



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGON

“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA  
DESESPINADORA DE TUNAS”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:

LEONEL PEDRO PÉREZ FERNANDEZ

ASESOR: DR. JAVIER JIMENEZ GARCIA



FES Aragón

MÉXICO

2005

0351080



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

Índice.	i
Introducción.	1
I. Diseño y manufactura.	2
I.1. Diseño mecánico.	2
I.1.1. El proceso de diseño.	
I.1.2. Consideraciones generales de diseño.	
I.1.3. Estrategias de diseño.	
I.1.4. Herramientas modernas de diseño.	
I.1.4.1. Diseño asistido por computadora CAD.	
I.1.5 Selección de elementos comerciales.	
I.1.5.1. Cadena de rodillos.	
I.1.5.2. Rodamientos o cojinetes.	
I.1.5.3. Reductor de velocidad.	
I.1.5.4. Motor eléctrico.	
I.1.5.4.1. Eficiencia.	
I.1.5.4.2. Aislamiento.	
I.1.5.4.3. Factor de servicio.	
I.1.6. Principios del manejo de materiales.	
I.1.6.1. Transportadores.	
I.2. Manufactura.	34
I.2.1. Planeación de procesos.	
I.2.2. Paileria.	
I.2.3. Procesos de conformado por arranque de material.	
I.2.3.1. Torneado.	
I.2.3.1.1. Refrentado.	
I.2.3.1.2. Roscado.	
I.2.3.2. Taladrado.	
I.2.3.3. Fresado.	
I.2.4. Procesos de unión.	
I.2.4.1. Sujetadores roscados.	
I.2.4.2. Remaches.	
I.2.4.3. Retenes.	
I.2.4.4. Pasadores.	
I.2.4.5. Cuñas.	
I.2.4.6. Bujes.	
I.2.4.7. Soldadura.	
I.2.4.7.1. Soldadura por arco eléctrico.	
I.2.4.7.2. Clasificación de la soldadura.	
I.2.4.8. Ajustes y tolerancias.	
I.2.5. Producción económica.	

II. Máquina desespinadora de tunas.	50
II.1. Dimensiones de la tuna.	53
II.2. Diseño y evaluación del prototipo.	57
II.2.1. Planeación económica.	
II.2.1.1. Tasa mínima aceptable de rendimiento.	
II.2.1.2. Punto de equilibrio.	
II.2.1.3. Valor presente neto.	
II.2.1.4. Tasa interna de rendimiento.	
II.3. Fabricación.	64
II.3.1. Lista de materiales.	
II.3.2. Análisis de operaciones.	
II.3.3. Tiempo de fabricación.	
II.4. Descripción del equipo.	69
II.4.1. Transportador horizontal con empujadores.	
II.4.2. Sistema de cepillado de la fruta.	
II.5. Pruebas de campo.	75
II.5.1. Análisis de resultados.	
II.5.2. Ajustes.	
Conclusiones.	78
Bibliografía.	79.

## **Introducción.**

No existe una fruta que represente mejor a la cultura mexicana como la tuna, presente en ésta desde la fundación de Tenochtitlán y en la bandera nacional a lo largo de sus diferentes etapas.

La producción de tuna en el estado de México significa alrededor del 60% de la nacional, sin embargo, el rendimiento en función de la superficie de terreno cultivado se encuentra por debajo del que tienen países como Italia o Israel.

Mientras la producción de tuna en el estado de México fue de 145 000 toneladas en 14 775 hectáreas de terreno sembrado en el 2004 y representó un rendimiento de 9.8 toneladas de fruta por hectárea de terreno cultivado, en Italia e Israel fue de 20 y 25 toneladas por hectárea respectivamente, [19].

Lo anterior no debe extrañarnos, en la actualidad se pueden conocer los avances tecnológicos (desarrollados en otros países) y en ocasiones acceder a ellos, pero los productores del campo mexicano desconocen las nuevas formas de producción y los sistemas existentes para incrementarla.

Muchos sectores de la población consideran a la tuna como una fruta exótica, no obstante, la espina que cubre la superficie de ésta provoca cierta renuencia por parte de los consumidores.

Aunque la espina de la tuna no representa ningún daño para la salud, provoca irritación si se entierra en la piel, además de ser muy molesta y difícil de ubicar debido a que sus dimensiones son de aproximadamente 0.1 mm de diámetro y 1.2 mm de longitud.

El principal mercado de la tuna es el propio Estado de México y el Distrito Federal. Una de las causas de que la tuna no tenga el éxito esperado en el mercado mundial es sin duda el inadecuado proceso de eliminación de espina al que se somete.

Los procesos de despeinado de tuna la maltratan y aceleran su maduración, por lo que el tiempo necesario para hacerla llegar a los consumidores finales se convierte en el principal problema, reduciendo de manera importante el mercado, limitándolo a la distancia de la huerta a los centros de consumo.

El objetivo principal del presente trabajo es: el Diseño y Fabricación de una Máquina Desespinadora de Tunas. Por tanto, se proyectó un prototipo funcional que será probado en campo durante la temporada de cosecha inmediata a la culminación del mismo.

México no cuenta con una norma que dicte los lineamientos para fabricar una máquina con las características que requiere el proyecto, sin embargo, se

revisaron los estándares internacionales en cuanto a seguridad y manejo de alimentos, cabe mencionar que durante el proceso de desespinado solo existe interacción de la cáscara de la fruta con el sistema.

El prototipo debe realizar un manejo adecuado de la fruta evitando en la medida de lo posible dañarla, el desespinado debe ser mejor que el que realizan los sistemas actuales, sencillo de operar y con el mínimo mantenimiento. Por último, es necesario que el equipo cuente con la seguridad que garantice la integridad de los operarios.

Como se ha visto en párrafos anteriores, México cuenta con el mercado y la capacidad de producción necesaria para el desarrollo del presente proyecto, por lo que de manera paralela al desarrollo del prototipo, se está trabajando en el análisis técnico-económico con el fin de comercializar la máquina una vez que sea probada en campo.

