



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

MAQUINA DESESPINADORA DE NOPALES CON  
SISTEMA DE COMPENSACION FLOTANTE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
(AREA MECANICA)  
P R E S E N T A N :  
SABAS CORTES FERRER  
IGNACIO MARTINEZ BERNAL  
NOE SALAZAR ARREDONDO

DIRECTOR DE TESIS: ING. GUSTAVO VALERIANO BARRIENTOS



CIUDAD UNIVERSITARIA

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

44  
2ej.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la Universidad Nacional Autónoma de México.*

*Por la oportunidad que nos brindó para realizar nuestros estudios profesionales y así poder formar parte de la Mejor y Más Grande Casa de Estudios.*

*Por siempre universitarios.*

*Al personal docente de la Facultad de Ingeniería.*

*Por creer en nosotros para formarnos como Ingenieros, comprometiéndose a llevar siempre su nombre muy en alto.*

*Al Centro de Diseño y Manufactura.*

*Por el apoyo físico y moral de cada una de las personas que de alguna manera se involucraron en el proyecto.*

*Al Ing. Gustavo Valeriano Barrientos.*

*Por su confianza y consejos brindados para el desarrollo de este trabajo; pero sobre todo, por su amistad.*

*Ignacio, Sabás y Noé.*

*Papá.*

*Te agradezco lo que me enseñaste en los primeros años de mi vida, porque me ha servido para seguir adelante. Te extraño mucho.*

*Mamá.*

*Te agradezco tu apoyo incondicional que me proporcionaste en toda la carrera, así como los principios con que rijo mi vida. TE QUIERO.*

*A mis hermanas.*

*Les agradezco el apoyo moral y económico que me proporcionaron durante mis estudios. En especial a mi hermana Maribel. LAS QUIERO MUCHO.*

*A mi hermano.*

*Por el apoyo incondicional y por ser mi confidente en los momentos más difíciles de mi vida. TE QUIERO GORDO.*

*A mi sobrina.*

*Que es una pequeña luz de alegría y amor en nuestras vidas. TE QUIERO OSO.*

*A mi novia Ana Lilia.*

*Te agradezco el apoyo que me proporcionas día con día y que espero seguir recibiendo el resto de mi vida. TE AMO.*

*A mis profesores.*

*Por formarme y enseñarme el camino de la ética y la enseñanza para sobresalir en la vida profesionalmente.*

*Sabás Cortés Ferrer.*

*A mis Padres.*

*Por ese apoyo incondicional que se me ha brindado. Gracias por haberme dado sus enseñanzas para mi formación como persona, y que siempre creyeron en mí.*

*Mago.*

*Por esa confianza que siempre has tenido para creer en mí. Gracias por tu gran ayuda tanto moral como económica, y por esa nueva alegría que pronto vendrá. Te quiero.*

*Nayeli.*

*Por ese gran amor que te tengo, tú has sido una de mis razones para lograr este título.*

*A mis hermanos.*

*Por haberme alentado a seguir adelante.*

*María y Manuel.*

*Gracias por haberme ayudado cuando lo necesite.*

*A mis compañeros.*

*Por su amistad y por aquellos ratos de convivencia.*

*Chencho.*

*Por ser mi mejor amigo.*

*Ignacio Martínez Bernal.*

*A mis Padres.*

*Por su apoyo, confianza y compañía a lo largo de toda mi vida. Espero que ésta sea la mejor manera de compensar un poco sus desvelos y su paciencia. GRACIAS.*

*A mis hermanos.*

*Porque hemos caminado siempre juntos, algunas veces para arriba y otras para abajo, compartiendo experiencias y aprendiendo los unos de los otros.*

*A mi familia paterna.*

*Agradezco la oportunidad de poder ser parte de una familia tan fuerte. Que no los visite no quiere decir que no me acuerde de todos ustedes, ya que espero llegar a compartir muy pronto el logro de ésta meta.*

*A mi familia materna.*

*Por su cariño y apoyo en cualquier condición o momento, y por inculcar en mi el valor de las raíces familiares. Sobre todo agradezco el espíritu de lucha que me enseñó mi segunda madre. Tía Ana, esto es para ti.*

*A mis amigos.*

*Por su amistad en las buenas, en las malas y en las peores. Por las metas que hemos alcanzado juntos, y simplemente porque "la banda es la banda".*

*A mis compañeros*

*Subás e Ignacio, porque siempre será un placer para mí trabajar con gente que nunca dobla las manos.*

*Noé Salazar Arredondo.*

## ÍNDICE

<b>Introducción</b> .....	1
<b>Antecedentes</b> .....	4
<b>Capítulo I.- Estudio del Problema</b> .....	6
I.1. Planteamiento de la necesidad.....	6
I.2. Marco de referencia.....	6
I.3. Producción agrícola del nopal en Milpa Alta.....	9
I.3.1. Repercusiones sociales de la producción del nopal.....	15
I.4. Comercialización del nopal en Milpa Alta.....	16
I.5. Especificaciones y restricciones para el sistema de desespinado.....	18
<b>Capítulo II.- Planteamiento Conceptual de Solución</b> .....	20
II.1. Descripción conceptual y modelos de prueba.....	20
II.1.1. Desespinado con fluidos.....	21
II.1.2. Desespinado mecánico.....	25
II.1.3. Desespinado por medios químicos.....	26
II.1.4. Desespinado por procesos genéticos.....	26
II.2. Matriz de decisión.....	27
<b>Capítulo III.- Desarrollo del Proceso</b> .....	30
III.1. Desespinado mecánico.....	30
III.2. Matriz de decisión.....	36
<b>Capítulo IV.- Diseño de Módulos Independientes</b> .....	38
IV.1. Desarrollo del modelo de desespinado mecánico.....	38
IV.2. Modelo con módulo de desespinado fijo.....	38
IV.3. Primer modelo con banda y módulo de desespinado móvil.....	40
IV.4. Segundo modelo con banda y módulo de desespinado móvil.....	43
IV.5. Modelo con banda y dos módulos de desespinado móvil.....	44
IV.6. Modelo con banda y dos módulos de desespinado móvil y cuchillas.....	46
IV.7. Modelo con bandas independientes y dos módulos de desespinado verticales con cuchillas.....	47

<b>Capítulo V.- Propuesta para Integrar los Módulos</b> .....	49
V.1. Prototipo de la máquina desespinaadora de nopales.....	49
V.2. Descripción y funcionamiento de los módulos del prototipo.....	49
V.2.1. Módulo contenedor.....	49
V.2.2. Módulo de transmisión.....	51
V.2.3. Módulo de transporte.....	52
V.2.4. Módulo de desespinado.....	53
V.3. Cálculos y justificaciones de diseño.....	55
V.3.1. Rodillos.....	55
V.3.2. Bujes.....	60
V.3.3. Separadores.....	63
V.3.4. Engranés de transmisión.....	64
V.3.5. Cadenas y catarinas.....	65
V.3.6. Reductor de velocidad de engranes.....	66
V.3.7. Bandas de transmisión.....	67
V.4. Lista de elementos y materiales del prototipo.....	68
<b>Capítulo VI.- Preceptos de Diseño</b> .....	73
VI.1. Diseño para ensamble.....	74
VI.2. Diseño para ensamble manual.....	77
VI.2.1. Reglas generales de diseño para ensamble manual.....	80
VI.3. Diseño para manufactura.....	85
VI.4. Principios de diseño del producto para una manufactura eficiente.....	92
VI.4.1. Minimización del número total de piezas.....	92
VI.4.2. Desarrollo de un diseño modular.....	93
VI.4.3. Uso de componentes estándar.....	94
VI.4.4. Diseño de piezas para multi-usos.....	94
VI.4.5. Minimizar las direcciones de ensamble.....	95

<b>VI.5. Método de Boothroyd -- Dewhurst de diseño para ensamble manual.....</b>	<b>96</b>
VI.5.1. Eficiencia de ensamble.....	96
VI.5.2. Sistema de clasificación para manejo manual.....	98
VI.5.3. Sistema de clasificación para inserción y sujeción manual.....	100
VI.5.4. Aplicación del método de Boothroyd-Dewhurst.....	102
<b>Resultados.....</b>	<b>108</b>
<b>Comentarios y conclusiones.....</b>	<b>109</b>
<b>Apéndices.....</b>	<b>111</b>
A-1 Parámetros de rendimiento para materiales con que se fabrican bujes en lubricación al límite a temperatura ambiente.....	A-1
A-2 Tabla de tiempos estándar para manejo manual.....	A-2
A-3 Tabla de tiempos estándar para inserción.....	A-3
A-4 Propiedades de los aceros al carbón y con aleaciones.....	A-4
A-5 Propiedades de los aceros inoxidable.....	A-5
A-6 Indicaciones para determinar el esfuerzo de diseño.....	A-6
A-7 Factores de conversión útiles.....	A-7
<b>Bibliografía.....</b>	<b>119</b>

## **INTRODUCCIÓN**

**El contenido de ésta Tesis explica la metodología seguida para desarrollar un prototipo de un sistema para desespinar nopales, llevando siempre como plataforma de trabajo el Proceso de Diseño.**

**Cuando se pretende elaborar algún sistema o dispositivo que sea capaz de satisfacer determinada necesidad es prioritario, para el Ingeniero Diseñador, conocer perfectamente el problema al cual se enfrenta, para así poder conceptualizar diversas opciones de solución.**

**Para éste caso en particular, se hace un recorrido histórico, social y económico del nopal; que abarca zonas de cultivo, tipos de nopales, siembra, cosecha, cuidados contra plagas, comercialización, etc. Esta información sirvió para establecer un marco de referencia, a partir del cual se pudo realizar un estudio más específico del nopal que se produce en la zona de Milpa Alta.**

**En relación al proceso para desespinar nopales se encontró que al trabajo aquí descrito le anteceden muchos intentos para resolver éste problema. lo que en cierta forma facilitó su realización, ya que gracias a la información recopilada se evitaron muchos de los errores ya cometidos en los intentos anteriores.**

**En un principio dentro de la fase conceptual que involucró el planteamiento de la necesidad y la investigación del problema, se determinaron las especificaciones y restricciones del sistema de desespinado, las cuales se tomaron como parámetros para generar opciones de solución. Estas primeras opciones se dividieron en cuatro grupos, en base a la forma con que se pretendía desespinar a los nopales, así fue como surgieron las ideas de desespinar por medio de fluidos (agua, aire, calor), por medio de sistemas mecánicos, por medios químicos y por procesos genéticos.**

En éste punto fue necesario hacer una decisión para seleccionar la opción que cumpliera mejor con las especificaciones y restricciones tomando en cuenta los resultados arrojados por las pruebas realizadas con estas primeras ideas, para lo cual se utilizó una matriz de decisión. De éste primer "filtro" de ideas surgieron los sistemas mecánicos como opción de solución al problema y se desarrollaron más ideas y modelos mecánicos para realizar experimentos y mejorar así los resultados obtenidos con las opciones anteriores, por lo que fue necesario utilizar nuevamente a la matriz de decisión para ayudarnos a decidir cual sería el modelo mecánico que mejor cumpliera el objetivo de desespinarlo.

Se fabricó un primer modelo mecánico, al cual se le fueron realizando modificaciones con el objeto de mejorar su funcionamiento. Nos dimos cuenta que la forma de mejorar el rendimiento del modelo era modificando al elemento cortante, que inicialmente consistía en un alambre giratorio pero que al cabo de un determinado tiempo de trabajo terminaba por romperse; así que se intentó utilizar diversos materiales y geometrías hasta llegar a una forma final del elemento cortante que consiste en una cuchilla giratoria fabricada en lámina de acero inoxidable. Con este problema resuelto se determinó además la configuración final del modelo mecánico para desespinar nopales.

El paso siguiente consistió en determinar la forma y el funcionamiento de un prototipo en base al principio de funcionamiento del modelo mecánico anterior. Se dividió al prototipo en módulos (diseño modular) y se diseñaron las piezas que conformarían a estos. También se tomaron en cuenta materiales de fabricación para estas piezas así como procesos adicionales que algunas de ellas requerían (tratamientos térmicos, recubrimientos, etc). Es importante señalar que la mayoría de éstos materiales deberían cumplir con las normas sanitarias existentes para el procesamiento de alimentos.

A este prototipo también se le realizó una evaluación del diseño de su ensamble mediante el método Boothroyd-Dewhurst para estimar tiempos de mantenimiento y reparación, enfocados principalmente al momento en que el prototipo está desespinando nopales, ya que es esencial interrumpir el menor tiempo posible la producción (nopales desespinaados) en caso de algún mal funcionamiento o descompostura de un módulo.

El diseño conceptual que aquí se presenta es sólo una propuesta que no se pudo llevar a la práctica debido a que el costo para fabricarlo oscila entre \$150,000 y \$200,000 cantidad imposible de cubrir sin el respaldo de algún patrocinador, pero se puede estimar, en base a los experimentos realizados con los modelos presentados en los capítulos III y IV, que el rendimiento de éste puede alcanzar un 80%.

## ANTECEDENTES

Los estados donde se obtienen grandes producciones de nopal son: D.F., Hidalgo, San Luis Potosí, Zacatecas, Puebla y Morelos entre otros (fig. 1). La producción de nopal verdura vendida, durante generaciones se ha desespinado manualmente, lo que en muchas ocasiones acarrea pérdidas de tiempo, producto y entregas tardías que obviamente se traducen en contratos y dinero perdidos, por esto en las asociaciones de nopaleros de estas regiones surge la necesidad de encontrar alguna forma alterna para desespinar nopales que permita resolver este problema lo más completamente posible. Ante esta necesidad muchas agrupaciones empresariales, instituciones de enseñanza superior, e incluso esfuerzos de particulares a lo largo de la República Mexicana, se han enfocado a la búsqueda de soluciones a dicha necesidad.

Algunos ejemplos de la búsqueda de soluciones son las máquinas desespinatoras que encontramos en empresas como PROCESA y CIATEJ; se comenta que ambas empresas no cumplieron los contratos que establecieron con las asociaciones de nopaleros que las contrataron, ya que prometieron que sus respectivas máquinas desespinarían totalmente al nopal, lo cual no ocurrió.

Un ejemplo de una máquina desespinaadora diseñada por un particular, fue la realizada por el Sr. Rodolfo Moctezuma Rodríguez, oriundo del estado de Hidalgo. Esta persona presentó incluso una solicitud de patente y un prototipo, así como los planos de éste.

El Sr. Rodríguez aseguró que su prototipo realizaba el proceso de desespinado y picado del nopal, pero al mostrar su funcionamiento ante las asociaciones de nopaleros, el prototipo presentó algunas deficiencias en su funcionamiento, por lo que los nopaleros decidieron no adquirirlo.

En lo que toca a las instituciones de enseñanza superior, actualmente en la UNAM, a través de su Facultad de Ingeniería, se realiza el trabajo de investigación y diseño de una máquina desespinaadora de nopales. Dicho trabajo se lleva a cabo en el Centro de Diseño y Manufactura (CDM) con la colaboración del Ing. Gustavo Valeriano Barrientos y alumnos que prestan su Servicio Social en dicho Centro.



**Fig. 1. Principales estados de la República Mexicana donde se localizan plantaciones de nopal silvestre y de cultivo.**

## **CAPÍTULO I ESTUDIO DEL PROBLEMA**

### ***1.1. PLANTEAMIENTO DE LA NECESIDAD.***

De los testimonios obtenidos con personas productoras de nopal del pueblo de Milpa Alta, captamos que ellos desean un sistema que pueda desespinar cualquier tipo de nopal, tomando en cuenta sus características físicas y geométricas, como son su forma, tamaño, espesor y madurez del vegetal, procurando obtener el máximo porcentaje posible de desespinado, de manera que el nopal no requiera un posterior desespinado manual. Este sistema debe superar el proceso tradicional de desespinado en por lo menos el doble de su producción y mantener cuando menos las características del desespinado manual.

Dicho dispositivo debe adecuarse a la orografía de la zona para poder estar lo más cerca posible del lugar de cosecha, logrando así que los desechos generados por el desespinado sean utilizados como fertilizantes en las nopaleras.

El dispositivo debe ser de fácil operación para todo tipo de persona no importando su grado de escolaridad, pero el mantenimiento y reparación lo deberá realizar personal capacitado. El diseño del sistema de desespinado debe estar pensando para las fuentes de energía disponible en la región, por ejemplo: energía eléctrica, mecánica, a través de un motor de combustión interna, manualmente o con la combinación de alguna (s) de estas.

### ***1.2. MARCO DE REFERENCIA.***

Opuntia ficus - indica (nombre científico del nopal que se cultiva en Milpa Alta) se cultiva ampliamente en las poblaciones del altiplano mexicano, tal vez desde épocas prehispánicas; se desconoce el lugar de su origen, aunque se cree que es nativa de México, donde existen numerosas formas hortícolas e híbridas (Tabla I.1).

Nombre científico	Nombre vulgar
<i>Opuntia streptacantha</i>	Nopal cardón
<i>Opuntia leucotricha</i>	Nopal duraznillo
<i>Opuntia robusta</i>	Nopal tapón o bartolona
<i>Opuntia lidheimeri</i>	Cacanapo
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	Nopal cuja
<i>Opuntia rastreña</i>	Nopal rastrojo
<i>Opuntia imbricaria</i>	Nopal cardenche o xocozotile
<i>Opuntia macrocentra</i>	Nopal chivero
<i>Opuntia chysacantha</i>	Nopal espina amarilla
<i>Opuntia lucens</i>	Nopal penca redonda
<i>Opuntia azurea</i>	Nopal coyotillo
<i>Opuntia amyelcae</i>	Nopal de alfajucan
<i>Opuntia megacantha</i>	Nopal tuna amarilla
<i>Opuntia ficus-Indica</i>	Nopal memelo
<i>Opuntia undulata</i>	Nopal amarillo

**Tabla I.1. Nombres científicos y vulgares de algunos nopales en México.**

Este tipo de nopal fue uno de los primeros que se llevaron a Europa en la época de la Conquista, en donde se cultivó y aclimató especialmente en el litoral del Mediterráneo

Milpa Alta, delegación que forma parte de la ciudad más poblada del mundo, se encuentra ubicada al sur del Distrito Federal, colinda al norte con las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac, al oriente con la delegación Tlalpan, al poniente con el Estado de México y hacia el sur con el estado de Morelos.

Milpa Alta cuenta con once poblaciones y la cabecera delegacional en una extensión de 272 km<sup>2</sup>, que equivalen al 18% de la superficie total del Distrito Federal, su altura va de los 2300 a los 3600 m. s. n. m.

Desde épocas remotas se ha cultivado maíz, chicharo, frijol, haba, papa, trigo, y árboles frutales como higo, durazno, chabacano, tejocote, capulín, y maguey, entre otros cultivos estos son los más representativos. Este último fue la mayor fuente de ingresos de la comunidad de Milpa Alta, por la producción del pulque, que se fue perdiendo debido al lento ciclo de reproducción del maguey, el cual tarda seis u ocho años en crecer y sólo se produce agua miel durante tres o cuatro meses; además las exigencias sanitarias, por la naturaleza misma del pulque, son muy rigurosas.

De acuerdo a las entrevistas aplicadas a algunos productores de nopal de la región de Milpa Alta, Florentino Flores Torres, del barrio de la Concepción, fue quien en 1938 empezó a experimentar el cultivo del nopal. Al observar los lugareños que las nopaleras requerían menos cuidados y que su ciclo productivo es mayor y retribuye mejores beneficios, los campesinos de Milpa Alta cambiaron los sembradíos de maíz y los bosques de coníferas entre otros, por nopaleras y así comenzó la producción masiva de nopal hace 50 años aproximadamente.

En la actualidad el nopal ha adquirido gran importancia en la industria alimentaria, según CODAGEM ( Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agrícola y Ganadero del Estado de México), se pueden obtener productos tales como:

• **PRODUCTOS ALIMENTICIOS.**

Enlatado de nopales con frijoles, enlatado de nopales con carne de cerdo, enlatado de nopales con camarón entero o con camarón molido, nopales en vinagre, nopales deshidratados y molidos para sopa, nopales molidos para forrajes, nopales naturales cristalizados (dulces), para elaborar coluche (bebida fermentada) y curar el pulque.

En lo que se refiere al fruto del nopal, la tuna, se puede obtener aceite, miel, queso, jugo de tuna en polvo, como fruto seco o tunas apasadas, cascara de tuna cristalizada (dulce), vinagre y harinas de la semilla.

#### **• PRODUCTOS INDUSTRIALES.**

En la industria, el nopal se emplea en la obtención de anticorrosivos, colorante y caucho. Además del nopal se pueden obtener medicinas, cosméticos, y puede utilizarse como fertilizante en los campos de cultivo.

En el sur de México, el nopal se destaca principalmente por la producción de grana, una industria que había desaparecido debido a la sustitución de la grana por tintes sintéticos en alimentos o cosméticos, pero ahora que el mercado mundial retorna a los productos naturales se espera que la industria de la grana renazca.

### ***1. 3. PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DEL NOPAL EN MILPA ALTA.***

#### ***SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DEL TERRENO.***

Prácticamente, en Milpa Alta no hay una selección del terreno muy rigurosa por lo común se establece en laderas y suelos pedregosos que hacen necesarios, en muchos casos, la formación de terrazas<sup>1</sup>.

Antes de iniciar la siembra, el terreno se debe preparar. La preparación consiste en quitarle las piedras grandes, deshierbarlo, desmoronar y emparejar la tierra; para ello, se utiliza rastrillo, azadón, tractor, yunta, pala, pico, etc (fig. 1.1)

---

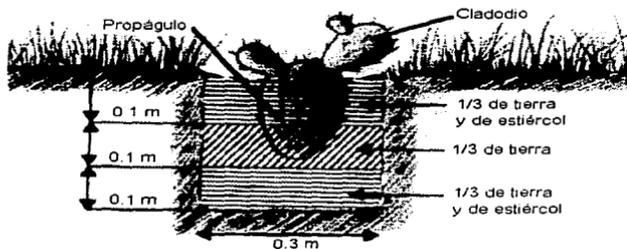
<sup>1</sup> Terrazas. Corte en forma de escalones que se realiza en montes y cerros para facilitar el cultivo en zonas montañosas.



