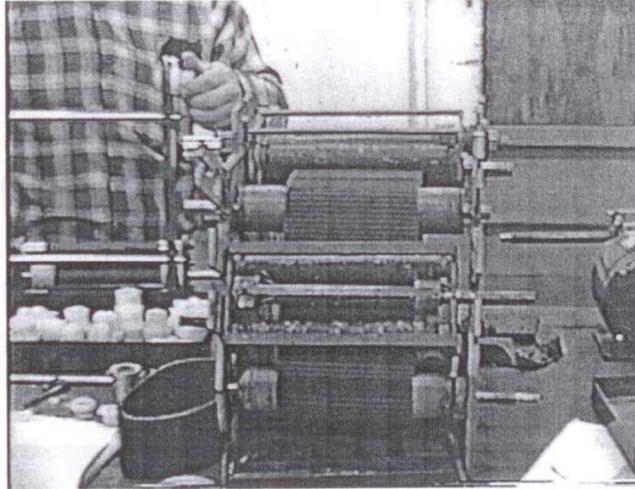
Otro trabajo sobre una máquina desespinaadora fue el rediseño de una máquina para desespinar nopales presentada por el Ing. Gustavo Valeriano Barrientos, tesis de la división de estudios de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México para obtener el grado de maestro en ingeniería (Mecánica, Diseño y manufactura) en el 2003.

Éste trabajo recopila información de diversos conceptos<sup>4</sup> generados en distintas áreas de conocimiento, con el objetivo de lograr un rediseño eficiente de la máquina desespinaadora. El Centro de Diseño y Manufactura diseño y construyó el modelo<sup>5</sup> de laboratorio figura 2-4. A partir del primer modelo.

---

<sup>4</sup> En el anexo A.6 se mencionan los diversos conceptos de desespinado generados.

<sup>5</sup> En el anexo A.7 se menciona la apariencia y forma de operar del modelo de laboratorio construido además se habla los resultados del rediseño.



**Fig. 2-4. Primer modelo de laboratorio de la despinadora. Tomado de la tesis, Valeriano Barrientos Gustavo, "Rediseño de Máquina despinadora de Nopales" UNAM, Posgrado de Ingeniería, 2003.**

### 2.2.5 Otras Máquinas desespadoras encontradas.

La **Desespadora de nopales compacta autoajustable**<sup>6</sup> figura 2-5. Fue Diseñada en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ).

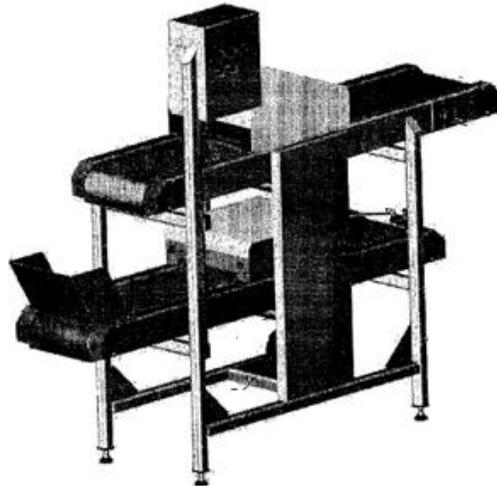


Fig. 2-5. Desespadora de nopales compacta autoajustable.

Tomado de <http://www.patentesonline.com.mx/desespadora-de-nopales-99290.html>, fecha de consulta: 21 de Agosto de 2009.

**Desespadora de nopal de alimentación vertical** figura 2-6. Máquina construida en acero inoxidable tipo 304 de estructura tubular, Equipada con cuchillas ribeteadoras y cuchillas cortadoras, Rodillos de látex sanitario y bases ajustables para su nivelación.



Fig. 2-6. Desespadora de alimentación vertical.

Tomado de <http://www.giga.com/~mag/Desespadora.htm>, fecha de consulta: 21 de Agosto de 2009.

<sup>6</sup> En el anexo A.8, A.9 Y A.10 se encuentra la descripción y las características de funcionamiento de la *Desespadora de nopales compacta autoajustable*, *Desespadora de nopal de alimentación vertical* y la máquina desespadora laser.

**Desespinaadora láser** para nopal figura 2-7. Desarrollada por el IPN, en la cual se adaptó tecnología láser a labores de limpieza de nopal. La máquina recibe el producto y una vez dentro, aplica una descarga de luz sobre las espinas, sin dañar el resto, lo cual da como resultado un alimento limpio.



Fig. 2-7. Máquina desespinaadora láser, las espinas son sometidas a descargas de pulsos láser. Tomado de <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/268403.desarrolla-ipn-desespinaadora-laser-para-nopal.html>, fecha de consulta 2009.

### 3 PLANEACIÓN DEL PRODUCTO.

El proceso de planeación del producto tiene lugar antes que el proyecto de desarrollo se apruebe de manera formal, antes de que se apliquen recursos importantes y antes de que se forme un equipo de desarrollo más grande. Se consideran oportunidades de desarrollo del producto, identificadas por muchas fuentes, incluyendo sugerencias hechas por mercadotecnia, investigación, clientes, grupos actuales de desarrollo de productos y de comparación con productos de competencia.

Una buena planeación, programación de las actividades, de los alcances y del desarrollo en general del proyecto, soporta gran parte del éxito. Debe formularse con alto marco metodológico y rigurosidad administrativa para que se constituya como una herramienta que asegure un buen desarrollo del proyecto.

#### 3.1 El proceso de desarrollo de productos

El diseño del producto es el proceso de idear y establecer los planes que serán necesarios para la fabricación de un producto el cual requiere de una perspectiva multidisciplinaria y la consideración de varios factores a tomar en cuenta. Para el proceso de desarrollo de un producto exitoso no es suficiente con seguir un cierto procedimiento, habrá que tener una organización y coordinación adecuada, responsabilidad y una buena comunicación interna.

En la literatura se encuentran algunas metodologías y técnicas que orientan y encaminan en el desarrollo de un producto exitoso en donde el proceso sigue una serie de fases, aunque no necesariamente secuenciales, dichas fases son construidas para asegurar un procedimiento para la toma de decisiones y como herramienta para la planificación y el control del proceso.

Un modelo que parece guiar con facilidad al desarrollo del producto se muestra en la figura 3-1. Comprende 28 pasos de los cuales los primeros 17 se consideran más relevantes por que se refieren a la construcción conceptual del producto y los restantes se consideran accesorios por que se realizan cuando ya se tiene el diseño del producto y son actividades que en esencia no son `propias del desarrollo del producto, pero son importantes para que en la práctica el producto sea exitoso.

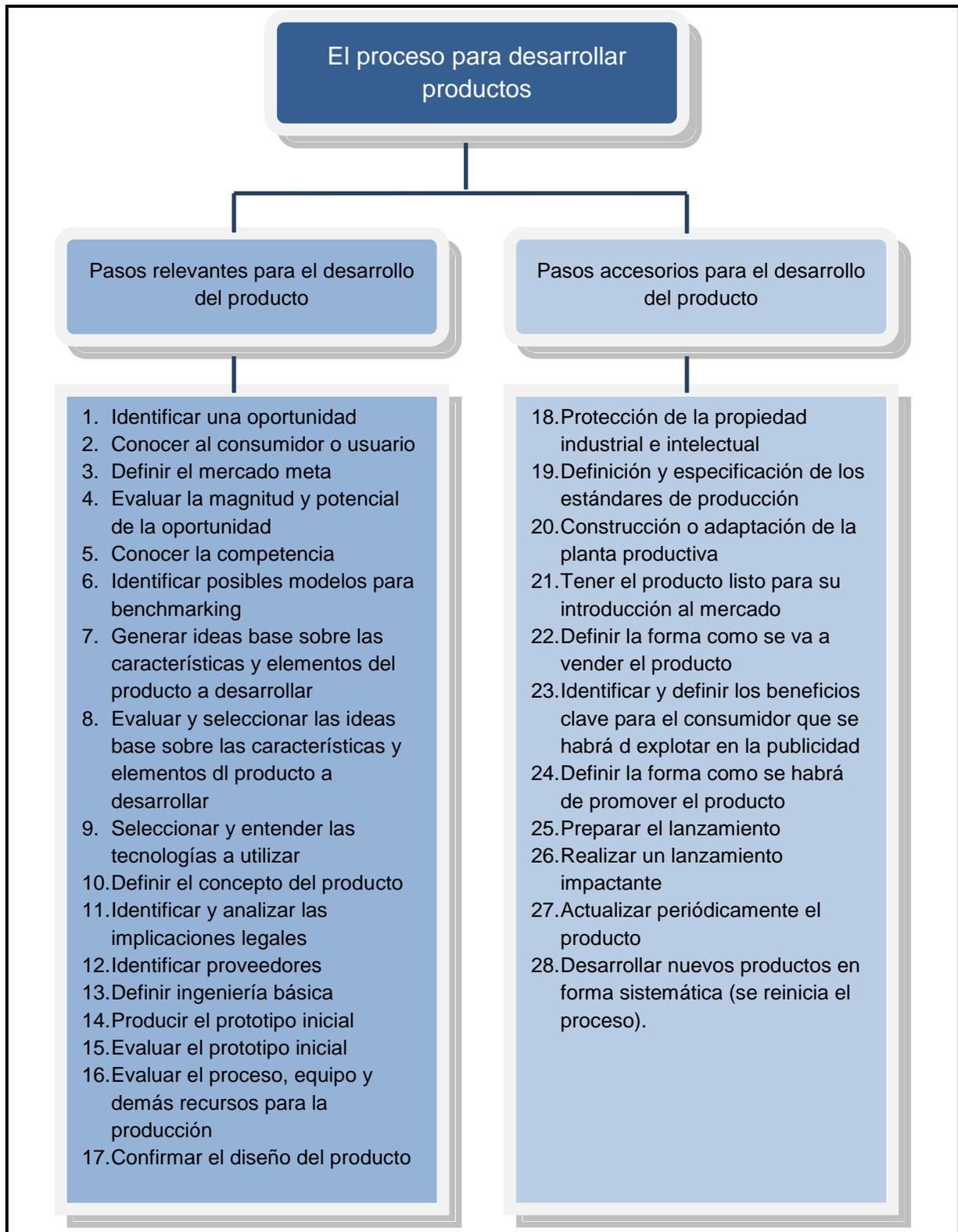


Fig. 3-1 Pasos en el proceso del desarrollo de productos. Tomado de Lerma Kirchner, “Desarrollo de nuevos productos, una visión integral”, Ed. CENGAGE Learning, cuarta edición, México, 2010.

Éste modelo puede dar la impresión de tratarse de una metodología con demasiados pasos y puede parecer complicado, pero en realidad describe en forma clara y breve cada acción que conviene realizar para eliminar la mayor parte de posibles causas previsible de fracaso.

El proceso de diseño del producto es una actividad cíclica en la que se tiene que repetir una secuencia de pasos para llegar a la solución figura 3-2. Generación de ideas para después pasar a la selección de las ideas posibles y posteriormente realizar un testeo y desarrollo de las ideas seleccionadas para realizar observaciones y evaluar los resultados que muy posiblemente llevaran a un rediseño hasta llegar al diseño óptimo.

### Fases del proceso de resolución de problemas

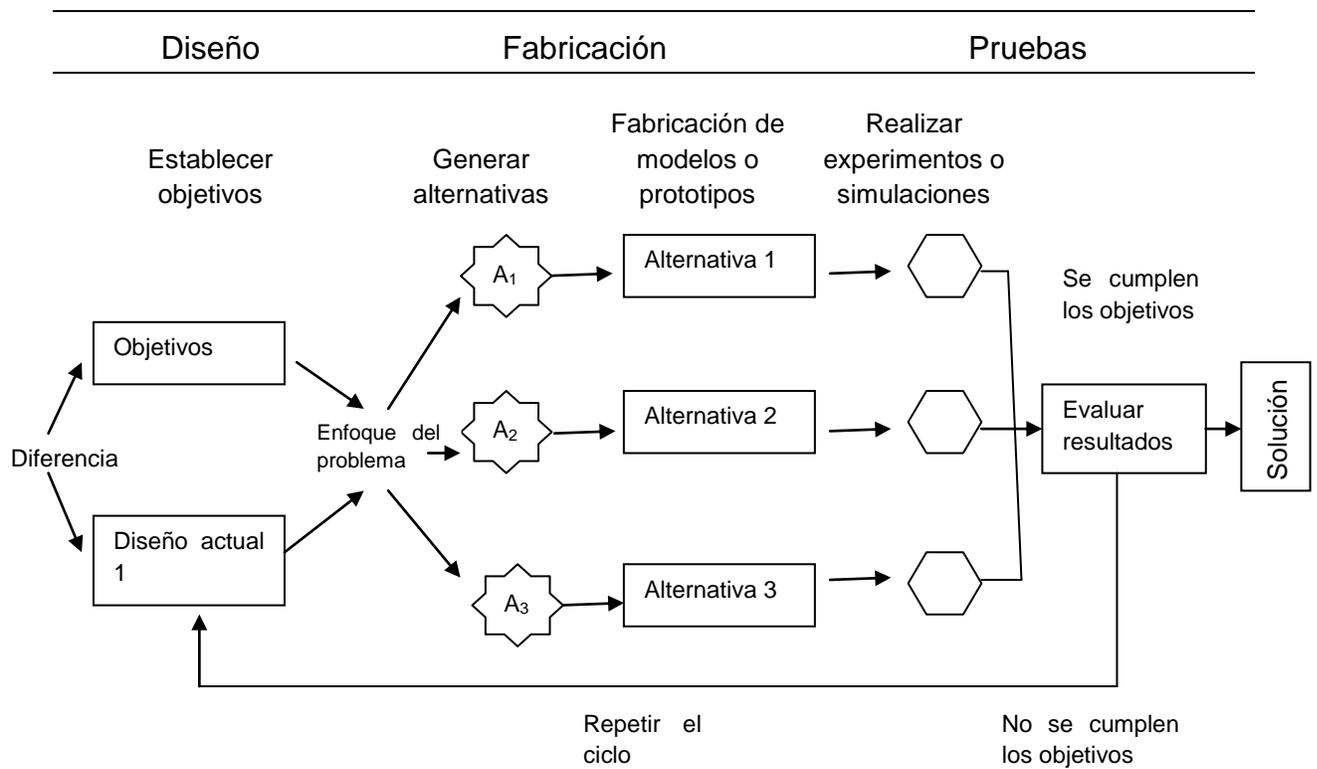


Fig. 3-2. Ciclo diseño-fabricación-prueba

### 3.2 Identificar oportunidades y recopilación de necesidades.

El módulo desespinaador puede representar una plataforma para el desarrollo de una línea de máquinas desespinaadoras que funcionaran para el mercado de pequeños productores de nopal, comerciantes intermediarios, así como grandes cadenas de comercialización del nopal, que requieren de grandes volúmenes de producción.

En esta fase, se recopilan necesidades por medio de entrevistas y sugerencias hechas por personas que cuentan con experiencia en la actividad de desespinado. Así mismo se identifican oportunidades de negocio en mercados de diferentes niveles.

Las entrevistas y los cuestionarios son métodos que permiten recolectar información de los usuarios sobre un producto. El análisis de esta información lleva a examinar los diseños existentes e identificar las aparentes inconsistencias o deficiencias, deducir las razones de estas y buscar las posibles maneras de evitarlas o resolverlas.

En la tabla 3-1, se formulan algunas preguntas basadas en las características especiales que tiene la actividad de desespinar nopales, y son contestadas por personas que cuenta con varios años de experiencia en esta labor.

### 3.2.1 Recopilación de necesidades por entrevistas a empleados de negocios de comercialización de nopales. (Entrevista).

Entrevista a  
empleados  
peladores de  
nopales

(Media de respuestas).

Entrevistador:  
César Noriega V.

PREGUNTA	ENUNCIADO	NECESIDAD INTERPRETADA	CARACTERISTICA
¿Qué cantidad de nopales necesita desespinar?	Necesito desespinar de 1000 hasta 2000 nopales al día. Depende del tamaño del nopal.	Se requiere desespinar mecánicamente y con eficiencia más nopales que la forma manual.	Eficiencia. Capacidad.
¿En cuánto tiempo realiza el trabajo?	De 6 a 8 hrs.		
¿Cómo son las condiciones de trabajo?	Rodeado de nopales y espinas que pueden lastimarte si no tienes precaución, así mismo es fácil ensuciarse con los residuos que botan al momento de desespinar.	El mecanismo debe de ser seguro e higiénico	Seguridad. Limpieza.
¿Qué herramientas son necesarias?	Cuchillo con buen filo, y una tabla.	Dispositivo de corte de alta duración en el filo y de fácil intercambio.	Corte.
¿Qué otras tecnologías pueden utilizar para llevar a cabo su trabajo?	No conozco alguna máquina que funcione bien.	Se requiere de una máquina eficiente	Productos de competencia
¿El tamaño y variedad de nopales influye en el tiempo de desespinado?	Si	Adaptabilidad a las dimensiones y forma	Adaptabilidad

¿Qué características importantes debe tener el cuchillo?	Muy filoso y acostumbrarte a él.	Dispositivos de corte adaptables	Forma
¿Cuál es el tiempo máximo que demora el proceso por cada nopal?	Depende de la forma y el tiempo en que fue cortado. El nopal fresco se limpia con mayor rapidez.	Mecanismo de corte adaptable a la consistencia del nopal.	Tiempo. Rapidez.
¿Qué características especiales tiene el proceso de desespinado?	Se tiene que tener mucha experiencia y habilidad.	El mecanismo debe de incrementar la rapidez de desespinado	Eficiencia del Producto
¿Cuántos años de experiencia tienes realizando esta labor?	Más de 5 años.		
¿Ha tenido accidentes?	No	Debe de ser seguro	Nivel de seguridad

Tabla 3-1. Entrevista a personas que desarrolla el trabajo de desespinar nopales de forma manual.

### 3.2.2 Recopilación de necesidades por entrevista a usuario de máquina desespinaadora existente en el mercado (entrevista).

Pregunta/sugerencia.	Enunciado del usuario	Necesidad interpretada
Uso típico.	Desespinar nopales para ser procesados como conservas u otros productos derivados.	Desespinado eficiente para cualquier fin del producto.
Eficiencia.	Se requiere de habilidad para la alimentación de cada nopal, y sólo desespina las caras por lo que hay que quitar manualmente los contornos y las espinas que deja en caras.	Fácil de operar y adaptable a la condición del usuario.
Producto final.	Deja el nopal manchado y sin buena presentación, además de que lastima mucho la superficie de éste.	El mecanismo no debe maltratar al nopal y dejar buena presentación en el al final del proceso de desespinado.
¿Qué le gusta o no le gusta de la máquina actual?	No cumple con su trabajo y hay que terminarlo manualmente por lo que en ocasiones es más fácil hacerlo manual desde el principio. *La parte de la alimentación está muy alta por lo que a la larga es cansado llevar a cabo el proceso.	El mecanismo debe de ser totalmente eficiente en el desespinado. Ergonomía.

Mejoras y sugerencias	<p>*Se tiene que detallar el mecanismo de desespinado para que no lastime al nopal y lo limpie totalmente.</p> <p>*Que la alimentación no sea complicada y sea más rápida.</p> <p>Que no sea muy ruidosa.</p> <p>*Es muy grande, ocupa mucho espacio.</p>	Mecanismo fácil de operar y de aplicar el mantenimiento de sus partes.
-----------------------	---	--

Tabla 3-2. Opiniones de la desespinaadora Jersa

### 3.3 El proceso de desespinado manual.

La operación de remoción de espinas es parte de la limpieza del nopal para su procesamiento como alimento o materia prima para la elaboración de productos, éste debe efectuarse con las manos higienizadas, al igual que todas las operaciones que se efectúan en contacto directo con el vegetal, tal como se observa en la figura 3-3. Se utilizan cuchillos afilados, guantes y en las empresas los empleados portan sus mascarillas y gorros.