La realización del proyecto contempla los pasos del diseño, así como, los procesos de manufactura necesarios para fabricar cada uno de los elementos mecánicos que lo integran.

Se está trabajando de manera conjunta con una familia de productores, los cuales proporcionan acceso a sus huertas, muestras de fruta, además de sus experiencias y necesidades.

Los productores tienen el compromiso de probar la máquina y adquirirla si ésta cumple con sus expectativas, por lo anterior, se realizó el análisis del costo de fabricación contra el precio de venta.

## **I. Diseño y Manufactura.**

El diseño mecánico y los procesos de manufactura son la base teórica que sustenta la presente investigación, aunque son términos dependientes uno del otro, se comienza describiendo el diseño, sus etapas y metodologías para posteriormente retomar la manufactura.

### **I.1 Diseño Mecánico.**

Diseñar consiste básicamente en la generación de un proceso metodológico, estructurado, en donde de manera sistematizada se optimizan los recursos con que cuenta una organización, con el fin de transformar un conjunto de ideas y conocimientos en un sistema capaz de satisfacer una necesidad. El diseño puede ser mecánico, eléctrico, electrónico ó una combinación multidisciplinaria de ellos, pero el objetivo siempre es el mismo, satisfacer una necesidad o dar solución a un problema.

En este trabajo trataremos específicamente el diseño mecánico. El diseño mecánico consiste en construir dispositivos que involucran fuerza y movimiento. Dichos dispositivos deben diseñarse con base en las normas y estándares vigentes, nacionales e internacionales. Debido a que son sistemas que transmiten movimiento, deben contar con rigidez, tener accesos seguros para los usuarios y un consumo mínimo de energía.

Lo anterior en cuanto a consideraciones generales, pero hoy en día, en diseño mecánico se deben considerar aspectos tan importantes como la calidad, estética e impacto ecológico, esto implica generar productos, procesos ó sistemas limpios y en la medida de lo posible minimizar los desechos, así como, fomentar la reutilización de elementos una vez que cumplieron su ciclo de vida, [15].

#### **I.1.1 El proceso de diseño.**

Al proceso de diseño se le puede considerar como una guía de las etapas por cumplir con un cierto grado de flexibilidad para la solución de problemas de ingeniería. Flexible debido a que los diseñadores emplean un gran número de combinaciones de etapas y ninguna garantiza ser la mejor, el cumplir estrictamente un proceso de diseño no asegura una solución exitosa, pero sí, un orden en las ideas y en el manejo de la información. Con base en el planteamiento anterior, se propone el siguiente orden de etapas del proceso de diseño y se describen a continuación.

##### **a) Identificación del problema.**

Cualquier actividad humana encaminada a satisfacer una necesidad o solucionar un problema, debe estar identificada cualitativa y cuantitativamente, ya que de la definición clara y precisa del problema, es decir, de conocer exactamente lo que se requiere, dependen en gran medida las decisiones que se tomen para llegar a la solución. Esta definición generalmente comienza con la observación, la búsqueda de información, experimentos, entrevistas y del análisis de intentos realizados con el mismo fin.

Durante esta etapa es probable que se amplíe el campo de observación y surjan nuevas líneas de investigación, por lo que el diseñador debe fijarse límites y tener bien definido el objetivo que dio pie a la investigación y que es el motivo de la misma.

#### **b) Lluvia de ideas.**

Después de identificar y delimitar el problema, se analizan diferentes alternativas de solución, durante esta etapa el diseñador o diseñadores encargados de satisfacer una necesidad, realizan reuniones de trabajo en donde con base en su experiencia, conocimientos actuales, empleando su ingenio y creatividad, plantean diversas soluciones y estrategias de trabajo, con el objetivo de resolver de la manera mas eficiente y eficaz el problema.

Es importante que durante esta etapa se realice el levantamiento en papel de las ideas, llevando una bitácora de trabajo.

#### **c) Evaluación del problema.**

La evaluación del problema es un punto decisivo en el proceso de diseño, es aquí donde el diseñador analiza el cúmulo de ideas preliminares, restricciones físicas y geométricas, realizando un filtro donde se rechazan las ideas menos viables, se realizan dibujos formales a escala con objeto de tener una mayor semejanza con la realidad.

#### **d) Análisis.**

Durante la etapa de análisis, el diseñador revisa la información técnica con la que se cuenta hasta el momento, identifica y prevé las consecuencias de tipo socio-económico que implicaría el diseño de una maquina o elemento mecánico. Cada una de las posibles soluciones se analiza para verificar que el diseño cuente con una apariencia que convenza a los probables consumidores, que tenga la resistencia necesaria y un costo accesible, o bien, que la solución que se dé, sea proporcional con el precio.



### **e) Decisión.**

Para la etapa de decisión ya se cuenta con la información necesaria para rechazar o continuar con el desarrollo del diseño. De ser rechazado, no quiere decir que se realizó una mala investigación, por el contrario, se tiene la información con la cual el diseño no es viable y con esto se evita volver a realizar un trabajo infructuoso.

### **f) Realización.**

La realización del diseño se lleva a cabo cuando se tiene bien definido un problema y se han analizado rigurosamente varias alternativas de solución, entonces, se procede a generar los planos de fabricación a detalle, que garanticen un buen ensamble del diseño.

Durante esta etapa el diseñador no se deslinda del proyecto, sino que trabaja en la supervisión de la fabricación del producto, le da seguimiento incluso después de la venta, con lo que corrobora si los parámetros planteados durante la etapa de diseño se cumplen, o bien, se necesitan realizar ajustes, los cuales deben de ser insignificantes comparados con la magnitud del diseño, de no ser así, se debe pensar en un concepto totalmente diferente de solución.

## **1.1.2 Consideraciones generales de diseño.**

En el proceso de diseño tradicional se consideran principalmente aspectos de rigidez, funcionalidad y costo, dentro de éste ámbito es necesario realizar un análisis completo de los elementos mecánicos críticos para determinar los materiales a utilizar, dimensiones y características superficiales. La siguiente pretende ser una lista de las consideraciones de diseño, pero puede ser una guía útil durante el proceso.