**Fig. 1.1. Equipo agrícola que se utiliza en la preparación del terreno y en la cosecha del nopal.**

### ***SELECCIÓN Y TRATAMIENTO DEL PROPÁGULO.***

Los productores de la zona de Milpa Alta propagan sus nopaleras a través de un solo cladodio (fig.1.2) que sirve como propágulo, el cual se escoge de acuerdo con las siguientes características: mayor tamaño, sin cicatrices y sin enfermedades ni plagas. Si el cladodio cumple con tales características (preferentemente en julio y agosto), se corta por la base para evitar que se pudra y se lleva a la sombra a fin de impedir una deshidratación completa y para que cicatrice la herida del corte; al cicatrizar (15 - 20 días), si después el propágulo no ha adquirido alguna infección, esta en condiciones de plantarse o se puede almacenar durante uno o dos años, para ello se apilan dejando un espacio entre ellos y se cubren con una capa de paja.



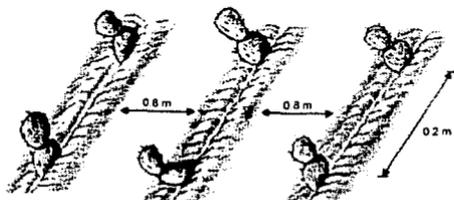
**Fig. 1.2. Siembra del propágulo.**

### **SIEMBRA.**

La mayoría de las nopaleras que se presentan en Milpa Alta son regulares; y llegan a tener una extensión máxima de tres hectáreas; casi todas se encuentran en predios cercanos a las casas de los productores de nopal.

La siembra de los propágulos<sup>2</sup> (fig. 1.3) se puede realizar durante todo el año pero los meses óptimos y más comunes para llevar a cabo son marzo y abril; ésta se lleva a efecto a una distancia entre planta y planta de 10 a 20 cm la cual es suficiente para que se desarrolle la planta sin dejar espacio, en hileras que se distancian entre sí 70 a 80 cm lo que permite el paso para cosechar y dar mantenimiento, y en surcos de 10 -15 cm de profundidad para poder enterrar aproximadamente una cuarta parte del propágulo, entre 20 días y un mes después se aplica una capa de abono; estas condiciones propician una alta densidad de población por hectárea.

<sup>2</sup> Propágulo.- Nopal inmaduro que se utiliza como raíz para propagar el crecimiento de nuevas nopaleras.



**Fig. 1.3. Siembra de los propágulos en los suelos profundos.**

### **FERTILIZACIÓN.**

En Milpa Alta no se utilizan mucho los fertilizantes químicos, pero sí se aplica frecuentemente abono orgánico en grandes cantidades (capas entre 30 y 40 cm de altura), el cual se coloca someramente en el momento de la plantación y tapa casi por completo al cladodio; posteriormente, se agrega cada seis meses, y se aplica una capa gruesa antes de la lluvia, según se necesite. La materia orgánica que se utiliza con más frecuencia es el estiércol de vaca que se compra en establos lecheros de Chalco, Naucalpan o Tlanepantla, en el Estado de México. La manera en que transportan el abono desde el carro de carga a todas las hileras es en carretillas, canastos o botes y lo esparcen con palas o rastrillos. Se necesita aproximadamente 60 a 70 carros de estiércol para una extensión de 2.5 hectáreas.

## ***PODA, DESHIERBE Y COMBATE DE PLAGAS.***

La poda se realiza constantemente y con varios fines:

- a) mantener en una misma dirección a los cladodios de la planta (poda de ordenación o poda de laterales);
- b) desear los nopales que no se logren cortar para su venta;
- c) evitar el envejecimiento de la nopalera;
- d) para sanear el cultivo, pues todos los nopales plagados o enfermos se deben podar

El producto de la poda rara vez se saca de la plantación, pues evita plagas como tuzas y ratas, además cuando se pican funcionan como abono o para agregar humedad al suelo (la época de poda es en julio y agosto, aproximadamente). El combate de plagas se realiza en muy contadas ocasiones, pues se puede decir que se tienen pocas plagas y enfermedades y que estas no causan un decremento notable en la producción. A continuación en el cuadro, según la CODAGEM, se muestra las plagas más comunes del nopal, características de ataque y su control químico.

Nombre de la plaga	Daños y sus características	Productos a usar	Dosis por hectárea	Época de aplicación	Observaciones
Gusano cebra	Los cladodios muestran tumor	Supracid 40	1-1.5 litros	Febrero y Marzo	Fumigue la huerta cuando vea orificios en los cladodios
Araña roja	Cladodios como quemados con fuego o envejecidos	Akar 338	5-1 litro	Entrada la primavera	Cuando observe secamiento en los cladodios combata las plagas
Grana o cochiniilla	Aparece como motus de algeida	Malathion 50%	5-75 litros	Al hacer mas calor	Procurar atacar la plaga cuando esté pequeña
Chinche café	Pudre la tuna	Polvo humectante Sevin 80	5-1.1 kilo	Antes de la maduración	Procure asperjar 25 días antes de la cosecha.

Nombre de la plaga	Daños y sus características	Productos a usar	Dosis por hectárea	Época de aplicación	Observaciones
Trips	La tuna se pone rojiza	Supracid 40	3-4 litros	En verano	Antes de madurar la tuna es cuando la plaga ataca
Gusano blanco (crista)	En el suelo se ven virutas de excremento	Supracid 40	1-1.5 litros	En verano	Es variable la aparición del gusano, pero al ver agujeros en las raquetas combatálo.
Gusano cabeza roja	Se los encuentra en los entrenudos	Supracid 40	1-1.5 litros	Al aparecer	Busque en los entrenudos de dos raquetas
Picudo de las espinas	Aparece como lágrimas de cera o parafina	Parason etílico 50	5.75 litros	Entrando la primavera	Busque la perforación de la raqueta en las espinas.
Mayate café	Ataca los brotes tiernos	Supracid 40	1-1.5 litros	Marzo y Abril	Se notan mordidos los brotes tiernos.
Caracoles	Atacan los brotes tiernos	Cebos envenenados		Al inicio de las lluvias	Se ven mordidos los brotes tiernos y una caída de baba en ellos
Pájaros	Atacan los brotes tiernos	Folidol en solución E-605	De 1 a 2 cc x litro de agua	Cuando aparezcan	Cuando escasee el alimento los pájaros atacan los brotes tiernos.

**Tabla 1.2. Plagas del nopal, características de ataque y su control químico.**

### **COSECHA.**

La cosecha se realiza durante todo el año, una o dos veces por semana, de acuerdo con el tamaño de la nopalera, pero la época en que se efectúa con más frecuencia, hasta diario, por ser más elevada la producción es en abril y mayo. La cosecha se lleva a cabo temprano por la mañana a fin de que los nopales se mantengan frescos y no se pongan rojos, se seleccionan las pencas más grandes ( 20 - 25 cm ) y se cortan por la base dejando un quitillo, es decir, la parte inferior del nopal cosechado queda adherida a la planta para regeneraciones posteriores.

El equipo que se usa en la cosecha consiste en un cuchillo mediano y guantes, los nopales se colocan en canastos con capacidad para 150 nopales aproximadamente o entre 50 y 60 kg., y en ellos se transportan, ya sea a los lugares de comercio o para empaquetarlos, en este caso, se emplea un cilindro de metal de un metro de diámetro, destapado por ambas partes, y dentro de él se acomodan los nopales en forma circular; las pacas así formadas contienen alrededor de 3000 nopales o 500 kg. de esta manera se llevan a los mercados.

### ***1. 3. 1. REPERCUSIONES SOCIALES DE LA PRODUCCIÓN DEL NOPAL.***

Los pequeños productores poseen menos de una hectárea con nopaleras, la mano de obra familiar es suficiente para atenderlas; transportan sus productos en carretillas para venderlos

Los grandes productores dedican una hectárea o más al cultivo del nopal, y como en estos casos la mano de obra familiar es insuficiente, se contratan peones que cosechen y mantengan en buenas condiciones a las nopaleras, estos asalariados por lo general son mazahuas que se trasladan de los poblados de Atlatomulco, San Felipe del progreso e Ixtlahuaca, en general son de los estados de Puebla, Oaxaca y Estado de México y venden su mano de obra en la actualidad (México, D F 1997) a razón de veinticinco pesos diarios y se les proporciona comida y hospedaje

Los propietarios poseen camionetas o camiones de redilas, en ellos transportan a los peones y comercializan su producto El nivel educativo de los agricultores de Milpa Alta y sus familias ha aumentado, pues en muchos casos va más allá de la primaria, y en ocasiones hasta el bachillerato o incluso algunos llegan a ser profesionistas Esto se debe mucho al mejoramiento del nivel económico de la población como causa directa de las ganancias que obtienen del cultivo y la comercialización del nopal. Así, en esta región de estudio es posible observar la relación estrecha entre aspectos sociales, económicos y culturales en torno al nopal

#### **1.4. COMERCIALIZACIÓN DEL NOPAL EN MILPA ALTA.**

El nopal se pueden vender durante los primeros dos o tres días de su cosecha, después de este tiempo por su apariencia el consumidor directo ya no lo compran. El productor vende su producto según la cantidad que posea, es decir, los pequeños productores lo venden en el centro de Milpa Alta o a los grandes productores, y estos últimos venden a la Central de Abastos, al mercado de la Merced ó al mercado de Jamaica; lugares donde distribuyen al D.F. y los estados de Guanajuato, Monterrey, Estado de México, Puebla, entre otros. Además por su calidad ha conquistado mercados en el extranjero como lo son Texas, Chicago, California y Japón.

Los productores venden el nopal por chiquihuite<sup>3</sup> (fig.1.4) o por paca<sup>4</sup> (fig.1.5). el precio varia según la época del año, pues cuando hay mayor producción (abril, mayo), el precio disminuye hasta diez u ocho pesos el chiquihuite, y trescientos pesos la paca; cuando la producción disminuye (en invierno), el precio sube y llega a ser hasta quince pesos el chiquihuite y hasta cuatrocientos cincuenta pesos la paca (precios en México, D.F. 1997).



**Fig. 1.4. Chiquihuite (300 nopales).**

<sup>3</sup> Chiquihuite.- Canasto construido con carrizo.

<sup>4</sup> Paca.- Paquete de nopales apelmazados.

Cuando la oferta rebasa por mucho la demanda, solo los grandes productores siguen vendiendo nopal aún a muy bajo precio, para mantener a sus clientes; los pequeños productores prefieren picarlo y distribuirlo en el terreno para que sirva de abono a las nopaleras.

La asesoría por parte de alguna institución respecto a la producción y comercialización del nopal es nula, el conocimiento existente al respecto es empírico y se transmite de padres a hijos. En lo que se refiere a créditos bancarios, los productores tienen desconfianza pues consideran poco ventajosas las condiciones para obtenerlos.

Como ejemplo de esto se tiene el siguiente caso: debido a la sobreproducción de nopal en alguna época se formó una cooperativa que enlataría el excedente, pero los planes durante la gestión ante las autoridades delegacionales se frustraron, pues los intereses particulares mermaban sensiblemente las ganancias que de ésta pudieran obtener los agricultores; así, el proyecto de la cooperativa quedó abandonado.



**Fig. 1.5. Paca de nopal (3000 nopales).**

***I.3. ESPECIFICACIONES Y RESTRICCIONES PARA EL SISTEMA DE DESESPINADO.***

***ESPECIFICACIONES.***

• **Producción.**

La producción por individuo se debe incrementar cuando menos al doble de la producción obtenida por medios manuales (2000 a 2500 nopales en 10 hrs.).

• **Apariencia del nopal.**

Dicho sistema debe retirar como mínimo el 80% de las espinas del nopal.

• **Facilidad de operación.**

El sistema debe ser operado por un máximo de tres personas no necesariamente altamente capacitadas, es decir, pueden ser las mismas personas que actualmente desespinan nopales y admitir la rotación del personal.

• **Dimensiones.**

Las dimensiones del prototipo deberán adecuarse a una persona de estatura media (1.55 a 1.70 m)

• **Mantenimiento y limpieza.**

El sistema se limpiará diariamente al final de la jornada sin que esta operación consuma más de 30 minutos, además el mantenimiento y reparación se realizarán con facilidad.

- **Costo.**

La recuperación del capital invertido para el desarrollo del prototipo, se estima que debe obtenerse en un plazo máximo de tres años; esto es considerando que con las ganancias de la producción proporcionada por la máquina se irán compensando gradualmente los gastos derivados del diseño, la fabricación, el uso de energéticos y el pago de salarios a los trabajadores.

***RESTRICCIONES.***

- **Materiales.**

Los materiales con que será construido el sistema para desespinar tendrán que ser del tipo sanitario en los casos en donde se éste en contacto directo con el vegetal

- **Área de trabajo.**

Para el funcionamiento y operación del sistema deberá ocuparse un área máxima de 3 m. x 3 m.

***CONSIDERACIONES ADICIONALES.***

- Ruido
- Degradación del medio ambiente.
- Desechos residuales (tóxicos y corrosivos).
- Pérdidas del fluido de trabajo.
- Corrosión por la composición del nopal.

## **CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO CONCEPTUAL DE SOLUCIÓN**

### **II.1. DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL Y MODELOS DE PRUEBA.**

En base a la explicación del capítulo anterior acerca del planteamiento de la necesidad y todo lo que involucra la producción del nopal, pasando desde su siembra hasta la comercialización como producto elaborado o sin elaborar, se analiza el problema con el fin de desarrollar en este capítulo un sistema para desespinar nopales, tomando en cuenta como posibles soluciones las siguientes opciones:

- Desespinado con fluidos
- Desespinado mecánico
- Desespinado por medios químicos.
- Desespinado por procesos genéticos

## **II.1.1. DESEPINADO CON FLUIDOS.**

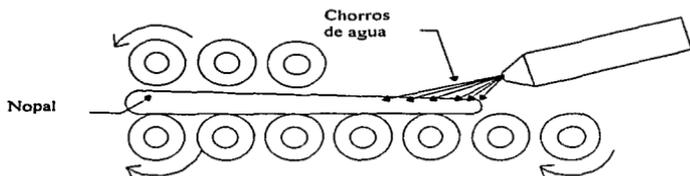
### **(a) Desespinado con agua**

Se hicieron incidir en la raíz de las espinas (ahuate) del nopal varios chorros de agua a presión a través de boquillas con un diámetro pequeño, integradas en un arreglo que permitió la incidencia de cada chorro de agua lo más paralelamente posible a la cara del nopal. De esta manera se pretendió lograr un desprendimiento eficiente de las espinas

El modelo se realizó con una cama de rodillos a los cuales se les dio movimiento a través de cadenas, todos giraban en el mismo sentido angular. Arriba de esa cama se colocaron dos rodillos para sujetar al nopal con la presión ejercida por estos últimos (fig. II.1)

Se utilizaron varios tubos de media pulgada (12.7 mm) añadiéndoles boquillas con orificios de 1 mm de diámetro para reducir el área de salida. Los chorros de agua se colocaron a un ángulo de 10° respecto a la cara del nopal, y los tubos se unieron a un cabezal de distribución, el cual se conectó a una bomba hidráulica de 2 bars de presión. El modelo se cubrió con una tapa para evitar que el agua salpicara en todas direcciones.

Al realizar las pruebas sólo unas cuantas espinas se desprendieron aún variando el ángulo de incidencia de los chorros de agua hasta llegar a los 90°, observando que la superficie del nopal se dañaba o se cortaba en la medida en que el ángulo tendía a ser perpendicular a la cara del nopal



**Fig. II.1. Desespinado con agua.**

**(b) Desespinado con aire.**

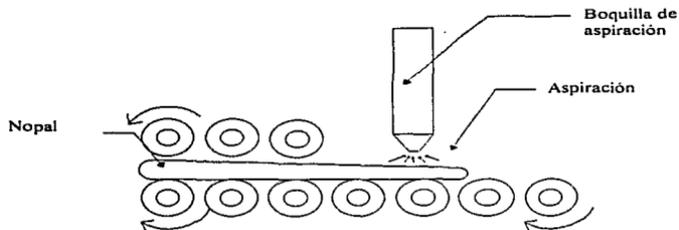
El funcionamiento de éste proceso fue análogo al desespinado con agua; la diferencia es obvia, ya que se cambió el fluido de trabajo de agua a alta presión en el anterior, a aire a alta presión en éste último.

Durante la realización de las pruebas se utilizó el modelo fabricado para el desespinado con agua. Los resultados que se obtuvieron fueron similares a los de las pruebas de agua a alta presión, sólo que el nopal a altas presiones de aire (10 bars) no se dañó, pero el ruido era excesivo.

**(c) Desespinado con aspiración.**

La hipótesis utilizada para ésta opción fue colocar el arreglo de las boquillas perpendicularmente y a una distancia adecuada de la cara del nopal (fig. II.2). Dichas boquillas se unieron al cabezal de distribución, el cual a su vez fue conectado a un compresor que funcionó en forma inversa para provocar la aspiración en las boquillas.

Al realizar las pruebas para evaluar esta hipótesis, no se obtuvo éxito alguno.

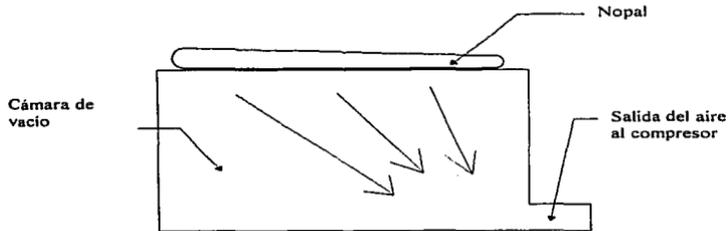


**Fig. 11.2. Desespinado con aspiración.**

**(d) Desespinado con vacío.**

Usando el mismo principio anterior del compresor, se colocó una manguera sobre unas espaldas, siendo la zona del nopal que las contiene la tapa de la cámara de vacío construida por la manguera; los resultados fueron desalentadores.

Una forma alternativa para crear una cámara de vacío fue construir una caja con una malla en forma de nopal en la parte superior, sobre la malla se colocó el nopal formando la tapa de la cámara de vacío y a la caja se le conectó el generador de vacío sin poder lograrlo completamente, y por lo tanto no se pudo desespinar el nopal. (fig. 11.3).



**Fig. 11.3. Desespinado con vacío.**

**(e) Desespinado con calor**

Para probar éste concepto se hizo pasar el nopal a través de una fuente de energía calorífica (resistencia eléctrica, fuego) y así ablandar o quemar las raíces de las espinas (ahuate) para posteriormente ser desprendidas por algún medio mecánico.

De las tres opciones factibles, en la primera se sumergió el nopal en agua caliente para ablandar las espinas, pero lo que se obtuvo fue un nopal cocido con desprendimiento de agua (mucilago) y sin desprendimiento de espinas. La segunda opción consistió en pasar las caras del nopal por quemadores de gas con distintas intensidades de flama y variando la distancia entre el nopal y la flama, pero las espinas y las caras del nopal se quemaron, además el nopal se deshidrata.

En la tercera opción se expuso el nopal al calor generado por una parrilla eléctrica adaptada al sistema de rodillos ya mencionado (fig. 11.1).

Debido a la alta velocidad angular de los rodillos, el nopal no llegó a ser afectado por el calor, así que se debió reducir la velocidad angular de los rodillos para poder notar los efectos del calor sobre el vegetal. Dichos efectos fueron similares al caso de la flama, es decir espinas y superficie quemadas así como ampulas en la epidermis.

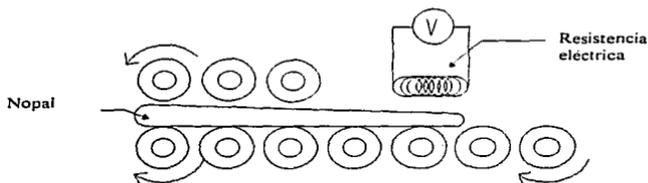


Fig. II.4. Desespinado con calor.

### II.1.2. DESESPINADO MECÁNICO.

Al analizar el proceso tradicional de desespinado de nopal, se observó que se podían desprender las espinas desde su raíz (ahuate) friccionando la cara del nopal. Así que se realizaron pruebas con elementos como las fibras sintéticas y naturales, mallas metálicas, rodillos con cerdas, y utilizando un alambre fijo, etc.

Los resultados variaron según el elemento que se usaba debido a que el coeficiente de fricción entre la cara del nopal y cada elemento es diferente, pero se obtenía en cada caso un desespinado del 40% aproximadamente. Una variable apreciable para cada elemento utilizado fue la apariencia final del nopal: las fibras y la malla dejaron las caras del nopal totalmente rayadas, contrastando con la apariencia dejada por el alambre, el cual casi no dañaba la superficie del nopal, limitándose a cortar de tajo la espina desde el ahuate.

### ***II.1.3. DESESPINADO POR MEDIOS QUÍMICOS***

Se hicieron analogías con otros procesos para limpiar alimentos (ejemplo: zanahorias, papas, tomates), y se introdujo a los nopales en un baño de lejía caliente (hidróxido sódico) Las espinas se reblandecieron pero junto con ellas la epidermis del nopal se desprendió, provocando que el vegetal quedara desprotegido ante los efectos del medio ambiente oxidándose en casi toda su superficie, ocasionando un mal aspecto que impediría su comercialización.