Los operarios adquieren, al cabo del tiempo, una gran destreza en esta operación, haciéndola con rapidez y optimizando la presentación final del producto limpio, ya que es necesaria si éste se presentara al mercado para su venta por piezas o por kilogramo.

Relativamente el proceso manual tiende a ser lento, ya que no satisface la demanda requerida por algunas empresas, que reducen o cancelan sus pedidos por falta de empleados capacitados para realizar la operación de limpieza del nopal.



Fig. 3-3 Proceso manual de remoción de espinas del nopal.

### 3.4 Necesidades clasificadas según características similares.

En la siguiente tabla 3-3, se clasifican las necesidades latentes según una característica similar después de establecer una importancia relativa entre los puntos críticos del proceso de desespinado así como de las sugerencias de usuarios de equipos de competencia.

Clasificación	Característica	Necesidades
<b>Construcción</b>		
	Diseño.	1. Concepto de diseño definido.
	Materiales.	2. Estructuras que no se corroan ni se deterioren. 3. Materiales grado alimenticio.
<b>Funcionamiento</b>		
	Principio funcional	4. Fuente de energía potente y eficiente. 5. Mecanismos especializados para el proceso (dispositivos de corte y mecanismos dinámicos). 6. Que no sea ruidoso.
	Tiempo de proceso	7. Capaz de operar en condiciones extremas. 8. Tiempo de operación adaptable.
	Mantenimiento	9. Equipo de fácil limpieza. 10. Los componentes, refacciones y accesorios fácilmente adquiribles.
<b>Interacción con el usuario</b>		
	Uso.	11. Fácil manipulación del mecanismo. 12. No se requiera de una instrucción especializada.
	Detección de fallas.	13. Buen nivel de seguridad 14. Fácil remplazo de componentes dañados.
<b>Manejo del nopal</b>		
	Capacidad	15. Adaptable a las condiciones de uso y variación de formas y tamaños. 16. Se desespine eficientemente, más producto que la forma manual.
	Alimentación	17. El nopal se pueda posicionar fácilmente en el mecanismo de alimentación. 18. El nopal se pueda introducir en diferentes posiciones y no presente atascos.
	Conservación de las cualidades del producto	19. El mecanismo no deteriore la superficie del nopal. 20. El mecanismo no modifique las geometrías del producto

Tabla 3-3. Clasificación de necesidades

### 3.5 Declaración de la misión.

“Comprender integralmente el proceso de desespinado de nopales para diseñar un prototipo novedoso que defina un nuevo concepto en éste proceso y se consolide en la fabricación de equipos con la capacidad de dar una solución rápida y eficaz en el desespinado.”

#### Declaración de la misión: Módulo desespinator para máquina desespinaadora de nopales.

Descripción del producto.	*Mecanismo desespinator de nopales. *Materiales de grado alimenticio.
Propuesta de valor.	*Desespinado eficiente con funciones de adaptabilidad a los diferentes tipos y tamaños de nopales.
Objetivos de negocio.	*Apoyar y eficientar en el proceso de desespinado de nopales. *Servir como plataforma para el diseño de desespinaadoras de nopales.
Mercado.	*Pequeños productores de nopal. *Empresas que comercializan y utilizan como materia prima esta verdura.
Suposiciones.	*Adaptación automática. *Corte mecánico.
Involucrados.	*Usuarios. *Diseñador mecánico. *Técnicos de manufactura. *Proveedores de materiales.

Tabla 3-4. Declaración de la misión del módulo desespinator.

## 4 GENERACIÓN DEL CONCEPTO

Las necesidades del cliente en el capítulo anterior correspondiente a la planeación del producto, fueron expresadas en el “lenguaje del cliente”. Para obtener una guía sobre como diseñar y construir el mecanismo, se establece un conjunto de especificaciones que explican en detalle preciso y medurable, lo que el producto tiene que hacer para ser exitoso desde el punto de vista comercial y funcional. Se Reflejan las necesidades del cliente, diferenciando el mecanismo propuesto con respecto a los productos de competencia, ser técnico y comercialmente realizable.

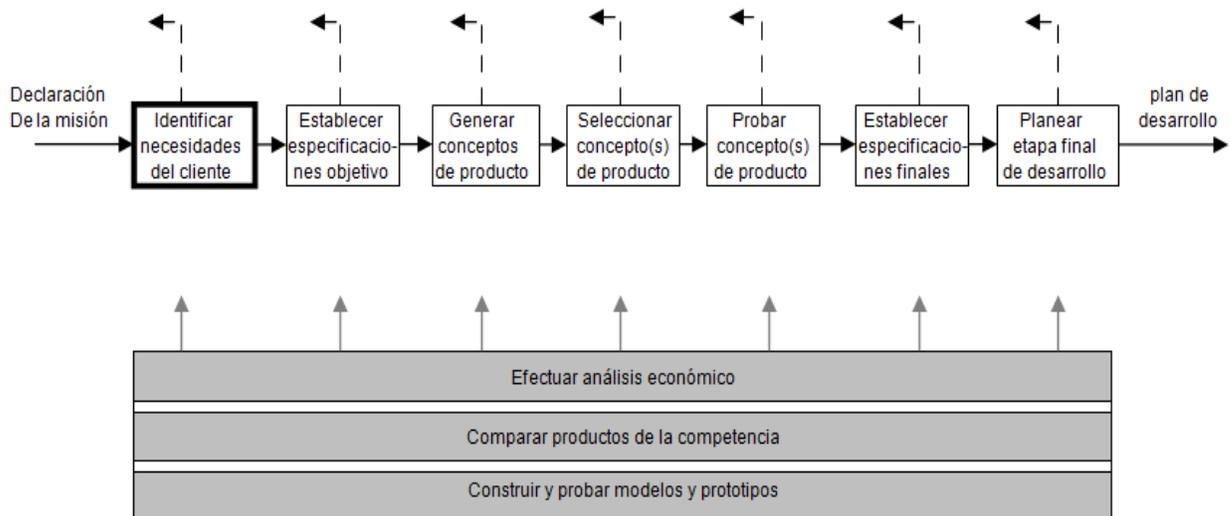


Fig. 4-1 Actividades de identificación de las necesidades del cliente en relación con otras actividades de desarrollo del concepto.

Tomado de Ulrich Karl, Eppinger Steven. Diseño y desarrollo de productos, Ed. Mc Graw Hill, cuarta edición, México, 2009.

### 4.1 Especificaciones objetivo.

Al tener recopiladas las necesidades del cliente, se establecen especificaciones objetivo antes de desarrollar un concepto. Tomando en cuenta que algunas de estas especificaciones pueden no ser técnicamente viables tal vez se omite alguno, se aprueban las especificaciones finales que marcaran el elemento clave para el desarrollo del producto. Las dos etapas en las que se establecen especificaciones se muestran como parte del proceso de desarrollo del concepto en la figura 4-1.

Núm. de necesidad	Especificación	Unidades
4	Fuente de alimentación	[V]
6	Motor de tracción.	[Hp]
1,2	Acero inoxidable.	
2	Hule sanitario grado alimenticio.	[Pza.]
3	Rodillos de transporte sanitarios.	[Pza.]
5,15	Resortes de ajuste.	[Pza.]
2	Cuchillas de corte de acero inoxidable.	[Pza.]
6	Tracción por banda V.	
6	Poleas de tracción.	[Pza.]
8,11	Contador digital.	[Pza.]
11	Sensores de desplazamiento.	
2,9	Tolvas de alimentación y salida de acero inoxidable	
1	Estructura de placa de aluminio 6061	
11	Sensores de corte.	
5,6	Tiempo de ensamble y desensamble para mantenimiento	[min]
4,7	Tiempo de operación continua.	[hrs]

Tabla 4-1. Clasificación de conceptos de solución según necesidades.

## 4.2 Generación del concepto.

El concepto de un producto es una descripción aproximada de la tecnología, principios de operación y forma del producto. Es una descripción concisa de la forma en que el producto va a satisfacer las necesidades del cliente. Por lo general se expresa como un bosquejo o como un modelo tridimensional aproximado y a veces es acompañado por una breve descripción conceptual.

Apoyándose en el método de cinco pasos para la generación de conceptos. El método mostrado en la figura 4-2, se descompone un problema complejo en subproblemas sencillos por medio de procedimientos de búsqueda externa e interna. Se generan arboles de clasificaciones y se integran las soluciones de los subproblemas en una solución total. Por último se da un paso hacia atrás para reflexionar sobre la validez y aplicabilidad tanto de los resultados como del proceso empleado.

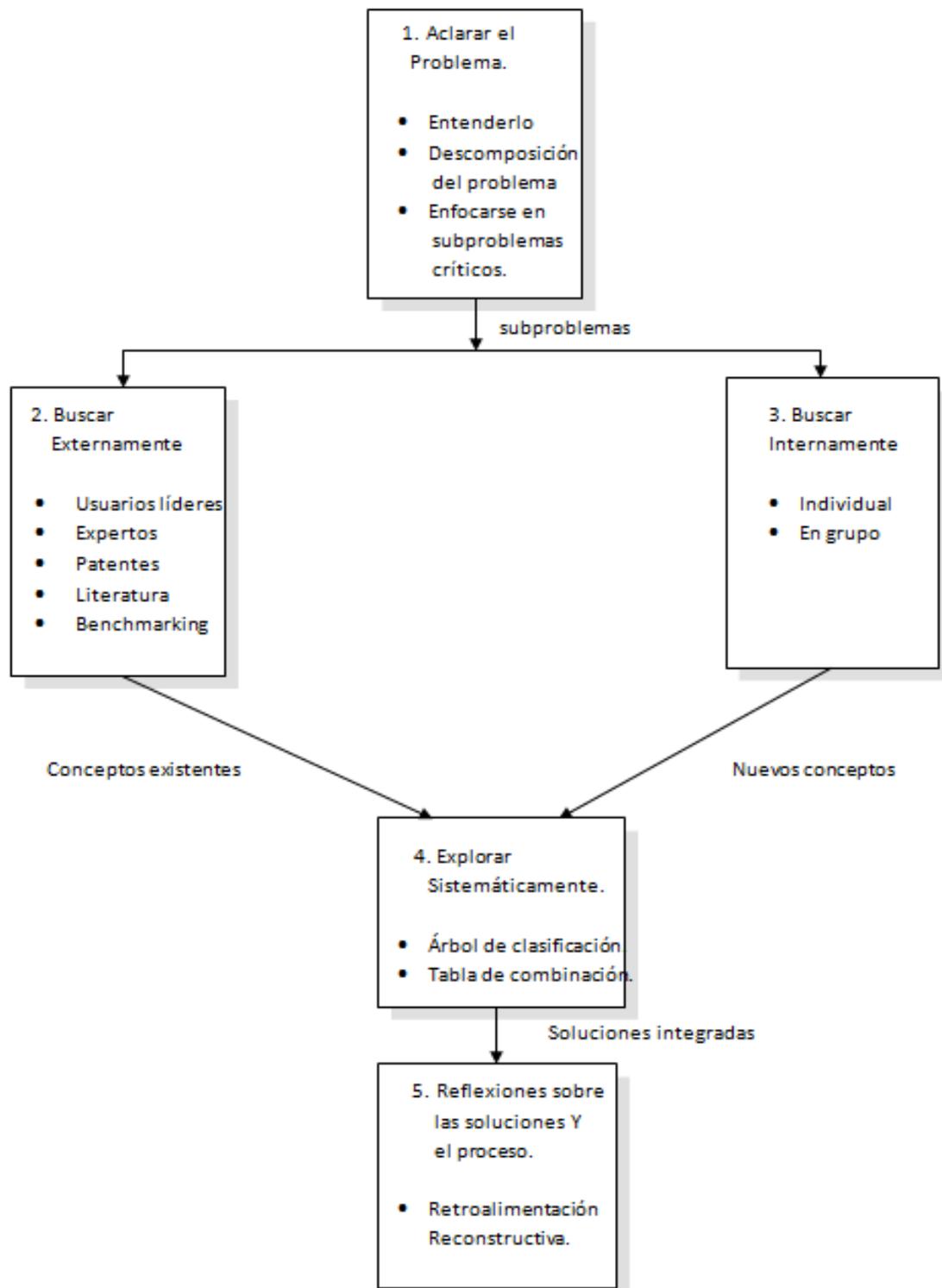


Fig. 4-2 Método de generación de cinco pasos. Tomado de Ulrich Karl, Eppinger Steven. Diseño y desarrollo de productos, Ed. Mc Graw Hill, cuarta edición, México, 2009.

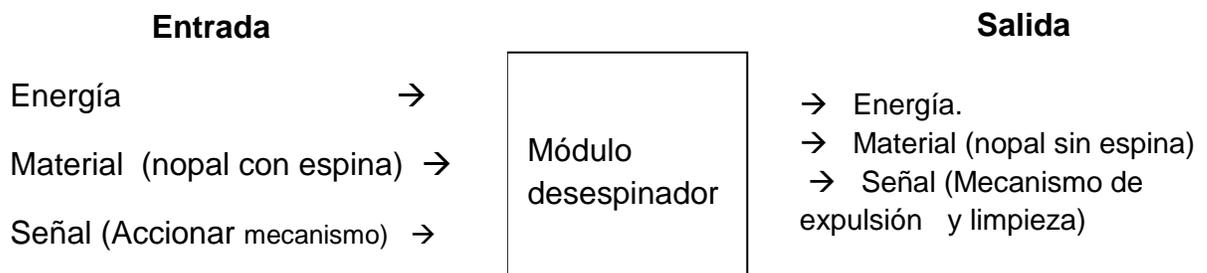
#### 4.2.1 Aclarar el problema.

Se requiere de un módulo desespinator que realice el proceso de remoción de espinas de manera eficiente, es decir, que quite cada una de las espinas sobre la superficie del nopal sin provocar daño en éste, además de que;

- Realice el proceso en forma rápida y continua.
- No presente atascos tanto del producto como de desperdicios y sea de fácil limpieza y mantenimiento.
- Sirva como plataforma para incorporarse a máquinas integrales de desespinado para industrias, comerciantes o pequeños productores de nopal.

#### 4.2.2 Descomposición del problema en subproblemas sencillos.

Dividir un problema en subproblemas o partes más sencillas se denomina descomposición. Hay muchos esquemas en los que un problema se puede descomponer. El primer paso para descomponer un problema funcionalmente es representarlo como una caja negra que opera en flujos de material, energía y señales, como se ve en el siguiente diagrama:



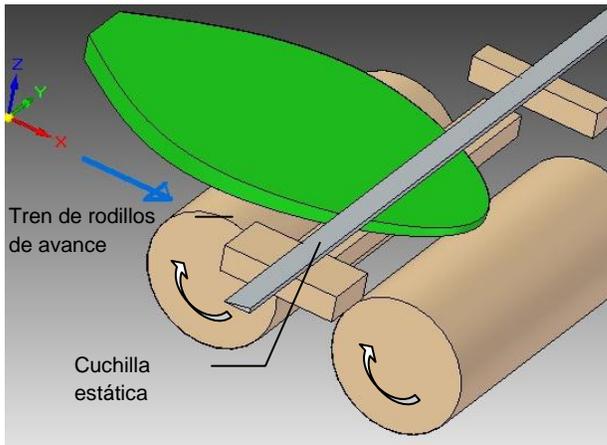
Variables de entrada y salida del mecanismo.

### **4.3 Conceptos para el proceso de desespinado de las caras del nopal.**

A continuación se presentan conceptos generados como producto de la exploración sistemática a través de productos existentes tanto en el mercado como en patentes, así como conceptos generados a partir de la simulación mecánica del proceso manual de desespinado que como componente clave es la cuchilla de corte sin descartar el movimiento al que es sujeto.

Los conceptos mostrados se han sometido a pruebas verificables tanto en productos existentes como en prototipos de ensayo en el que el nopal es desplazado a través de un tren de rodillos y bandas transportadoras en todos los casos, generando así parte del movimiento crucial para el proceso mismo de desespinado.

### Modelo A.



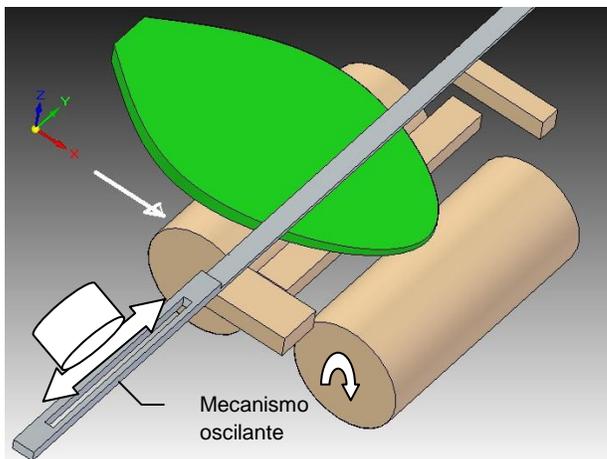
### Cuchilla recta fija.

En éste concepto se implementan cuchillas de corte estáticas, variando el grado de flexibilidad de cada una.

El producto tiende a atascarse por el efecto mismo de la cuchilla, por lo que tiene que variarse constantemente la velocidad de giro del tren de rodillos.

La presentación final del producto es buena en función del filo de las cuchillas

### Modelo B.

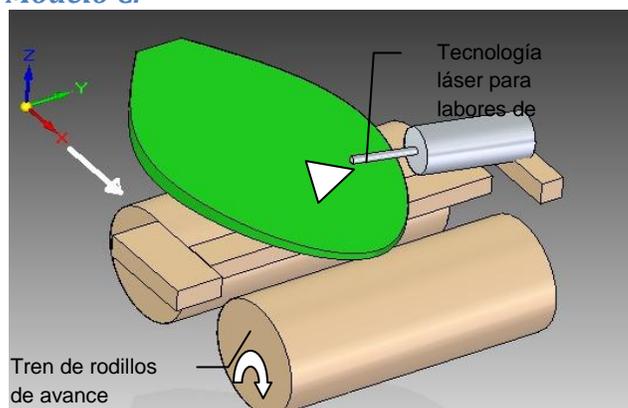


### Cuchilla oscilante

Está cuchilla de corte cuenta con un mecanismo en uno de los lados que realizará un movimiento oscilante en la cual se puede variar la velocidad según los requerimientos.

Se prueban diferentes cuchillas en función de su flexibilidad. Se observa que se reducen los atascos del nopal y la calidad de corte es buena así como la adaptabilidad a la superficie.

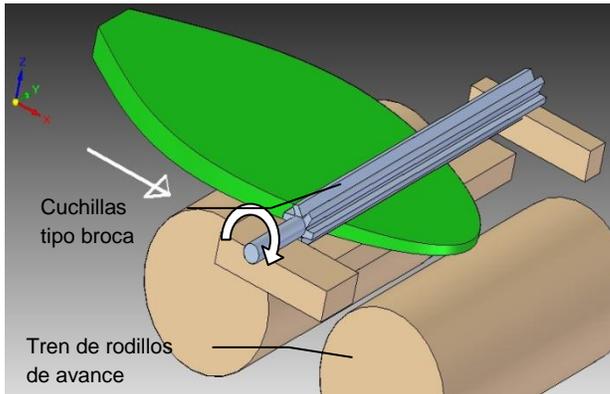
### Modelo C.