### **Consideraciones tradicionales.**

1. Para todo el cuerpo de la parte.
  - a.- resistencia
  - b.- deflexión
  - c.- peso
  - d.- tamaño y forma.
  
2. Para las superficies, de la parte.
  - a.- desgaste
  - b.- lubricación
  - c.- corrosión
  - d.- fuerzas de fricción
  - e.- calor generado por fricción

### 3. Costo

#### **Consideraciones modernas.**

1. Seguridad
2. Ecología (tierra, aire, agua, contaminación térmica; conservación de recursos; ruido).
3. Calidad de la vida

#### **Consideraciones diversas.**

1. Confiabilidad y facilidad de conservación técnica (mantenimiento). Este cada vez tiene mayor aceptación como un factor muy importante.
2. Estética.

#### **A) Resistencia de Materiales.**

Los elementos de maquinas se fabrican tradicionalmente con metales, aleaciones de acero, aluminio o bronce, en la actualidad el desarrollo de la ciencia de los materiales permite utilizar polímeros y materiales compuestos, cuya adecuada selección y configuración proporciona las propiedades que demanda el diseño, a la vez que permite piezas más sencillas y con menor peso.

La selección de los materiales en diseño mecánico depende de las condiciones de esfuerzo a las que se someterán los elementos, del ambiente y de las características del proceso que han de realizar la maquinas, así por ejemplo, se seleccionaran elementos inocuos al organismo humano si se manejan alimentos y materiales resistentes a la corrosión en ambientes agresivos.

##### **A.1.) Propiedades mecánicas.**

Las propiedades mecánicas son el conjunto de cualidades que posee un material, dependen de la organización a nivel atómico de los elementos, en ingeniería estas cualidades se cuantifican físicamente mediante ensayos mecánicos en los que se someten muestras normalizadas de un material determinado para asociar una unidad física a éste. Existen así, ensayos de dureza y tracción principalmente, que permiten conocer los límites máximos de los materiales con el fin de que el diseño garantice la funcionalidad de las piezas.

##### **A.1.1.) Diagrama esfuerzo-deformación.**

La deformación es un fenómeno importante en diseño mecánico y en procesos de manufactura. Mientras que en diseño mecánico es necesario que los elementos se diseñen con los materiales y geometrías idóneas, que no permitan que éstos

cambien su forma original al aplicarles una fuerza externa, en el proceso de fabricación, es necesario que la fuerza aplicada supere el límite de resistencia del material con el fin de obtener la forma deseada.

Para continuar con el análisis de la deformación es importante definir el término de esfuerzo mecánico. Considere el área  $\Delta A$  de la figura 1 en un elemento mecánico, el material es continuo, es decir, tiene una distribución homogénea de materia que no contiene huecos, en vez de estar compuesto de un número finito de átomos distintos, además, el material es cohesivo, es decir, todas sus partes se encuentran unidas entre sí, sin fracturas, grietas o separaciones.

Una fuerza finita muy pequeña  $\Delta F$  actuando sobre el área  $\Delta A$ , esta fuerza tendrá una dirección única, pero para el análisis, es conveniente descomponerla en sus componentes normal y tangencial a  $\Delta A$ ,  $\Delta F_n$  y  $\Delta F_t$  respectivamente. Cuando el área  $\Delta A$  tiende a cero, igualmente tienden a cero  $\Delta F$  y sus componentes; sin embargo, el cociente de la fuerza y el área tenderán a un número finito. Este cociente se llama esfuerzo y describe la intensidad de la fuerza interna sobre un plano específico o segmento de área.

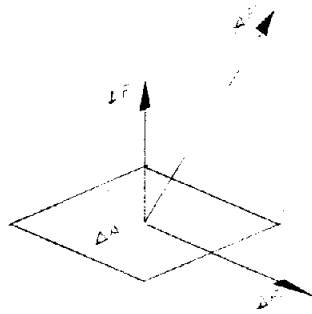


Figura 1. Descomposición de fuerzas.

$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad \dots(1)$$

Donde:

- $\sigma$ : Es el esfuerzo.
- $F$ : Es la magnitud de la fuerza aplicada.
- $A$ : Es el área sobre la cual actúa la fuerza.

La resistencia de un material depende de su capacidad para soportar una carga sin deformación excesiva o falla, esta propiedad es inherente al material y se determina por experimentación. En los Estados Unidos de Norteamérica la American Society for Testing Materials (ASTM) ha publicado los lineamientos para llevar a cabo este experimento, y proporciona los límites dentro de los cuales es aceptable el uso de un material determinado.

La prueba de tensión es de las más importantes en diseño, proporciona la relación entre el esfuerzo normal promedio y la deformación en materiales de ingeniería, para llevar a cabo esta prueba se utiliza un espécimen o probeta de forma y tamaño estándar, figura 2, antes de la prueba se imprimen dos marcas con un punzón en la probeta, se toman mediciones tanto del área de la sección central transversal  $A_0$ , como de la distancia  $L_0$ , que es la longitud calibrada entre las marcas.

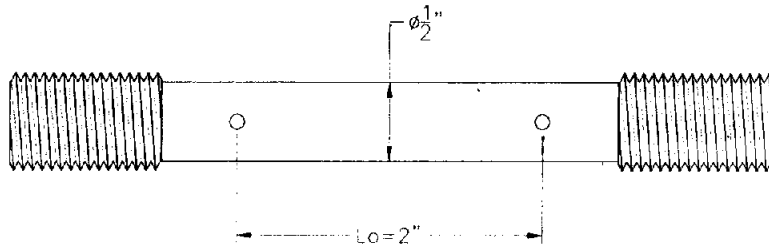


Figura 2. Probeta de metal para la prueba de tracción.