### ***II.1.4. DESESPINADO POR PROCESOS GENÉTICOS.***

Tomando en cuenta que el desespinado de los nopales mediante algún sistema o dispositivo es un proceso difícil de realizar, entonces se podría pensar en cambiar la estructura genética del vegetal para obtener un nopal sin espinas. Esta opción se descartó por dos motivos

1.- Debido a que este tipo de estudios absorben demasiado tiempo en su etapa de investigación, y como consecuencia los resultados no serían entregados dentro del tiempo requerido por los agricultores.

2.- El segundo motivo, tal vez el más importante, va enfocado hacia el objetivo principal de una tesis de licenciatura. Dicho objetivo nos señala que debemos aprender a utilizar los conocimientos adquiridos durante la carrera, que resulten de interés y beneficio a la comunidad, y reservar para grados posteriores el corrimiento de la barrera del conocimiento.

## **11.2. MATRIZ DE DECISIÓN.**

En este punto del trabajo es necesario hacer un alto en el camino para tomar la primera decisión importante, la cual indicará hacia donde seguir el proceso de diseño del sistema desespinador de nopales

Posiblemente las personas que no están familiarizadas, o no conocen, el Proceso de Diseño, se formulan la pregunta ¿porqué experimentar con opciones de solución que son tan distintas entre ellas?. ¿no representa esto una pérdida de tiempo y dinero?

En respuesta a estas interrogantes se podría escribir lo siguiente: es necesidad y obligación del Ingeniero en Diseño, y de su equipo de diseño, el generar una lluvia de ideas, de opciones de solución, no importando lo descabelladas que éstas parezcan. Además, en la medida de lo posible, se debe experimentar con todas y cada una de las soluciones, aunque esto, efectivamente, representa tiempo y recursos, tanto humanos como económicos, invertidos. Pero al concluir esta primera etapa de experimentación, ya es probable obtener la opción correcta para la solución al problema que nos aqueja.

Pero, ¿cómo sabemos que, en efecto, la opción que elegimos es la correcta?. Para ello es necesario recurrir a los resultados que las opciones arrojaron durante los experimentos o pruebas, y sobre todo, se deben atender tanto las especificaciones como las restricciones que se plantearon para el funcionamiento de los modelos de prueba.

Una forma de evaluar las opciones de solución con respecto a las especificaciones y restricciones del diseño, es mediante una Matriz de Decisión. Este método funciona de la siguiente manera

Se realiza un arreglo matricial de opciones contra especificaciones y restricciones, se le asigna un peso a cada una de estas últimas mediante un porcentaje, según sea su importancia durante el proceso que se va a realizar. Posteriormente cada opción de solución se va calificando según la importancia de cada una de las especificaciones o restricciones, en base a los resultados que se obtuvieron durante las pruebas. Al final se suman todos los porcentajes obtenidos para cada opción y la que obtenga el porcentaje más alto después de la suma, será la solución más viable al problema

Para éste caso en particular se les concedieron valores de ponderación o evaluación a las especificaciones y restricciones, en base a la importancia que cada una de éstas tienen dentro del proceso de desespinado, así se pueden encontrar tres grupos de valores bien definidos:

**1.- Valores altos (20 puntos).**

- Producción.
- Apariencia del nopal.

**2.- Valores medios (10 - 15 puntos).**

- Facilidad de operación.
- Limpieza y mantenimiento.
- Materiales de fabricación.
- Costo.

**3.- Valores bajos (5 puntos).**

- Dimensiones.
- Area de trabajo.
- Consideraciones adicionales.

A continuación se presenta la Matriz de Decisión para elegir la opción con que se desespinarán los nopales.

## MATRIZ DE DECISIÓN

	Producción (20 ptos.)	Apariencia del nopal (20ptos.)	Facilidad de operación (10 ptos.)	Dimensiones (5 ptos.)	Limpieza y mantenimien- to (10 ptos.)	Costo (15 ptos.)	Materiales de fabricación (10 ptos.)	Área de trabajo (5 ptos.)	Consideracio- nes adicionales (5 ptos.)	Resultados (100 ptos.)
Despinnado con fluidos	2 ptos. 10%	2 ptos. 10%	9 ptos. 90%	5 ptos. 100%	8 ptos. 80%	12 ptos. 80%	10 ptos. 100%	5 ptos. 100%	2.5 ptos. 50%	55.5 ptos.
Despinnado mecánico	12 ptos. 60%	16 ptos. 80%	9 ptos. 90%	5 ptos. 100%	8 ptos. 80%	9 ptos. 60%	10 ptos. 100%	5 ptos. 100%	4 ptos. 80%	78 ptos.
Despinnado por medios químicos	10 ptos. 50%	4 ptos. 20%	5 ptos. 50%	1 pto. 20%	3 ptos. 30%	3 ptos. 20%	10 ptos. 100%	1 pto. 20%	1 pto. 20%	38 ptos.
Despinnado por procesos genéticos	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL PROCESO**

#### **III.1. DESESPINADO MECÁNICO.**

Basándose en los resultados obtenidos por la Matriz de Decisión del capítulo anterior, se desglosó el desespinado mecánico para obtener diferentes opciones para desprender las espinas de las caras del nopal mediante un sistema mecánico. El elemento cortante no debe dañar la epidermis del nopal mientras desprende a la espina desde su raíz (ahuate).

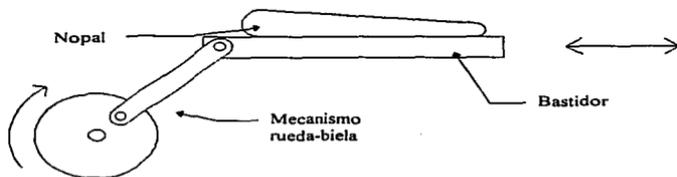
Tomando en cuenta lo anterior se desarrollaron diferentes modelos de desespinado mecánico del vegetal como son:

##### **( a ) Desespinado por vibración.**

Se construyó un bastidor para soportar una malla y sobre ella se colocó al nopal. Dicho bastidor se montó en dos rieles y se le proporcionó un movimiento oscilatorio mediante un mecanismo de rueda-biela-corredora, (fig III.1).

El trabajo se realizó bajo la suposición de que las espinas que se introducirían en los orificios de la malla metálica y serían desprendidas debido a la aceleración obtenida en la trayectoria de la oscilación.

Pero al realizar las pruebas se observó que fueron muy pocas las espinas que se desprendieron, ya que la cara del nopal no permaneció totalmente en contacto con la malla, porque la única presión sobre esta fue la ejercida por el peso del nopal.



**Fig. III.1. Desespinado por vibración.**

**( b ) Desespinado con malla metálica.**

En ésta opción se busco que la malla y el nopal estuvieran siempre en contacto para lograr el desespinado, para ello se forró un rodillo con malla metálica, pero el arreglo de la malla en el rodillo fue muy desigual, condición que dificultó mantener un contacto uniforme entre éste y el nopal durante la prueba.

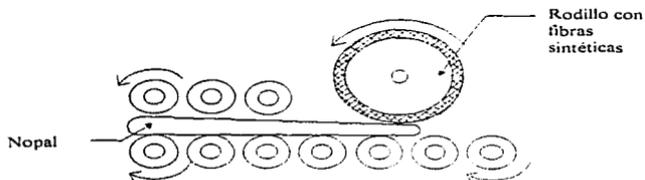
Para realizar las pruebas, el rodillo se montó en un torno, en el se le aplicaron diferentes velocidades angulares. El nopal, fue colocado en una tabla en forma de raqueta y se hizo pasar manualmente hasta entrar en contacto con el rodillo, pero debido a las irregularidades de la malla, no solo se desprendieron las espinas sino que además se rasgaron los montículos e inclusive quedaron en ocasiones algunos surcos.

**( c ) Desespinado con fibras sintéticas.**

Se siguió con la idea de utilizar un rodillo giratorio como método de desespinado, pero este rodillo se cubrió con fibras sintéticas similares a las empleadas en las labores del hogar, y así poder obtener un desespinado continuo, (fig. III.2).

Como en la opción anterior, el rodillo forrado con fibras se colocó en el torno para hacerlo girar y se puso en contacto con el nopal a través de la raqueta de madera utilizada en el modelo anterior. Con objeto de evaluar esta opción en forma más efectiva, se montó el rodillo con fibras en la cama de rodillos utilizada anteriormente en los experimentos de desespinado con fluidos.

Después de haber realizado algunas pruebas, se observó que el rodillo no desespinoó totalmente al nopal, debido a que la fibra era demasiado blanda, y las espinas desprendidas se incrustaron en la fibra, provocando que al volver a pasar sobre el vegetal éste sufriera ralladuras en su superficie.

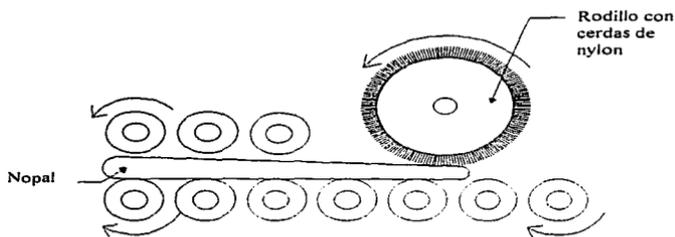


**Fig. III.2. Desespinado con fibras sintéticas.**

**( d ) Desespinado con rodillo de cerdas.**

Una opción más para tratar de desespinar nopales por medio de fricción fue la utilización de un rodillo con cerdas de nylon, (fig. III.3), pero cuando se realizaron las respectivas pruebas con éste rodillo se observó lo siguiente:

Si se utilizaban cerdas muy suaves, prácticamente sólo barrían al nopal, quitándole el polvo de la superficie; y por el contrario, si las cerdas eran muy duras, llegaban a penetrar al nopal provocándole ralladuras en forma de surcos, en algunos casos de una profundidad considerable y sin lograr siquiera desespinar un 5% de las caras del nopal.



**Fig. III.3. Desespinado con rodillo de cerdas.**

**( e ) Desespinado con cortador helicoidal.**

Debido a que con los modelos anteriores el porcentaje de desespinado resultó ser muy bajo, surgió la idea de utilizar como medio de desespinado algún elemento que fuera semejante en su función al cuchillo utilizado comúnmente para el desespinado manual, (desespinado intermitente).

Uno de los problemas que no resolvieron los modelos anteriores fue el desprendimiento de las espigas del contorno del nopal, así que pensando en solucionar esta situación se diseñó un elemento cortante con cuchillas dispuestas helicoidalmente, las cuales además realizarían un desespinado continuo.

La fabricación del cortador helicoidal (fig. III.4) fue imposible de realizar en el Taller de la Facultad por lo cual se improvisó, una vez que se contó con el cortador, se realizaron las pruebas de funcionamiento, cosa que resultó muy desalentadora ya que el nopal al ir avanzando hacia el cortador se incrustaba en los espacios que había entre cuchilla y cuchilla, provocando que el vegetal saliera totalmente despedazado, en consecuencia el desespinado era de muy baja calidad.



**Fig. III.4. Cuchilla Helicoidal.**

#### ( f ) Desespinado con alambres.

En este proceso se simuló el efecto cortante del cuchillo, utilizándose un rodillo con alambres dispuestos en forma paralela al eje longitudinal del rodillo, (fig. III.4). El rodillo con alambres se montó en un torno horizontal para realizar las primeras pruebas de desespinado, las revoluciones del torno se variaron para encontrar la velocidad con que se obtenía un mayor porcentaje de desespinado. En esta prueba se observó que cuando los alambres entraron en contacto con la cara del nopal, las espinas fueron arrancadas de tajo sin perjudicar demasiado la cara del nopal.

Por la obtención de tan buenos resultados, se decidió montar el rodillo con alambres en el modelo de la cama de rodillos para realizar algunas pruebas, en las cuales algunas zonas del nopal salieron despedazadas, pero en otras el desprendimiento de las espinas fue bastante bueno, incluso arrancando las espinas desde el ahuate.

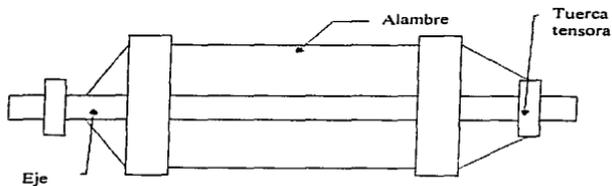


Fig. III.5. Rodillo con alambres.

### **III.2. MATRIZ DE DECISIÓN.**

Una vez más nos encontramos en la disyuntiva de tomar la mejor opción del desespinado mecánico, para avanzar en este trabajo

Por lo cual recurrimos nuevamente a la herramienta que nos proporciona el proceso de Diseño, que es la Matriz de Decisión. Esta ayuda a encontrar la mejor opción de manera cuantitativa, como se explicó en el capítulo anterior.

A continuación se presenta la Matriz de Decisión que permitirá escoger la mejor opción del desespinado Mecánico.

## MATRIZ DE DECISIÓN DE SISTEMAS MECÁNICOS

	Producción (20 pts.)	Apariencia del papel (20 pts.)	Facilidad de operación (10 pts.)	Dimensiones (5 pts.)	Limpieza y mantenimie nto (10 pts.)	Costo (15 pts.)	Materiales de fabricación (10 pts.)	Áreas de trabajo (5 pts.)	Considera ciones adicionales (5 pts.)	Resultados (100 pts.)
Desespinado por vibración	3 pts. 15%	3 pts. 15%	10 pts. 100%	5 pts. 100%	8 pts. 80%	9 pts. 60%	10 pts. 100%	5 pts. 100%	2 pts. 40%	55 pts.
Desespinado con malla metálica	3 pts. 15%	2 pts. 10%	10 pts. 100%	5 pts. 100%	6 pts. 60%	7.5 pts. 50%	10 pts. 100%	5 pts. 100%	2 pts. 40%	50.5 pts.
Desespinado con fibras sintéticas	5 pts. 25%	4 pts. 20%	10 pts. 100%	5 pts. 100%	6 pts. 60%	7.5 pts. 50%	10 pts. 100%	5 pts. 100%	2 pts. 40%	52.5 pts.
Desespinado con rodillo de cerdas	1 pto. 5%	1 pto. 5%	10 pts. 100%	5 pts. 100%	7 pts. 70%	7.5 pts. 50%	10 pts. 100%	5 pts. 100%	3 pts. 60%	49.5 pts.
Desespinado con cortador helicoidal	0 pts. 0%	0 pts. 0%	10 pts. 100%	5 pts. 100%	5 pts. 50%	4.5 pts. 30%	10 pts. 100%	5 pts. 100%	4 pts. 80%	43.5 pts.
Desespinado con alambres	10 pts. 50%	12 pts. 60%	10 pts. 100%	5 pts. 100%	10 pts. 100%	9 pts. 60%	10 pts. 100%	5 pts. 100%	4 pts. 80%	75 pts.

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO DE MÓDULOS INDEPENDIENTES**

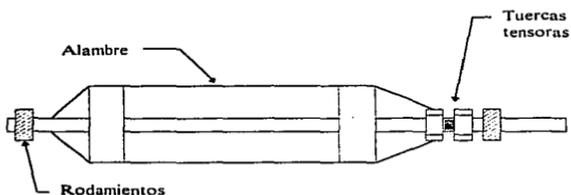
#### ***IV.1. DESARROLLO DEL MODELO DE DESESPINADO MECÁNICO.***

En el capítulo anterior se tomó la decisión de desespinar mecánicamente a los nopales utilizando el modelo de rodillo con alambres, sin embargo, se sabe que no se tiene totalmente resuelto el problema; es necesario pasar por otra etapa de experimentación que inevitablemente consumirá tiempo, pero que a la vez mostrará ventajas y desventajas de la opción que se eligió obligando a hacer cambios y modificaciones en su configuración ó funcionamiento.

En éste capítulo se presentan los cambios que se fueron realizando al modelo de desespinado mecánico durante la etapa en la que se experimentó con el modelo del rodillo con alambres.

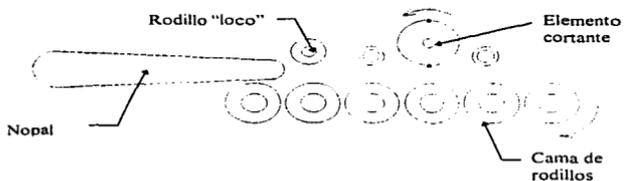
#### ***IV.2. MODELO CON MÓDULO DE DESESPINADO FIJO.***

El diseño del Elemento Cortante (E.C.) consistió en un rodillo en forma de carrete, al cual se le colocó un alambre longitudinalmente, el rodillo se fabricó en barra redonda de acero 1018 de 300 mm de longitud y 19 mm de diámetro (3/4 pulg.). A dicha barra se le soldaron dos arandelas distribuidas simétricamente y se redujo el diámetro de los extremos a 12 mm para colocar rodamientos de 28 mm de diámetro exterior. La barra se barrenó en un extremo para pasar el alambre, y en el otro extremo se realizó una cuerda a 3/4 de pulg. para colocar dos tuercas las cuales actuarían como tensores del alambre, como se observa en la figura IV 1.



**Fig. IV.1. Elemento cortante con alambres.**

Frente al E.C. se colocó un rodillo "loco" o suelto (con libertad de movimiento), que poseía la misma configuración que el rodillo con alambre. Este rodillo "loco" tenía como finalidad empujar al nopal hacia el E.C. para que éste lo desespinará.



**Fig. IV.2. Modelo con módulo de desespinado fijo.**

Una vez fabricados todos los elementos antes mencionados, se colocaron dentro de dos placas para mantenerlos en una posición horizontal y así poder realizar las pruebas de funcionamiento del modelo.

Se utilizó un motor eléctrico de 1/3 de HP, 127 volts y 60 Hz para proporcionar el movimiento a todos los rodillos. El rodillo con alambre giraba aproximadamente a 3000 rpm, y con un arreglo de bandas y poleas, los rodillos transportadores giraban a 1000 rpm.

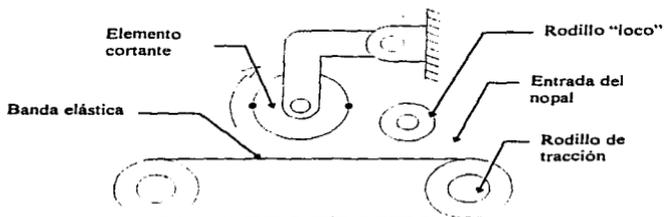
Se introdujo el nopal por su sección transversal más delgada, y a la salida se encontró con que los alambres casi lo despedazaron.

Otra observación de las pruebas fue que el alambre, el elemento cortante y demás piezas del modelo, mostraban indicios de corrosión debido a la repetición de los eventos y a que el mucilago salía salpicado en todas direcciones.

#### ***IV.3. PRIMER MODELO CON BANDA Y MÓDULO DE DESESPINADO MÓVIL.***

Debido a que en el modelo anterior el transporte del nopal por medio de rodillos no funcionó debidamente, se propuso la utilización de una banda como medio de transporte.

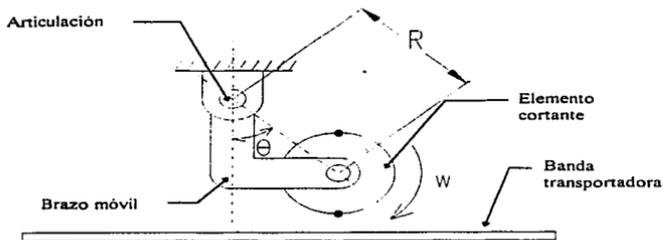
El nuevo dispositivo se configuró colocando dos rodillos dentro de la banda para darle tracción a la misma y se puso un rodillo "loco" sobre la banda, dejando un pequeño espacio entre ellos para que la banda graduara la entrada del nopal según el espesor de éste, (fig. IV.3).



**Fig. IV.3. Configuración del primer modelo con banda y módulo de desespinado móvil.**

Debido a las características elásticas que presenta la banda, se pensó que esta se amoldaría a la cara del nopal en el momento en que éste fuera viajando hacia la zona de desespinado.

Se fabricaron dos brazos móviles en forma de "L", los cuales estaban sujetos a una articulación en uno de sus extremos, lo que permitió un movimiento angular de los brazos y el E.C., con el propósito de que éste se "amoldara" a la cara del nopal, (fig. IV.4).



**Fig. IV.4. Primer módulo del elemento cortante móvil.**

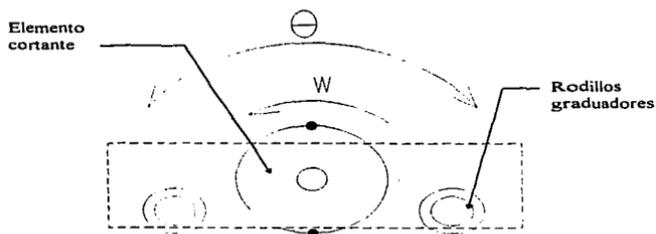
Todos los nuevos elementos fabricados para éste modelo fueron colocados dentro de las placas mencionadas anteriormente en la página 40.

Los resultados arrojados por éste modelo fueron similares a los obtenidos por el modelo anterior, ya que al analizar detenidamente el funcionamiento del elemento cortante durante el desespinado, se observó que debido al movimiento angular de los brazos, cuando entraban en contacto el alambre y la cara del nopal, ésta rebotaba, ocasionándole daños severos y provocando la ruptura del alambre.

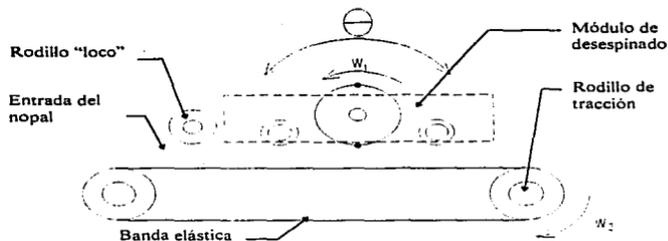
#### **IV.4. SEGUNDO MODELO CON BANDA Y MÓDULO DE DESESPINADO MÓVIL.**

Al poner a prueba el nuevo módulo de desespinado se obtuvieron resultados más o menos aceptables, es decir, el daño en la parte gruesa del nopal se redujo, sin embargo el E.C. se seguía rompiendo impredeciblemente y su remplazo era tardado y laborioso.