### Corte laser

Éste concepto es retomado del trabajo desarrollado por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del IPN (ver anexo A.10), el cual consiste en adaptar la tecnología laser para labores de limpieza, en la cual se realiza una descarga de luz sobre cada espina eliminándola del nopal.

### Modelo D

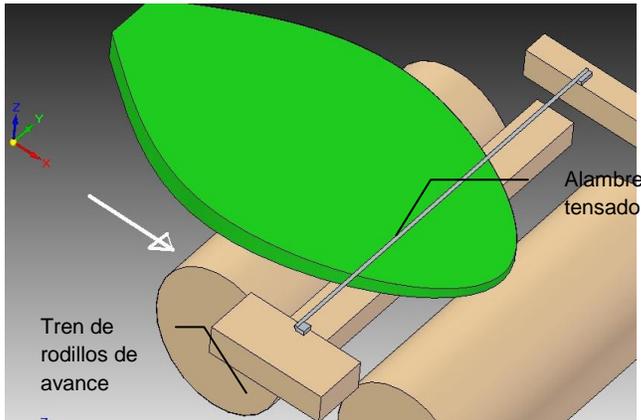


### Cuchilla tipo broca.

Se utiliza un cortador tipo rima de herramienta de corte de metales. Se probó a diferentes velocidades con un resultado poco satisfactorio en la presentación final del nopal.

Las espinas del centro de la verdura eran correctamente removidas, no así la de los extremos laterales, y en algunos casos las espinas eran arrancadas dando un resultado insatisfactorio.

### Modelo E.

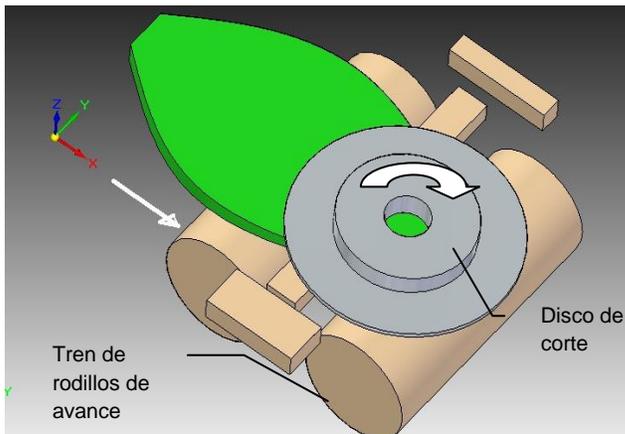


### Cortador de alambre.

En éste concepto se implementa un alambre fino suficientemente resistente para ser tensado en sus extremos a través del cual las protuberancias representadas por las espinas del nopal quedan atrapadas y son cortadas de la superficie.

Se probaron otros arreglos similares a éste concepto mencionados en el trabajo de tesis de maestría ( ver Anexo 6, desespinado con alambres)

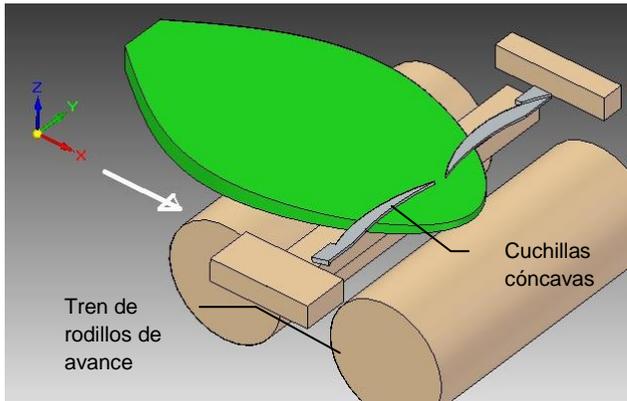
### Modelo F.



### Cuchilla giratoria ajustable.

Es un concepto retomado a partir del mecanismo de un cortador de jamón. Se desarrollo la prueba con discos de corte a diferentes velocidades y con diferente ajuste de presión sobre la cara del nopal, se obtuvieron resultados variables en la remoción de espinas que corresponden según al tamaño del nopal.

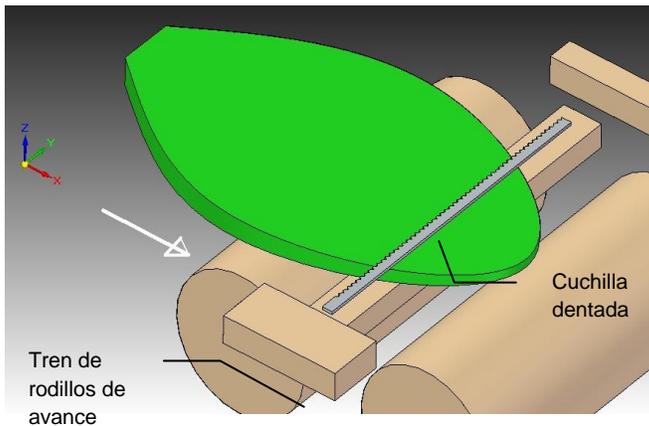
### Modelo G.



### Cuchillas cóncavas.

En éste concepto se probaron cuchillas cóncavas en la configuración que se muestra en la figura, con diferentes grados de flexibilidad, se obtuvieron buenos resultados en cuchillas correctamente afiladas, en algunos casos el nopal resultaba cortado en la parte central.

### Modelo H

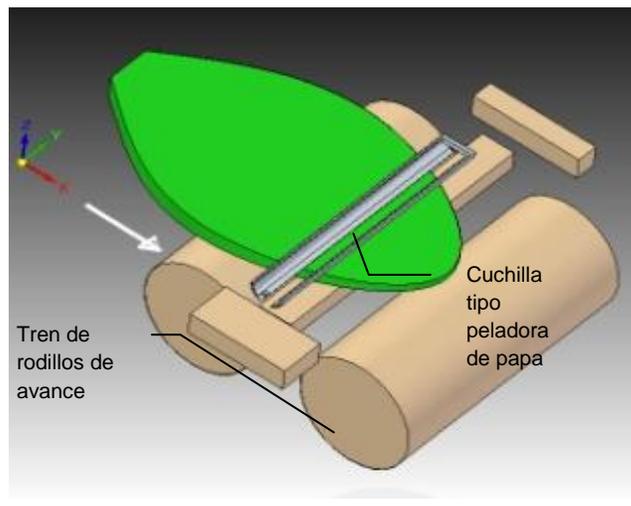


### Cuchilla dentada

En éste modelo se implementó un cuchillo dentado estático el cual al cortar las espinas, las puntas de los dientes del cuchillo marcaba algunas zonas de la superficie del nopal, en forma de rayas.

Se probaron distintas cuchillas variando la característica flexible de estas y todas presentaron en común el mismo acabado en la superficie del nopal.

### Modelo I



### Cuchilla tipo peladora de papa.

Se realizan pruebas con distintas cuchillas especiales para pelar verduras como papas y zanahorias.

Se observa buena adaptación a la superficie del nopal pero la calidad de corte en la superficie no es buena, lo que provoca un mal aspecto en la presentación final del producto.

#### 4.4 Desespinado de las caras del nopal (Cuchillas de corte)

Un componente clave para el funcionamiento óptimo del mecanismo desespinado, es la cuchilla de corte, la cual según los datos recopilados Por las necesidades del usuario, el estudio del proceso de desespinado y la investigación bibliográfica realizada, debe cumplir con características especiales de filo así como la dinámica involucrada en está. Para esto se evalúa de forma sistemática y experimental, los siguientes tipos de corte con cuchillas que se presentan en la siguiente tabla de selección de conceptos.

Con base en ello, se determina la facilidad del proceso de desespinado así como otras características involucradas para cada tipo de cuchilla. En el proceso de selección de la tabla siguiente, se filtran los conceptos para obtener una referencia del sistema final que será valorado según otros criterios de selección.

La evaluación de cada tipo de cuchilla será obtenida por lo positivo, neutro o negativo de cada una de las características requeridas para el prototipo (tabla 4-2).

Criterio de selección:

Característica	Valor
Positiva	+1
Neutra	0
Negativa	-1

Tabla 4-2. Valore de los criterios de selección

Conceptos	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Cuchillas estáticas	Cuchillas oscilantes	Corte láser	Cuchillas tipo broca	Cuchillas tipo alambre	Cuchillas giratorias ajustables	Cuchilla cóncavas	Cuchillas dentadas	Cuchilla tipo pelador de papas
Facilidad de operación	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0
Facilidad de proceso de desespinado	-1	0	0	1	0	1	0	0	0
Facilidad de manufactura	1	0	-1	0	0	0	-1	-1	-1
Costo de materiales	1	1	-1	0	0	0	0	0	0
Facilidad de ajuste.	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1
Durabilidad de cuchilla	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Dimensiones	1	1	1	1	0	0	-1	0	0
Limpieza	1	1	0	0	0	0	1	1	0
Confiabilidad del proceso	0	0	1	0	-1	0	0	0	0
Resistencia a la corrosión.	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Resistencia a la fatiga	1	0	1	1	-1	1	1	1	1
Mantenimiento	1	0	-1	0	-1	0	1	0	0
Baja complejidad de pieza.	1	1	-1	0	0	0	0	0	0
Suma +	8	6	4	5	0	3	4	3	2
Suma -	-2	-1	-5	0	-5	-1	-2	-1	-2
Evaluación neta	6	5	-1	5	-5	2	2	2	0

Tabla 4-3. Matriz de selección de cuchillas.

#### 4.4.1 Filtrado de conceptos para cuchilla de corte.

Los siguientes conceptos son elegidos a partir de la matriz de selección anterior tabla 4-3 y sometidas a un filtrado considerando ventajas y desventajas después de verificar su comportamiento en un proceso experimental, se elaborara una matriz tabla 4-5, en donde conceptos seleccionados se evaluaran a una mayor resolución tabla 4-4, de esta manera se determinará el mejor concepto de cuchilla de corte empleando una escala más fina.

En éste caso se empleara una rango del 1 al 5:

Desempeño relativo	Calificación
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Tabla 4-4. Escala de desempeño relativo para evaluación de conceptos.

Después de rellenar las celdas con la evaluación asignada a cada concepto, se procede a obtener la evaluación ponderada de la siguiente manera:

**EP (Evaluación Ponderada) = calificación asignada × porcentaje de peso asignado**

La evaluación total para cada concepto será igual a la suma de las evaluaciones ponderadas.

$$ET(\text{Evaluación Ponderada}) = \sum_{i=1}^n E P_i$$

Concepto	Peso	A		B		D	
		Cuchillas Estáticas		Cuchillas Oscilantes		Corte láser	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Facilidad de operación	5%	3	0.15	3	0.15	2	0.1
Facilidad de proceso de desespinado	10%	3	0.3	5	0.5	4	0.4
facilidad de manufactura	5%	3	0.15	3	0.15	2	0.1
Costo de materiales	10%	3	0.3	2	0.2	1	0.1
Facilidad de adaptabilidad al contorno del nopal	20%	3	0.6	4	0.8	5	1
Durabilidad de cuchillas	10%	3	0.3	3	0.3	2	0.2
Dimensiones	5%	3	0.15	3	0.15	2	0.1
Limpieza	10%	3	0.3	3	0.3	2	0.2
Confiabilidad del proceso	5%	3	0.15	5	0.25	4	0.2
Resistencia a la corrosión	5%	3	0.15	3	0.15	4	0.2
Resistencia a la fatiga	5%	3	0.15	3	0.15	3	0.15
Mantenimiento	5%	3	0.15	3	0.15	2	0.1
Baja Complejidad de pieza	5%	3	0.15	3	0.15	2	0.1
Suma +	Total puntos		3		3.4		2.95
Suma -	Lugar		2		1		3
Evaluación neta	¿Continuar?		No		Desarrollar		No

Tabla 4-5. Evaluación ponderada de los conceptos de cuchillas de corte.

Concepto	Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuchillas estáticas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fácil fabricación</li> <li>▪ Fácil implementación del mecanismo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se dificulta el corte y acceso a superficies irregulares.</li> <li>▪ Causa atascos seguidos.</li> <li>▪ Se requiere de un excelente filo constante.</li> <li>▪ Se requiere velocidad en tren de rodillos de transporte</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuchillas tipo broca.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Buen corte en superficies regulares.</li> <li>▪ Se puede mantener el filo por más tiempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Costo.</li> <li>▪ Difícil acceso a superficies irregulares.</li> <li>▪ Calibración</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuchillas oscilantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Una cuchilla flexible facilita el corte en superficies semi-irregulares.</li> <li>▪ Versatilidad en la orientación del filo.</li> <li>▪ Variación de velocidad e corte.</li> <li>▪ Evita atascos continuos del producto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Costo</li> <li>▪ Manufactura.</li> </ul>

Tabla 4-6. Filtrado de conceptos.

#### 4.4.2 Exploración sistemática.

Puntos críticos del desespinado en caras del nopal

- Superficies irregulares, se requiere adaptabilidad.
- Se requiere buen filo y durabilidad en cuchilla.
- Velocidad de corte.
- Adaptación a cambios de tamaño del producto.
- Evitar el maltrato de la superficie.
- Evitar atascos del producto en el proceso de desespinado.

#### 4.4.3 Evaluación de concepto para cuchilla de corte

Al Analizar los puntos críticos relativos al desespinado en la exploración sistemática, y con base en los experimentos realizados en el cual se enfoco al tipo de cuchilla de corte, además que en el filtrado de conceptos se tienen 3 de los cuales se observan ventajas y desventajas visibles, Se propone implementar una cuchilla suficientemente flexible, oscilante de izquierda a derecha y viceversa con las siguientes características.

Dimensiones

Largo: de 25 a 30 cm

Ancho: de 10 a 20 mm

Espesor: 1 mm

Dicha cuchilla deberá contar con zonas sin filo, para evitar el corte total del producto o por capas. 20 mm con filo y 10 mm sin filo y así hasta cubrir la longitud total de la cuchilla (figura 4-3).

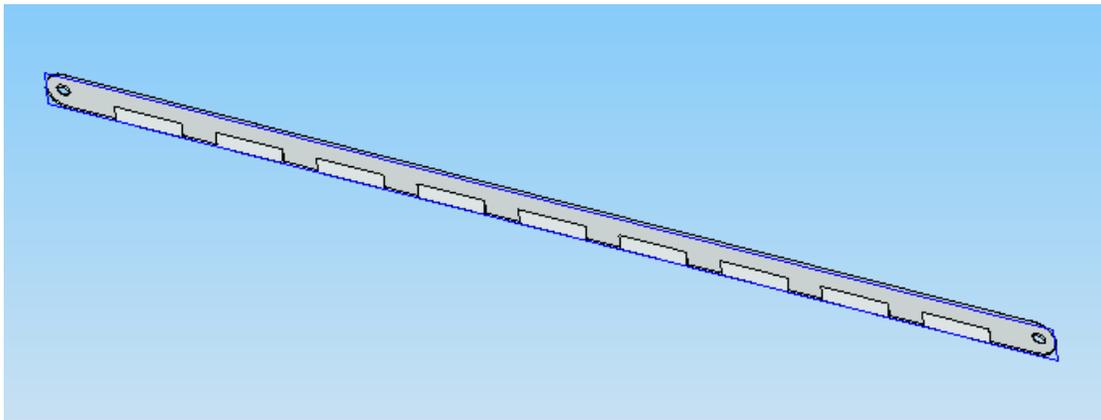


Fig. 4-3 Cuchilla de corte para desespinado de las caras del nopal

## 4.5 Desespinado del contorno del nopal

Se realizará la selección de concepto analítico para el mecanismo desorillador del nopal, como componente necesario del módulo desespinaador que al igual que la cuchilla de corte para las caras, esté representa gran importancia en la presentación final del producto desespinado.

## 4.6 Conceptos para el proceso de desespinado del contorno.

En la búsqueda del modelo ideal (calidad de desespinado eficiente, como si el nopal se desespina manualmente a preferencia del usuario) se generaron varias conceptos de solución para el desespinado del contorno del nopal que se presentan a continuación.

### MODELO A

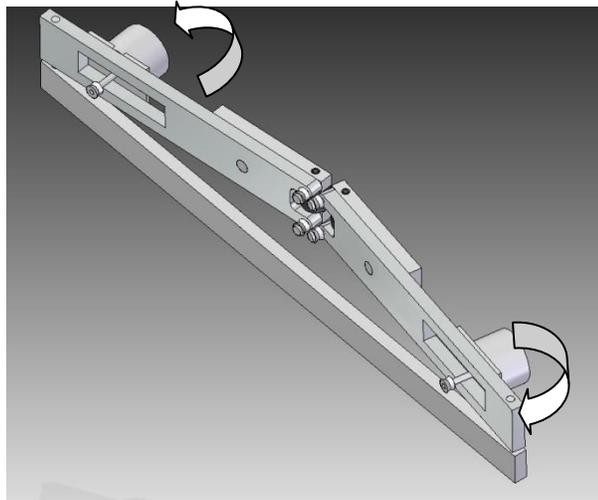


Fig. 4-4. Modelo A

Mecanismo conformado por dos placas móviles entre las cuales se hace pasar el nopal impulsado por rodillos transportadores, cada placa cuentan con sistema de corte en sus extremos que ejecutará la función de cortar el contorno del nopal. Dicho sistema consta de una cuerda de acero que se hará oscilar con la ayuda de dos pequeños motores ubicados a cada costado de los brazos, mismo que podrá ajustarse a la profundidad de corte así como a la geometría de la verdura.

### Ventajas

- Buen corte del contorno del nopal.
- Posibilidad de ajustar la profundidad de corte.

### Desventajas del modelo:

- La alimentación del nopal al mecanismo de corte deberá ser siempre en forma vertical ya que al entrar en otra posición daría como resultado algunas zonas sin cortar.
- Presentar posibles atascos.

### MODELO B

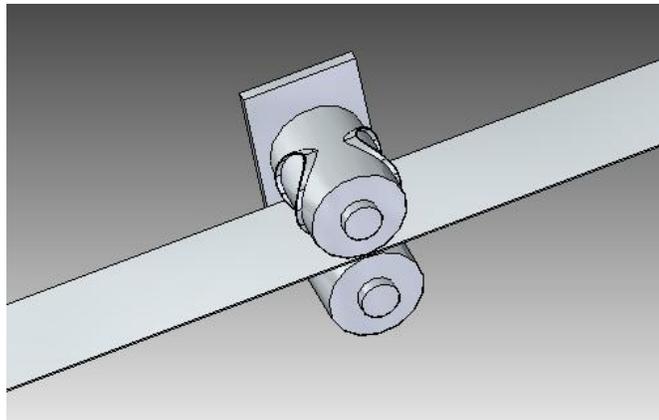


Fig. 4-5. Modelo B

En éste modelo, los nopales serán transportados a través de una banda, la cual tendrá marcada las áreas en donde se colocarán los nopales mismos que pasarán entre dos cilindros horizontales, siendo el inferior el que tendría la función de apoyo para la banda de tal manera que no se cuelgue. El cilindro superior desempeñará la función del corte del contorno del nopal (como un proceso de troquelado).

### Ventajas

- Facilidad de limpieza
- Larga duración
- Corte simétrico

## Desventajas

- Un gran desperdicio de nopal.
- Posibilidad de que no corte gran parte del contorno del nopal.
- La persona encargada de alimentar a la máquina con el producto tendría que tener cuidado de estar colocando los nopales en posición correcta y dentro de las áreas marcadas.
- Todos los nopales saldrían de la misma medida.
- La manufactura del rodete (rodillo superior) que esté integrado con un molde de corte con la forma del nopal sería complicado y tendría que fabricarse para varios tamaños, por lo menos 3, chico, mediano y grande como se menciona en la siguiente tabla.