Se somete el material a una prueba de tensión, en la que se le aplica una carga axial  $P$  con el fin de estirar lentamente el material hasta alcanzar la ruptura, la maquina que realiza este trabajo tiene la capacidad de dar la lectura de la carga  $P$  requerida para mantener un alargamiento uniforme. Durante la prueba se registran y grafican los datos del esfuerzo  $\sigma$  contra la deformación.

$$\delta = L - L_0 \quad \dots(2)$$

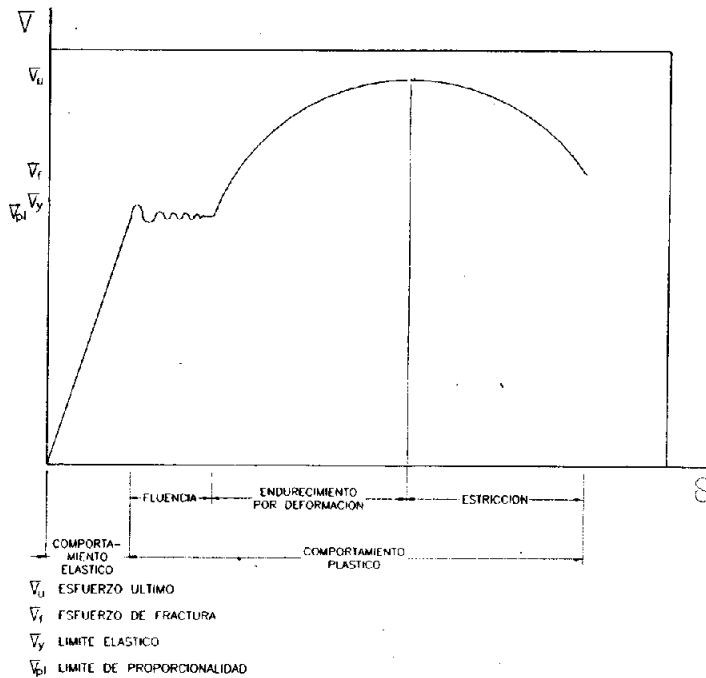
Donde:

$\delta$ : Es la deformación,

$L_0$ : Es la longitud entre las marcas antes de aplicar la carga y

$L$ : Es la longitud final entre las marcas.

En la actualidad existen máquinas capaces de imprimir la grafica del material, figura 3, y se obtienen directamente los datos de ésta.



Un material tiene comportamiento elástico si después de aplicar una carga, éste recupera su dimensión original, el fenómeno se observa en la línea recta de la grafica, y significa que el esfuerzo es directamente proporcional a la deformación.

Si se sigue aplicando carga y se supera el límite elástico  $\sigma_y$ , el material comienza a fluir, ya no recupera sus dimensiones originales y se dice que existe una deformación plástica en él, una vez que termina la fluencia la curva se eleva continuamente hasta llegar al esfuerzo último  $\sigma_u$ , a partir de este punto comienza a disminuir el área de la sección transversal central de la probeta, fenómeno que se conoce como formación de cuello ó estricción.

El valor de resistencia para el diseño debe considerarse dentro de la zona de deformación elástica, aplicando un factor de seguridad que dependerá del grado de incertidumbre en los cálculos y de las condiciones de esfuerzo del elemento.

## A.2.) Lubricación y desgaste.

El propósito de la lubricación es la separación de dos superficies con deslizamiento relativo entre sí, de tal manera que no se produzca daño en ellas, se intenta con ello que el proceso de deslizamiento sea con el rozamiento más

pequeño posible. Para conseguir esto se intenta que haya una película de lubricante de espesor suficiente entre las dos superficies en contacto.

El lubricante en la mayoría de los casos es aceite mineral, en otros, se utiliza agua, aire o lubricantes sintéticos cuando hay condiciones especiales de temperatura y velocidad. La lubricación se aplica principalmente en cojinetes, sistemas embolo-cilindro y en general en cualquier superficie sujeta a fricción.

Los factores a considerar en diseño son técnicos y económicos:

- Cargas aplicadas y condiciones de servicio.
- Condiciones de instalación y posibilidad de mantenimiento.
- Tolerancias de fabricación y funcionamiento; vida útil.
- Costo de instalación y mantenimiento.

El estudio de la lubricación está basado en:

- Mecánica de fluidos.
- Termodinámica y transmisión de calor.
- Mecánica de sólidos, materiales.

#### **A.2.1.) Tipos de lubricación.**

Pueden distinguirse tres formas distintas; lubricación hidrodinámica, al límite o de contorno é hidrostática.

En la lubricación hidrodinámica las superficies están separadas por una película de lubricante que proporciona estabilidad. No se basa en introducir lubricante a presión, exige un caudal de aceite, la presión se genera por movimiento relativo. Se habla también de lubricación de película gruesa, fluida, completa o perfecta.

En la lubricación al límite la película de lubricante es tan fina que existe un contacto parcial metal-metal. La acción resultante no se explica por la hidrodinámica. Puede pasarse de lubricación hidrodinámica a límite por caída de la velocidad, aumento de la carga o disminución del caudal de aceite. En este tipo de lubricación (de película delgada, imperfecta o parcial) mas que la viscosidad del lubricante es más importante la composición química. Al proyectar un cojinete hidrodinámico hay que tener en cuenta que en el arranque puede funcionar en condiciones de lubricación al límite

La lubricación hidrostática se obtiene introduciendo a presión el lubricante en la zona de carga para crear una película de lubricante. No es necesario el movimiento relativo entre las superficies. Se emplea en cojinetes lentos con grandes cargas. Puede emplearse aire o agua como lubricante.

### A.2.2.) Corrosión.

La corrosión es la causa general de la alteración y destrucción de la mayor parte de los materiales naturales o fabricados por el hombre. El desarrollo de los métodos de extracción y uso de los combustibles, muy especialmente del petróleo, así como la expansión de la industria química, han modificado la composición de la atmósfera de los centros industriales y de las aglomeraciones urbanas.