El problema de los nopales despedazados se evitó agregando dos rodillos al módulo de corte (fig. IV.5), los rodillos rotan sobre su propio eje y se trasladan angularmente en torno al eje de giro del E.C. Las funciones principales de los rodillos son: aplanar al nopal para que tome la trayectoria tangente al E.C., promover el desplazamiento adecuado del nopal y permitir calibrar la separación entre el E.C. y el nopal.



**Fig. IV.5. Segundo módulo del elemento cortante móvil.**



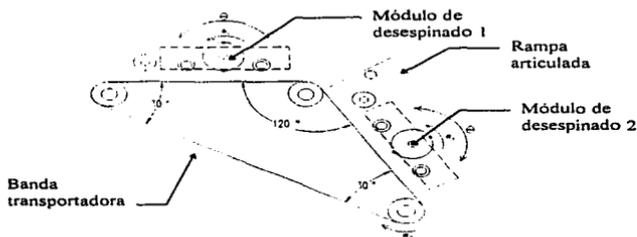
**Fig. IV.6. Configuración del segundo modelo con banda y módulo de desespinado móvil.**

#### **IV.5. MODELO CON BANDA Y DOS MÓDULOS DE DESESPINADO MÓVIL.**

Como la modificación del módulo de desespinado móvil arrojó resultados satisfactorios (aprox. 60% de desespinado total) se decidió construir un modelo que contuviera dos módulos de desespinado uno por cada cara del nopal para desespinar las dos caras en un solo paso, sin necesidad de tener que volver a introducirlo al módulo como ocurría en los modelos anteriores.

La disposición del nuevo modelo consistió en lo siguiente: en torno de la banda (fig. IV.7) se colocaron tres rodillos para proporcionar la tracción, los ángulos interiores del triángulo se determinaron principalmente en función del desarrollo de la banda.

La alimentación manual se realizaba en el primer módulo ubicado en la parte superior del triángulo, a la salida era transportado hacia una rampa articulada que lo hacía girar dejando la cara expuesta con las espinas, lista para entrar al segundo módulo de desespinado, que se encontraba en un plano inclinado a  $60^\circ$  respecto al plano de entrada (fig. IV.7).



**Fig. IV.7. Arreglo del modelo con dos módulos de desespinado.**

Cuando se realizaron las pruebas con este modelo sorprendieron los buenos resultados obtenidos, porque con modificaciones sencillas se agilizó el proceso de desespinado y se redujeron las dimensiones del modelo. Después de realizar muchas pruebas para afinar detalles de funcionamiento, se observó que el alambre del E.C. se rompía más frecuentemente, así que se probaron desalentadoramente otros materiales como son el hilo de pescar (nylon), alambre de acero inoxidable, cuerdas de guitarra, etc.

#### IV.6. MODELO CON BANDA, DOS MÓDULOS DE DESESPINADO MÓVIL Y CUCHILLAS.

En un intento de eliminar la ruptura del alambre se decidió cambiar la sección del E.C. por una más grande, por lo que se utilizó una cuchilla delgada la cual se afiló en uno de sus lados.

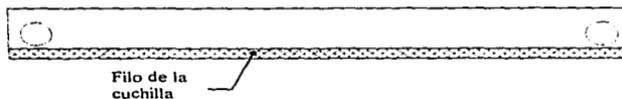


Fig. IV.8. Cuchilla.

Al realizar algunas pruebas con el nuevo elemento cortante se notó que algunas partes de la cara del nopal presentaban características de desespinado manual, pero en otras secciones los cortes eran muy profundos. Esto obligó a estudiar con más detenimiento el comportamiento de la cuchilla, determinando que para evitar los cortes profundos se debía entretejer hilo de nylon por perforaciones hechas en la cuchilla. Con estas variaciones se obtuvieron resultados muy alentadores, con un grado de desespinado muy similar al que se había obtenido anteriormente y con un daño menor en la superficie del nopal.

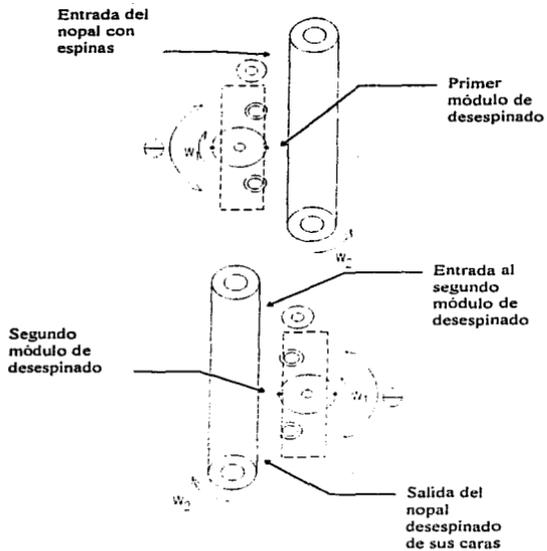


Fig. IV.9. Rodillo con cuchillas y nylon entretejido.

#### **IV.7. MÓDULO CON BANDAS INDEPENDIENTES Y DOS MÓDULOS DE DESESPINADO VERTICALES CON CUCHILLAS.**

Después de maquinadas las piezas necesarias (rodillos para las bandas transportadoras, elementos de calibración, reductor de velocidad y cuchillas) se ensamblaron dentro de dos placas de 6.35 mm (1/4 pulg.) de espesor. con el reductor de velocidad se le dió movimiento tanto a los rodillos de las bandas de transporte como a las cuchillas, éste modelo se configuró de tal forma que durante el proceso de desespinado, el nopal seguía una trayectoria vertical (fig. IV.10) para evitar el uso de una banda como medio de transporte hacia los módulos de desespinado y en su lugar usar la gravedad. Para la limpieza de cada cara se colocó una banda y un módulo de desespinado independientes, la banda presionaba al nopal contra el módulo para ser desespinado, al salir desespinado la primer cara inmediatamente el nopal bajaba al segundo módulo desespinandose la cara restante.

Al realizar las primeras pruebas con el modelo, los nopales salieron casi despedazados debido a que las bandas estaban muy tensas provocando un golpeteo entre las cuchillas y el nopal. Debido a este problema fue necesario buscar la calibración a través de los tensores, hasta encontrar la tensión adecuada para el proceso. Esta tensión se determinó en base a la apariencia con que salían los nopales, tomando como parámetro mínimo aproximadamente el 80% de desespinado.



**Fig. IV.10. Disposición vertical de los módulos de desespinado.**

## **CAPÍTULO V**

### **PROPUESTA PARA INTEGRAR LOS MÓDULOS**

#### ***V.1. PROTOTIPO DE LA MÁQUINA DESESPINADORA DE NOPALES.***

Como resultado del análisis y los experimentos realizados con los modelos anteriores, se llegó finalmente a la configuración del Prototipo de la Máquina Desespinaadora de Nopales. Dicho prototipo consta de cuatro módulos independientes, pero que en conjunto logran desespinar al nopal con las condiciones especificadas en los capítulos anteriores.

Los módulos que conforman al prototipo son:

- a) Módulo Contenedor.
- b) Módulo de Transmisión.
- c) Módulo de Transporte.
- d) Módulo de Desespinado.

#### ***V.2. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS.***

A continuación se presenta la descripción detallada de los módulos y se incluye la lista de elementos que los componen, así como la forma en que éstos interactúan para lograr el funcionamiento de cada uno de los módulos.

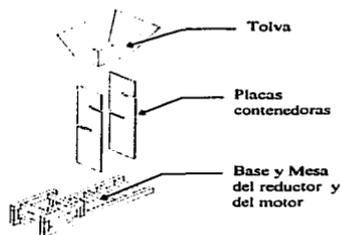
##### ***V.2.1. MÓDULO CONTENEDOR.***

El módulo contenedor es lo que comúnmente se llama "cuerpo de la máquina". Dentro de él están alojados los demás módulos.

Los elementos del módulo contenedor son.

- 1.- Placas contenedoras.
- 2.- Barras de fijación.
- 3.- Tolva.
- 4.- Mesa del motor y reductor de engranes.
- 5.- Base.
- 6.- Rodillos guías.

En las placas contenedoras, se maquinarán ranuras de distintos tamaños y terminados que alojarán a los módulos de transporte y desespinado, y así como a las barras de fijación, chumaceras, ejes y demás aditamentos del sistema de transmisión del movimiento (fig.V.1).



**Fig. V.1. Configuración del Módulo Contenedor.**

Se deberá tener especial cuidado en el maquinado de las ranuras en las dos placas, para que conserven así la mayor simetría, alineación y paralelismo, ya que estas no son totalmente planas. Dicho paralelismo se logrará con la colocación de las barras de fijación, las cuales a través de tuercas obligan a las placas a mantener una posición fija.

En la base se soldarán tanto las placas contenedoras como la mesa del motor y reductor de engranes. Cabe mencionar que entre la mesa, el motor y el reductor de engranes se colocarán cojinetes de hule que sirven para amortiguar o absorber las vibraciones que se producen durante el funcionamiento del prototipo

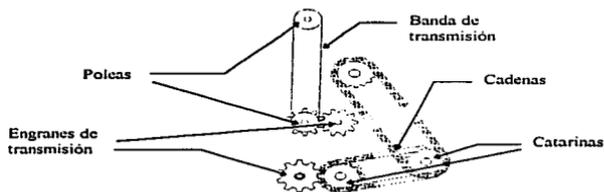
La alimentación de nopales para el prototipo se realiza a través de la tolva, ubicada en la parte superior de las placas contenedoras. La tolva, por cuestiones sanitarias, se fabricara en lamina de acero inoxidable y podrá desmontarse para darle limpieza y facilitar el mantenimiento al prototipo. Para asegurar que los nopales entraran correctamente al primer modulo de transporte, una vez que son introducidos en la tolva, éstos pasaran sobre los rodillos guias, los cuales los conducirán hasta el módulo de transporte.

#### **V.2.2. MÓDULO DE TRANSMISIÓN.**

Como su nombre lo dice, dicho modulo se encarga de transmitir el movimiento a los modulos de desespinado y transporte, las piezas o elementos que lo conforman son:

- 1 - Motor electrico
- 2 - Reductor de engranes
- 3.- Engranes.
- 4 - Poleas
- 5 - Catarinas
- 6 - Cadenas y bandas de transmision

El motor electrico se acopla al reductor de engranes, el cual a su vez consta de dos salidas a diferentes velocidades, una mueve a las cuchillas del modulo de desespinado y la otra hace girar a los rodillos que mueven a las bandas del modulo de transporte, entre el reductor y los distintos ejes conducidos el movimiento se transmite a través de cadenas, catarinas, engranes, poleas y bandas. En el caso de la transmision a los modulos de desespinado, la salida de alta velocidad del reductor esta acoplada directamente a un engrane en el cual esta insertada una polea y a través de esta se transmite movimiento al modulo de desespinado superior. Por medio del acoplamiento de un segundo engrane se proporciona movimiento en sentido contrario a las cuchillas del módulo inferior de desespinado (fig. V 2)



**Fig. V.2. Configuración del Módulo de Transmisión.**

La transmisión del movimiento desde el reductor al módulo de transporte se realiza en forma similar a la descrita en el párrafo anterior, pero la transmisión entre módulos se realiza por medio de catarinas y cadenas.

### **V.2.3. MÓDULO DE TRANSPORTE.**

La función primordial de este módulo es transportar al nopal a la zona donde se encuentra el módulo de desespinado. Los elementos del módulo de transporte son:

- |                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| 1.- Banda transportadora. | 5 - Placas contenedoras. |
| 2.- Rodillo propulsor.    | 6.- Separadores.         |
| 3.- Rodillo propulsado.   | 7.- Bujes.               |
| 4.- Rodillo ajustador.    | 8.- Rodamientos.         |

La banda se mueve al ser impulsada por el rodillo propulsor y dependiendo del espesor de los nopales la tensión de la banda se regula con el rodillo ajustador. Las barras de fijación o separadores ayudan a mantener paralelas a las placas contenedoras, evitando así que la banda se mueva hacia alguno de los extremos de los rodillos (fig.V.3), además los bujes y los rodamientos ayudan a que los rodillos giren sin desalinearse.



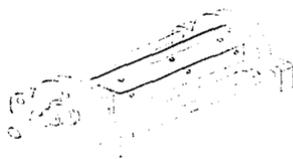
**Fig. V.3. Módulo de Transporte.**

#### **V.2.4. MÓDULO DE DESESPINADO.**

Este es el módulo más importante del prototipo, ya que aquí es donde se puede lograr el éxito o el fracaso en el funcionamiento general del mismo. El módulo de desespinado esta integrado por:

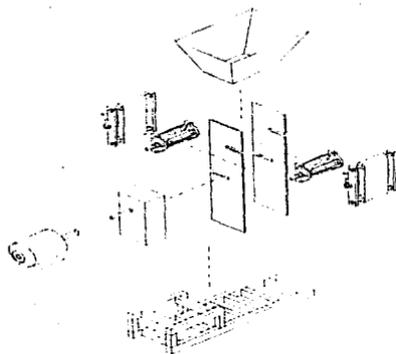
- |                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| 1.- Placas contenedoras. | 4.- Cuchillas.   |
| 2.- Separadores.         | 5.- Rodamientos. |
| 3.- Rodillos "locos".    | 6.- Bujes.       |

Todos los elementos del módulo, como es de suponerse, están alojados dentro de las placas contenedoras que deben estar paralelas para que las cuchillas giren perfectamente alineadas y sin dañar la superficie del nopal (fig. V.4).



**Fig. V.4. Módulo de Desespinado.**

Los rodillos "locos" aseguran que la superficie del nopal permanecerá en un plano imaginario tangente a la trayectoria del filo de las cuchillas, para que estas corten exclusivamente a las espinas. Tanto los rodillos "locos" como la cuchilla, se apoyan en sus extremos, en bujes y rodamientos respectivamente, asegurándose un correcto funcionamiento.

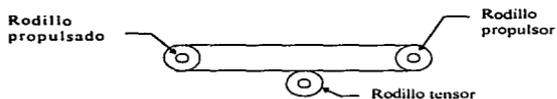


**Fig. V.5. Ensamble General del Prototipo.**

### V.3. CÁLCULOS Y JUSTIFICACIONES DE DISEÑO.

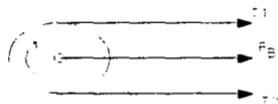
#### V.3.1. RODILLOS.

Por la abundancia de estos elementos en el funcionamiento del prototipo, es importante realizar un análisis en aquellos rodillos que presentan el estado de cargas crítico durante el proceso, como es el caso de los rodillos de transporte de los cuales este módulo incluye tres tipos de rodillos, dos de ellos geoméricamente iguales pero con distinta función (rodillo propulsado y rodillo tensor). El tercer rodillo es el que recibe el movimiento del reductor y da tracción a la banda, por ello es llamado rodillo propulsor.



**Fig. V.6. Disposición de los rodillos dentro del Módulo de Transporte.**

Cuando se tiene una banda sinfín funcionando por medio de rodillos, siempre un lado estará más tenso que el otro, y por lo tanto se presentará una fuerza en los rodillos, como se muestra en la figura V.6:



$T_1$  y  $T_2$  son las tensiones en la banda.  
 $F_B$  es la fuerza de flexión de los rodillos.

**Fig. V.7. Fuerzas en el rodillo.**

Como ambos lados de la banda tienen tensión, entonces existe una fuerza neta de impulso que esta dada por :

$$F_N = T_1 - T_2 \text{ -----(1)} \quad F_N \text{ :- Fuerza neta de impulso.}$$



**Fig. V.8. Tensiones de la banda.**

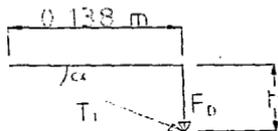
Además sabemos que la fuerza de flexión en los rodillos esta dada por la suma de  $T_1$  y  $T_2$  , entonces:

$$F_B = T_1 + T_2 \text{ -----(2)}$$

Al suponer que existe una relación entre la tensión del lado tenso de la banda y la tensión del lado "flojo", y considerando que se esta usando una banda plana, se tiene que:

$$T_1 / T_2 = 3 \text{ -----(3)}$$

Para el ajuste de las tensiones de una banda, el manual de bandas Dodge sugiere una fuerza de deflexión de aproximadamente 12 N aplicada a la mitad de la distancia entre centros de los rodillos propulsor y propulsado con esta, la banda se deflexionará como máximo una distancia de 0.156 mm por cada centímetro de longitud; entonces, si para éste caso se tiene una distancia entre centros de 27.6 cm, la deflexión de la banda será  $h = 5$  mm.



**Fig. V.9. Determinación de las tensiones de la banda.**

$F_D$ .- Fuerza de deflexión recomendada.

A partir del triángulo de la figura V.9, la obtención del valor de  $T_1$  se logra mediante la relación trigonométrica:

$$T_1 = F_D / \text{sen } \alpha$$

$$\text{donde } \alpha = \tan^{-1} (h / 0.138) = 2.07^\circ$$

$$T_1 = 12 / \text{sen}(2.07^\circ)$$

$$T_1 = 332.22 \text{ [ N ]}$$

de la ecuación (3) se obtiene  $T_2$

$$T_2 = T_1 / 3 = 332.22 / 3$$

$$T_2 = 110.74 \text{ [ N ]}$$

Una vez calculados los valores de las tensiones de la banda, con ayuda de la ecuación (2) se obtiene la fuerza de flexión en los rodillos propulsor y propulsado.

$$F_H = T_1 + T_2 = 332.22 + 110.74$$

$$F_H = 442.96 \text{ [ N ]}$$

y la fuerza neta de impulso será:

$$F_N = T_1 - T_2 = 332.22 - 110.74$$

$$F_N = 211.48 \text{ [ N ]}$$

El análisis realizado anteriormente para determinar la fuerza de flexión sólo es válido para los rodillos propulsor y propulsado. En el caso del rodillo tensor el análisis es similar, la diferencia radica en que dicho rodillo trabaja en el lado "flojo" de la banda y está sometido a las tensiones  $T_2$  y  $T_3$ . Usando la relación de la ecuación (3) se puede deducir que:

$$T_3 = T_2/3$$

entonces, la fuerza de flexión en el rodillo tensor viene dada por:

$$F_H = T_2 + T_3 = T_2 + T_2/3 = 110.74 + (110.74 / 3)$$

$$F_H = 147.65 \text{ [ N ]}$$

Tomando como material de fabricación el acero 1020<sup>3</sup> para los rodillos del módulo de transporte, se determinó el diámetro inferior permisible del eje suponiendo que cuando entra un nopal para ser desespinado, éste es empujado contra la banda con una carga de aproximadamente 5 Kg.

Del material de fabricación conocemos sus propiedades mecánicas como el esfuerzo de cedencia ( $S_y = 331$  MPa), y el esfuerzo último ( $S_u = 448$  MPa); con ellos se calculará el esfuerzo máximo al que estarán sometidos los rodillos.

Debido a que el esfuerzo será repetitivo o periódico, y el material es dúctil, del Apéndice 6 se tiene que:

$$\sigma_d = \sigma_{max} = S_u / 8 = 448 / 8$$

$$\sigma_d = \sigma_{max} = 56 \text{ [ MPa ]}$$

$\sigma_d$ .- Esfuerzo de diseño.

$F_A$ .- Fuerza o carga aplicada; ( $F_A = 49.05$  N, aprox 5 Kg.).

D.- Diámetro de los ejes de los rodillos.

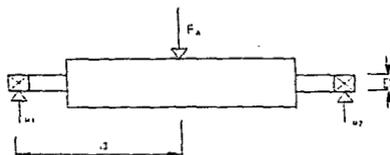
d.- distancia donde se aplica la fuerza en el rodillo.

c.- distancia al eje neutro; ( $c = D / 2$ ).

I.- Momento de inercia; ( $I = \pi \times D^4 / 64$ ).

$$\sigma_{max} = Mc / I = (F_A \times d) \times (D/2) / (\pi \times D^4/64)$$

<sup>3</sup> Se sabe que este tipo de acero es corrosible, pero se utilizó sólo para efectos de cálculos y pruebas de laboratorio



**Fig. V.10. Diagrama de cuerpo libre de los rodillos.**

$$\sigma_{\max} = (F_A \times d) / (\pi \times D^3/32) \text{-----(4)}$$

De la ecuación (4) se obtiene el diámetro de los ejes (D), y se tiene que:

$$D^3 = (32F_A \times d) / (\pi \times \sigma_{\max}) = (32(49.05 \times 0.145)) / (\pi \times 56 \times 10^6)$$

$$D^3 = 1.294 \times 10^{-6}$$

$$D = 0.0109 \text{ [m]}$$

Como no es muy usual encontrar diámetros con ésta medida, entonces se determinó utilizar una medida comercial superior a este valor, así que para los diámetros de los ejes de los rodillos se deberá usar  $D = 0.0127 \text{ m}$  (1/2 pulg.).

Una vez calculados los diámetros de los ejes, se determinará el esfuerzo al que estarán sometidos dichos ejes debido a la fuerza de flexión ( $F_B$ ). Este esfuerzo deberá ser menor que el esfuerzo de cedencia del material propuesto anteriormente (acero 1020).