<b>Tamaño</b>	<b>Largo [cm]</b>	<b>Ancho[cm]</b>	
Chico	12	7	
Mediano	17	10	
Grande	23	15	

Tabla 4-7. Tamaños promedios del nopal.

## MODELO C

Éste modelo integra una rampa por la cual los nopales serían deslizados y se les cortaría su contorno con ayuda de unas cuchillas colocadas en la parte final de la rampa. Dichas cuchillas serían tipo broca que girarían con la ayuda de unos motores pequeños.

### Ventajas

- Facilidad de mantenimiento.
- Facilidad de limpieza.
- Modelo simple, económico y fácil de instalar.

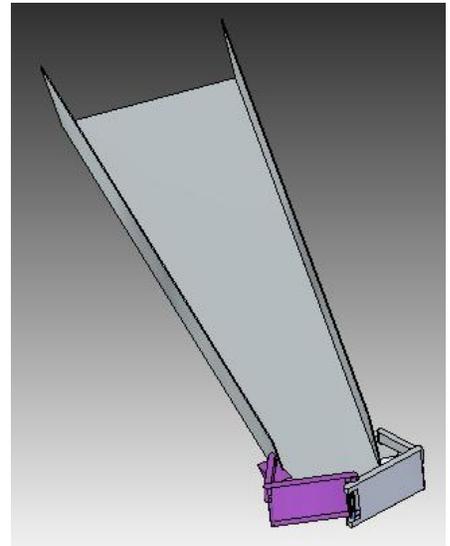


Fig. 4-6. Modelo C

### Desventajas

- Atasco de nopal en la rampa (el nopal no deslizaría a menos que la pendiente de la rampa fuera muy grande o impulsados por rodillos).
- Atasco del nopal en la salida en la sección de corte.

## MODELO D



Éste modelo es casi idéntico al modelo C con la variante de que en vez de utilizar una rampa se utilizaría un tubo de sección rectangular dicha sección rectangular sería lo más reducida posible en cuanto a su ancho y su espesor de tal manera que los nopales pudieran pasar en forma vertical sin rotarse en ningún sentido. Y en la salida se colocarían unas cuchillas que cortarían el contorno.

### Ventajas

- Facilidad de limpieza
- Facilidad de mantenimiento.

### Desventajas

- Tendrían que haber varios módulos similares sólo que con diferentes dimensiones de la sección rectangular (el espesor y el ancho variarían).
- Estancamiento del nopal.

## MODELO E

### Tipo rayador de queso

Los nopales se dejarían caer a través de un cilindro lleno de cuchillas en sus paredes que estaría rotando y cortaría (pelaría) el contorno del nopal.



Fig. 4-8. Modelo E, Tipo rayador de queso.

## Ventajas

- Alimentación del nopal en diferentes posición

Éste modelo presenta algunas desventajas como:

- Excesivo desperdicio de nopal
- Producto final muy maltratado (demasiado dañado)
- Atasco del producto (atolladero)
- Posibles zonas sin cortar

## MODELO F

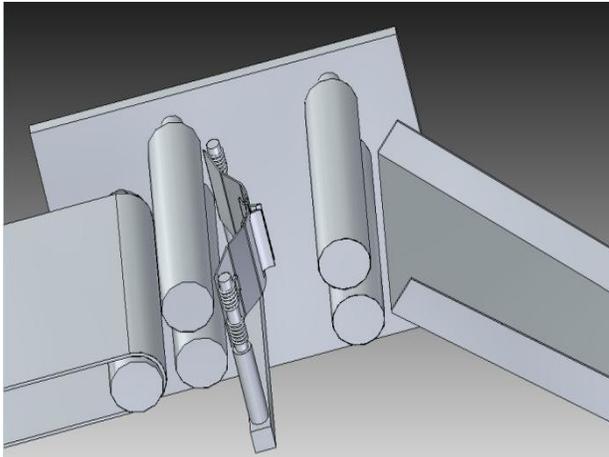
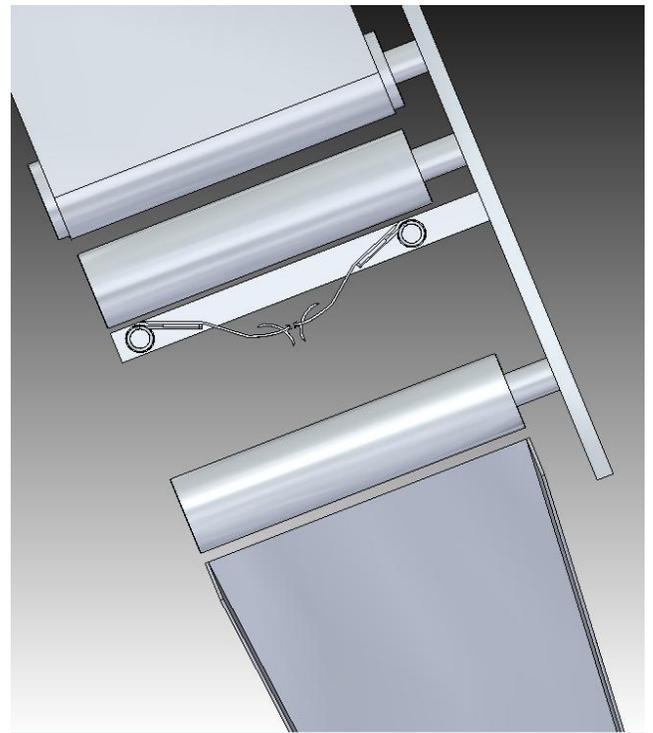


Fig. 4-9. Modelo F



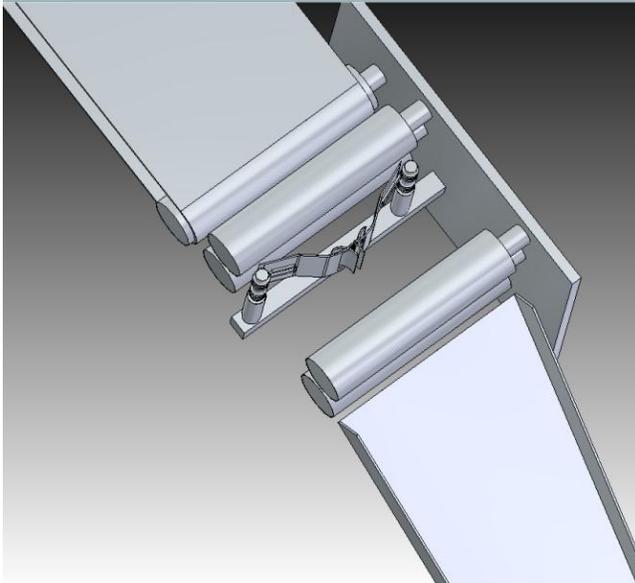


Fig. 4-10. Vista superior del modelo F

El nopal sería transportado a través una banda hasta un par de rodillos que impulsarían al producto hacia las cuchillas de corte de contorno, un segundo par de rodillos jalaría el nopal y lo enviaría a una segunda banda que transportaría el nopal al módulo de desespinado de las caras.

#### Ventajas

- Buena presentación en el corte del contorno del nopal.

#### Desventajas

- La alimentación del nopal al mecanismo de corte deberá ser siempre en forma vertical ya que al entrar en otra posición daría como resultado algunas zonas sin cortar.
- Presentar posibles atascos.

## 5 SELECCIÓN DE CONCEPTO

La selección del concepto es el proceso para evaluar conceptos con respecto a las necesidades del usuario y otros criterios, comparando los puntos relativamente fuertes y débiles de los conceptos, y seleccionando uno o más de estos para su posterior investigación, prueba o desarrollo.

La primera etapa se denomina filtrado de conceptos y la segunda evaluación de conceptos, cada una de estas se apoya en la elaboración de una matriz de decisión en el cual se filtra, se ordena y se selecciona al mejor concepto.

Se seguirá un proceso de seis pasos para la elección del mecanismo desorillador.

1. Elaborar una matriz de selección.
2. Evaluar los conceptos.
3. Ordenar los conceptos.
4. Combinar y mejorar los conceptos.
5. Seleccionar uno o más conceptos.
6. Reflexionar sobre los resultados y el proceso.

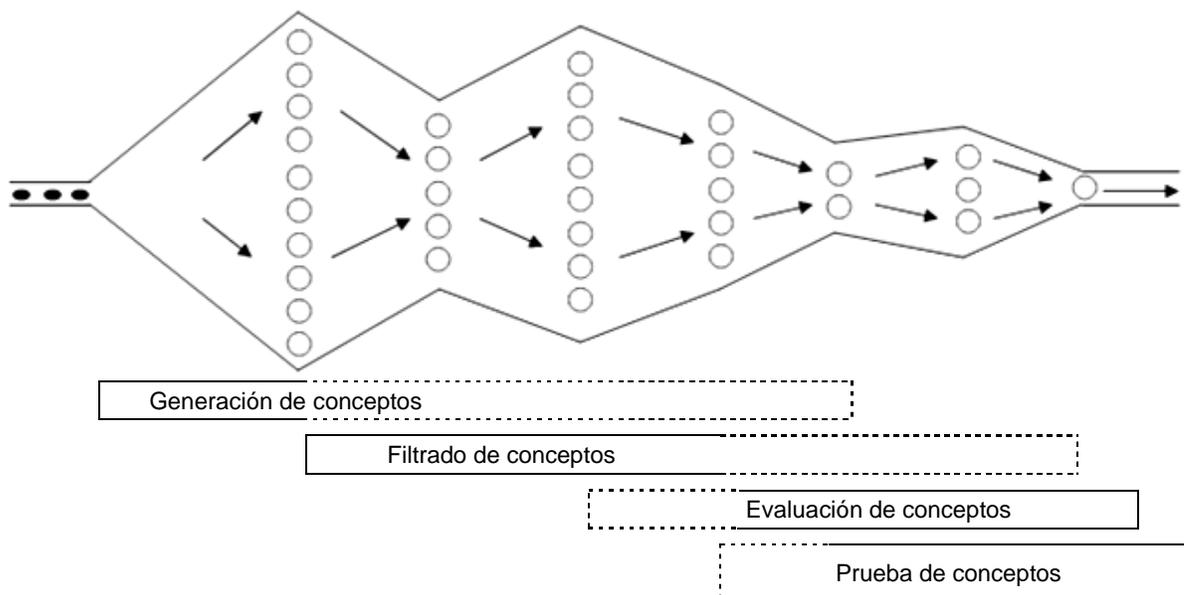


Fig. 5-1. La selección del concepto es un proceso iterativo relacionado con la generación y prueba del concepto. Los métodos de filtrado y evaluación ayudan a refinar y mejorar el concepto. Tomado de Ulrich Karl, Eppinger Steven. Diseño y desarrollo de productos, Ed. Mc Graw Hill, cuarta edición, México, 2009.

## 5.1 Desespinado del contorno del nopal

Se realizará la selección de concepto analítico para el mecanismo desorillador del nopal, como componente necesario del módulo desespinado que al igual que la cuchilla de corte para las caras, éste representa gran importancia en la presentación final del producto desespinado.

### 5.1.1 Filtrado de conceptos para mecanismo desorillador

Se realizara el filtrado de conceptos con la elaboración de una matriz en la cual se realizará una evaluación relativa llenando cada celda haciendo una comparación con un modelo de referencia considerado optimo y viable según la exploración sistemática anterior para el módulo desespinado.

Se utiliza el siguiente criterio particular:

- “mejor que” (+1),
- “igual a” (0) ó
- “peor que” (-1)

Criterios de selección	CONCEPTOS DE MECANISMO DESORILLADOR					
	A (Referencia)	B	C	D	E	F
Facilidad de manejo	0	+1	0	+1	0	0
Facilidad de mantenimiento	0	+1	0	+1	0	0
Precisión de corte	0	-1	0	0	-1	0
Adaptable a las condiciones de uso y variación de formas y tamaños	0	-1	-1	-1	0	0
El nopal se pueda introducir en diferentes posiciones.	0	-1	+1	-1	+1	0
El mecanismo no deteriora la superficie del nopal	0	0	-1	0	-1	0
Durabilidad	0	+1	0	+1	+1	+
Facilidad de manufactura	0	-1	0	+1	-1	0
Suma +	0	3	1	4	2	1
Suma 0	8	0	4	2	3	6
Suma -	0	4	2	2	3	0
Evaluación neta	0	-1	-1	2	-1	1
Lugar	3	4	4	1	4	2
¿Continuar?	si	no	no	si	no	si

Tabla 5-1. Filtrado de conceptos.

Después de evaluar todos los conceptos se realiza una suma del número de evaluaciones que obtuvieron “mejor que” (+), “igual que” (0) y “peor que” (-) y con las sumas obtenidas se hace una evaluación neta realizando la resta de la suma de los “mejores que” (+) obtenidos menos la suma de los “peor que” (-) obtenidos.

$$\text{EVALUACIÓN NETA} = [\text{“mejor que” (+)}] - [\text{“peor que” (-)}]$$

Con la ayuda de los valores obtenido en la evaluación neta se realiza un ordenamiento de los conceptos; habiendo evaluado y ordenado los conceptos se reflexiona si los resultados son lógicos y se analiza si existe la posibilidad de combinar dos conceptos o más, o se busca la manera de mejorarlo.

Por último, en esta etapa de filtrado de conceptos se realiza la selección algunos conceptos para su refinamiento y análisis en la segunda etapa a través de la “Evaluación de conceptos”

### 5.1.2 Evaluación de los conceptos para el mecanismo desorillador.

Al igual que en la etapa de filtrado se realizará una matriz en donde la evaluación de los conceptos seleccionados se hará a una mayor resolución y debido a que los modelos presentados en su mayoría corresponden a prototipos analíticos en los cuales se supone su comportamiento. Por lo tanto así se determinará el mejor concepto empleando una escala más fina.

En éste caso se empleara una rango del 1 al 5:

Desempeño relativo	Calificación
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Tabla 5-2. Escala de desempeño relativo para evaluación de conceptos.

Después de rellenar las celdas de la calificación de cada concepto con la evaluación correspondiente asignada, se procede a obtener la evaluación ponderada de la siguiente manera:

**EP (Evaluación Ponderada) = calificación asignada × porcentaje de peso asignado**

La evaluación total para cada concepto será igual a la suma de las evaluaciones ponderadas.

$$ET(\text{Evaluación Ponderada}) = \sum_{i=1}^n E P_i$$

		CONCEPTOS					
		A (Referencia)		D		F	
Criterios de selección	Peso	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Facilidad de manejo	5%	3	0.15	3	0.15	4	0.20
Facilidad de mantenimiento	5%	3	0.15	3	0.15	4	0.20
Precisión de corte	25%	3	0.75	4	1.00	3	0.75
Adaptable a las condiciones de uso y variación de formas y tamaños	15%	3	0.45	1	0.15	4	0.60
El nopal se pueda introducir en diferentes posiciones.	10%	3	0.30	1	0.10	4	0.40
El mecanismo no deteriora la superficie del nopal	20%	3	0.60	4	0.80	3	0.60
Durabilidad	10%	3	0.30	4	0.40	4	0.40
Facilidad de manufactura	10%	3	0.30	4	0.40	3	0.30
	Total puntos	3.00		3.15		3.45	
	Lugar	2		3		1	
	¿Continuar?	No		No		Desarrollar	

Tabla 5-3. Evaluación ponderada.

## 6 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.

El prototipo es la aproximación al producto en una o más de sus dimensiones de interés. Para el desarrollo de un producto se requiere de la construcción y prueba de prototipos. Los prototipos se pueden clasificar de manera útil en dos dimensiones:

Analíticos.

Físicos.

### 6.1 Principios de construcción de un prototipo.

Varios principios son útiles para guiar decisiones acerca de prototipos durante el desarrollo del producto. Estos principios informan sobre decisiones acerca de qué tipo de prototipo construir y como incorporar prototipos en un plan de proyecto de desarrollo.

Los prototipos analíticos son generalmente más flexibles que los prototipos físicos. Debido a que un prototipo analítico es una aproximación matemática de un producto, generalmente contiene parámetros que pueden variar para representar un intervalo de alternativas de diseño. En la mayor parte de los casos, cambiar un parámetro por un prototipo analítico es más fácil que cambiar un atributo por un prototipo físico. Por esta razón un prototipo analítico precede con frecuencia a un prototipo físico.

El prototipo analítico se usa para reducir el intervalo de parámetros factibles y luego el prototipo físico se emplea para afinar o confirmar el diseño.

Los prototipos físicos son necesarios para detectar fenómenos no anticipados. Un prototipo físico a veces exhibe fenómenos no anticipados que no están relacionados por completo con el objetivo original del prototipo. Una razón para estas sorpresas es que todas las leyes de la física están operando al experimentar con estos prototipos. Algunas propiedades imprevistas de prototipos físicos son irrelevantes para el producto final, y molestas durante la prueba. No obstante, algunas propiedades imprevistas de estos prototipos físicos también se presentan en el producto final. En estos casos un prototipo físico puede servir como herramienta para detectar fenómenos perjudiciales no anticipados que pueden aparecer en el producto final. Los prototipos analíticos en contraste, nunca pueden dejar ver fenómenos que no son parte del modelo analítico fundamental en el que se basa el prototipo.

## 6.2 Papel del usuario en los prototipos

Hay tres formas principales en que un usuario puede ser de ayuda en la elaboración del Prototipo.

Experimentando con el prototipo.

Reaccionar abiertamente ante el prototipo.

Sugiriendo adiciones y/o eliminaciones del prototipo.

<b>Desventajas de la elaboración de Prototipos</b>	<b>Ventajas de la elaboración de prototipos</b>
Es difícil manejar la elaboración de prototipos como un proyecto dentro de un esfuerzo de sistemas más grande.	Existe el potencial para hacer cambios en el sistema en las primeras etapas de su desarrollo.
Los usuarios y analista pueden adoptar a un prototipo como un sistema terminado cuando es inadecuado.	Existen oportunidades para detener el desarrollo de un sistema que no es funcional.
	Puede atacar necesidades de usuario y expectativas más cercanas.

Tabla 6-1. Ventajas y desventajas de la elaboración de un prototipo.

## 6.3 Planeación del prototipo del módulo desespinator.

Se define el prototipo antes de construirlo y se procede a las pruebas. Siguiendo el método de cuatro pasos propuesto a continuación (tabla 6-2) en el cual establece el propósito, el nivel de aproximación, el plan experimental y los tiempos de prueba. El método aplica a los diferentes tipos de prototipos mencionados.