Para la obtención de los metales en estado puro, debemos recurrir a su separación a partir de sus minerales, lo cual supone un gran aporte energético. Pensemos solamente en el enorme consumo de energía eléctrica que supone el funcionamiento de una acería para obtener un material tan indispensable para el desarrollo actual como el acero. Pues bien, producido el acero, inicia el periodo de retorno a su estado natural, los óxidos de hierro.

Esta tendencia a su estado original no debe extrañar. Si después de milenios el hierro se encuentra en los yacimientos bajo la forma de óxido, es que este compuesto representa el estado más estable del hierro respecto al medio ambiente. El mineral de hierro más común, la hematita, es un óxido de hierro  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . El producto más común de la corrosión del hierro tiene la misma composición química. Un metal susceptible a la corrosión como el acero, proviene de óxidos metálicos, a los cuales se los somete a un tratamiento determinado para obtener hierro, [16].

La tendencia del hierro a volver a su estado natural de óxido metálico es tanto más fuerte, cuanto más energía es necesaria para extraer el metal del mineral. El aluminio es otro ejemplo de metal que obtenido en estado puro se oxida rápidamente, formándose sobre su superficie una capa de alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , óxido de aluminio). La razón de ello estriba en el gran aporte energético que hay que realizar para obtener una determinada cantidad del metal a partir del mineral, [16].

### B) Calidad.

Calidad es el conjunto de características de un producto que satisfacen las necesidades de los clientes y, en consecuencia, hacen rentable al producto. A este significado se le puede añadir un matiz complementario importante: la calidad también consiste en no tener deficiencias, [17].

Si la calidad consiste en diseñar productos satisfactorios para el cliente, habrá que implicar en ella a todas las actividades mediante las cuales se alcanza esta satisfacción independientemente del lugar de la organización en que ocurren, esto significa obtener:

- a) Calidad de los productos,
- b) Calidad de los suministros,
- c) Calidad de los procesos,

- d) Calidad de los recursos, tanto técnicos y humanos, como materiales
- e) Calidad de las actividades de gestión.

A esta filosofía que pretende abarcar a toda la organización y a todas sus actividades, es a lo que llamamos *Calidad Total*. Pero la calidad total (CT) no es únicamente un modo de pensar, es un conjunto de principios y métodos que buscan la satisfacción del cliente al menor costo, para comprender la CT hay que citar un conjunto de fundamentos básicos, Calidad Total implica:

- Orientar la organización hacia el cliente. Satisfacer los requerimientos del cliente es lo principal, con este objetivo, la organización debe girar en torno a los procesos que son importantes para este fin y que aportan valor al producto. Esto implica superar la visión clásica de que la responsabilidad sobre la calidad es exclusiva de los departamentos encargados del producto o servicio. La acción de otros tendrá efecto en mayor o menor grado sobre el resultado final.
- Ampliar el concepto de cliente. Podemos concebir a la organización como un sistema integrado por proveedores y clientes internos. Aplicar la calidad, significa que hay que satisfacer también las necesidades del cliente interno.
- Poseer liderazgo en costos. La calidad cuesta, pero es más cara la no-calidad. Si se trata de centrar la atención en las necesidades y expectativas del cliente, éstas serán mejor atendidas si el costo trasladado al cliente es más bajo. Esta reducción de costos permite competir en el mercado con posibilidades reales de éxito. Se hace necesario, por tanto, reducir los costos de no-calidad.
- Gestionar basándose en la prevención. La idea subyacente es la de hacer las cosas bien a la primera. Es mejor que las acciones clásicas de detectar y corregir. Se reduce la necesidad de aplicar acciones de control, minimizando los costos.

### **C) Mantenimiento.**

El mantenimiento se considera un conjunto de acciones oportunas, continuas y permanentes dirigidas a prever y asegurar el funcionamiento normal, la eficiencia y la buena apariencia de sistemas, edificios, equipos y accesorios.

La filosofía del mantenimiento radica en poder disponer de un grupo mínimo de recursos humanos de mantenimiento capaz de garantizar la optimización, producción, disponibilidad de equipos y la seguridad en una organización industrial.



### **C.1.) Tipos de mantenimiento.**

El mantenimiento preventivo considera servicios de inspección, control, conservación y restauración de un elemento con la finalidad de prevenir, detectar o corregir defectos, tratando de evitar fallas, este mantenimiento se realiza con la regularidad que requiere cada equipo.

En el mantenimiento correctivo se realizan servicios de reparación de elementos con falla; es decir, este mantenimiento se realiza cuando se detecta la falla o cuando ya ocurrió.

El mantenimiento predictivo basado en la confiabilidad o la forma sistemática de como preservar el rendimiento requerido, basándose en las características físicas y la forma como se utiliza, especialmente de como puede fallar un elemento o máquina y evaluando sus consecuencias para así aplicar las tareas adecuadas de mantenimiento (preventivas o correctivas).

El mantenimiento de mejora continua o rediseños consiste en la modificación o cambio de las condiciones originales del equipo o instalación. No es tarea de mantenimiento propiamente dicho, aunque lo hace mantenimiento.

En el mantenimiento selectivo se realiza el de cambio de una o más piezas o componentes de equipos prioritarios, de acuerdo con recomendaciones de fabricantes o entidades de investigación.

### **C.2.) Principios y aplicación del mantenimiento.**

El objetivo principal del mantenimiento es asegurar que todo activo continúe desempeñando las funciones deseadas. Con el objetivo de asegurar la competitividad de la empresa por medio de:

- Garantizar la disponibilidad y confiabilidad planeadas de la función deseada,
- Satisfacer todos los requisitos del sistema de calidad de la empresa,
- Cumplir todas las normas de seguridad, medio ambiente y maximizar el beneficio global.

El mantenimiento es aplicable a todo sistema o empresa que desee aumentar la confiabilidad o la vida útil de sus activos, uno de los aspectos más importantes del mantenimiento de los equipos, maquinarias e instalaciones, es aplicar un adecuado plan de mantenimiento que aumente la vida útil de éstos, reduciendo la necesidad de los repuestos y minimizando el costo del material usado, como se sabe muchas de las maquinas utilizadas en nuestro país son traídas del extranjero al igual que muchos materiales y algunas piezas de repuestos.