Para los rodillos propulsor y propulsado se tiene.

$$\sigma_{\max} = (F_B \times d) / (\pi \times D^3/32) = (442.96 \times 0.145) / (\pi \times (0.0127)^3/32)$$

$$\sigma_{\max} = 319.4 \text{ [Mpa]}$$

De la misma manera para el rodillo tensor se tiene:

$$\sigma_{max} = (F_B \times d) / (\pi \times D^3/32) = (147.65 \times 0.145) / (\pi \times (0.0127)^3/32)$$

$$\sigma_{max} = 106.46 \text{ [ Mpa]}$$

Como se puede ver, los esfuerzos en los rodillos del módulo de transporte no superan al esfuerzo de cedencia del material, por lo que se puede concluir de éstos cálculos que tanto los diámetros de los ejes como el acero 1020 pueden ser utilizados en la fabricación de los rodillos.

Cabe mencionar, por sugerencia de un fabricante de bandas de transporte industriales, que a los tres rodillos (propulsor, propulsado y tensor) se les aumento el diámetro en la sección de contacto con la banda transportadora a 0.0508 m (2 pulg.), evitando así que la banda se patine al ser propulsada por los rodillos.

### **V.3.2. BUJES.**

El análisis que se presenta a continuación se realizó para los bujes de los rodillos "locos" de los módulos de desespinado. Dichos bujes soportan la fuerza provocada por el propio peso de los rodillos cuando no hay un nopal pasando debajo de ellos, pero una vez que el vegetal entra al módulo para ser desespinado, en los bujes actúa una fuerza resultante del empuje que le provoca la banda al nopal contra los rodillos. Esta fuerza de empuje está en función de la tensión de la banda y es mucho mayor que el peso del rodillo, por lo que en el análisis éste se vuelve despreciable.

Como ya se mencionó, cuando entra un nopal al módulo de desespinado los rodillos "locos" aplican una fuerza sobre el vegetal (fuerza aplicada,  $F_A$ ), y considerando que debido a la tensión de la banda se presenta una reacción del mismo valor que la fuerza aplicada, entonces se puede decir que:

$$F_R = F_A$$

$F_R$  :- fuerza de reacción.

Como por cada rodillo hay dos bujes, se tiene

$F_b$  .- fuerza en cada uno de los bujes.

$$F_b = F_R / 2 = 49.05 / 2$$

$$F_b = 24.53 \text{ [ N ]}$$

Los factores que se consideraron en la selección de materiales para fabricar los bujes son los siguientes:

- Coeficiente de fricción: hay que considerar condiciones tanto estáticas como dinámicas.
- Capacidad de carga o resistencia mecánica,  $P$ : carga radial dividida entre el área proyectada del buje.
- Velocidad de operación,  $v$ : la velocidad relativa entre los componentes fijos y móviles.
- Temperatura en condiciones de operación.
- Resistencia al desgaste.
- Susceptibilidad para ser fabricados: maquinado, moldeo, ensamble y servicio.

Debido a que los rodillos "locos" solo giran cuando entran en contacto con el nopal, entonces tienen la misma velocidad lineal que la banda, pero su velocidad angular es mayor que la de los rodillos propulsor y propulsado.

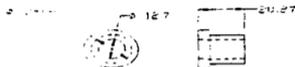


Fig. V.11. Bujes de los Rodillos "locos".

$$V_L = \omega \times r = (31.42) \times (25.4) = 797.96 \text{ [ mm / s ]}$$

$\omega_{RL}$ .- velocidad angular de los rodillos "locos"

$r_{RL}$ .- radio de los rodillos "locos".

$$\omega_{RL} = V_L / r_{RL} = 797.96 / 12.7 = 62.83 \text{ s}^{-1} = 600 \text{ rpm} = n_{RL}$$

$v$ .- velocidad de operación.

$D_b$ .- diámetro de los bujes en mm.

$$v = \pi D_b n_{RL} / 60000 = \pi ( 12.7 ) \times ( 600 ) / 60000 \qquad v = 0.4 \text{ [ m / s ]}$$

$P$ .- resistencia mecánica.

$L$ .- longitud del buje.

$$P = F_h / LD_b = 24.53 / (0.02087 \times 0.0127) \qquad P = 92.530 \text{ [ KPa ]}$$

$$P_v = (92.530) \times (0.4) \qquad P_v = 37.012 \text{ [ KW / m}^2 \text{ ]}$$

El valor  $P_v$  es una medida de la capacidad del material con que se fabrica el buje para adaptarse a la energía debida a la fricción que se genera en el buje. Para el valor limite de  $P_v$ , el buje no debe alcanzar un limite estable de temperatura ya que se presentarían fallas prematuras. Un valor práctico de diseño para  $P_v$  es la mitad del valor limite calculado de  $P_v$ .

Para el caso del valor de  $P_v$  calculado anteriormente, se puede observar que es muy bajo en relación con los valores que se presentan en la tabla del Apéndice 1, lo cual significa que se genera poca energía provocada por la fricción que existe entre los ejes de los rodillos y los bujes, así que es posible considerar a los materiales plásticos para la fabricación de éstos debido, entre otras cosas, a propiedades como las que se describen a continuación:

Los plásticos que se utilizan para fabricar bujes presentan características de baja fricción, se pueden operar en seco, pero su rendimiento mejora mediante la presencia de un lubricante.

La susceptibilidad a la incrustación suele ser buena, al igual que su resistencia al agarre. No obstante, muchos plásticos son poco resistentes, ello limita su capacidad para soportar cargas. Sus ventajas más importantes son la resistencia a la corrosión y, cuando operan en seco, la ausencia de sustancias contaminantes.

Estas características son en particular importantes en el procesamiento de ingredientes para alimentos y productos químicos. Aquellos plásticos que pertenecen al grupo de los que se conocen como fluoropolímeros son populares debido a su coeficiente, extremadamente bajo, de fricción (0.05 a 0.15) y resistencia satisfactoria al desgaste. Los fenólicos, policarbonatos, acetales, nylons y muchos otros plásticos también se utilizan para fabricar bujes, por ello para el caso particular se recomienda utilizar algún derivado del Nylon (por ejemplo Nylamid M) para fabricar los bujes.

### *V.3.3. SEPARADORES. (Barras de fijación).*

Como ya se mencionó anteriormente, la función de las barras de fijación o separadores es mantener a las placas contenedoras de los módulos a una distancia determinada, conservándose así una posición paralela entre ellas. Los separadores son barras cilíndricas, en sus extremos tienen una reducción de diámetro en donde se maquinarán cuerdas para tuercas comerciales.

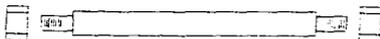


Fig. V.12. Separador.

Dentro del prototipo se tienen separadores en el módulo contenedor y en los módulos de transporte y desespinado. Cuando el prototipo está funcionando, por la posición y la función de los separadores, se observó en los modelos anteriores que los esfuerzos de tracción y de compresión no logran alcanzar siquiera una tercera parte del valor del esfuerzo de tracción del material de fabricación (acero 1020), entonces existe cierta libertad para proponer el diámetro y el material de estos elementos (tabla V.1.)

Modulo	Material	Diametro (pulg)
Contenedor	acero 1018	3/4
Transporte	acero inoxidable	5/8
Desespinado	acero inoxidable	1/2

Tabla V. 1.

#### V.3.4. ENGRANES.

Durante la descripción del funcionamiento del modulo de transmisión se menciona el uso de engranes para proporcionar movimiento a los modulos de desespinado y transporte. Estos engranes son distintos debido a que un par de estos funcionan con la salida de alta velocidad del reductor, y el otro par con la salida de baja velocidad.

La determinación de las características de los engranes se realizo en base a los diámetros de paso ( $D_p$ ) dados y se propuso el numero de dientes ( $N$ ).

Para los engranes de alta velocidad (modulo de desespinado) se tiene  
 $D_p = 74 \text{ mm} = 2.91 \text{ pulg}$   
 $N = 40 \text{ dientes.}$

Con estos datos se puede calcular el paso, con la siguiente fórmula:

$$P = N / D_p = 40 / 2.91 = 13.73 = 14 \text{ dientes / pulg}$$

Con la misma fórmula, para los engranes de baja velocidad (modulo de transporte) se tiene.

$D_p = 63.5 \text{ mm} = 2.5 \text{ pulg}$   
 $N = 40 \text{ dientes.}$

Con estos datos, entonces se puede calcular el paso de la siguiente forma

$$P = N / D_p = 40 / 2.5 = 16 \text{ dientes / pulg.}$$

	Engranos de alta velocidad	Engranos de baja velocidad
<i>Adendum</i>	1 580 mm	1 810 mm
<i>Bedendum</i>	1 980 mm	2 270 mm
<i>Espacio libre</i>	0 396 mm	0 450 mm
<i>Paso circular</i>	4 986 mm	5 700 mm
<i>Altura del diente</i>	3 570 mm	4 080 mm
<i>Ancho del diente</i>	2 490 mm	2 850 mm
<i>Paso base</i>	4 680 mm	5 350 mm
Cantidad de engranes	2	2

Tabla V 2 Engranos de transmisión.

#### V.3.5. CADENAS Y CATARINAS.

Las cadenas y las catarinas se seleccionan conjuntamente ya que el paso de las cadenas tiene que ser el mismo que el de las catarinas. Normalmente la selección de estos elementos se realiza a través de catálogos y manuales en donde se presentan datos tabulados como el paso, ancho de la cadena, diámetro del rodillo, etc.

Para este caso en particular los datos obtenidos son los siguientes

<i>Paso</i>	9 525 mm ( 3/ 8 pulg.)
<i>No. de cadena</i>	35
<i>Ancho interior</i>	5 72 mm
<i>Ancho de cadena</i>	12 95 mm
<i>Espesor de la cabeza</i>	1 27 mm
<i>Espesor de la chaveta</i>	3 30 mm
<i>Diámetro dc. rodillo</i>	6 35 mm

Tabla V 3 Cadenas y Catarinas

Con estos datos se calcula el número de eslabones de la cadena mediante la siguiente relación:

$$E = (2C / P) + (Z_2 + Z_1 / 2) + (P (Z_2 - Z_1)^2 / 40C)$$

Donde:

$Z_2$  y  $Z_1$  son los dientes de las catarinas.

$C$  es la distancia entre centros de las catarinas.

$P$  es el paso de la cadena.

Como las catarinas deben ser iguales, entonces  $Z_2 = Z_1$

$$E = (2 \times 140 / 9.525) + (20+20/ 2) = 49.4$$

$$E = 49 \text{ eslabones.}$$

En base a que se conocen el número de cadena y su paso, de las tablas se seleccionaron las catarinas con las siguientes características:

No. de dientes ( $Z$ ) = 20 dientes.

Paso ( $P$ ) = 9.525 mm (3/8 pulg.).

Diámetro de paso ( $d_p$ ) = 60.88 mm.

Diámetro de fondo ( $d_f$ ) = 54.53 mm.

Diámetro exterior ( $d_e$ ) = 65.97 mm.

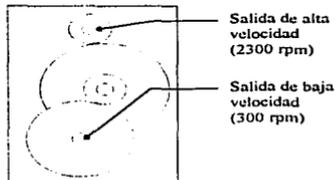
Altura total del diente ( $h_t$ ) = 11.44 mm.

### ***V.3.6. REDUCTOR DE VELOCIDAD DE ENGRANES.***

Este reductor se diseñó para que funcionara con cuatro engranes rectos de los cuales proporcionarían las dos salidas de velocidad requeridas para los módulos de desespinaados y transporte. Los engranes se calcularon de igual forma que los engranes de transmisión, resaltando que el paso de los cuatro engranes tiene que ser el mismo ya que están acoplados entre si. El valor del paso de los engranes del reductor es  $P = 10$  dientes/pulg., los datos complementarios se presentan en la tabla V 4.

	Engrane (1)	Engrane (2)	Engrane (3)	Engrane (4)
<i>Diámetro de paso</i>	38.1 mm	114.3 mm	38.1 mm	95.2 mm
<i>No. de dientes</i>	15	45	15	38
<i>Adendum</i>	2.540 mm	2.540 mm	2.540 mm	2.540 mm
<i>Dedendum</i>	3.175 mm	3.175 mm	3.175 mm	3.175 mm
<i>Espacio libre</i>	0.635 mm	0.635 mm	0.635 mm	0.635 mm
<i>Paso circular</i>	7.970 mm	7.970 mm	7.970 mm	7.970 mm
<i>Altura del diente</i>	5.715 mm	5.715 mm	5.715 mm	5.715 mm
<i>Ancho del diente</i>	4.000 mm	4.000 mm	4.000 mm	4.000 mm
<i>Paso base</i>	7.500 mm	7.500 mm	7.500 mm	7.500 mm

**Tabla V.4. Engranes del Reductor.**



**Fig. V.13. Arreglo del Reductor de Engranes.**

### **V.3.7. BANDAS DE TRANSMISIÓN.**

Para el sistema de transmisión se propusieron bandas planas para transmitir el movimiento entre los módulos de desespinado y el reductor, debido a que el funcionamiento de estas bandas es silencioso pudiéndose obtener un rendimiento de transmisión bastante alto ( $\eta = 0.95$  a  $0.98$ ).

La longitud adecuada de las bandas sinfín se consigue uniendo los extremos por engomado o por cosido; también se puede hacer la unión por medio de grapas metálicas.

Las bandas planas fabricadas con fibras textiles (algodón, cáñamo) son más flexibles y resistentes a los agentes químicos y atmosféricos; las fabricadas con fibras textiles embebidas en caucho son insensibles a la humedad pero no pueden trabajar en ambientes que contengan polvo

#### **V.4. LISTA DE ELEMENTOS Y MATERIALES DEL PROTOTIPO.**

A manera de conclusión, tomando como referencia los cálculos realizados para los diversos elementos de los módulos del prototipo de la Máquina Desespinaadora de Nopales, se hace una propuesta de materiales de construcción para dichos elementos. Cabe señalar que la elección de los materiales depende de la función que realice la pieza dentro del módulo al que pertenece, ya que como se ha mencionado anteriormente, por cuestiones de higiene todos los elementos que tengan un contacto directo con el vegetal deberán ser fabricados con algún material que no lo contamine durante el proceso de desespinado (ej. acero inoxidable)

Una forma alternativa de evitar esa contaminación, e incluso la corrosión de las piezas, es utilizar recubrimientos superficiales como las pinturas, o materiales plásticos no degradables.

<b>MÓDULO DE DESESPINADO</b>			
<b>Pieza o elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Observaciones</b>
Placas contenedoras	4	Acero inoxidable 304 Nylamid	Fabricación simétrica Ajuste para los orificios de los bujes
Bujes de las cuchillas	4	Nylamid Bronce Latón	Ajuste para rodamientos
Rodamientos de las cuchillas	4	Rodamientos comerciales de bolas	
Bujes de los rodillos "locos"	8	Nylamid Bronce Latón	Ajuste para inserción a presión en la placa, y ajuste en el orificio para el eje del rodillo "loco"
Rodillos "locos"	4	Acero inoxidable 304 Nylamid	Ajuste en el eje del rodillo Dimensionalmente iguales
Separadores	6	Acero inoxidable 304	Dimensionalmente iguales Roscas en los extremos
Tuercas de sujeción	12	Acero inoxidable 304	Tuercas hexagonales de medida comercial
Cuchillas	2	Acero inoxidable 304	Los ocho filos de las hojas deben tener el mismo ángulo de corte (aprox. 20°-30°)

**Tabla V.5. Elementos del Módulo de Desespinado.**

<b>MÓDULO DE TRANSPORTE</b>			
<b>Pieza o elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Observaciones</b>
Placas contenedoras	4	Acero inoxidable 304. Cold roll	Fabricación simétrica Ajuste para los orificios de los bujes Si se fabrican de cold roll deberán recubrirse con pintura plastificante sin plomo
Bujes del rodillo ajustador	4	Nylamid Bronce Latón	Ajuste para rodamientos Roscas en los extremos
Tuercas del buje ajustador	4	Nylamid Bronce Latón	Rosca estándar en su interior Deben de fabricarse del mismo material que el buje ajustador
Rodamientos de los rodillos	12	Rodamientos comerciales de bolas.	
Separadores	4	Acero inoxidable 304 Cold roll	Dimensionalmente iguales Roscas en los extremos Deben de fabricarse del mismo material que las placas
Tuercas de sujeción.	8	Acero inoxidable 304 Cold roll	Tuercas hexagonales de medida comercial Deben de fabricarse del mismo material que las placas
Rodillos ajustador, propulsor y propulsado.	6	Acero inoxidable 304 Cold roll	Deben de fabricarse del mismo material que las placas
Banda transportadora.	2	Nylon.	La banda debe llevar un recubrimiento de Teflon para evitar contaminar al vegetal

**Tabla V.6. Elementos del Módulo de Transporte.**

<b>MÓDULO CONTENEDOR</b>			
<b>Pieza o elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Observaciones</b>
Placas contendedoras	2	Acero inoxidable 304 Cold roll	Fabricacion simetrica Ajuste para los orificios de los bujes Si se fabrican de cold roll deberan recubrirse con pintura plastificante sin plomo
Separadores	8	Acero inoxidable 304 Cold roll	Dimensionalmente iguales Roscas en los extremos Deben de fabricarse del mismo material que las placas
Tuercas de sujecion	16	Acero inoxidable 304 Cold roll	Tuercas hexagonales de medida comercial Deben de fabricarse del mismo material que las placas
Tolva	1	Acero inoxidable 304	
Tomillos y tuercas de la tolva	16	Acero inoxidable 304	Medida comercial
Rodillos guias	3	Acero inoxidable 304	Dimensionalmente iguales
Bujes de los rodillos guias	6	Nylamid Bronce Latón	Ajuste en los orificios de los bujes
Base del prototipo	1	Acero inoxidable 304 Cold roll	Fabricacion simetrica Si se fabrican de cold roll deberan recubrirse con pintura plastificante sin plomo
Mesa del motor y el reductor	1	Cold roll	Fabricacion simetrica y nivelada Debera recubrirse con pintura plastificante sin plomo

**Tabla V.7. Elementos del Módulo Contenedor.**

<b>MÓDULO DE TRANSMISIÓN</b>			
<b>Pieza o elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Observaciones</b>
Motor eléctrico	1		Motor eléctrico monofásico comercial
Engranajes del reductor	4	Cold roll	Tratamiento térmico superficial (carburizado)
Placas del reductor	6	Cold roll	Pueden unirse mediante soldadura eléctrica. Los orificios de las flechas deben estar alineados
Tornillos de la tapa del reductor	16		Tornillos Allan de medida comercial
Flechas del reductor	3	Cold roll	Deberán ser rectificadas
Engranajes	4	Cold roll	Tratamiento térmico superficial (carburizado)
Polcas	2	Aluminio	Ligeramente abombadas
Banda de transmisión	1	Hule con nylon entretejido	Antiderrapante
Cadenas	2	Comercial	Con el mismo paso que las catarinas
Catarinas	3	Cold roll	Tratamiento térmico superficial (carburizado) Con el mismo paso que las cadenas

**Tabla V.8. Elementos del Módulo de Transmisión.**

## CAPÍTULO VI PRECEPTOS DE DISEÑO

En éste capítulo se hace una introducción a los conceptos de Diseño para Ensamble y Diseño para Manufactura (DFA y DFM por sus iniciales en inglés), así como su aplicación en el desarrollo del diseño del prototipo de la Máquina Desespinaadora de Nopales.

En primer lugar se realiza una explicación de los principios y las bases del Diseño para Ensamble y Manufactura, para posteriormente comprender la forma en que funciona el método Boothroyd-Dewhurst con el que evaluamos la eficiencia del diseño del prototipo.

La intención de aplicar estos conceptos obedece no tanto a que en un futuro el prototipo pueda llegar a convertirse en una máquina que se fabrique a gran escala, sino a la alta velocidad de producción por lo que resultara necesario aplicarle estos conocimientos de ingeniería. Pero es más importante aprender a interpretar correctamente los resultados que nos proporcionan estas teorías, que el simple hecho de aplicarlas. Para ello existen métodos de evaluación como el desarrollado por Boothroyd y Dewhurst<sup>6</sup>, con el cual se puede calificar la sencillez para fabricar y ensamblar las partes que componen un diseño antes de que este sea mandado al departamento de manufactura.

Cabe señalar que aunque el empleo de estos conceptos son de gran ayuda para el diseño y rediseño de máquinas o prototipos, esto no significa que el ingeniero diseñador deba olvidarse de los elementos básicos del Proceso de Diseño, puesto que el diseño para ensamble, para manufactura, para desensamble, etc. sólo son una herramienta más que el ingeniero debe aprender a utilizar para obtener diseños cada vez mejores.

---

<sup>6</sup> Boothroyd-Dewhurst, "Product Design for Manufacture and Assembly", USA 1994

## **VI.1. DISEÑO PARA ENSAMBLE.**

### **INTRODUCCIÓN.**

Desde los inicios del siglo XIX, la creciente necesidad por tener productos terminados en grandes cantidades, especialmente en la industria de armamento, llevó a los ingenieros a buscar y desarrollar nuevos métodos de manufactura o producción. Como resultado del desarrollo de los distintos procesos de manufactura, ahora es posible producir en masa productos durables de alta calidad a bajo costo. Uno de los procesos de manufactura más importantes es el proceso de ensamble que se requiere cuando dos o más componentes son unidos entre sí.

La historia del desarrollo del proceso de ensamble está estrechamente relacionada con la historia del desarrollo de los métodos de producción en masa. Los pioneros de la producción en masa son también los pioneros de las técnicas modernas de ensamble. Sus ideas y conceptos han traído mejoras importantes en los métodos de ensamble empleados en grandes volúmenes de producción.

Sin embargo, aunque muchos aspectos de la ingeniería de manufactura, especialmente el proceso de fabricación de piezas, han sido revolucionados por la aplicación de la automatización, la tecnología del proceso básico de ensamble no ha podido mantener ese paso tecnológico. La tabla VI 1 muestra (en los E.U.A.) que el porcentaje de la fuerza de trabajo total involucrada en el proceso de ensamble varía desde un 20% para maquinaria agrícola hasta el 60% para equipo telefónico y de telégrafo. Debido a esto, los costos de ensamble frecuentemente representan más del 50% de los costos totales de manufactura.