Prototipo del módulo desespinaador de nopales.	
Propósito(s).	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Seleccionar una geometría del mecanismo de ajuste a diferentes tamaños y formas de nopales.</li> <li>○ Confirmar que los rodillos son capaces de generar el avance del producto, sin perder contacto y fricción entre éste, así mismo que no dañen la superficie del nopal.</li> <li>○ Seleccionar las dimensiones y forma de una cuchilla o cuchillas que se adapten al corte eficiente de espinas.</li> <li>○ Probar diferentes tipos de tracción y accionamiento de mecanismos de corte.</li> </ul>
Nivel de aproximación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ La superficie de contacto de los rodillos será fabricada con hule sanitario grado alimenticio y con textura para evitar pérdida de fricción.</li> <li>○ La estructura del mecanismo será construido en placa de aluminio por la facilidad de maquinado y resistencia a la corrosión.</li> <li>○ Los resorte de sujeción y ajuste son comerciales.</li> <li>○ Las cuchillas serán fabricadas de acero inoxidable y se probarán distintos ángulos de filo y geometrías de corte.</li> </ul>
Plan experimental.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Se realizará el ensamble del mecanismo y se probarán las cuchillas.</li> <li>○ Se verificarán velocidades de proceso para un desespinado eficiente.</li> <li>○ Se designarán posiciones para el desalojo de desechos del producto.</li> <li>○ Se elegirá un motor adecuado que cumpla con los requerimientos necesarios, tanto del proceso como de ahorro de energía.</li> </ul>
Tiempos de prueba.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Seleccionar dimensiones de rodillos comerciales así mismo como la superficie de contacto.</li> <li>○ Seleccionar poleas, catarinas, bandas y cadenas comerciales.</li> <li>○ Seleccionar cuchillas de acero inoxidable disponibles en el mercado y verificar disponibilidad y precios con proveedores para modelos de cuchillas especiales.</li> <li>○ Realizar el modelado en Solid Edge de los componentes comerciales y elaborar el prototipo analítico.</li> <li>○ Realizar los ajustes necesarios a los componentes comerciales en base al prototipo analítico.</li> <li>○ Fabricar la estructura mecánica del prototipo.</li> <li>○ Realizar pruebas de corte con la cuchilla seleccionada.</li> <li>○ Realizar diferentes pruebas de accionamiento del mecanismo cortador.</li> <li>○ Análisis de resultados de pruebas.</li> </ul>

**Tabla 6-2. Método de cuatro pasos para planeación del prototipo.**

## 6.4 Especificaciones finales del prototipo para el desespinado de las caras del nopal.

Con base en los conceptos generados y ya seleccionados y considerando todos los productos desarrollados a la fecha a través de tesis, trabajos de investigación y patentes, se propone el modelo analítico con las características siguientes:

- Un módulo compacto.
- Materiales sanitarios grado alimenticio.
- Estructura de aluminio y aceros inoxidable.
- Tren de rodillos con tracción para avance del producto.
- Sección de corte con movimiento oscilatorio de izquierda a derecha y viceversa con capacidad de variación de velocidad
- Tracción por bandas V.

## 6.5 Descripción del mecanismo.

El mecanismo para el prototipo se compone de tres placas por cada lado maquinadas con diferentes geometrías y diferentes puntos de contacto entre ellas. En la figura 6.1 se muestra la placa superior donde se ensambla una placa base y que se desliza en ella en las correderas laterales para proporcionar un ajuste al espesor del nopal con la acción de resortes. La tercera placa que interactúa con los rodillos locos superiores se ensambla con la placa superior en el eje de giro indicado.

Los 2 rodillos inferiores estarán conectados al mecanismo de tracción a través de poleas, transmisión por banda V desde un reductor de velocidad acoplado a un motor comercial de corriente alterna de 400 [W] ya que no se necesita de mucha potencia para impulsar los nopales, con capacidad de poder variar su velocidad,

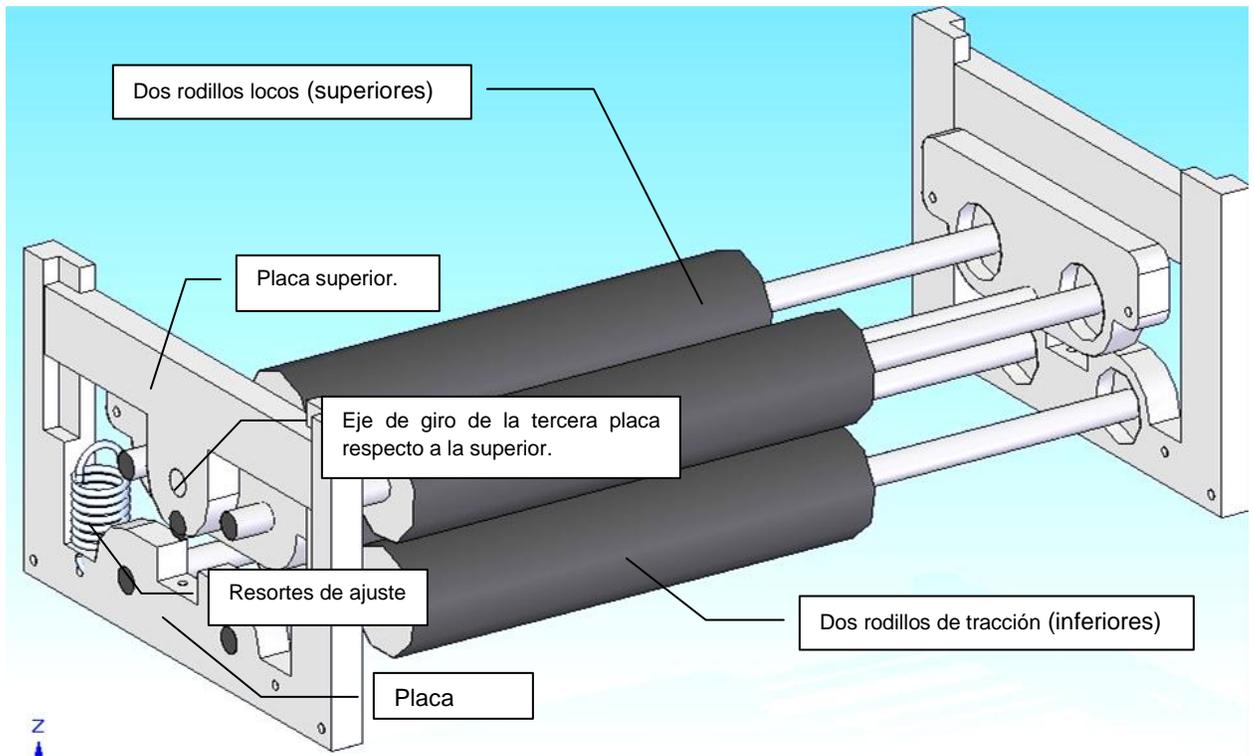


Fig. 6-1 Vista isométrica del módulo de desespinado y breve descripción de los componentes de ensamble.

## 6.6 Análisis cinemático del sistema de tracción.

El motor de corriente alterna para la tracción de los rodillos utilizado es de 400 [W] que corresponde aproximadamente a  $\frac{1}{2}$  [HP] y con velocidad variable.

Los rodillos de tracción fabricados resultan de 32 [mm] de diámetro, por lo tanto el análisis es el siguiente:

Se requiere una velocidad de operación de desespinado de 60 nopales por minuto [nop/min] y limitándonos a un tamaño de nopal no mayor a 10 [cm] de longitud tenemos;

$$Vel_{op} = 60 \left[ \frac{\text{nop}}{\text{min}} \right] \times \left( \frac{1}{60} \right) \left[ \frac{\text{min}}{\text{s}} \right] \times 0.1 \left[ \frac{\text{m}}{\text{nop}} \right] = \mathbf{0.10} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Se requiere de una velocidad lineal de 0.10 [m/s]

$$\text{Si para los rodillos, por cada giro se tiene;} \quad 0.032 [m] \times \pi = 0.10 \left[ \frac{m}{\text{rev}} \right]$$

Esto es; 
$$0.10 \left[ \frac{m}{rev} \right] \times \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{rev}{rad} \right] = \mathbf{0.016} \left[ \frac{m}{rad} \right]$$

Por lo tanto la velocidad de giro de los rodillos para proporcionar un avance de 30 nopales por minuto está dada por la siguiente operación;

$$\omega_{rodillos} = \frac{0.10 \left[ \frac{m}{s} \right]}{0.016 \left[ \frac{m}{rad} \right]} = \mathbf{6.25} \left[ \frac{rad}{s} \right]$$

Para obtener las relaciones de velocidades y seleccionar las dimensiones de diámetros de poleas requeridas para la reducción de velocidad, se obtiene la velocidad de giro del motor a 800 [rev/min] representadas en [rad/s].

$$\omega_{motor} = 800 \left[ \frac{rev}{min} \right] \times 2\pi \left[ \frac{rad}{rev} \right] \times \frac{1}{60} \left[ \frac{min}{s} \right] = \mathbf{83.78} \left[ \frac{rad}{s} \right]$$

La relación cinemática del motor respecto al giro de los rodillos (R.C.=  $\omega_{motor}/\omega_{rodillos}$ ) es:

$$R. C. = \frac{83.78}{6.25} = \mathbf{13.4}$$

En el mercado existen rodillos y poleas comerciales de 1,2 y 6 pulgadas de diámetro, con lo que implementando la siguiente configuración mostrada en la figura 6-2 se logra aproximar la relación cinemática.

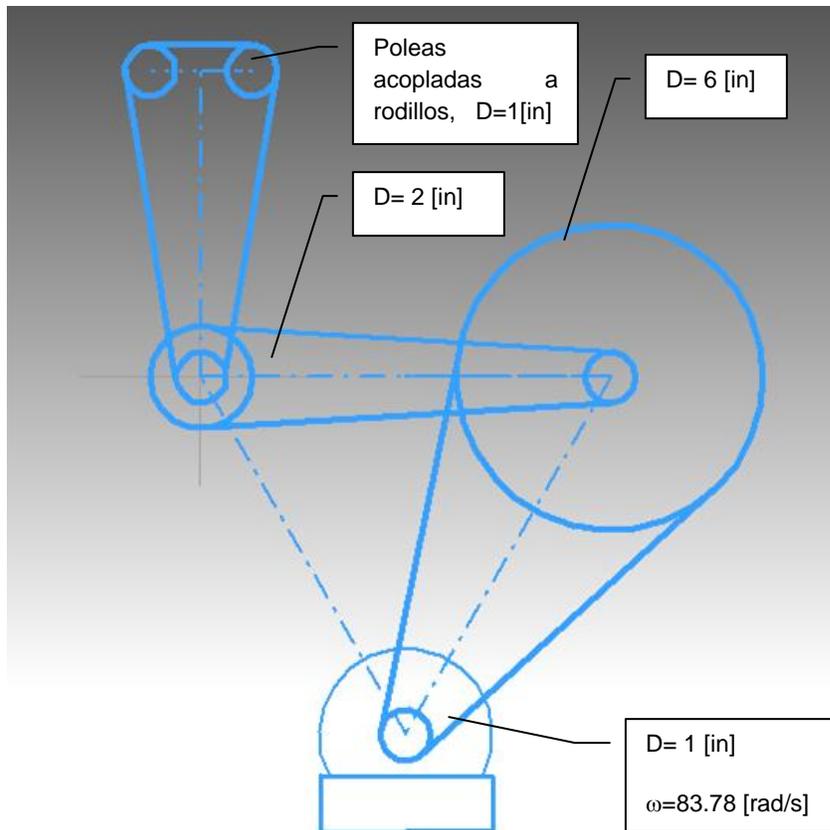


Fig. 6-2 Configuración de relaciones cinemáticas.

## CÁLCULOS

$$\omega_{\text{motor}} = 83.78 \text{ [rad/s]}$$

$$\omega_{\text{rodillos}} = \left( 83.78 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \times \frac{1[\text{in}]}{6[\text{in}]} \right) \times \left( \frac{1[\text{in}]}{2[\text{in}]} \right) = \mathbf{6.98 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}}$$

Por lo cual se obtiene una relación aproximada a la requerida.

## 6.7 Fabricación de prototipo alfa para el mecanismo desespinator de caras

Una vez definidas las cualidades y especificaciones del prototipo, se puede formar una idea de las características esenciales que éste debe reunir para llevar a cabo la tarea de diseño del módulo.

Un prototipo físico alfa es aquel que cumple con los propósitos definidos en la planeación del prototipo, sin embargo, por lo general es empleado para evaluar si

el producto funciona como se pretende. Las partes de prototipos alfa a menudo son semejantes en material y geometría a las piezas que se usarán en la versión de producción del producto.

#### 6.7.1.1 *El mecanismo de corte oscilante*

A través de un sistema mecánico conformado por un motor eléctrico comercial en el mercado de 300 W de velocidad variable, ya que no se requiere de mucha potencia para realizar el corte del nopal, dicho sistema accionara un engrane excéntrico (figura 6-3)

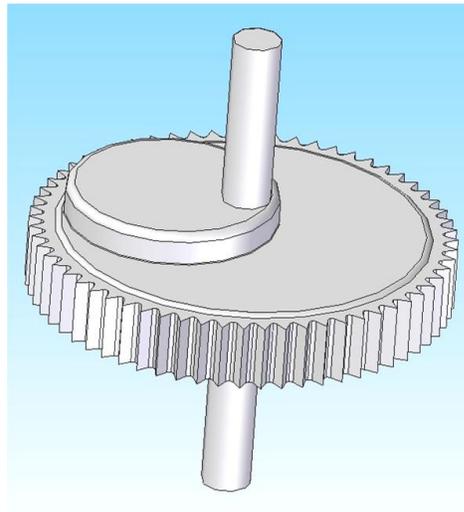


Fig. 6-3, Engrane excéntrico acoplado al motor.

El mecanismo se implementa con correderas, abrazaderas y rondanas de ajuste, como se muestra en las ilustraciones siguientes:

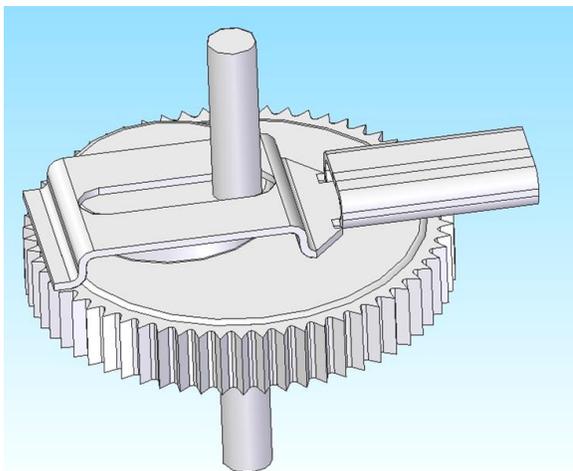


Fig. 6-5, Se implementa con una rondana de ajuste. La corredera va de izquierda a derecha y viceversa al giro del engrane excéntrico.

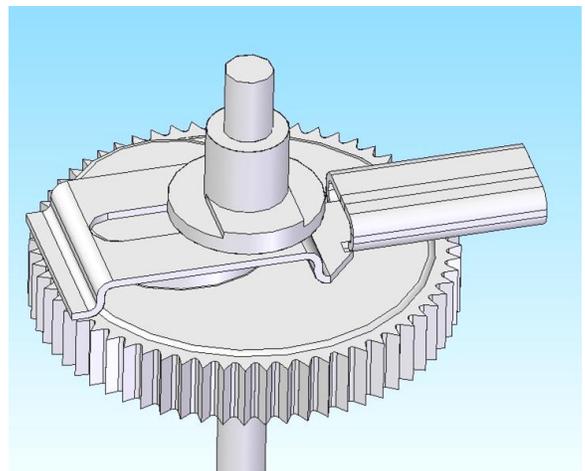


Fig. 6-4, Engrane excéntrico y corredera.

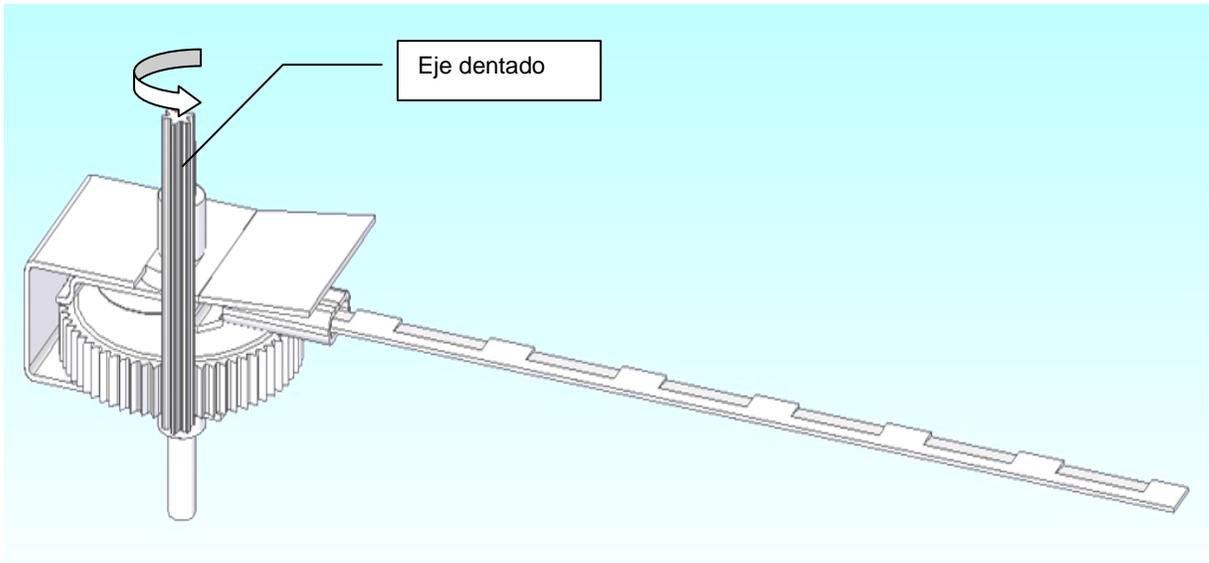


Fig. 6-6, Ensamble del mecanismo de corte oscilante.

El motor de 300 [W] se acopla al eje dentado mostrado en las figuras 6-6, 6-7, el cual proporciona tracción al engrane excéntrico que a su vez acciona la oscilación de la cuchilla.

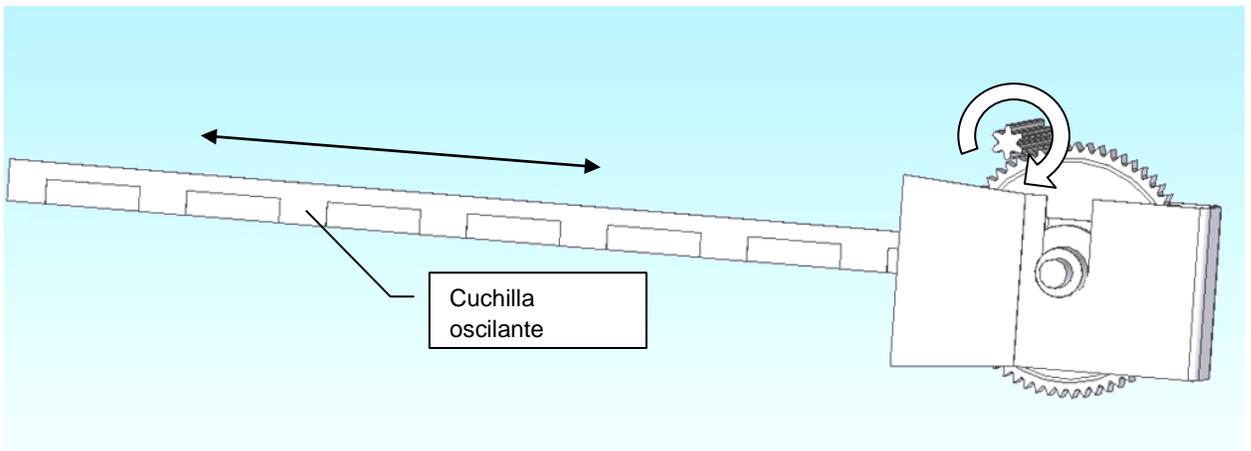


Fig. 6-7, A la izquierda del mecanismo se presenta la cuchilla concepto. El motor de velocidad variable proporciona diferente frecuencia de oscilación.