El mantenimiento es un proceso donde se aplica un conjunto de acciones y operaciones orientadas a la conservación de un bien material, que nace desde el momento mismo que se concibe el proyecto para luego prolongar su vida útil. Para llevar a cabo el mantenimiento, tiene que ser a través de programas que correspondan al establecimiento de frecuencia y la fijación de fechas para realizar cualquier actividad.

### **I.1.3. Estrategias de diseño.**

En toda actividad humana es imprescindible el contar con un plan de acción, que si bien, no garantiza una correcta definición, proporciona el orden y la sucesión de etapas con el orden que requiere un proyecto en particular, [18]. Se realiza a continuación una revisión de las estrategias tradicionales de diseño:

- 1) Estrategia Lineal
- 2) Estrategia Cíclica
- 3) Estrategia en Ramificación
- 4) Estrategia Adaptativa
- 5) Estrategia Incremental
- 6) Estrategia Fortuita

#### **1) Estrategia Lineal.**

Las denominadas estrategias pre-planificadas son aquellas que se fijan de forma previa a su desarrollo o implementación. Normalmente son más útiles para situaciones conocidas que para nuevas situaciones, es decir, para modificaciones de diseño ya existentes que para la creación de nuevos productos. Muchos de los trabajos de diseño, de hecho, mantienen un modelo previsible. Idealmente una estrategia pre-planificada es lineal y compuesta de secuencias de acciones, figura 4. Cada acción depende de la salida de la anterior, pero ha de ser independiente de las salidas de las últimas etapas.

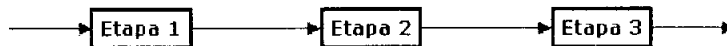


Figura 4. Esquema para una Estrategia Lineal.

#### **2) Estrategia Cíclica.**

Si una primera etapa tiene que repetirse después de la salida de la última, esta estrategia es cíclica, figura 5. Algunas veces existirán dos o más circuitos de retroalimentación dentro de cada etapa.

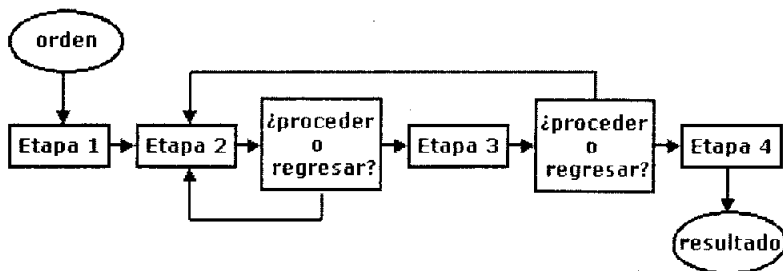


Figura 5. Esquema para una Estrategia Cíclica.

Por ejemplo, una pieza mecánica puede requerir un determinado tratamiento superficial, una operación sobre la misma y, de nuevo, dicho tratamiento. Igualmente, podemos programar un integrado mediante un lenguaje de descripción de hardware, probarlo y encontrarnos con la necesidad de refinarlo, lo que nos llevaría de nuevo ante el compilador.

Supongamos ahora que tras un primer contacto con un determinado cliente, se realiza un análisis de los requerimientos planteados por el mismo, se consideran alternativas y se formulan preguntas adicionales para refinar el concepto o las especificaciones que solicita este cliente. ¿Supone esto una pérdida de tiempo?. Pensemos en lo que ocurrirá si, evitando el contacto y la comunicación, terminamos recibiendo quejas del cliente que nos acusa de no haberlo escuchado, de haber hecho lo que hemos querido, de haberlo engañado.

### 3) Estrategia en Ramificación.

Cuando las acciones son independientes entre sí, es posible una estrategia de ramificación, figura 6. Esta puede incluir etapas paralelas con la ventaja de incrementar el número de personas que trabajan sobre el mismo problema a la vez, o a etapas alternativas que permiten algunas adaptaciones de la estrategia de acuerdo a los resultados de las etapas previas.

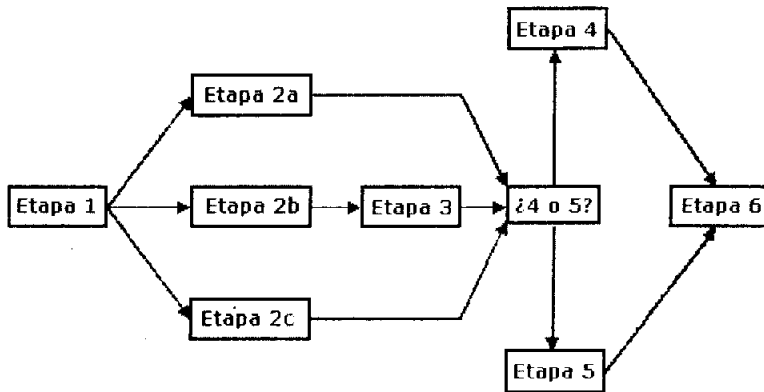


Figura 6. Esquema para una Estrategia en Ramificación.

La Estrategia en Ramificación puede entenderse como el fundamento del diseño paralelo. Entonces, se están manejando una variedad de opciones de diseño que, debidamente documentadas, constituyen una magnífica fuente para posteriores revisiones y nuevas creaciones (lo que implica un ahorro en tiempo y dinero en la exploración del espacio de diseño) y que en su comparación las refina y sintetiza en la opción más deseable.

#### 4) Estrategia Adaptativa.

Las estrategias adaptativas son aquellas en que al comienzo sólo se decide la primera acción, figura 7. La elección de las acciones siguientes están influenciadas por el resultado de la acción anterior. En principio, esta es la estrategia más inteligente, ya que el modelo de investigación está siempre guiado por la mejor información factible. El mayor inconveniente es su incapacidad para controlar el costo y el tiempo de diseño.