Industria	Porcentaje de trabajadores involucrados en el ensamble
Motores de vehículos	45.6%
Aviones	25.6%
Teléfonos y telégrafos	58.9%
Maquinaria agrícola	20.1%
Refrigeradores y congeladores domésticos	32.0%
Maquinas de escribir	35.9%
Artículos de cocina	38.1%
Motocicletas, bicicletas y refacciones	26.3%

**Tabla VI.1. Porcentaje de trabajos de producción involucrados en el ensamble.**

En el pasado, la mayoría de las industrias de manufactura, que planeaban un nuevo producto, pensaban en como iba a funcionar el producto, en su apariencia y en su conveniencia, pero poco se pensaba en que tan fácil podría ser ensamblado y en como podrían ser fabricadas las piezas mas fácilmente. Esta filosofía es comúnmente llamada como "*sobre la pared*", o "*nosotros diseñamos, ustedes lo fabrican*". En otras palabras, existe una pared imaginaria entre el departamento de diseño y el de manufactura, es decir, los diseños son arrojados "*sobre la pared*" hacia el departamento de manufactura (fig. VI.1); esta actitud particularmente afecta al ensamble. Dicha actitud se reafirma debido a que la mayoría de las piezas se fabrican en máquinas que realizan tareas imposibles de ejecutar por medios manuales. Por ahora son pocas las máquinas que pueden realizar acciones de selección, inspección, y manipulación que hace un trabajador en el proceso de ensamble

manual, por esto aún se tiene mucha confianza en la versatilidad de los trabajadores de ensamble.



Fig. VI.1. Filosofía "sobre la pared".

Por ejemplo, un trabajador de ensamble puede hacer rápidamente una inspección visual de la pieza que va a ensamblar, y puede desechar las piezas con defectos muy notorios; mientras que se tendrían que requerir complejos sistemas de inspección para detectar incluso a las piezas con defectos muy notorios. Si se hace el intento de ensamblar una pieza que aparentemente es aceptable pero que en realidad es defectuosa, el trabajador de ensamble, después de un intento fallido para completar el ensamble, puede desechar la pieza rápidamente sin una pérdida importante en la producción. Sin embargo, en el ensamble automático la pieza provocará un paro en el robot, resultando pérdidas de tiempo en el sistema, hasta que la falla sea localizada y corregida. Por otro lado, si la pieza tiene solo un defecto muy pequeño, el trabajador puede ser capaz de completar el ensamble, pero el producto no será satisfactorio.

Esto es tomado como una ventaja del ensamble automático, ya que asegura un producto de una alta calidad constante porque la maquina no puede manejar piezas que no cumplen con las especificaciones requeridas. Otra ventaja del ensamble automático es que obliga a tomar en cuenta, durante el diseño del producto, un ensamble sencillo.

## ***VI.2. DISEÑO PARA ENSAMBLE MANUAL.***

Aunque existen muchas formas para incrementar la productividad en la manufactura (utilizando mejores materiales, herramientas, procesos, planes de trabajo, etc.); las consideraciones que se hagan sobre la manufactura y el ensamble durante el diseño del producto tendrían mayor potencial para optimizar los costos de producción e incrementar la productividad.

En otras palabras, si el producto es pobremente diseñado para manufactura y ensamble, las técnicas que se apliquen sólo reducirán mínimamente el impacto del diseño pobre.

Mejorar el diseño del producto a estas alturas del proceso no es una idea muy buena, porque normalmente ya se han invertido mucho tiempo y dinero en justificar el diseño actual como para considerar cambios o incluso un diseño completamente nuevo. Solo cuando las técnicas de manufactura y ensamble son incorporadas desde las primeras etapas de diseño (diseño del producto para una manufactura y ensamble sencillos) la productividad se verá afectada en forma significativa.

Los ingenieros de diseño necesitan una herramienta de Diseño Para Ensamble (DFA, por sus siglas en inglés Design For Assembly) para analizar correctamente la sencillez de ensamble de los productos o los subensambles que ellos diseñan. La herramienta de diseño debe proporcionar resultados

rápidos y debe ser sencillo y fácil de usar. Debe asegurar una evaluación completa y consistente acerca de la ensamblabilidad del producto.

También debe eliminar juicios subjetivos de la valoración del diseño, permitir una libre asociación de ideas, permitir una comparación fácil de diseños alternativos, asegurar que las soluciones son evaluadas lógicamente, identificar áreas problemáticas de ensamble, y sugerir alternativas para mejorar la manufactura y el ensamble del producto. Al aplicar la herramienta de DFA, la comunicación entre el departamento de ingeniería de diseño y el departamento de manufactura se mejora, y las ideas, razonamientos y las decisiones hechas durante el proceso de diseño se documentan adecuadamente para una referencia en el futuro.

El manual de "Diseño para Ensamble del Producto"<sup>7</sup>, desarrollado como resultado de una extensa investigación, proporciona procedimientos sistemáticos para la evaluación y mejoras del diseño del producto para un ensamble y manufactura más económicos. Esta meta se logra proporcionando datos de manufactura en la etapa de conceptualización del proceso de diseño en una forma lógica y organizada.

Este método también proporciona un procedimiento bien definido para evaluar un diseño con respecto a su sencillez para ser fabricado y ensamblado; creando así una retroalimentación que ayuda a los diseñadores a medir sus mejoras resultantes de los cambios específicos en el diseño. Este procedimiento también funciona como una herramienta para diseñadores inquietos; a través de este método, ellos pueden evaluar sus propios diseños y, si es posible, mejorarlos. En ambos casos el diseño es estudiado y mejorado en la etapa conceptual y puede ser cambiado fácilmente, sin gasto adicional alguno, antes de involucrar a la manufactura y el ensamble.

---

<sup>7</sup> Boothroyd-Dewhurst, "Product Design for Manufacture and Assembly", USA 1994

El manual de "Diseño para Ensamble del Producto" intenta cumplir estos objetivos de la siguiente forma

- 1.- Minimizando la dependencia que tiene el ingeniero diseñador del ingeniero de manufactura del que obtiene mucha de la información de ensamble que necesita para diseñar nuevos productos para una "simplificación del ensamble".
- 2.- Guiando al diseñador para simplificar al producto para así poder ahorrar tanto en los costos de ensamble como en los costos de las piezas.
- 3.- Recolectando información normalmente en poder de ingenieros diseñadores experimentados y modificarla, en forma conveniente, para el uso de diseñadores con menos experiencia
- 4.- Estableciendo una base de datos que consista en tiempos de ensamble y factores de costo para distintas situaciones de diseño y condiciones de producción.

El análisis del diseño de un producto para facilitar su ensamble depende en gran medida de si el producto va a ser ensamblado manualmente, con automatización de propósito especial, con automatización de propósito general (robots), o con una combinación de éstas.

Por ejemplo, el criterio para una alimentación y una orientación automática es más estricto que para un manejo manual de las piezas, inclusive cuando la automatización es seriamente considerada, algunas operaciones pueden ser hechas manualmente, y es necesario incluir el costo de estas operaciones en el análisis.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

### **VI.2.1. REGLAS GENERALES DE DISEÑO PARA ENSAMBLE MANUAL.**

Como resultado de la experiencia en la aplicación del DFA, ha sido posible desarrollar reglas o lineamientos generales de diseño que intentan consolidar el conocimiento de manufactura y presentárselo al diseñador en forma de reglas simples que seguirá cuando esté creando un diseño. El proceso del ensamble manual puede dividirse en dos áreas separadas: manejo o manipulación (tomar, orientar y mover las piezas), e inserción y sujeción (unir una pieza con otra u otras). Las siguientes reglas de diseño para ensamble manual se refieren específicamente a estas áreas

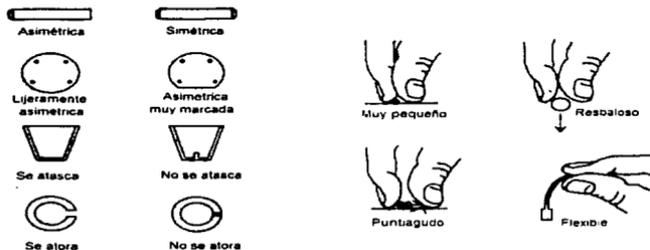
#### **A) Reglas de diseño para el manejo de piezas.<sup>6</sup>**

En general, para un manejo más sencillo de las piezas, un diseñador debe intentar:

- 1.-** Diseñar piezas que sean simétricas extremo con extremo y con simetría rotacional con respecto al eje de inserción. Si esto no se puede lograr, intentar diseñar piezas con la mayor simetría posible.
- 2.-** Diseñar piezas que, para aquellos casos en los que la pieza no puede hacerse simétrica, sea marcadamente asimétrica.
- 3.-** Evitar diseñar formas y geometrías que provocaban el amontonamiento y atascos de las piezas cuando son almacenadas a granel
- 4.-** Evitar las formas que permitan que las piezas se enreden cuando se almacenan a granel
- 5.-** Evitar piezas que se adhieran entre ellas o que sean resbalosas, delicadas, flexibles, muy pequeñas o muy grandes, o que sean peligrosas para el trabajador (ej. piezas que son punzocortantes, que se astillan fácilmente, etc.).

---

<sup>6</sup> Boothroyd-Dewhurst, "Product Design for manufacture and Assembly"; USA 1994.

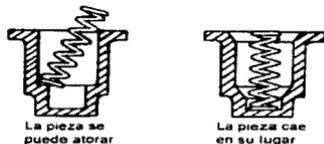


**Fig. VI.2. Formas geométricas que afectan la manipulación.**

**B) Reglas de diseño para inserción y sujeción.**<sup>9</sup>

Para facilitar la inserción, un diseñador debe:

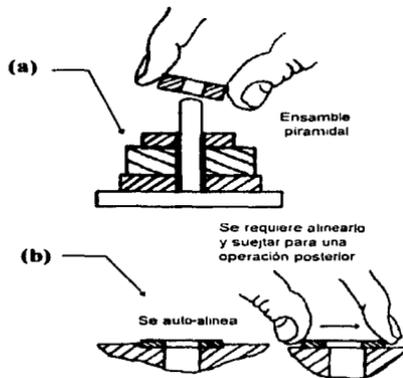
1.- Diseñar como si se tratara de algo pequeño o que no es resistente a la inserción y hacer chaflanes para guiar la inserción de las piezas a unir. Se debe dejar una tolerancia lo suficientemente holgada, pero hay que prevenir que con éstas tolerancias las piezas se atoren durante la inserción



**Fig. VI.3. Hacer chaflanes para facilitar la inserción.**

<sup>9</sup> Boothroyd-Dewhurst, "Product Design for Manufacture and Assembly": USA 1994.

- 2.- Estandarizar usando piezas, procesos, herramientas y métodos comunes en todos los modelos e incluso a través de las líneas de producción para permitir el uso de procesos de mayor capacidad, que normalmente brindan costos más bajos de producción
- 3.- Usar un ensamble piramidal (ensamble progresivo con respecto a un eje de referencia) Generalmente, es mejor ensamblar desde arriba (Fig VI.4 (a))
- 4.- Evitar, donde sea posible, la necesidad de sostener a las piezas para mantener su orientación durante la manipulación del subensamble o durante la colocación de otra pieza. Si se requiere sostener a la pieza, entonces hay que diseñarla de manera que se asegure lo más rápido posible después de haberse insertado. (Fig. VI.4 (b))



**Fig. VI.4. (a) Ensamble piramidal; (b) Auto-alinamiento.**

5.- Diseñar de forma que la pieza se posicione antes de soltarla. Una gran fuente de problemas en la colocación de una pieza ocurre cuando, debido a las restricciones del diseño, una pieza tiene que soltarse antes de que sea posicionada en el ensamble. Bajo estas circunstancias, se confía en que la trayectoria que seguirá la pieza para ser colocada correctamente será suficientemente repetitiva.

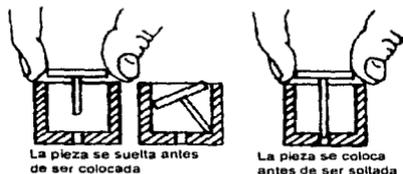
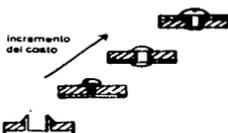


Fig. VI.5. Diseño para facilitar la inserción.

6.- Cuando se usan sujetadores mecánicos comunes, considerar la siguiente secuencia, la cual indica el costo relativo de diferentes procesos de sujeción, listados en orden ascendente del costo de ensamble manual:

- Cierre con broches de presión.
- Deformación plástica.
- Remachado.
- Atornillado.





**Fig. VI.6. Métodos comunes de sujeción.**

7.- Evitar la necesidad de cambiar de posición un ensamble parcialmente completado en la instalación (fig VI 7)



**Fig. VI.7. La inserción en direcciones opuestas requiere repositionar el ensamble.**

Si bien los lineamientos anteriores pueden funcionar como reglas generales a seguir cuando se realiza un diseño para ensamble, dichos lineamientos son insuficientes por si mismos por las siguientes razones. Primero, estas reglas no proveen medios con los cuales se pueda evaluar cuantitativamente un diseño con respecto a su sencillez de ensamble. Segundo, no hay un rango relativo de los lineamientos que pueda ser usado por el diseñador para indicarle cual regla tiene las mejoras más importantes en el manejo y en el ensamble; no hay forma de estimar la mejoría resultante de la eliminación de una pieza o del rediseño de la misma, etc.

Es, entonces, imposible para el diseñador saber en que reglas hacer énfasis durante el diseño de un producto. Finalmente, estos lineamientos sólo son una serie de reglas, pero cuando son vistas como un total, proporcionan al diseñador una información apropiada para desarrollar un diseño que será más fácilmente ensamblado que un diseño desarrollado sin esta información.

**VI.3. DISEÑO PARA MANUFACTURA.  
ANTECEDENTES Y PRINCIPIOS DE DISEÑO PARA  
MANUFACTURA.**

Los autores de diferentes libros insisten en que una de las necesidades actuales es formar equipos de diseño multidisciplinario, para iniciar el proceso de diseño de un producto; esto contrasta con el método tradicional "paso a paso" que realizaban la mayoría de las compañías en el cual el diseño pasaba del diseño del proceso, a la manufactura y finalmente a las ventas, de manera secuencial.

La formación de equipos de diseño multidisciplinario es un factor importante, ya que mejora la comunicación y considera varios conceptos simultáneamente. Se requieren equipos de diseño bien integrados y balanceados y dirigir sus esfuerzos para:

- 1.- El producto tiene que funcionar.
- 2.- Tiene que ser fabricado.
- 3.- Tiene que ser vendido.
- 4.- Debe ser provechoso.

En el pasado, el diseño de productos era completado antes de que la manufactura estuviera considerada. En contraste, los autores subrayan la necesidad de alcanzar costos efectivos durante la etapa conceptual, y posteriormente continuar con el diseño, su desarrollo, producción y completar el ciclo de vida del producto.

La ingeniería del valor tendía a ser colocada fuera de la corriente principal de las actividades de la compañía (fig VI.8) y los productos pasaban directamente desde el diseño hacia la manufactura, saltándose la sección de la ingeniería del valor.



**Fig. VI.8. Ingeniería del valor en los 60's.**

Las recomendaciones ingenieriles deben ser incorporadas en el producto antes de ir a producción, porque las modificaciones son más caras en estas etapas finales y no son bienvenidas en productos que tienen una gran demanda. Las modificaciones retrasan el lanzamiento de un nuevo producto, además se corre el riesgo de que el producto llegue tarde al mercado y los costos de ingeniería se incrementen por la duplicación de esfuerzos.

Con la tendencia de las compañías manufactureras para reducir los costos de inventario mediante la producción de pequeños lotes, ha surgido como necesidad del uso mínimo de herramientas y tiempos de paro. Estas técnicas permitirán que las compañías puedan responder a cambios dinámicos en los mercados, los cuales requieren pequeños lotes y tiempos de entrega cortos, sin acarrear existencias demasiado caras.

Cuando se tienen comunicaciones efectivas entre los ingenieros de diseño y de producción, significa que la manufactura del producto se consideró casi desde el comienzo del diseño. Pero muchas empresas no previenen los problemas durante las etapas del diseño, ya que encuentran que este concepto es difícil de adoptar y ellas continúan con los mismos métodos de producción. Esto se entiende pero no es una excusa, cuando se consideran los problemas que se pudieron haber prevenido. El resultado inevitable es que el diseño, que se supone terminado cuando deja el departamento de diseño, requiere cambios, los cuales consumen recursos muy valiosos.

El conflicto tradicional de objetivos en los departamentos requiere mejorar las comunicaciones entre los departamentos y sus miembros, usando sistemas de comunicación menos formales para que no se sientan amenazados de compartir sus conocimientos.

Si el tener especificaciones de diseño claramente definidas no garantizan productos competitivos de alta calidad, si aumentan las posibilidades de tener éxito considerablemente, y aunque las especificaciones no dictan el diseño, son lineamientos que el diseñador deberá tener presentes.

Las características importantes de las especificaciones de diseño, son:

- 1.- Mostrar razonable y previsiblemente las necesidades del mercado.
- 2.- Contener información sobre costos y lotes de producción.

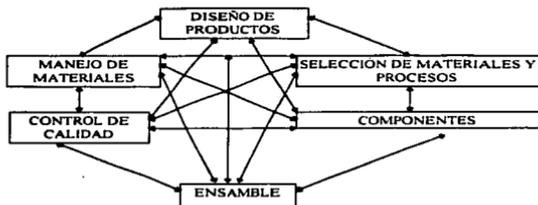
Los lotes de producción son importantes e influyen sobre los procesos de manufactura a ser utilizados, los cuales además afectan el diseño del producto. Por ejemplo: grandes lotes pueden ser requeridos para justificar la inversión especialmente de herramientas o equipo automático.

La necesidad de realizar revisiones formales al diseño, es importante para mantener al equipo dentro del concepto de la etapa y hacer de estas revisiones un trabajo de todos los días. Es verdad que la revisión del diseño puede consumir mucho tiempo, que pueden ser algunos días o incluso semanas. Sin embargo, una revisión bien encausada puede proporcionar información invaluable acerca del estado del proyecto, comunmente las revisiones proporcionan.

- 1.- Revisar nuevamente las especificaciones del diseño del producto.
- 2.- Indica el costo y el potencial del producto
- 3.- La oportunidad para los miembros del equipo para optimizar funciones como: costo, fabricación, funcionalidad y apariencia.

La comprensión de estos puntos o conceptos disminuye al mínimo el riesgo de improvisar durante el diseño del producto.

El sistema de manufactura comprende un gran número de procesos o etapas diferentes las cuales, individual y colectivamente, afectan el costo, la calidad del producto y la productividad de los sistemas en conjunto. Las interacciones entre las facetas del sistema de manufactura son complejas, y las decisiones que se tomen en una etapa se extienden a las otras. (Fig. VI.9).



**Fig. VI.9. Interacciones de la Manufactura.**

La interrelación mostrada en la figura VI.9 debe de ser comprendida para usarla en la optimización del sistema de manufactura con respecto a los costos, a la calidad y a la productividad.

Las mejoras en los productos diseñados y desarrollados usando conceptos de DFM tienden a reflejarse en el área de ensamble, por ello es mejor conocida como DFA, e involucra la minimización de piezas a ser ensambladas así como la facilidad con que se realizará dicho ensamble. Otra de las áreas del DFM son las consideraciones del diseño del producto, las cuales tienen impacto en el manejo del material, inspección dentro del proceso, calidad, etc. También es importante hacer notar que la filosofía del DFM está fuertemente unida al proceso por el cual el producto es concebido, diseñado, producido, y eventualmente llevado al mercado para ser vendido.

La importancia de la manufactura en el diseño del producto se ha reconocido por años, tal es el caso que más del 80% de las decisiones tomadas en la producción, son directamente determinadas por el diseño del producto, lo que deja muy poca libertad para escoger la planeación del proceso.

Esto se puede modificar, basándose en mejorar los siguientes tres factores:

- 1.- Función del producto
- 2 - La vida del producto
- 3.- Costo de los componente.

Este último es la primera consideración en el diseño del producto, que involucra a la manufactura, auxiliándose de algunos métodos para estimar los costos de los componentes como son la ingeniería del valor y la ingeniería de productividad. Normalmente la ingeniería del valor trabaja con el departamento de diseño, mientras que la ingeniería de productividad se asocia con el departamento de manufactura, comúnmente, pero no siempre las evaluaciones y los análisis del valor y/o productividad son realizados después de que las decisiones del concepto del producto han sido tomadas

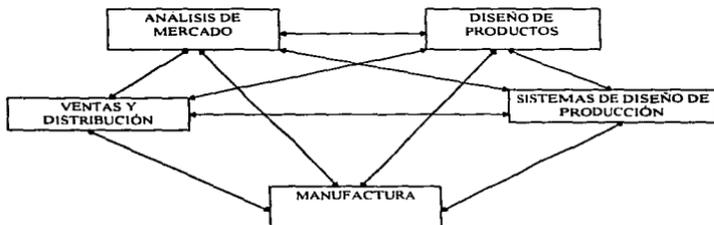
Los problemas que causan la necesidad de hacer cambios pueden ser rápidamente apreciados en el modelo clásico de manufactura de la figura VI.10 En este modelo, las decisiones del concepto, el diseño del producto y las pruebas son realizadas antes del diseño del sistema de manufactura, la planeación del proceso y la producción. La manufactura involucra hoy en día la utilización de avances tecnológicos en procesos de fabricación y producción, por lo tanto, para el correcto diseño de productos que van a ser fabricados usando estas tecnologías, es esencial que las interacciones entre el producto y el proceso de fabricación sean consideradas desde las primeras etapas del proceso de diseño



Fig. VI.10. Modelo clásico de la manufactura.