### 6.7.2 Prototipo analítico del desorillador.

De acuerdo a la selección de conceptos para el mecanismo desorillador, el siguiente modelo representa el prototipo analítico en éste trabajo, el cual se compone de dos seguidores con cuchillas de corte en la parte central que se abrirán durante el paso del nopal adaptándose a su contorno, los nopales serán impulsados por rodillos (figura 6-8 y 6-9).

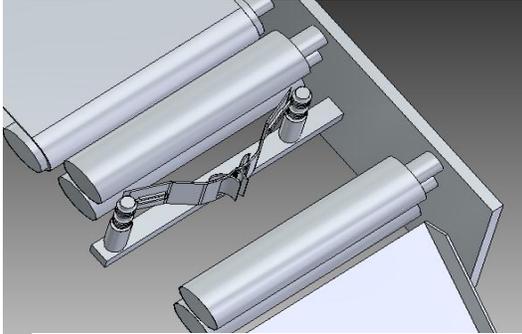


Fig. 6-8, Cuchillas ajustables al contorno del nopal. Con juego de rodillos para traslado del nopal, antes y después del mecanismo.

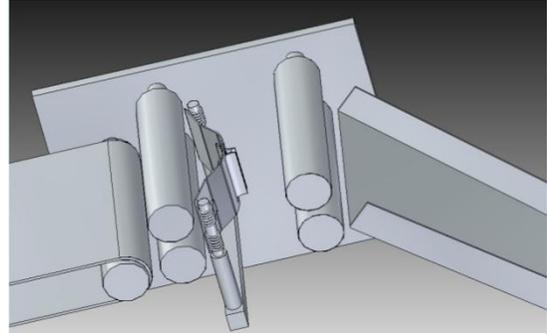


Fig. 6-9. Prototipo analítico del mecanismo desorillador de nopales.

Para los alcances de esta tesis sólo se ha realizado el prototipo analítico para éste mecanismo, es decir, se ha modelado y realizado simulaciones de su funcionamiento en ordenador.

### 6.7.3 Prototipo de prueba de mecanismo de corte de las caras del nopal.

Construcción del primer prototipo físico<sup>7</sup> experimental para verificar el comportamiento de corte de las cuchillas del concepto.

Los rodillos de tracción corresponden a los requeridos para el prototipo final. Sus dimensiones son adaptables a rodamientos comerciales, están recubiertos con banda de hule sanitario con una textura lo suficientemente suave para no maltratar al nopal y al mismo tiempo generan la tracción necesaria para dar el avance a través del corte de espinas.

---

<sup>7</sup> Éste prototipo tiene el fin de permitir observar el comportamiento del sistema, encontrar los posibles puntos débiles y dar solución a estos, para los alcances de esta tesis no se llegará a la construcción de un prototipo final, sólo se realizará la construcción de un prototipo de prueba denominado prototipo alfa.

La longitud de los rodillos es suficiente para asegurar el aislamiento de los componentes de tracción a los residuos altamente corrosivos del nopal.

La estructura del mecanismo de prueba se construyó de madera (figura 6-10) para ajustar debidamente los requerimientos de espacio. Se utilizaron y probaron varios tipos de resortes. Para lograr un ajuste adecuado a la superficie del nopal.



Fig. 6-10, Estructura del mecanismo, construida de madera para el primer prototipo de pruebas.

Para la fabricación del prototipo alfa se adquirieron componentes y elementos de máquinas comerciales en el mercado por lo que la mayoría de estos sufrieron modificaciones para ser adaptadas correctamente a las dimensiones y espacios requeridos. Por ejemplo Los rodillos empleados en la elaboración del prototipo rebasaban la longitud requerida y se tuvo que modificar el diámetro de flecha así como su longitud total en el torno (figura 6-11).



Fig. 6-11, Modificación de dimensiones de rodillos en fresadora.

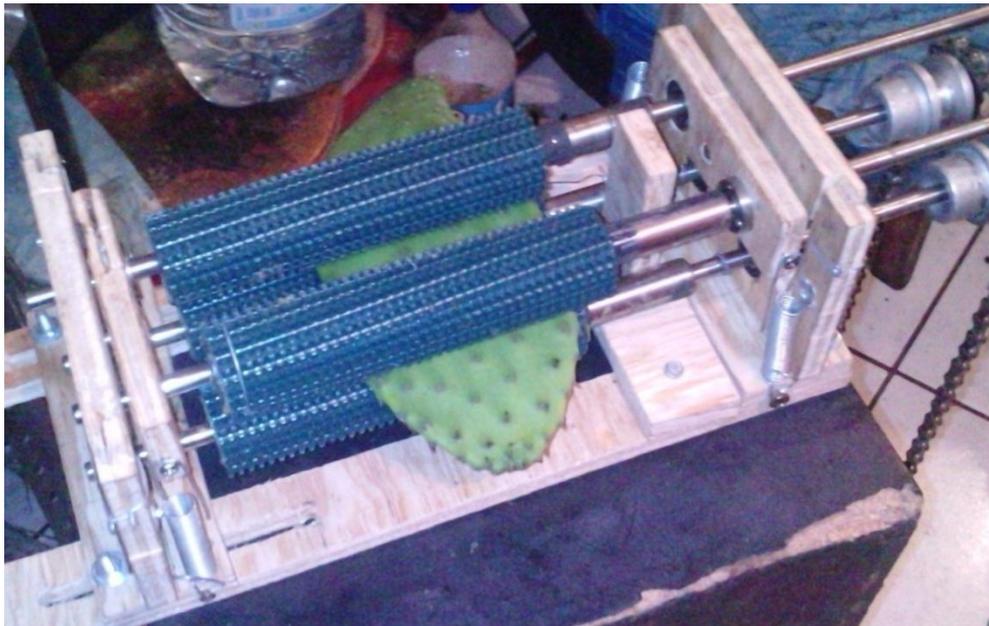


Fig. 6-12, Prototipo alfa del módulo desespinaador. Rodillos recubiertos de hule sanitario grado alimenticio, texturizado y estructura construida de madera con las dimensiones de diseño.

El módulo prototipo construido sólo desespina una cara del nopal, por lo que se requiere una configuración de 2 módulos para lograr el desespinao de ambas caras. De acuerdo a la configuración, la cuchilla de corte en caras del nopal es implementada en la parte inferior del cuerpo del módulo, esto para lograr que las espinas cortadas caigan por gravedad a una tolva y sean guiadas a través de un sistema de extracción de desperdicio.

El mecanismo desorillador podrá ser instalado a la salida de alguno de los módulos, quedando como propuesta de prototipo analítico en relación a los alcances de esta tesis.

En la figura 6-13 se muestra una posible configuración donde se observa que el nopal después de salir del módulo superior, ingresará al segundo módulo que se encuentra a 90 grados respecto al primero, respetando la inclinación para que el producto baje por gravedad siendo necesario colocar una superficie que guíe el nopal hacia el desespinado de la segunda cara.

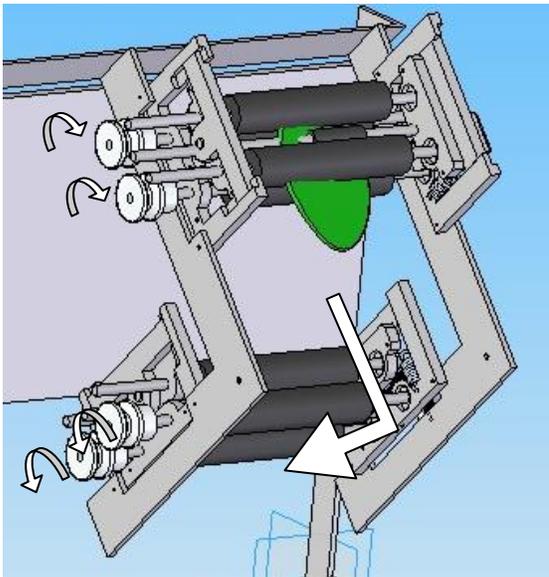
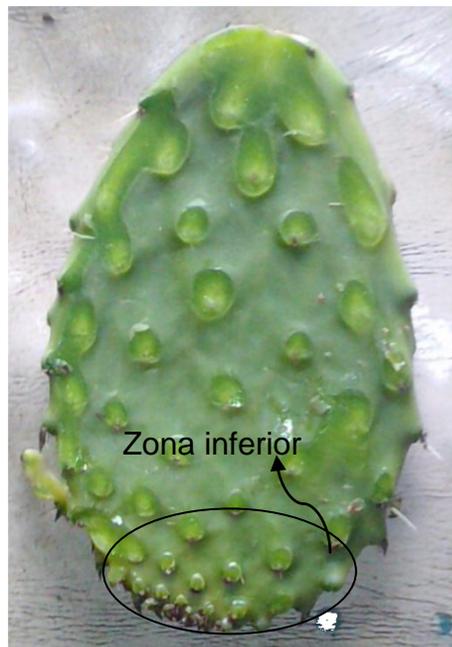


Fig. 6-13 Configuración de dos módulos de desespinado, uno para cada cara del nopal.

## 7 RESULTADOS

Con el prototipo alfa fabricado se realizaron pruebas de desespinado en las caras del nopal. Para estas pruebas se limitó a cierto tamaño de nopal, logrando resultados variables obteniendo una media de las pruebas realizadas de un 87% de remoción de espinas en cada una de las caras del nopal. Fueron requeridos varios ajustes en el ángulo de corte de la cuchilla, así como la velocidad de operación y oscilación del cortador.

En la fotografía de la figura 7-1 se observa el desespinado en una cara del nopal. Se detectó que en el corte de las espinas para la zona correspondiente a la parte inferior del nopal según la imagen, se necesita un reajuste de la cuchilla o bien, trabajar en la solución para lograr una mejor eficiencia de desespinado aunque el presentado es muy aceptable.



**Fig. 7-1.** En la zona inferior del nopal se requieren ajustes en el prototipo para lograr una mayor eficiencia en el desespinado.

Se observaron los puntos débiles de este sistema los cuales ha proporcionado una visión de nuevos implementos de apoyo para lograr satisfacer el objetivo primordial que es dar solución de manera rápida y eficaz el desespinado de nopales.

También serán necesarios ajustes y afinación de acabados en las estructura del mecanismo del prototipo alfa ya que se detectaron fallas en el desplazamiento de la estructura superior que proporciona el ajuste al espesor del nopal y con lo que se lograría una mayor eficiencia en la remoción de espinas.

---

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En éste trabajo de tesis de licenciatura aplicamos el conocimiento adquirido en las asignaturas del área de diseño mecánico en Ingeniería, fundamentos matemáticos y nociones en materiales para cumplir con los requerimientos planteados al inicio del proyecto. Implementamos un método integrador para realizar desde la planeación del producto, generación y selección del concepto, hasta llegar al objetivo del trabajo.

Aunque el desarrollo de un producto se maneja como un proceso lineal en los diferentes métodos que existen en la literatura, al realizar éste proyecto nos damos cuenta que llevar a cabo el diseño de un mecanismo requiere de fases iterativas, por ejemplo, será necesario recurrir a las expectativas del cliente o usuario final, así mismo a las condiciones operativas entre el mecanismo y el nopal, esto para obtener una aprobación final del desempeño de nuestro producto o replantear nuevas soluciones que representen una mejoría en las eficiencias de funcionamiento y costos del desarrollo.

Uno de los principales problemas enfrentados para lograr una eficiencia adecuada en el desespinado tanto en nuestro diseño como en los existentes en el mercado, es el comportamiento del nopal en cuanto a su textura, flacidez y otras características físicas y biológicas que son variables según su origen y dependiendo de la temporada del año en que éste se cosecha. Debido a esto, el desarrollo de un mecanismo que responda a resolver todas las variables en juego, resulta un reto de diseño complicado para los alcances de tesis de licenciatura, por lo que nos limitamos a ciertas características en las que encontramos a través de pruebas los fundamentos necesarios para la realización de proyectos futuros, que como es de ver, hay mucho por trabajar e invertir para lograr resolver un problema que sigue latente en la industria del nopal.

Por lo anterior, mencionamos que el proceso de diseño y desarrollo de un producto, es una actividad interminable y cíclica, ya que como podemos apreciar, el trabajo ejecutado hasta la fabricación de un prototipo alfa, nos proporciona una base para la siguiente secuencia de desarrollo porque a partir de los detalles, variables y defectos destacados en éste prototipo, quedan al descubierto nuevas ideas y soluciones de diseño para ser aplicadas, con el fin de lograr un producto eficiente respecto a lo planteado en los objetivos.

Por lo tanto, es muy importante establecer que un buen diseño involucra más allá de buenas técnicas reconocidas por el público en general, es decir, implica investigación, interpretación de datos, experimentación, análisis de los diseños propuestos, así como el de los existentes en el mercado etc.; como mencionamos, es un proceso repetitivo de ensayo y error el cual se nutre de muchas ideas que contribuyen de manera directa o indirecta en el diseño y desarrollo del producto.

Nos embarcamos en un mar de ideas y experiencias por usuarios y clientes involucrados en la industria nopalera y reconocimos las necesidades potenciales que existen en el mercado. Se requiere una máquina desespinaadora que brinde eficiencia en la calidad de desespinado y en el tiempo de éste proceso, así como en diferentes escalas, es decir, desde equipos compactos y versátiles, así como maquinaria de nivel de trabajo industrial que no sobrepasen las posibilidades de rentabilidad y viabilidad de los clientes o usuarios.

Con la experiencia obtenida en el desarrollo de éste y otros proyectos a lo largo de la carrera, se puede formular o poner en debate que la teoría sin práctica es ineficiente porque hay muchos matices, excepciones y sutilezas por aprender en situaciones prácticas tal y como lo vemos en los resultados de éste trabajo. De la misma manera, la práctica sin guía, también resulta en frustración y en posibles fracasos. Por esto, el desarrollo de producto en éste sentido, la experiencia se gana con la práctica, y se requiere de la teoría para saber cómo funcionan los elementos experimentados así mismo se necesita un orden e instrucción para poder representar el proceso de diseño de un producto y la aplicación del un método teórico estructurado, facilita el estudio y mejoramiento de procesos de desarrollo.

Logramos los alcances propuestos para éste trabajo de tesis, y sin duda queda por delante implementar nuevas metas con fundamento a la experiencia adquirida a lo largo del diseño y desarrollo de nuestro prototipo así como con referencia a los segmentos existentes en el mercado de los cuales se requiere mejorar las eficiencias de calidad desespinado, velocidad del proceso, rentabilidad y otras características que satisfagan las necesidades de los clientes o usuarios.

Verificamos el proceso de desarrollo para una determinada escala, dando pauta a nuevos objetivos que requieren ser viables de realizar, por lo que a lo largo de nuestra vida profesional en conjunto con nuevas experiencias y expectativas de un ambiente involucrado en el campo objetivo, podremos llevar a cabo a escalas mayores.

## TRABAJO A FUTURO

Como ya se ha dicho anteriormente las características del nopal son muy variadas dependiendo del lugar y de la temporada. Tras la realización de éste trabajo se obtuvieron buenos resultados limitándose a ciertas características de nopal, pero todavía falta mucho por trabajar para lograr el desespinado del 100% sin importar el tipo de nopal y las características que posea (tierno o recio, chico o grande, flexible o frágil, etc.).

El prototipo realizado para el desespinado de las caras fue muy útil para la visualización de los puntos débiles ahora habrá que llevar a cabo los diversos ajustes en cuanto a la estructura y acabados del mecanismo, será necesario implementar nuevas ideas y conceptos que ayuden a ir afinando y optimizando el sistema de corte.

En cuanto al desespinado del contorno habrá que continuar trabajando, investigar con mayor detalle para obtener un diseño óptimo que solución el problema. Ya que en éste trabajo sólo se llegó a la realización de un prototipo analítico del desorillador es decir únicamente se llegó a modelar en el ordenador, el primer paso para resolver el problema será el desarrollo de un prototipo que como ya vimos es muy importante para observar los defectos y los puntos débiles para después generar e implementar nuevas ideas que lleven al perfeccionamiento y desarrollo de un diseño exitoso.

Será necesario formar un equipo multidisciplinario con la integración de varias áreas del conocimiento y con esto lograr una perspectiva más amplia, considerando todos los aspectos posibles y así lograr un mejor proceso de diseño que concluya con el desarrollo de una máquina que cumpla con las necesidades del productor o empresa abastecedora de esta verdura (mayor rapidez en el tiempo de desespinado, rentabilidad, eficiencia en la presentación final del producto, etc.).

---

### Segmentos en el Mercado

En éste apartado, se elabora una recopilación de los productos existentes tanto en el mercado como en proceso de desarrollo, así como también aquellos trabajos relacionados con algún diseño de máquina desespinaadora. Recabar información de productos ya existentes sirve de apoyo para la creación de nuevos conceptos, permitirá observar los puntos fuertes, debilidades y errores que se han cometido en proyectos anteriores. Las ideas y conceptos ya existentes proporcionan un punto de comparación para generar mejores diseños que permitirá llegar a una mejor solución y a la creación de un diseño óptimo.

#### CONTENIDO

- A.1 Máquina desespinaadora Jersa
- A.2 Máquina desespinaadora con compensación flotante.
- A.3 Diseño de carcasa y una nueva propuesta (Prototipo b).
- A.4 Resumen de desventajas del prototipo A
- A.5 Propuesta de prototipo B
- A.6 Rediseño de una máquina para desespinar nopales.
- A.7 Construcción del modelo de laboratorio para el rediseño.
- A.8 Desespinaadora de nopales compacta autoajustable.
- A.9 Desespinaadora de nopal de alimentación vertical.
- A.10 Desespinaadora láser para nopal desarrollada por el IPN.

## A.1 Máquina desespinaadora Jersa

En la siguiente tabla se muestran los datos recopilados referentes a esta máquina.

<b>Máquina desespinaadora Jersa y relación con el usuario</b>	
<p><b>Desespinaadora de nopal. Maquinaria Jersa.</b></p> <p>Descripción: Consta de un mueble construido en acero inoxidable tipo 304, bases ajustables, rodillos de hule sanitario, cuchillas laterales, Cuchillas tipo broca, tolva de descarga y motor. Su diseño permite una fácil y rápida limpieza del equipo.</p> <p>Especificaciones técnicas:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Mueble en Al tipo 304</li><li>2. Bases ajustables</li><li>3. Rodillo de hule sanitario para avance del producto</li><li>4. Cuchillas laterales para ribeteado del producto</li><li>5. Cuchillas tipo broca para desespinado del producto</li><li>6. Motor de 1.0 HP</li><li>7. Tolva de descarga</li></ol> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Su alimentación requiere de un operario que verifique la alineación de cada penca.</li><li>• Producción: variable según la habilidad del operario.</li><li>• Desespinado ajustable a las distintas variedades de nopal.</li><li>• La calidad del desespinado depende de la variedad y frescura del producto.</li></ul>	 <p>The image shows a stainless steel industrial machine used for despinning nopal. It has a hopper at the top for feeding the nopal, a set of rollers in the middle, and a discharge chute at the bottom. The machine is mounted on a four-legged stand with adjustable feet. The front panel is open, revealing the internal rollers and blades.</p>

Fig. A.1. Máquina desespinaadora Jersa

Tabla A.1. Características de la desespinaadora Jersa. Fuente: Maquinaria Jersa S.A de C.V.