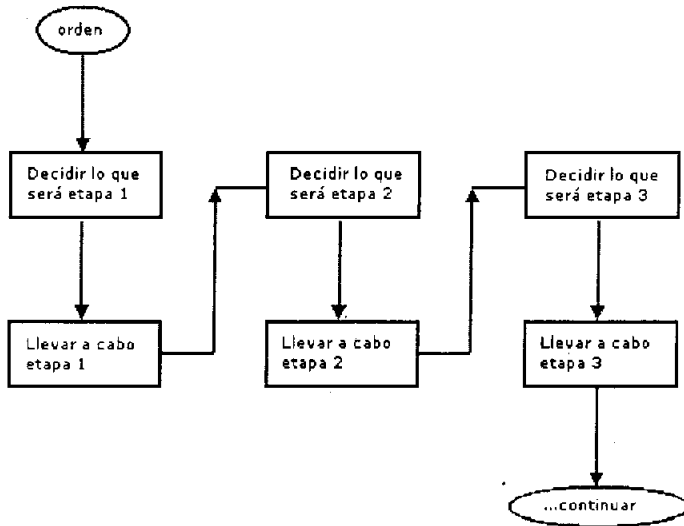


Figura 7. Esquema para una Estrategia Adaptativa.

Un proceso de diseño centrado en el cliente intentará suplir la dependencia de la información previa con las posibilidades que ofrezca la historia de diseño, en particular en las etapas tempranas del proceso de diseño en las que resulta deseable una aproximación rápida al contexto de uso, a la población objetivo y al individuo. Es claro, por otra parte, que cualquier forma de experimento controlado será determinante por su duración, costo y resultados aportados.

### 5) Estrategia Incremental.

Una segura aunque modesta versión de la estrategia adaptativa es la estrategia incremental, figura 8. Esta estrategia conservadora es la base de diseño tradicional, particularmente en las industrias basadas en la artesanía, y es también la base de muchos procedimientos de optimización automática.

Efectivamente, esta idea también tiene cabida en el proceso de diseño centrado en el usuario, cuando, en sus etapas tempranas, las iteraciones sobre un prototipo se traducen en un incremento de la funcionalidad o fidelidad del mismo respecto del sistema que se somete a estudio.

Como consecuencia, antes de dar comienzo a la implementación tecnológica del sistema representado por el prototipo tendremos, en la figura de este, una garantía de que los requerimientos del cliente han sido considerados.

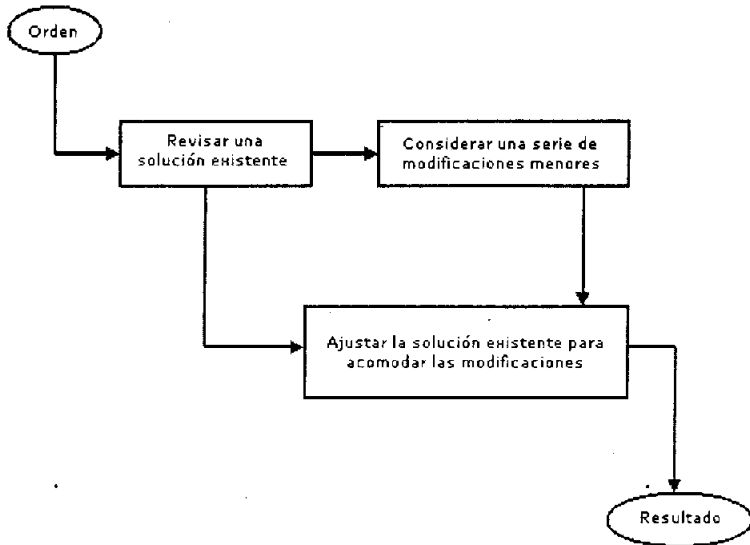


Figura 8. Esquema para una Estrategia Incremental.

#### 6) Estrategia Fortuita.

Se trata de una estrategia sin ningún tipo de planificación, figura 9. Esta estrategia es adecuada cuando se requiere la obtención de muchos puntos iniciales para investigaciones independientes sobre un amplio campo de incertidumbre.

Cada etapa está elegida independientemente de las otras para, de esta manera, hacer la investigación más objetiva posible. De hecho, el método de la investigación fortuita sirve de base para la técnica del "Brainstorming", y es aplicable a nuevas situaciones de diseño en las que resulta absurdo desechar cualquier solución propuesta, hasta no tener información completa, por ejemplo, la investigación de las distintas maneras de utilizar un nuevo material.

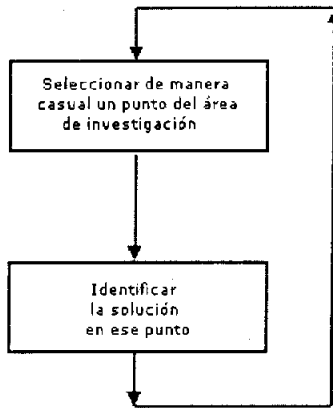


Figura 9. Esquema para una Investigación Fortuita.

Podemos comprobar entonces que los esquemas tradicionales de diseño son, por sí mismos y en una combinación de los mismos, la base de la estrategia de diseño centrado en el usuario. Sin embargo, la idea no es ceñirse a un esquema particular. Las peculiaridades de cada proceso requerirán que cada planificación sea ajustada de forma cuidadosa, cobrando mayor relevancia determinadas prácticas dependiendo, entre otros factores, del tipo de producto o sistema a desarrollar.

## 7) Brainstorming.

La técnica Brainstorming o lluvia de ideas es una herramienta que puede aplicarse a temas tan variados como la productividad, la necesidad de encontrar nuevas ideas y soluciones para los productos del mercado, encontrar nuevos métodos que desarrollen el pensamiento creativo a todos los niveles, pero pronto se extiende al ámbito académico para crear cursos específicos que desarrollen la creatividad.

Principios y supuestos teóricos.