Las decisiones del concepto del producto y la manufactura, tienen que hacerse paralelamente para obtener una configuración óptima del sistema de manufactura y así poder satisfacer las necesidades de los productos y de los procesos.

Para maximizar la calidad en las primeras decisiones del diseño y minimizar la cantidad de cambios ingenieriles, el método de DFM busca obtener información de las actividades del sistema de manufactura desde los primeros momentos del proceso de diseño. Este método requiere del modelo de ingeniería simultánea que se muestra en la figura VI.11



**Fig. VI.11. Modelo de ingeniería simultánea.**

Muchos de los principios del DFM tienen una raíz muy profunda a lo largo de la historia del diseño y manufactura. La mayoría tuvo que aprenderse empíricamente. El conocimiento de estos principios y la habilidad para aplicarlos correctamente siempre ha caracterizado al ingeniero experto en diseño y manufactura.

#### **VI.4. PRINCIPIOS DE DISEÑO DEL PRODUCTO PARA UNA MANUFACTURA EFICIENTE.**

Los principios de DFM son analizados mediante una guía para el auxilio en el desarrollo de un producto, y se constituye de los siguientes puntos.

##### **VI.4.1. MINIMIZACIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE PIEZAS.**

Menor cantidad de piezas significa menos de todo lo que se necesita para fabricar un producto. Esto incluye tiempo de ingeniería, dibujos, número de piezas, una relación del control de la producción, inventarios, número de ordenes de compra, vendedores, contenedores, número de movimientos, tipo de inspección requeridas y complejidad en los ensambles, etc.; dicho de otra forma, una pieza que es eliminada no cuesta nada fabricarla, ensamblarla, moverla, manipularla, orientarla, almacenarla, adquirirla, limpiarla, inspeccionarla y nunca obstruirá o interferirá con la automatización ni fallará por mal funcionamiento.

Las piezas que es posible eliminar son las que no necesitan:

- 1.- Movimiento relativo.
- 2.- Ajustes posteriores entre piezas.
- 3.- Reparación o servicios.
- 4.- Ser de materiales diferentes

Sin embargo la reducción de piezas no deberá ser excesiva porque aumentaría el costo y la complejidad de fabricación del producto, debido a que las piezas no eliminadas serán muy pesadas o muy complicadas de producir o ensamblar; quizás el mejor camino para eliminarlas es identificar un concepto de diseño que requiera pocas piezas, o mediante la combinación de dos piezas o más dentro de una (diseño integral). Aunado a estas ventajas, el diseño integral reduce la cantidad de información, así como el peso y la complejidad del producto.

El plástico es muy importante en el diseño integral. Con él se pueden fabricar resortes, cojinetes, levas, engranes, bisagras y elementos ópticos. La Metalurgia de Polvos es una buena alternativa si las piezas de plástico no tienen las propiedades mecánicas adecuadas o no resisten el calor excesivo. La extrusión y la fundición de precisión son buenos métodos para eliminar subensambles, aunque el cambiar el tipo de proceso de manufactura puede llevarnos a obtener una pieza más costosa. La experiencia indica que una pieza costosa a menudo se vuelve económica cuando se consideran los costos de ensamble.

#### ***VI.4.2. DESARROLLO DE UN DISEÑO MODULAR.***

Un módulo es un componente auto-contenedor con una interface estándar con otros componentes del sistema. El diseño modular ofrece la habilidad para estandarizar la diversidad, porque permite que un producto pueda ser usado en diferentes combinaciones de componentes estándar.

El diseño modular resiste la obsolescencia y el rediseño. Los cambios proporcionan una guía para nuevos o mejores módulos. El costo y la facilidad de servicio y reparación van unidos porque un módulo defectuoso puede ser rápidamente reemplazado por uno en buen estado. Lo más importante del diseño modular es que simplifica el ensamble final, porque son menos piezas las que se ensamblan y cada módulo se puede revisar completamente antes de ser instalado. Pero por otro lado, el diseño modular puede aumentar los costos y la complejidad porque en algunas ocasiones se requieren ajustes e interconexiones extras, por esto el diseño modular no debe ser usado a menos que realmente se necesiten sus ventajas.

#### **VI.4.3. USO DE COMPONENTES ESTÁNDAR.**

Los componentes estándar o estandarizados consumen poco tiempo de manufactura y entrega, además son más confiables porque se conocen bien sus características y pueden adquirirse las cantidades deseadas en menor tiempo, consecuentemente las reparaciones o reemplazos son más rápidos, económicos y seguros; adicionalmente si presentan fallas la responsabilidad recae en el proveedor.

#### **VI.4.4. DISEÑO DE PIEZAS PARA MULTI-USOS.**

Muchas piezas pueden ser diseñadas para multi-usos, por ejemplo, la misma base puede ser diseñada para montar una gran variedad de componentes. La clave para el diseño de las piezas multi-usos, es identificar las piezas candidatas, para realizar una clasificación de todas las piezas fabricadas o compradas dentro de dos grupos:

- 1.- Piezas únicas para un producto o modelo en particular (cigüeñales, alojamientos, etc.).
- 2.- Piezas que generalmente se necesitan en todos los productos y/o modelos ( ejes, palancas, engranes, etc.).

Posteriormente cada grupo se divide en categorías según la similitud de piezas o familias de piezas. Las piezas multi-usos son creadas estandarizando piezas similares, para ello el diseñador deberá minimizar secuencialmente:

- 1.- Número de las categorías de piezas.
- 2.- Número de variaciones dentro de cada categoría.
- 3.- Número de geometrías de diseño dentro de cada variación.

Una vez desarrolladas las familias de piezas estándar, se deberán usar en productos existentes, exclusivos y nuevos diseños.

#### **VI.4.5. MINIMIZAR LAS DIRECCIONES DE ENSAMBLE.**

Se recomienda que todas las piezas se ensamblen desde una sola dirección ya que las direcciones extra significan derroche de tiempo y movimiento en estaciones de transferencia, en estaciones de inspección e instalaciones centrales; consecuentemente se incrementa el costo, se acrecenta el uso del equipo al agregar peso, inercia, y aumenta el riesgo de disminuir la calidad. El mejor ensamble posible se logra<sup>10</sup> cuando todas las piezas son agregadas en forma piramidal (desde arriba) creando un eje de inserción "z" formando un "sandwich" con todas las piezas colocadas secuencialmente.

---

<sup>10</sup> Corbett-Dooner. "Design for Manufacture. Strategies, principles and techniques"; USA 1991.

### **VI.5. MÉTODO BOOTHROY-DEWHURST DE DISEÑO PARA ENSAMBLE MANUAL.**

El Diseño para Ensamble se basa principalmente en los dos aspectos siguientes:

- 1.- En el número total de piezas del producto.
- 2.- En la sencillez para manipular, insertar y sujetar las piezas.

Mediante estos preceptos es posible cuantificar la eficiencia del ensamble de un producto.

Dentro del Diseño para Ensamble se pueden encontrar dos formas principales para lograr el ensamble de un producto; una de ellas es mediante Ensamble Manual y la otra a través de Ensamble Automático.

Aunque existen diversos autores que han propuesto métodos de Diseño para Ensamble, aquí se evalúa el diseño del ensamble del prototipo de la Máquina Desespinaladora de Nopales mediante el método desarrollado por Boothroyd y Dewhurst para Ensamble Manual. En dicho método se divide al ensamble manual en dos grupos de actividades: (1) Manipulación y (2) Inserción y sujeción. La razón por la que se decidió utilizar el método de Boothroyd y Dewhurst es debido a que una de sus principales características es su fácil y rápida aplicación, por lo que puede ser usado con fines industriales y didácticos.

#### **VI.5.1. EFICIENCIA DE ENSAMBLE.**

Los costos de subensamble y ensamble de un producto hacen indispensable la determinación de la eficiencia del ensamble de un diseño propuesto. El término *eficiencia de ensamble* se usa para denotar un dato obtenido de dividir el tiempo mínimo teórico de ensamble entre el tiempo real de ensamble. La fórmula para calcular la eficiencia del ensamble manual es:

$$E_{ms} = (N_{m118} \times t_{118}) / t_{ms}$$

donde  $N_{min}$  es el número mínimo de piezas,  $t_b$  es el tiempo básico de ensamble para una pieza, y  $t_{mi}$  es el tiempo estimado para completar el ensamble del producto. El tiempo básico de ensamble es el tiempo promedio para una pieza que no tiene dificultades de manejo, inserción y sujeción, ese tiempo se considera de 3 segundos.

El número teórico de piezas representa una situación ideal en la cual piezas separadas son combinadas dentro de una sola pieza, es decir cada pieza es añadida al ensamble, y durante este proceso se deben plantear las siguientes preguntas; ya que alguna de ellas se puede cumplir.

1. Durante la operación del producto, ¿esta pieza se mueve relativamente con respecto a otras partes ensambladas? Solamente se deben considerar los movimientos grandes, ya que los pequeños que se pueden lograr con articulaciones elásticas no representarían una respuesta positiva.

2. ¿La pieza debe ser de un material distinto o permanecer aislada de las otras piezas del ensamble? Solamente se aceptan razones concernientes con las propiedades de los materiales.

3. ¿La pieza debe estar separada de las otras porque de otra manera el ensamble o desensamble sería imposible?

Cabe señalar que estas preguntas deben ser aplicadas sin tomar en cuenta los requerimientos generales de diseño, por ejemplo, generalmente los pasadores separados no cumplirán ninguna de las preguntas y siempre serán considerados para eliminación. Un ejemplo más específico se presenta cuando en el diseño de un nuevo motor de automóvil se piensa que los pernos que sostienen la cabeza del cilindro en el monoblock son necesariamente piezas separadas. Sin embargo, éstos pueden ser eliminados combinando la cabeza del cilindro con el monoblock, cuestión que se está investigando por muchos fabricantes de automóviles.

Estas preguntas aplicadas apropiadamente, hacen que el diseñador considere algunos medios para simplificar el producto; a través de éste proceso se han logrado avances significativos en la manufactura.

Sin embargo, también es necesario que se puedan cuantificar los efectos de los cambios en el plan de diseño, en términos de tiempo y costo de ensamble. Para este propósito, el método de DFA incorpora un sistema para estimar el costo de ensamble y el de las piezas; además proporciona al diseñador la información necesaria para tomar decisiones apropiadas

### ***VI.5.2. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN PARA MANEJO MANUAL.***

El sistema de clasificación para manejo manual se basa en la geometría de las piezas y se ordenan según la dificultad para manejarlas o manipularlas; las formas de las piezas que afectan significativamente el tiempo del manejo manual son:

- Tamaño.
- Espesor.
- Peso.
- Formas que tienden a atascarse
- Formas que tienden a enredarse
- Piezas frágiles, flexibles, resbalosas, pegajosas.
- Necesidad de usar dos manos.
- Necesidad de usar herramientas para sujetar (pinzas)
- Necesidad de usar medios ópticos de magnificación.
- Necesidad de asistencia mecánica

La definición de los sistemas de clasificación y su tiempo estándar correspondiente, se muestran en el Apéndice 2, en él se puede ver que los números de clasificación consisten de dos dígitos; cada dígito es asignado de uno a diez símbolos numéricos (0 a 9) El primer dígito del sistema se divide en cuatro grupos principales.

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| <b>I. Primer dígito de 0-3</b>  | Piezas de tamaño y peso nominal que son fáciles de sujetar y manipular con una mano (sin ayuda de herramientas) |
| <b>II. Primer dígito de 4-7</b> | Piezas que requieren herramientas para manejarlas, debido a que son de tamaño pequeño.                          |
| <b>III. Primer dígito de 8</b>  | Piezas que se anidan o enredan seriamente cuando están a granel.  |
| <b>IV. Primer dígito de 9</b>   | Piezas que requieren dos manos, dos personas, o asistencia mecánica para su manipulación                        |

Los grupos **I** y **II** además se subdividen en categorías que representan el grado de orientación requerido, basado en la simetría de la pieza.

El segundo dígito del código de manipulación se basa en las características de flexibilidad, adhesión, fragilidad, y que tan resbalosa y cuanto se puede anidar la pieza. El segundo dígito también depende de los grupos del primer dígito de la siguiente manera

- |   |   |
|---|---|
| <b>I. Para el primer dígito de 0-3</b>  | El segundo dígito clasifica el tamaño y el espesor de la pieza  |
| <b>II. Para el primer dígito de 4-7</b> | El segundo dígito clasifica el espesor de la pieza, el tipo de herramienta requerida para la manipulación de ésta, y la necesidad de usar medios ópticos durante el proceso |
| <b>III. Para el primer dígito de 8</b>  | El segundo dígito clasifica el tamaño y la simetría de la pieza   |

**IV.** Para el primer dígito de 9

El segundo dígito clasifica la simetría, el peso y que tanto se traban las piezas cuando están a granel.

### ***VI.5.3. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN PARA INSERCIÓN Y SUJECCIÓN MANUAL.***

El sistema de clasificación para inserción y sujeción manual se refiere a la forma en que entran en contacto las piezas que se van a unir y consiste en una variedad finita de tareas básicas de ensamble (clavado, atornillado, soldadura, remachado, ajuste forzado, etc.) que son comunes en la mayoría de los productos fabricados.

Las geometrías que más afectan los tiempos de inserción y sujeción manual son:

- Que tan accesible es la ubicación del ensamble.
- Facilidad de operación de la herramienta de ensamble.
- Visibilidad en el ensamble
- Sencillez de alineamiento y posicionamiento durante el ensamble.
- Profundidad de la inserción.

La definición del sistema de clasificación correspondiente y sus tiempos estándar asociados se presentan en el Apéndice 3.

Hay 100 números codificados en el sistema original de inserción y sujeción manual, igual que en el sistema de manejo manual. Sin embargo, algunas categorías no son necesarias en la práctica y se omiten en la versión más reciente del método. Los números del código de dos dígitos están dentro del rango de 00 a 99. El primer dígito se divide en tres grupos:

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>I. Primer dígito de 0-2</b>  | La pieza no se asegura inmediatamente después de la inserción.                             |
| <b>II. Primer dígito de 3-5</b> | La pieza se asegura por sí misma o por otra pieza inmediatamente después de ser insertada. |
| <b>III. Primer dígito de 9</b>  | El proceso involucra piezas que ya están en su lugar.                                      |

Los grupos I y II además se subdividen en clases que consideran el efecto de una obstrucción en el acceso y/o una visión restringida, en el tiempo de ensamble. El segundo dígito del código de ensamble se basa en la siguiente división del primer dígito

- |   |   |
|---|---|
| <b>I. Para el primer dígito de 0-2</b>  | El segundo dígito clasifica la facilidad para ajustar piezas y si es necesario sostenerla para mantener su orientación o posición.  |
| <b>II. Para el primer dígito de 3-5</b> | El segundo dígito clasifica la facilidad para ajustar piezas y si la operación de sujeción involucra un simple cierre a presión, una operación de atornillado, o un proceso de deformación plástica |
| <b>III. Para el primer dígito de 9</b>  | El segundo dígito clasifica procesos mecánicos, metalúrgicos y químicos.  |

Se puede ver en los Apéndice 2 y 3 que para cada código de dos dígitos, se da un tiempo promedio de manipulación o de inserción y sujeción. Así, se puede tener un grupo de tiempos estándares que pueden ser usados para calcular los tiempos del ensamble manual.

En el método de análisis se asume que las piezas se añaden al ensamble una por una, esto se hace para separar el análisis de cada pieza y su operación de ensamble, sin embargo, en muchos casos los obreros sujetan piezas con las dos manos, las subensamblan y posteriormente las unen al ensamble total, en estas circunstancias se puede reducir en un tercio el tiempo de ensamble. En este caso, el tiempo obtenido para la operación se debe dividir entre 1.5

Se asume que las piezas se presentan a granel y orientadas aleatoriamente y también se pueden tener en contenedores especiales, por lo que el diseñador debe tomar esto en cuenta para obtener tiempos más precisos.

#### ***V.1.5.4. APLICACIÓN DEL MÉTODO BOOTHROYD-DEWHURST.***

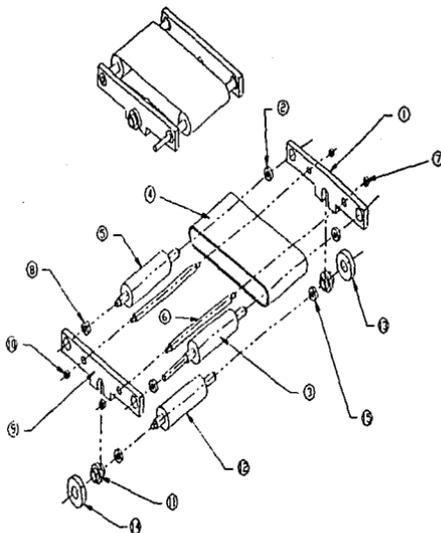
Para aplicar el método de Diseño para Ensamble (DFA), desarrollado por Boothroyd y Dewhurst, se seleccionaron dos módulos del prototipo de la Máquina Desespinaadora de Nopales, siendo estos el Módulo de Desespinado y el Módulo de Transporte. Dichos módulos fueron seleccionados cualitativamente tomando como referencia el tiempo de ensamble durante el proceso de producción (desespinado de nopales).

El diseño de éstos módulos debe ser fácil de fabricar, ensamblar y desensamblar, ya que en caso de que alguna de las piezas falle el mantenimiento y reemplazo de dicho elemento o módulo deberá realizarse en el menor tiempo posible.

Además, como se dijo en la explicación, éste método también cuantifica el costo de ensamble manual del sistema que se está analizando. En este caso se va a tomar como base el salario promedio que se le paga actualmente a un obrero (México, 1997), el cual equivale aproximadamente \$50.00 al día. Para poder aplicar este dato dentro del método de Boothroyd-Dewhurst es necesario convertir las unidades del salario por día a centavos por segundo, lo que para este caso equivale a 0.174 cent./seg.

Es importante mencionar que el uso del método Boothroyd-Dewhurst presentado en ésta tesis, sólo se hace con el fin de evaluar el diseño para ensamble de los módulos en cuestión, ya que no se puede considerar al prototipo como un producto fabricado a gran escala, en donde los resultados de la evaluación tendrían una aplicación más real y objetiva.

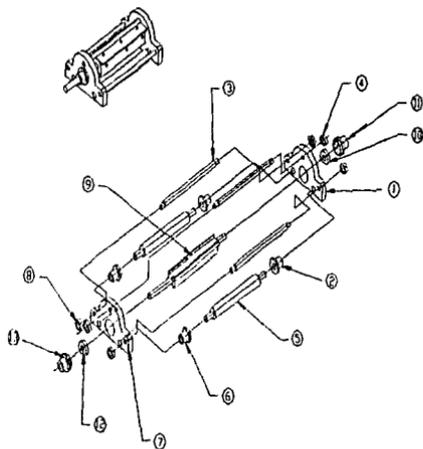
Lo que realmente interesa de esta evaluación es la obtención del tiempo de desensamble y ensamble de los módulos para que cuando se presente un mal funcionamiento de éstos se pueda realizar la reparación lo más rápido posible sin interrumpir demasiado el proceso de producción (desespinao de nopales).