## A.2 Máquina desespinaadora con compensación flotante.

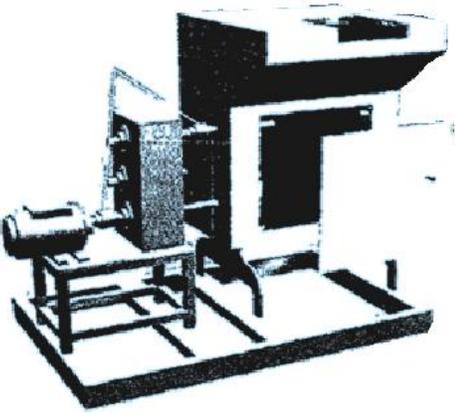
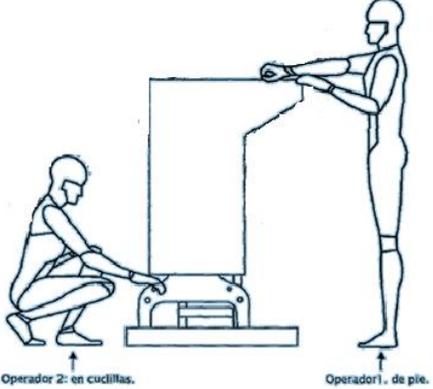
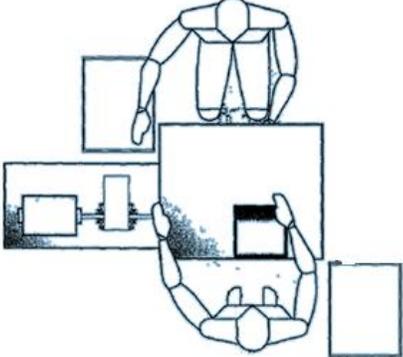
Prototipo A	Características
 <p data-bbox="435 863 662 894">Fig. A.2 Prototipo A</p>	<p data-bbox="862 392 1502 930">Se construyó un prototipo el cual denominaron prototipo A, el cual cumplió bien su función mecánica, la máquina era capaz de trabajar a gran velocidad (alrededor de 3600 nopales cada hora), se calcula que la máquina podía funcionar por un periodo aproximado de 16 horas al día. Pero realizar las actividades de trabajo en el era prácticamente imposible, éste prototipo requería un replanteamiento de diseño y se considero necesario la participación de un diseñador industrial desde el inicio del proyecto, así es como se paso al siguiente diseño de prototipo, denominado prototipo B.</p>

Tabla A.2. Características de la Máquina desespinaadora con compensación flotante Prototipo A. Tomado de la tesis, Raúl Castillo Hernández, "Diseño de Carcasa Para Máquina Desespinaadora de Nopal" UNAM, 2001.

### A.3 Diseño de carcasa y una nueva propuesta (prototipo b).

Desde el principio de éste proyecto se estudio la relación hombre-objeto con el fin de que la relación entre el usuario y la máquina fuera lo más amena posible.

Observaciones realizadas del prototipo A	Imagen
<p>En el prototipo A requería de dos personas para su operación uno de pie que alimentaba el producto en la parte superior y otro que lo recibía en la parte inferior que tenía que adoptar una posición incómoda sentada/inclinada o en cuclillas.</p>	 <p>Operador 2: en cuclillas. Operador 1: de pie.</p> <p><b>Fig. A-1. Estas son las posiciones que se suponía que los usuarios adoptarían para la realización del trabajo en el prototipo A</b></p>
<p>Se pudo apreciar que en la secuencia de operación de esta máquina (prototipo A) las posiciones que adoptan los usuarios no son adecuadas ni cómodas, ya que rápidamente manifiestan cansancio.</p>	 <p><b>Fig. A-2. Planteamiento del prototipo A</b></p>
<p>La carcasa era de lámina negra y pintada a mano con esmalte algunas partes se encontraban expuestas lo que podía ocasionar algún accidente a las personas del entorno.</p>	
<p>El desperdicio (mucilago, espinas y fragmentos de corteza) se acumulaba en las láminas anterior y posterior de la carcasa hasta que su propio peso la desalojaba por gravedad por el mismo sitio por donde salía el nopal desespinao por lo que lo ensuciaba nuevamente, se calcula un desecho aproximado de 140 a 200 kg en una jornada de trabajo y la limpieza de está lamina es un trabajo realmente sucio ya que el mucilago es una sustancia que tiende a endurecerse y a tornarse pegajoso.</p>	
<p>La lámina no era de un material adecuado para soportar la humedad y el desecho producido por el nopal es muy húmedo. Los accesos de esta máquina para su limpieza, revisión y mantenimiento eran inadecuados y hacían de esta labor muy lenta y laboriosa.</p>	
<p>El movimiento del motor era transmitido al mecanismo por medio de cadenas lo que ocasionaba que la máquina presentara un ruido intenso. Una condición indeseable para los operadores de la máquina, no poseía controles de arranque, velocidad ni paro de emergencia únicamente se conectaba a la toma de corriente e inmediatamente comenzaba su operación.</p>	

**Tabla A.3. Observaciones de defectos del Prototipo A. Tomado de la tesis, Raúl Castillo Hernández, "Diseño de Carcasa Para Máquina Desespinao de Nopal" UNAM, 2001.**

#### A.4 Resumen de desventajas del prototipo A

<b>Desventajas observadas del prototipo A</b>	
Modo de trabajo deficiente e inadecuado	La carga de trabajo es excesiva para sólo 2 operadores.
	Posturas incómodas para los operadores.
	El Sitio de salida del nopal desespinado es inadecuado.
	Recolección del nopal es sumamente difícil.
Construcción y diseño deficiente de carcasa	Los accesos hacia el mecanismo y a las zonas que requieren de mantenimiento son sumamente lentos.
	Algunas partes están expuestas (motor, flechas, reductores de velocidad, etc.) lo que lleva a riesgos de accidentes para los usuarios.
	La lámina no es de un material adecuado para soportar la humedad.
	Los acabados proporcionados a la cubierta no son adecuados.
Deficiencias generales	La estructura de la máquina es demasiado pesada y el proceso de su fabricación es lento.
	No se considero que hacer con el desperdicio generado por el desespinado.
	La limpieza del equipo es un trabajo muy difícil.
	El mecanismo es sumamente ruidoso.
	La máquina no cuenta con ningún control de encendido y apagado, variación de velocidad ni paro de emergencia.

Tabla A.4. Resumen de desventajas del Prototipo A. Tomado de la tesis, Raúl Castillo Hernández, "Diseño de Carcasa Para Máquina Desespinaadora de Nopal" UNAM, 2001.

## A.5 Propuesta de prototipo B

Nuevo procedimiento de trabajo diseñado para 4 a 6 usuarios que consta de tres bandas para la transportación del producto (figuras A-5 y A-5.1).

Primera banda en donde los nopales son colocados por 2 ó 3 personas que se encuentran sentados a lo largo de esta banda.

Segunda banda que se encarga de transporta a los nopales hasta el mecanismo de desespinado.

Tercera banda en donde 2 ó 3 personas recolectan el nopal desespinado por sus caras laterales y su labor sería cortar los contornos del nopal y almacenarlo.

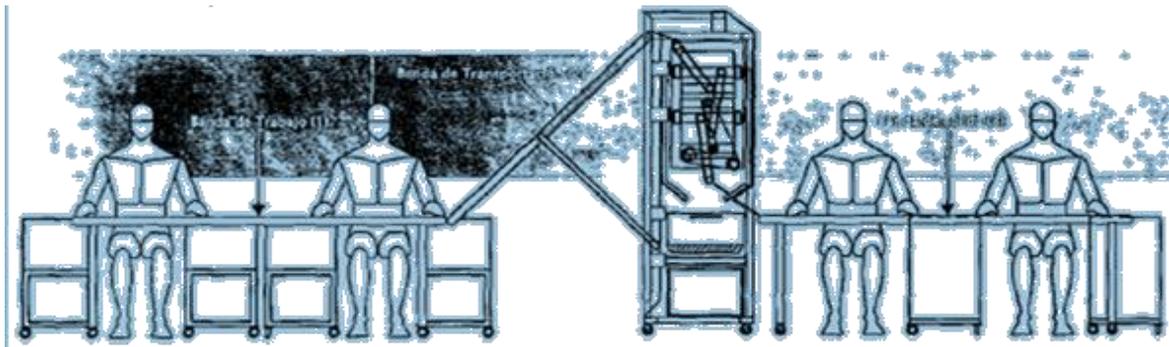


Fig. A-5. Vista lateral del esquema de trabajo del prototipo B.

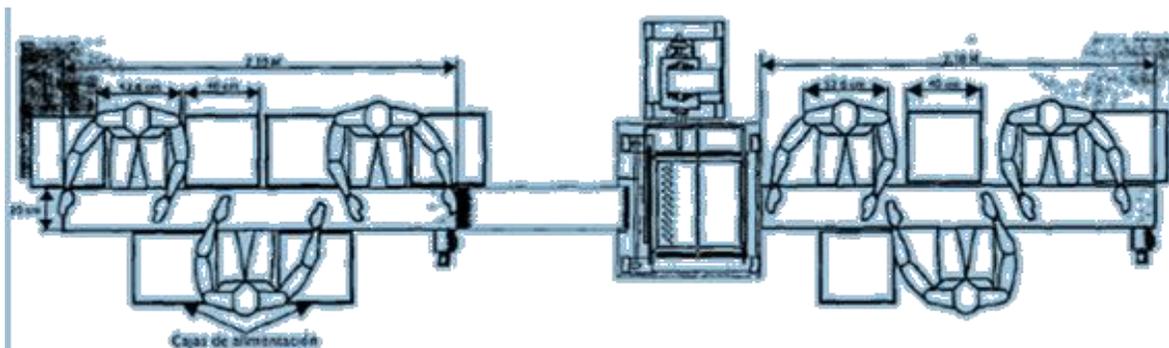


Fig. A-5.1. Vista superior del esquema de trabajo del prototipo B. Tomado de la tesis, Raúl Castillo Hernández, "Diseño de Carcasa Para Máquina Desespinaadora de Nopal" UNAM. 2001.

La Ubicación del mecanismo de desespinado facilita la recolección del producto. El mecanismo de desespinado se ubicó 50 cm por encima de su nivel anterior de tal forma que el nopal cayera por gravedad sobre una lámina que lo lleva hasta la banda de salida (figura A-5.2).

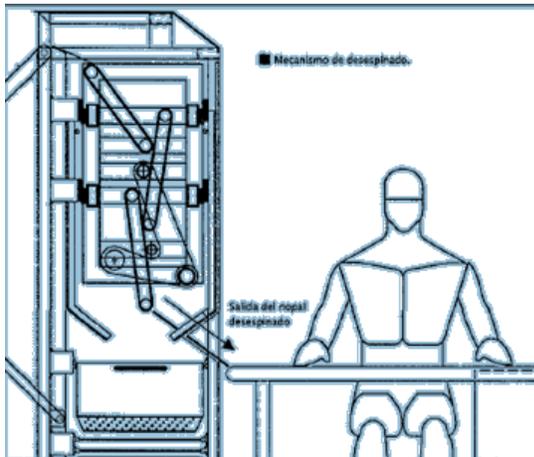


Fig. A-5.2. Ubicación del mecanismo de desespinado. Tomado de la tesis, Raúl Castillo Hernández, "Diseño de Carcasa Para Máquina Desespinaadora de Nopal" UNAM. 2001.

Para éste prototipo también se pensó en una forma de recolectar el desperdicio colocando un sistema de auto limpieza apoyándose con chorros de agua a presión, el agua permite que los desechos fluyan con ella por gravedad a través de un embudo de lámina y pasa por tres filtros que detienen cualquier partícula sólida, el agua cae hasta un deposito, donde se recicla gracias a una bomba de agua.

El primer filtro es el recipiente principal (colador) mismo que retendrá la mayor cantidad de desecho, éste recipiente puede ser extraído para su limpieza a un cuando la máquina esté en operación, ya que en su ausencia el agua caerá sobre los dos filtros restantes que evitaran que llegue cualquier desecho sólido que pueda ser succionado por la bomba de agua y en algún momento obstruir la tubería del sistema.

Las cadenas del mecanismo fueron sustituidas por bandas para disminuir el ruido y se colocó un interruptor de encendido y apagado, otro interruptor de encendido y apagado para la bomba de agua, y también se colocó un botón de paro de emergencia.

## A.6 Rediseño de una máquina para desespinar nopales.

Se generaron varios conceptos de desespinado en distintas áreas de conocimiento, para lograr un mejor diseño y mayor eficiencia.

<b>Conceptos de desespinado generados</b>	<b>Breve descripción</b>
<b>Desarrollo genéticamente modificado:</b>	En donde se ha intentado modificar al nopal genéticamente para obtenerlo sin espinas, sin embargo los avances y resultados son poco satisfactorios, por tiempo y costos implicados en la experimentación, además las normas para producir y comercializar alimentos transgénicos son cada día más estrictas.
<b>Desarrollo por medios químicos</b>	Se realizaron pruebas para desespinado con un baño de lejía caliente (hidróxido sódico) pero aunque las espinas se ablandan, se desprenden pedazos de piel. Esto provoca oxidación y mal aspecto en el nopal.
<b>Desespinado biológico</b>	Se intentó desespinar biológicamente por medio de una suspensión bacteriana pero es difícil lograrlo y es necesario afinar varios detalles para utilizar éste descubrimiento en forma práctica.
<b>Desespinado con agua (figura A-6.1)</b>	En éste concepto se desplazaba al nopal en un tren de rodillos y se lanzaba agua a presión, pero el resultado fue un bajo porcentaje de desespinado y un daño sensible en la superficie del nopal.
<b>Desespinado por aire a alta presión</b>	Éste método fue idéntico al desespinado por agua, pero la cantidad de espinas retiradas fue mucho menor y el ruido fue excesivo.
<b>Desespinado con aspiración (figura A-6.2)</b>	En la cual el desespinado se realizaba por medio de succión el modelo fue idéntico al desespinado con agua pero las boquillas se unieron al cabezal de distribución conectado a un compresor que funcionó en forma inversa para provocar la aspiración. Esta hipótesis fue probada con resultados nada satisfactorios.
<b>Desespinado con vacío</b>	Se construyó una cámara de vacío con forma de cubo, en la cara superior contenía una malla sobre la cual se colocó el nopal. Los resultados obtenidos fueron desfavorables.
<b>Desespinado térmico (figura A-6.3)</b>	Con esta opción se probaron dos modelos, en uno se sumergió el nopal en agua caliente para ablandar las espinas, pero el ablandamiento fue mínimo y se liberó mucilago, en el segundo modelo se expuso el nopal a fuego directo y se observó su comportamiento variando la intensidad de la flama y la distancia, la apariencia del nopal se afectó negativamente.

<b>Ultrasonido</b>	Se intentó una limpieza ultrasónica por medio de un efecto creado por las ondas acústicas de alta frecuencia que producen cavitación, consistente en la formación y colapso inmediato de millones de minúsculas burbujas en el líquido. Bajo la hipótesis de que las burbujas se moverían a través de un fluido hasta llegar al fondo de los aguates, se realizaron algunas pruebas con resultados poco satisfactorios.
<b>Desespinado mediante el principio de corte</b>	Se tomó como referencia múltiples principios de limpieza y se generaron diversas opciones las cuales se mencionan a continuación:
<b>Desespinado por oscilación de malla metálica (figura A-6.4)</b>	Se intentó realizar el desespinado del nopal moviendo una malla metálica plana en zigzag, pensando que las espinas se introducirían en los orificios de la malla, pero el porcentaje de desespinado fue muy bajo ya que la cara del nopal no permaneció totalmente en contacto con la malla debido a que la gravedad fue la única fuerza que podía actuar sobre el nopal y el sistema impedía aplicar otra fuerza.
<b>Desespinado con fibras sintéticas</b>	Se probó realizar el desespinado del nopal con un rodillo forrado de fibras sintéticas tramada (uso domestico), el resultado fue un porcentaje de desespinado bastante bajo, ya que las espinas tapaban la fibra y además rallan el nopal. También se probó un cepillo cilíndrico con cerda de nylon con el cual se obtuvo un bajo porcentaje de desespinado.
<b>Desespinado con alambres (figura A-6.5)</b>	Se probó con un arreglo constituido de alambre colocado axialmente de diámetro pequeño y altamente tensado sobre la flecha maciza y al girar la flecha a alta velocidad simula un cuchillo capaz de desespinar la cara plana del nopal, se probaron varias cuchillas.

Tabla A.6. Conceptos de desespinado generados en distintas áreas de conocimiento, con el objetivo de lograr un rediseño eficiente. Tomado de la tesis, Valeriano Barrientos Gustavo, "Rediseño de Máquina desespinaadora de Nopales" UNAM, Posgrado de Ingeniería, 2003.

## Desespinado con agua

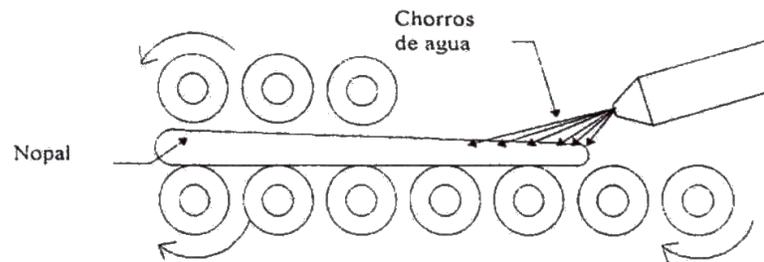


Fig. A-6.1. Modelo de prueba para desespinar con agua a 2 bar y 10° de inclinación respecto a la cara plana del nopal.

## Desespinado con aspiración

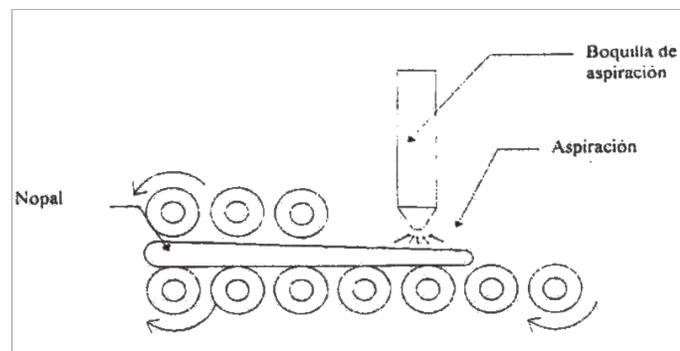


Fig. A-6.2. Desespinado con aspiración por medio de succión.

## Desespinado térmico

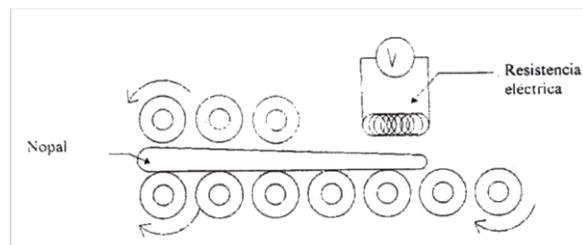


Fig. A-6.3 Desespinado térmico

## Desespinado por oscilación de malla metálica

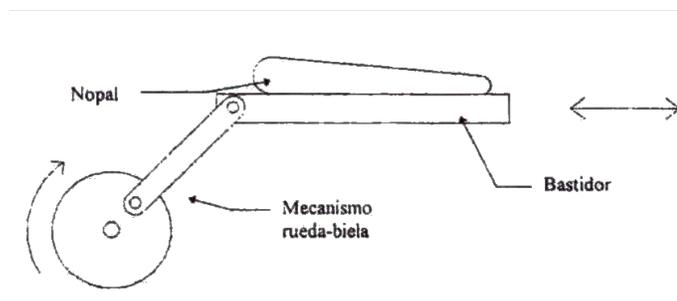


Fig. A-6.4. Desespinado por oscilación de malla metálica.