- 1- PLACA DERECHA
- 2- RODAMIENTOS DERECHOS
- 3- RODILLO MOTRIZ
- 4- BANEA
- 5- RODILLO IMPULSADO
- 6- SEPARADORES
- 7- TUERCAS DE PLACA DERECHA
- 8- RODAMIENTOS IZQUIERDOS
- 9- PLACA IZQUIERDA
- 10- TUERCAS DE PLACA IZQUIERDA
- 11- BULOS AJUSTADORES
- 12- RODILLO TENSOR
- 13- TUERCA DERECHA DEL BULO AJUSTADOR
- 14- TUERCA IZQUIERDA DEL BULO AJUSTADOR
- 15- RODAMIENTOS DE LOS BULOS AJUSTADORES

<b>FI</b> <b>UNAM</b>	<b>ENSAMBLE DEL MÓDULO          DE TRANSPORTE</b>	ESCALA 3:1 ACOTACIONES MM
	DIBUJO CORTES PERSPECTIVA ALTERNATIVA NORMAL SÓLO CALZAR ARREGLANDO MIZ	FECHA 8/SEP/87

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Nombre del ensamble
Secuencia de ensamble.	No. de veces que se realiza la operación.	Código de dos dígitos del manejo de la pieza.	Tiempo de manejo de la pieza.	Código de dos dígitos de inserción manual.	Tiempo de inserción de la pieza.	Tiempo total, en segundos 2 x (4+6)	Costo total de la operación, en centavos 0.174 x (7)	No. mínimo teórico de piezas.	<b>MÓDULO DE TRANSPORTE</b>
20	1	2,0	1.8	3,8	6.0	7.8	1.36	1	Tuerca izquierda del buje ajustador.
19	1	2,0	1.8	3,8	6.0	7.8	1.36	1	Tuerca derecha del buje ajustador.
18	1	0,0	1.13	0,6	5.5	6.63	1.15	1	Rodillo tensor.
17	2	1,0	1.5	0,6	5.5	14.0	2.44	1	Bujes ajustadores.
16	2	---	---	9,3	3.5	7.0	1.22	---	Inserción a presión de los rodamientos de los bujes ajustadores.
15	2	0,0	1.13	0,7	6.5	15.26	2.66	0	Rodamientos de los bujes ajustadores.
14	1	---	---	9,8	9.0	9.0	1.57	---	Reorientación.
13	2	2,1	2.1	3,8	6.0	16.2	2.82	1	Tuercas de la placa izquierda.
12	1	3,0	1.95	2,3	7.5	9.45	1.65	1	Placa contenedora izquierda.
11	2	---	---	9,3	3.5	7.0	1.22	---	Inserción a presión de los rodamientos izquierdos.
10	2	0,0	1.13	0,7	6.5	15.26	2.66	0	Rodamientos del lado izquierdo.
9	2	2,1	2.1	3,8	6.0	16.2	2.82	1	Tuercas de la placa derecha.
8	2	0,0	1.13	0,6	5.5	13.26	2.31	0	Separadores.
7	1	---	---	9,8	9.0	9.0	1.57	---	Reorientación.
6	1	0,0	1.13	0,1	2.5	3.63	0.63	1	Rodillo impulsado.
5	1	0,0	1.13	0,6	5.5	6.63	1.15	1	Banda transportadora.
4	1	1,0	1.5	0,1	2.5	4.0	0.70	1	Rodillo impulsor.
3	2	---	---	9,3	3.5	7.0	1.22	---	Inserción a presión de los rodamientos derechos.
2	2	0,0	1.13	0,7	6.5	15.26	2.66	0	Rodamientos del lado derecho.
1	1	3,0	1.95	2,3	7.5	9.45	1.65	1	Placa contenedora derecha.
						199.83	34.82	14	
						TM	CM	NM	<i>Eficiencia del diseño: 21.02%</i>



- 1- PLACA DERECHA
- 2- BULES DERECHOS DE LOS RODILLOS
- 3- SEPARADORES
- 4- TUERCAS DE LA PLACA DERECHA
- 5- RODILLOS
- 6- BULES IZQUIERDOS DE LOS RODILLOS
- 7- PLACA IZQUIERDA
- 8- TUERCAS DE LA PLACA IZQUIERDA
- 9- CUCHILLA
- 10- RODAMIENTO DERECHO
- 11- BULE DERECHO DE CUCHILLA
- 12- RODAMIENTO IZQUIERDO
- 13- BULE IZQUIERDO DE CUCHILLA

<b>FI</b> <b>UNAM</b>	<b>ENSAMBLE DEL MODULO          DE DESESPINADO</b>	ESCALA 3:1
	DISEÑO	401-2043 MW
	DIB. O CORTES FERRER JARAS MARTINEZ MARIAL ROMAN SALGARR MATEOS ROMERO	FECHA 8/12/87

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Nombre del ensamble	
Secuencia de ensamble.	No. de veces que se realiza la operación.	Código de dos dígitos del manejo de la pieza.	Tiempo de manejo de la pieza.	Código de dos dígitos de inserción manual.	Tiempo de inserción de la pieza.	Tiempo total, en segundos 2 x (4+6)	Costo total de la operación, en centavos 0.174 x (7)	No. mínimo teórico de piezas.	<b>MÓDULO DE DESESPINADO</b>	
20	1	1,0	1,5	0,1	2,5	4,0	0,70	1	Buje izquierdo de la cuchilla.	
19	1	---	---	9,3	3,5	3,5	0,61	---	Inserción a presión del rodamiento izquierdo.	
18	1	0,0	1,13	0,1	2,5	3,63	0,63	0	Rodamiento del lado izquierdo.	
17	1	1,0	1,5	0,1	2,5	4,0	0,70	1	Buje derecho de la cuchilla.	
16	1	---	---	9,3	3,5	3,5	0,61	---	Inserción a presión del rodamiento derecho.	
15	1	0,0	1,13	0,1	2,5	3,63	0,63	0	Rodamiento del lado derecho.	
14	1	---	---	9,8	9,0	9,0	1,57	---	Reorientación.	
13	1	1,0	1,5	1,6	8,0	9,5	1,65	1	Cuchilla.	
12	1	---	---	9,8	9,0	9,0	1,57	---	Reorientación.	
11	3	2,1	2,1	3,8	6,0	24,3	4,23	1	Tuercas de la placa izquierda.	
10	1	3,0	1,95	2,3	7,5	9,45	1,64	1	Placa contenedora izquierda.	
9	2	---	---	9,3	3,5	7,0	1,22	---	Inserción a presión de los bujes izquierdos de los rodillos.	
8	2	1,0	1,5	0,1	2,5	8,0	1,39	1	Bujes del lado izquierdo de los rodillos.	
7	2	2,0	1,13	0,1	2,5	7,26	1,26	1	Rodillos "locos".	
6	1	---	---	9,8	9,0	9,0	1,57	---	Reorientación.	
5	3	2,1	2,1	3,8	6,0	24,3	4,23	1	Tuercas de la placa derecha.	
4	3	0,0	1,13	0,6	5,5	19,89	3,46	0	Separadores.	
3	2	---	---	9,3	3,5	7,0	1,22	---	Inserción a presión de los bujes derechos de los rodillos.	
2	2	1,0	1,5	0,1	2,5	8,0	1,39	1	Bujes del lado derecho de los rodillos.	
1	1	3,0	1,95	2,3	7,5	9,45	1,64	1	Placa contenedora derecha.	
							183,41	31,92	17	
							TM	CM	NM	<i>Eficiencia del diseño:</i> 27,8%

## **RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL DISEÑO DEL ENSAMBLE DEL PROTOTIPO.**

Los resultados nos muestran que los tiempos de ensamble de los módulos no son muy elevados, incluso se puede considerar, tomando en cuenta que son módulos críticos dentro del proceso de producción del prototipo, que con estos tiempos es posible realizar reparaciones rápidamente.

En cuanto a los valores de la eficiencia del diseño de los módulos, se puede concluir que casi todas las piezas que componen a los módulos son necesarias para el funcionamiento de éstos. En caso de que se realice un rediseño tomando en cuenta el número teórico de piezas que arroja el método, se podrá observar que en realidad no se eliminan piezas si no que sólo pasan a formar parte de algún otro elemento, por ejemplo, los separadores en uno de sus extremos pueden ir soldados o insertados a presión en las placas contenedoras, eliminándose así las tuercas de sujeción y el maquinado de cuerdas en un extremo de los separadores.

Cabe mencionar, nuevamente, que el prototipo descrito no se fabricó debido a las razones expuestas en la Introducción de éste trabajo de Tesis, pero si en un futuro se llega a construir el prototipo, se puede estimar, en base a los experimentos realizados con los modelos presentados en los capítulos III y IV, que este funcionará y cumplirá con las especificaciones que se determinaron anteriormente, además de que su rendimiento puede alcanzar el 80%.

## **COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.**

Cuando se presenta una tesis de Ingeniería se piensa que en las conclusiones se encontrarán frases acerca del éxito en los experimentos realizados, en el significado matemático que tienen los resultados, en la manera en que se podrá mejorar tal o cual dispositivo para ser utilizado en la industria, etc.; pero actualmente la Ingeniería es mucho más que eso.

Bien se sabe que una de las premisas del Proceso de Diseño en Ingeniería es diseñar sistemas para satisfacer necesidades en beneficio de la sociedad, lo que significa que el Ingeniero ya no sólo se limita a calcular, dibujar e investigar, si no que ahora además es necesario conocer aun más el entorno del problema que se está tratando de resolver. Esto obliga a trasladarse hasta el lugar mismo en donde se origina la necesidad y conocer las inquietudes de las personas que requieren de la solución para así reducir la posibilidad de tener errores de información entre lo que realmente se requiere y lo que se está diseñando. Tal es el caso del tema de esta tesis, el cual nos dió la oportunidad de conocer las necesidades de los nopaleros de Milpa Alta, la forma como trabajan el nopal haciendo de este su forma de vida. Todo esta información, que se presenta en el capítulo I, además de que abarca buena parte del trabajo de tesis, es esencial debido a que en base a ella se plantearon las especificaciones y restricciones del diseño del sistema para desespinar nopales.

Es obvio pensar que toda esta investigación, que incluyó encuestas con nopaleros, agricultores, y demas personas que trabajan el nopal, significó más tiempo y trabajo pero nos deja grán experiencia y un punto de vista diferente del nopal, ya que muchas veces sólo nos acordamos de este vegetal hasta que lo vemos servido en nuestras mesas y poco nos importan los problemas que tuvieron las personas para sembrar, cuidar, cosechar, empacar, transportar, limpiar y vender el nopal que estamos consumiendo

Por estas razones consideramos que en ésta tesis los cálculos pasan a segundo término, lo cual no ocurre cuando se trata de productos maduros y destinados a la producción en serie, donde al optimizar los costos de materiales se compensan y justifican los costos debidos a la Ingeniería, y en consecuencia el producto también es más barato.

Con estos comentarios pretendemos cambiar la imagen que tiene la sociedad en general del Ingeniero, ya no somos las mentes "cuadradas" de antes.

Gracias a la investigación antes mencionada, podemos concluir que en base al trabajo bien coordinado en equipo, se pudo llegar a diseñar un prototipo de una máquina desespinaadora de nopales capaz de alcanzar un rendimiento de un 80% en el desespinado de las caras del nopal, además de que acelera este proceso e incrementa la producción sin necesidad de contratar o despedir gente para operarlo debido a que su manejo es sencillo.

El funcionamiento del prototipo no altera el medio ambiente en el que trabaja, ya que los desechos que éste produce son utilizados como fertilizantes en los campos o como forrajes para el ganado.

En lo que se refiere a la etapa de evaluación del diseño del ensamble del prototipo cabe mencionar que, aunque este tipo de métodos se utilizan principalmente para productos que se fabrican en forma seriada, cuando lo aplicamos en el diseño del prototipo se pensó sólo en el hecho de evaluarlo para estimar tiempos de ensamble y desensamble en caso de reparación o mantenimiento.

Otra de las ventajas que nos ofrecen éste tipo de teorías del diseño es el llamado *diseño modular*, en el cual nos apoyamos para diseñar al prototipo a partir de módulos independientes, los cuales pueden ser sustituidos por otros módulos iguales en caso de descompostura, sin que esto altere el funcionamiento general del prototipo.

## APÉNDICES

<b>Parámetros de rendimiento para materiales con que se fabrican bujes en lubricación al límite a temperatura ambiente</b> .....	<b>A-1</b>
<b>Tabla de tiempos estándar para manejo manual</b> .....	<b>A-2</b>
<b>Tabla de tiempos estándar para inserción</b> .....	<b>A-3</b>
<b>Propiedades de los aceros al carbón y con aleaciones</b> .....	<b>A-4</b>
<b>Propiedades de los aceros inoxidable</b> .....	<b>A-5</b>
<b>Indicaciones para determinar el esfuerzo de diseño</b> .....	<b>A-6</b>
<b>Factores de conversión útiles</b> .....	<b>A-7</b>

**APÉNDICE A-1 Parámetros de rendimiento para materiales con que se fabrican  
bujes en lubricación al límite a temperatura ambiente.**

Material	pV		Factor de desgaste, K ( $10^{-10}$ pulg. <sup>3</sup> xmin/ piesxlbxh)	Coeficiente de fricción*
	psi-fpm	kW/m <sup>2</sup>		
Cobre-hierro	75 000	2 625	-----	-----
Plomo-bronce	60 000	2 100	-----	-----
Bronce	50 000	1 750	-----	-----
Aluminio	50 000	1 750	-----	-----
PPS relleno con PTFE y vidrio	30 000	1 050	110	0.17
Tela de PTFE	25 000	875	-----	-----
Bronce relleno con PTFE	21 000	735	5	0.13
PA relleno con PTFE y vidrio	20 000	700	16	0.26
PTFE relleno con vidrio	18 000	630	7	0.09
PTFE relleno con PPS	15 000	525	1	0.13
Carbono-grafito	15 000	525	-----	-----
Nylon relleno con vidrio y PTFE	3 000	105	16	-----

Fuente: *Machine Design Magazine Mechanical Drives Reference Issue*. Cleveland: Penton/IPC, 1987; M. P. Wolverton, et. al. "How Plastic Composite Wear in High Temperatures" *Machine Design Magazine*, 10 de febrero de 1983.

\* Dinámico; coeficiente estático por lo general más bajo.

PTFE: Politetrafluoroetileno.

PA: Poliamida.

PPS: Sulfuro de polifenileno.



## APÉNDICE A-3 Tabla de tiempos estándar para inserción.

### MANUAL INSERTION - ESTIMATED T.MES (seconds)

		after assembly no holding down required to maintain orientation and location (1)				holding down required during process to maintain orientation or location (2)							
		easy to align and position during assembly (3)	not easy to align or position during assembly (4)	no resistance to insertion (5)	resistance to insertion (6)	easy to align or position during assembly (3)	not easy to align or position during assembly (4)	no resistance to insertion (5)	resistance to insertion (6)				
<b>Key:</b>		[ ] PART ADDED		[ ] NOT SECURED		[ ] PART ADDED		[ ] NOT SECURED					
<p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p> <p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p> <p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p>		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
		1	4	5	5	6	8	9	9	9	10	10	
		2	5.5	6.5	6.5	7.5	9.5	10.5	10.5	11.5	11.5	11.5	11.5
<p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p> <p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p> <p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p>		[ ] PART SECURED IMMEDIATELY		[ ] PART SECURED IMMEDIATELY		[ ] PART SECURED IMMEDIATELY		[ ] PART SECURED IMMEDIATELY		[ ] PART SECURED IMMEDIATELY			
		0		1		2		3		4		5	
		3		4		5		6		7		8	
<p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p> <p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p> <p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p>		4		5		6		7		8			
		5		6		7		8		9		10	
		9		10		11		12		13		14	
<p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p> <p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p> <p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p>		[ ] SEPARATE OPERATION		[ ] SEPARATE OPERATION		[ ] SEPARATE OPERATION		[ ] SEPARATE OPERATION		[ ] SEPARATE OPERATION			
		0		1		2		3		4		5	
		4		7		5		3.5		7		8	
<p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p> <p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p> <p>due to assembly process handling can easily raise to the desired location</p>		5		6		7		8		9			
		6		7		8		9		10		11	
		7		8		9		10		11		12	

**APÉNDICE A-4 Propiedades de los aceros al carbón y con aleaciones.**

Número de designación del material (número AISI)	Condición	Resistencia a la tracción		Resistencia a la cedencia		Ductilidad (elongación porcentual en 2 pulg)	Dureza Brinell (HB)
		Ksi	MPa	Ksi	MPa		
1020	Rolado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Extruido en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	121
1040	Rolado en caliente	72	496	42	290	18	144
1040	Extruido en frío	80	552	71	490	12	160
1040	OQT 1300	88	607	61	421	33	183
1040	OQT 400	113	779	87	600	19	262
1050	Rolado en caliente	90	620	49	338	15	180
1050	Extruido en frío	100	690	84	579	10	200
1050	OQT 1300	96	662	61	421	30	192
1050	OQT 400	143	986	110	758	10	321
1117	Rolado en caliente	62	427	34	234	33	124
1117	Extruido en frío	69	476	51	352	20	138
1117	WQT 350	89	614	50	345	22	178
1137	Rolado en caliente	88	607	48	331	15	176
1137	Extruido en frío	98	676	82	565	10	196
1137	OQT 1300	87	600	60	414	28	174
1137	OQT 400	157	1083	136	938	5	352
1144	Rolado en caliente	94	648	51	352	15	188
1144	Extruido en frío	100	690	90	621	10	200
1144	OQT 1300	96	662	68	469	25	200
1144	OQT 400	127	876	91	627	16	277
1213	Rolado en caliente	55	379	33	228	25	110
1213	Extruido en frío	75	517	58	340	10	150
12L13	Rolado en caliente	57	393	34	234	22	114
12L13	Extruido en frío	70	483	60	414	10	140
1340	Recocido	102	703	63	434	26	207
1340	OQT 400	285	1960	234	1610	8	578
1340	OQT 700	221	1520	197	1360	10	444
1340	OQT 1000	144	993	132	910	17	363
1340	OQT 1300	100	690	75	517	25	235
3140	Recocido	95	655	67	462	25	187
3140	OQT 400	280	1930	248	1710	11	555
3140	OQT 700	220	1520	200	1380	13	461
3140	OQT 1000	152	1050	133	920	17	311
3140	OQT 1300	115	792	94	648	23	233
4130	Recocido	81	558	52	359	28	156
4130	WQT 400	234	1610	197	1360	12	461

**APÉNDICE A-5 Propiedades de los aceros inoxidable.**

Designación del material		Condición	Resistencia a la tracción		Resistencia a la cedencia		Ductibilidad (elongación porcentual en 2 pulg)
AISI	UNS		Ksi	MPa	Ksi	MPa	
<b>Aceros austeníticos</b>							
201	S20100	Recocido	115	793	55	379	55
		1/4 duro	125	862	75	517	20
		1/2 duro	150	1030	110	758	10
		3/4 duro	175	1210	135	931	5
		Totalmente duro	185	1280	140	966	4
301	S30100	Recocido	110	758	40	276	60
		1/4 duro	125	862	75	517	25
		1/2 duro	150	1030	110	758	15
		3/4 duro	175	1210	135	931	12
		Totalmente duro	185	1280	140	966	8
304	S30400	Recocido	85	586	35	241	60
310	S31000	Recocido	95	655	45	310	45
316	S31600	Recocido	80	552	30	207	60
<b>Aceros ferríticos</b>							
405	S40500	Recocido	70	483	40	276	30
430	S43000	Recocido	75	517	40	276	30
446	S44600	Recocido	80	552	50	345	25
<b>Aceros martensíticos</b>							
410	S41000	Recocido	75	517	40	276	30
		Q&T 600	180	1240	140	966	15
416	S41600	Q&T 1000	145	1000	115	793	20
		Q&T 1400	90	621	60	414	30
		Q&T 600	195	1341	150	1034	15
431	S43100	Q&T 600	280	1930	270	1860	3
440A	S44002	Q&T 600					
<b>Aceros endurecidos por precipitación</b>							
17-7PH	S17400	H 900	200	1380	185	1280	14
		H 1150	145	1000	125	862	19
		RH 950	200	1380	175	1210	10
17-7PH	S17700	TH 1050	175	1210	155	1070	12

**APÉNDICE A-6 Indicaciones para determinar el esfuerzo de diseño.**

<b>Patrón de carga</b>	<b>Material dúctil</b>	<b>Material quebradizo o frágil</b>
Estática	$\sigma_d = S_u \cdot 2$	$\sigma_d = S_u \cdot 6$
Repetida	$\sigma_d = S_u \cdot 8$	$\sigma_d = S_u \cdot 10$
Impacto o choque	$\sigma_d = S_u \cdot 12$	$\sigma_d = S_u \cdot 15$

## APÉNDICE A-7 Factores de conversión útiles.

### *Longitud*

$$1 \text{ pie} = 0.3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ pulg} = 25.4 \text{ mm}$$

### *Área*

$$1 \text{ pie}^2 = 0.0929 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ pulg}^2 = 645.2 \text{ mm}^2$$

### *Volumen*

$$1 \text{ pie}^3 = 7.48 \text{ gal}$$

$$1 \text{ pie}^3 = 1728 \text{ pulg}^3$$

$$1 \text{ pie}^3 = 0.0283 \text{ m}^3$$

### *Volumen de cantidad de flujo*

$$1 \text{ pie}^3/\text{s} = 449 \text{ gal}/\text{min}$$

$$1 \text{ pie}^3/\text{s} = 0.0283 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1 \text{ L}/\text{min} = 16.07 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

### *Temperatura*

$$T(^{\circ}\text{C}) = [T(^{\circ}\text{F}) - 32]5/9$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = 9/5 [T(^{\circ}\text{C})] + 32$$

### *Potencia*

$$1 \text{ hp} = 550 \text{ pie} \cdot \text{lb}/\text{s}$$

$$1 \text{ hp} = 745.7 \text{ W}$$

### *Densidad*

$$1 \text{ slug}/\text{pie}^3 = 515.4 \text{ kg}/\text{m}^3$$

### *Peso específico*

$$1 \text{ lb}/\text{pie}^3 = 157.1 \text{ N}/\text{m}^3$$

### *Energía*

$$1 \text{ pie} \cdot \text{lb} = 1.356 \text{ J}$$

$$1 \text{ Btu} = 1.055 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ W} \cdot \text{h} = 3.600 \text{ kJ}$$

### *Torque o momento*

$$1 \text{ lb} \cdot \text{pulg} = 0.1130 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### *Presión*

$$1 \text{ lb}/\text{pulg}^2 = 6.895 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ lb}/\text{pie}^2 = 0.0479 \text{ kPa}$$

### *Fuerza*

$$1 \text{ lb} = 4.448 \text{ N}$$

### *Masa*

$$1 \text{ slug} = 14.59 \text{ kg}$$

## **BIBLIOGRAFÍA.**

**Adrián Inchaurre Zabala.**

**Aceros Inoxidables y Aceros Resistentes al Calor. Propiedades, transformaciones y normas.**

**Editorial Limusa.**

**España 1981.**

**Boothroyd, Dewhurst.**

**Product Design for Manufacture and Assembly.**

**Editorial Marcel Dekker, Inc.**

**USA 1994.**

**Diodoro Granados Sánchez, Ana Dunia Castañeda Pérez.**

**El Nopal. Historia, fisiología, genética e importancia frutícola.**

**Editorial. Trillas.**

**México 1991.**

**John Corbett, Mike Dooner, John Meteka, Christopher Pym.**

**Design for Manufacture. Strategies, principles and techniques.**

**Editorial Eddison-Wesley Publishing company**

**USA 1991.**

**Lawrence E. Doyle, Carla A. Keyser, James L. Leach, George F.**

**Schrader, Morse B. Singe.**

**Procesos de Manufactura y Materiales para Ingenieros**

**Editorial Diana**

**2a. edición. 1986**

**Nicolás Lamburu Arrizabalaga.**  
**Máquinas. Prontuario: técnicas, maquinas y herramientas.**  
**Editorial Paraninfo.**  
**2a. edición**  
**Madrid 1990**

**Robert L. Mott, P.E.**  
**Diseño de Elementos de Máquinas.**  
**Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S. A.**  
**2a. edición.**  
**México 1995.**