## Desespinado con alambres

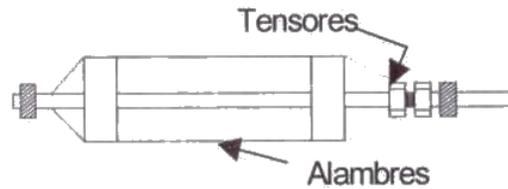


Fig. A-6.5. Vista frontal de mecanismo de corte por alambre.

## A.7 Construcción del modelo de laboratorio para el rediseño.

Considerando las opciones antes mencionadas se determinó que las opciones basadas en el principio de corte eran las más viables y bajo esta premisa el Centro De Diseño y Manufactura construyó el modelo de laboratorio que se muestra en la siguiente figura a partir del primer modelo de la figura A.7.

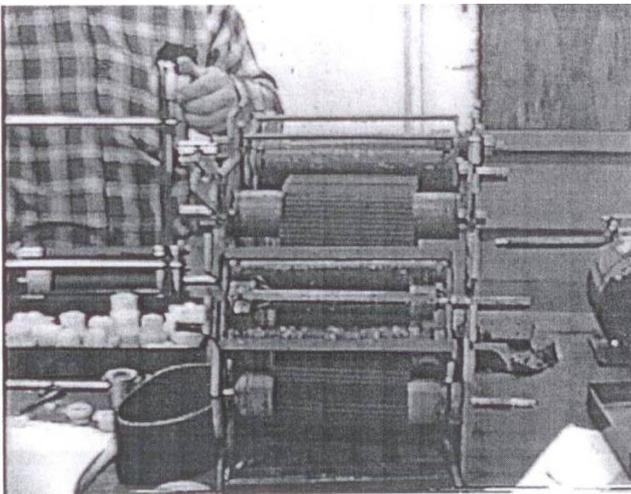
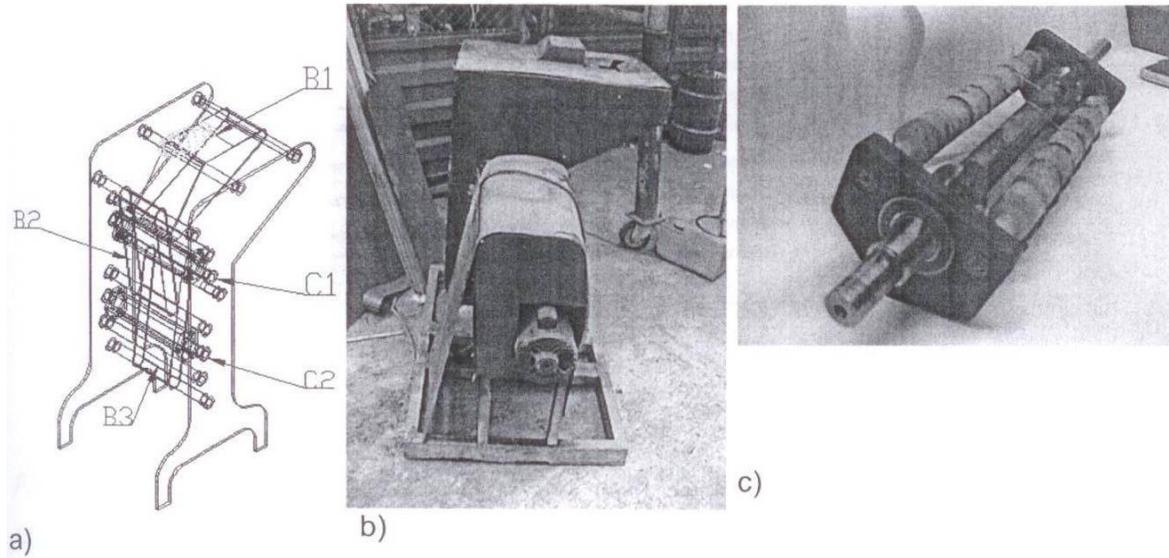


Fig. A-7. Primer modelo de laboratorio de la desespinaadora. Tomado de la tesis, Valeriano Barrientos Gustavo, "Rediseño de Máquina desespinaadora de Nopales" UNAM, Posgrado de Ingeniería, 2003.

Con el cual se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se logró un porcentaje de las caras del nopal del 60%.
- La superficie del nopal se dañaba sensiblemente.
- La vida de la cuchilla era muy corta.
- Se trituraba un 20% de los nopales.
- Se obtuvo un desempeño aleatorio.

Tomando esto como referencia se diseñó el prototipo de laboratorio de la figura A-7.1 el cual constituye la columna vertebral del proceso de solución.



**Fig. A-7.1. Apariencia de la máquina a) interna, b) externa, c) configuración de cuchilla.**  
 Tomado de la tesis, Valeriano Barrientos Gustavo, “Rediseño de Máquina desespinaadora de Nopales” UNAM, Posgrado de Ingeniería, 2003.

El prototipo se alimenta manualmente por la banda (B1) que lo transporta hasta la cuchilla (C1), la banda (B2), realiza la función de sujetar mientras se desespina una cara y simultáneamente lo conduce a la banda (B3) que lo sujeta para desespinar la otra cara (C2), además lo conduce simultáneamente a la salida como se muestra en la figura A-7.1.

### *Resultados del rediseño*

Con el rediseño de las cuchillas y realizando varios ajustes se llegó a los siguientes resultados:

- Capacidad de la máquina para operar de 24 horas
- Requiere de 4 operarios por cada turno laboral
- Quita las espinas largas y aguates (puntos negros)
- Desespinado promedio del 98.5 % de las caras planas
- El borde se desespina manualmente
- Desespinado promedio de 30 nopales por minuto
- Desespina nopales desde 8 cm de longitud hasta 40 cm.
- Volumen de la máquina de 1,5 × 1 × 1 m.
- Los nopales salen por la parte inferior
- No tritura el nopal

- No fractura el nopal
- Fácil mantenimiento
- Costo medio
- Ligera
- Fácil de limpiar

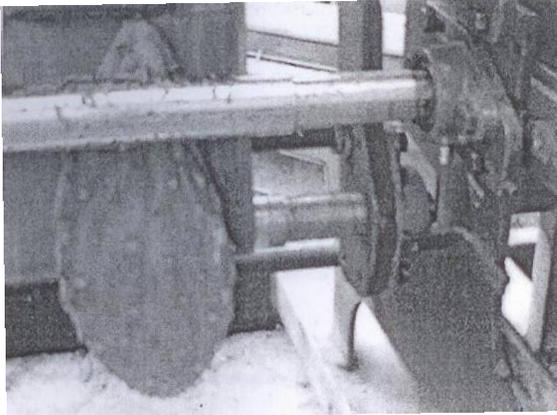


Fig. A-7.2. Nopal saliendo de la máquina despinadora. Tomado de la tesis, Valeriano Barrientos Gustavo, "Rediseño de Máquina despinadora de Nopales" UNAM, Posgrado de Ingeniería, 2003.

## A.8 Desespinaadora de nopales compacta autoajustable.

Diseñada en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Cuenta con un sistema de corte mejorado y un sistema de tracción compresión compacta y eficiente, un sistema desorillador, un sistema para el desalojo de residuos, una unidad de potencia, un sistema eléctrico de control y un sistema de seguridad de paro general eléctrico para emergencias.

Como se muestra en la Figura A-8.1, está integrada por una sola estructura, compuesta por varios módulos desespinaadores compactos, bandas transportadoras, así como un sistema desorillador (figura A-8.2) que retira el contorno de la penca a su paso por él. Los residuos generados por el desespinado de ambos módulos son desalojados mediante un sistema de residuos (figura A-8.3). La capacidad de la máquina especificada es de 10-600 kg/h.

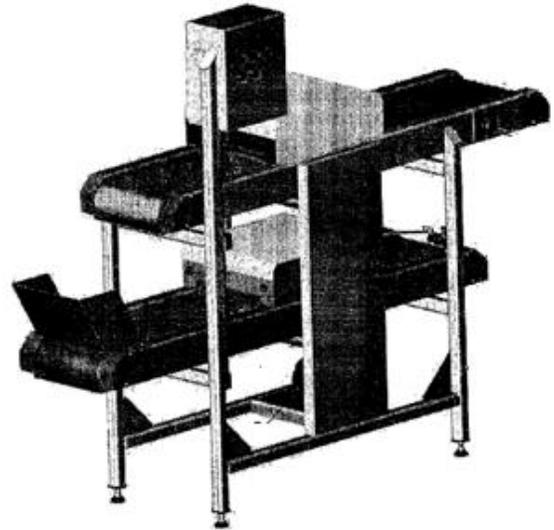


Fig. A-8.1. Desespinaadora de nopales compacta autoajustable.

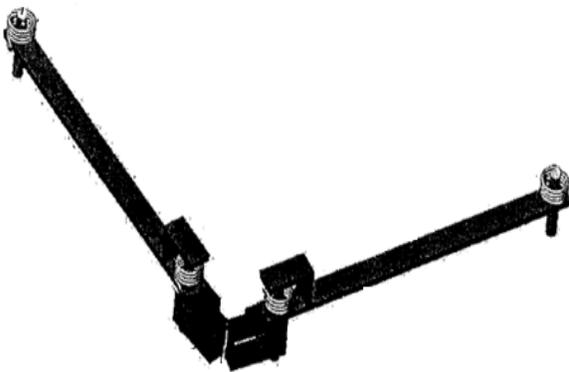


Fig. A-8.2. Sistema desorillador.

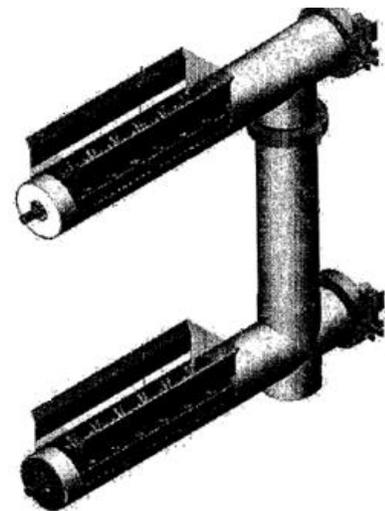


Fig. A-8.3. Sistema de residuos.

Tomado de <http://www.patentesonline.com.mx/desespinaadora-de-nopales-99290.html>, fecha de consulta: 21 de Agosto de 2009.

Algunas Características (figura A-8.4):

- Bandas transportadoras de carga y descarga (10, 11).
- Motopolea (17).
- Sensor de proximidad (20).
- Charolas (24).
- Área de corte (13).
- Flecha giratoria o rotor (14).
- Cuchillas intercambiables con doble filo (15).
- Platina ranurada con faldones (16)
- Estructura de soporte compacta con tope interior (17).
- Rodillos libres (18, 19)

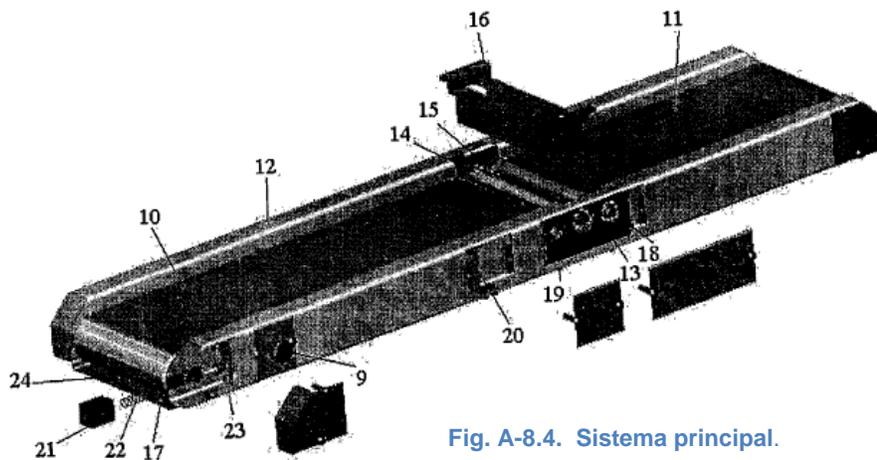


Fig. A-8.4. Sistema principal.

Tomado de <http://www.patentesonline.com.mx/desespina-dora-de-nopales-99290.html>, fecha de consulta: 21 de Agosto de 2009.

#### *Descripción de funcionamiento.*

Un primer módulo de sistema de corte ubicado en la parte superior desespina una de las caras del nopal y lo transfiere por caída libre volteándose el nopal 180° hasta un segundo módulo desespina-dora ubicado en la parte inferior con una tolva guía, para eliminar las espinas de la otra cara.

El sistema desorillador está conformado por dos sistemas idénticos colocados uno frente al otro. La penca de nopal es transportada hacia el módulo con tracción compresión donde es forzada a avanzar entre brazos articulados, los

cuales se abren paso logrando el corte de las espinas cuando entran en contacto directo con la navaja.

### A.9 Desespinatora de nopal de alimentación vertical.

Esta desespinatora esta publicada para su venta en internet.



Fig. A-9. Desespinatora de alimentación vertical.

Tomado de <http://www.giga.com/~mag/Desespinatora.htm>, fecha de consulta: 21 de Agosto de 2009.

DIMENSIONES:

	Máquina Desespinatora + Picadora	Máquina Desespinatora
Ancho	65 cm	65 cm
Largo	1.00 m	50 cm
Altura. de Carga	1.25 m	1.25 m
Altura. de Descarga	39 cm	53 cm

Tabla A.9. Dimensiones de la Desespinatora de alimentación vertical

## CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

- 1.- Desespinado de los bordes.
- 2.- Desespinado de caras laterales.
- 3.- Descarga del producto terminado.
- 4.- Descarga de residuos.
- 5.- Fácil acceso para limpieza y lubricación.
- 6.- Profundidad de desespinado ajustable.
- 7.- Tensión de porta cuchillas ajustable.
- 8.- No desbasta la raqueta.
- 9.- Alimentación vertical u horizontal (opcional).
- 10.- Requiere de un operador para la alimentación.
- 11.- Capacidad de proceso de hasta 50 raquetas por minuto (aprox. 2 Ton x Turno de 8 hrs.).
- 12.- Requerimiento de Energía Eléctrica 110 - 115 o 220 Volts.

Características deseadas en el nopal a procesar según las especificaciones de funcionamiento para esta máquina.

Con el objeto de maximizar la eficiencia de desespinado, es conveniente cuidar la calidad del nopal a procesar, por tal motivo, a continuación se enlistan algunas de las variables que conviene vigilar.

- **Nopal tierno** (5 a 6 semanas de edad)

Entre más tupida de areolas tenga en la punta el nopal está más tierno

Color verde brillante

Entre más abultada la areola, mejor

Espesor uniforme (muy importante)

- **Edad**

Preferentemente que no tenga más de un día de cortado (salvo se mantenga en refrigeración) en la medida que pase tiempo entre el proceso de corte y desespinado, éste último se vuelve más complicado en virtud de que el nopal se va deshidratando y se vuelve correoso.

- **Calidad**

Evitar que el nopal tenga lacras.

Al encontrarse la cuchilla con alguna lacra va tender a arrancar pulpa.

- **Espesor**

Procurar no mezclar espesores.

En la medida que se pueda evitar diferencias en espesores de raquetas la limpieza y el rendimiento son más eficientes.

En caso de tener producto con diferencias fuertes en espesor, se recomienda separarlos y procesarlos en forma independiente.

### **A.10 Desespinaadora láser para nopal desarrollada por el IPN.**

Proyecto dirigido por el Dr. Luis Vidal Ponce en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del IPN (CICATA).

El desarrollo de la máquina tardó dos años, el producto pasa por una banda transportadora y al entrar a la máquina existen sensores que se encargan de detectar las espinas y realizan una descarga de pulsos de luz láser sobre éstas para eliminarlas (figuras A-10.1 y A-10.2). Con éste proceso se pueden limpiar 80 kilos de nopal por hora.



**Fig. A-10.1 Máquina desespinaadora láser para nopal. Tomado de <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/268403.desarrolla-ipn-desespinaadora-laser-para-nopal.html>, fecha de consulta: 15 de Octubre de 2009.**

La desespinaadora laser no es peligrosa, la luz que se utiliza para eliminar las espinas es de una longitud de onda visible, valor de longitud de onda que recibe una persona en un día con sol y no causa daño. Los pulsos emitidos por el laser son de 1 milisegundo en el cual no transmite calor suficiente para quemar o

deteriorar la superficie del nopal. El equipo cumple estándares de calidad y normas para equipos de procesamiento de alimentos.

Algo importante es que a diferencia del proceso de desespinado manual no se produce merma, la cual alcanza hasta el 30% del volumen útil. El nopal despinado por éste método tiene una vida de anaquel de varias semanas a diferencia del nopal despinado a mano que sólo se puede conservar por un par de días.



Fig. A-10.2. Las espinas son sometidas a descargas de pulsos láser.  
Tomado de <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/268403.desarrolla-ipn-desespina-laser-para-nopal.html>, fecha de consulta: 15 de Octubre de 2009.

## BIBLIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA

Ulrich Karl, Eppinger Steven. “Diseño y desarrollo de productos”, Ed. Mc Graw Hill, cuarta edición, México, 2009.

L. Mott, Robert, “Diseño de elementos de máquinas”, Ed. Prentice Hall México, cuarta edición, México, 2006.

Riba Romeva, Carles. “Selección de materiales en el diseño de máquinas”, Ed. UPC, 1º edición, 2008.

M.F. Spotts, T.E. Shoup, “Elementos de Máquinas”, Ed. Pearson Educación, séptima edición, México, 2002.

Lerma Kirchner Alejandro E, “Desarrollo de nuevos productos: una visión integral”, Ed. CENGAGE Learning, cuarta edición, México, 2010.

García Melón Mónica, Cloquell Ballester Vicente, Gómez Navarro Tomas, Mónica “Metodología del diseño industrial” Ed. UPV, primera edición, Valencia, 2001.

### **Artículos**

MERCADO MUNDIAL DEL NOPALITO, Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria, ASERCA, Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial (CIESTAAM), Claudio A. Flores Valdez  
Juan M. de Luna Esquive, Pedro P. Ramírez Moreno.

### **Tesis.**

Cortes Ferrer, Martínez Bernal, “Máquina desespinaadora de nopal con sistema de compensación flotante.” UNAM, Facultad de Ingeniería, 1997.

Valeriano Barrientos Gustavo, "Rediseño de Máquina desespinaadora de Nopales" UNAM, Posgrado de Ingeniería, 2003.

Álvaro Fortis, Huerta Gómez, Sánchez Castro, "Desespinaadora de Nopales" UAM.

Raúl Castillo Hernández, "Diseño de Carcasa Para Máquina Desespinaadora de Nopal" UNAM, 2001

**Internet.**

<http://www.giga.com/~mag/Desespinaadora.htm>, fecha de consulta: 21 de Agosto de 2009.

<http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/268403.desarrolla-ipn-desespinaadora-laser-para-nopal.html>, fecha de consulta: 15 de Octubre de 2009.

<http://www.patentesonline.com.mx/despinaadora-de-nopales-99290.html>, fecha de consulta: 21 de Agosto de 2009.

<http://www2.uiah.fi/projects/metodi/23b.htm>, fecha de consulta: 17 de Noviembre de 2009.

<http://ciberconta.unizar.es/leccion/desapro/>, fecha de consulta: 25 de julio de 2011.

---