- 1.- Aplazar el juicio y no realizar críticas, hasta que no agoten las ideas, ya que actuaría como un inhibidor. Se ha de crear una atmósfera de trabajo en la que nadie se sienta amenazado.
- 2.- Cuantas más ideas se sugieren, mejores resultados se conseguirán: "la cantidad produce la calidad". Las mejores ideas aparecen tarde en el periodo de producción de ideas, será más fácil que encontremos las soluciones y tendremos más variedad sobre la que elegir.
- 3.- La producción de ideas en grupos puede ser más efectiva que la individual.

4.- El asociacionismo: se pone en juego la imaginación y la memoria de forma que una idea encadena y trae a otra. Las leyes que contribuyen a asociar las ideas son:

a) Semejanza: con analogías, metáforas...

b) Oposición: nos da ideas que conectan dos polos opuestos mediante la antítesis, la ironía...

5.- Tampoco debemos olvidar que durante las sesiones, las ideas de una persona, serán asociadas de manera distinta por cada miembro, y hará que aparezcan otras por contacto.

### **7.1.) Integrantes.**

El Director: es la figura principal y el encargado de dirigir la sesión. Debe ser un experto en pensamiento creador. Su función es formular claramente el problema y que todos se familiaricen con él. Cuando lo haga, debe estimular ideas, hacer que se rompa el hielo en el grupo. Es el encargado de que se cumplan las normas, no permitiendo las críticas.

Debe permanecer callado e intervenir cuando se corte la afluencia de ideas, por lo que le será útil llevar ya un listado de ideas. Su función también será el que todos participen y den ideas, conceder la palabra. Además, es la persona que da por finalizada la sesión. Posteriormente, clasificará las ideas de la lista que le proporciona el secretario.

El secretario: registra por escrito las ideas según van surgiendo. Las numera, las reproduce fielmente, las redactará y se asegurará que todos están de acuerdo con lo escrito. Por último realizará una lista de ideas.

Los participantes: pueden ser habituales o invitados. Su función es producir ideas. Conviene que entre ellos no halla diferencias jerárquicas.

### **7.2.) Condiciones Ambientales.**

Físicas: Debe disponerse un lugar espacioso, cómodo y que disponga de una pizarra o un bloc gigante para exponer las ideas que surjan. Los participantes deben colocar las sillas en círculo alrededor de una mesa.

Humanas: Las personas que componen el grupo deben estar motivadas para solucionar el problema, y con un ambiente que propicie la participación de todos. Todos pueden sentirse confiados y con la sensación de que pueden hablar sin que se produzcan críticas. Todas las ideas en principio deben tener el mismo valor, pues cualquiera de ellas puede ser la clave para la solución. Se ha prestado



mucha atención a las frases que pueden coartar la producción de ideas. Además durante la celebración no deberían asistir espectadores.

Debemos evitar todos los bloqueos que paralizan la ideación: como son nuestros hábitos o ideas preconcebidas, el desánimo o falta de confianza en sí mismo, el temor y la timidez.

### **7.3.) Fases de Aplicación de la Tormenta de ideas.**

#### **A. Descubrir hechos:**

Al menos con un día de antelación, el director comunica por escrito a los miembros del grupo sobre los temas a tratar.

El director explica los principios de la Tormenta de ideas e insiste en la importancia de tenerlos en cuenta.

Pre calentamiento: se comienza la sesión con una ambientación de unos 10 minutos, tratando un tema sencillo y no comprometido. Es una fase especialmente importante para los miembros sin experiencia.

Planteamiento del problema: se determina el problema, delimitando, precisándolo y clarificándolo. A continuación se plantea el problema, recogiendo las experiencias que se poseen o consultando documentación. Cuando es complejo, conviene dividirlo en partes. Aquí es importante la utilización de análisis, desmenuzando el problema en pequeñas partes y conectando lo nuevo y lo desconocido.

#### **B. Producir ideas (es la fase de tormenta de ideas propiamente dicha):**

Se van aplicando alternativas. Se busca producir una gran cantidad de ideas, aplicando los principios que hemos visto (principios y supuesto teóricos)... Además, es útil cuando se ha trabajado mucho, alejarse del problema, pues es un buen momento para que se produzcan asociaciones. Muchas de las nuevas ideas serán ideas antiguas, mejoradas o combinadas con varias ya conocidas.

Clausura de la reunión: al final de la reunión, el director da las gracias a los asistentes y les ruega que no abandonen el problema, ya que al día siguiente se le pedirá una lista de ideas que les puedan haber surgido.

Se incorporan las ideas surgidas después de la reunión.

#### **C. Descubrir soluciones:**

Se elabora una lista definitiva de ideas, para seleccionar las que parecen más interesantes.

La selección se realiza desechando las ideas que no tienen valor y se estudia si son válidas las que se consideran interesantes. Lo mejor es establecer una lista de criterios de conveniencia o no de cada idea.

Se seleccionan las ideas más útiles y si es necesario se ponderarán. Pueden realizarlo los mismos miembros del grupo o crear otros para esta tarea, clasificadas por categorías (tarea que corresponde al director).

#### **I.1.4 Herramientas modernas de diseño.**

La velocidad con la que se generan nuevos conocimientos, solo se ve opacada por la cantidad de problemas que surgen para proporcionar de bienes y servicios a una comunidad cada vez más amplia y globalizada. Por lo anterior, los ingenieros encargados de diseñar los productos que la sociedad demanda, se ven en la necesidad de hacerse de las herramientas más eficientes y que respondan de manera rápida a ésta, tal como el diseño asistido por computadora (CAD).

##### **I.1.4.1 Diseño asistido por computadora CAD.**

Los diseñadores en la actualidad cuentan con el apoyo de programas de cómputo que facilitan su tarea, para vaciar en papel la información necesaria para la fabricación de un elemento mecánico, se puede optar por el método tradicional de dibujo, esto es con escuadras, lápices de varias calidades, escalímetro y restirador o mesa de trabajo, o bien por un programa de cómputo que agilice el proceso, lo anterior no quiere decir que sin un programa sofisticado no se pueda diseñar, ya que de nada sirve contar con el mejor programa de cómputo si no se tiene un diseñador creativo y preparado, capaz de explotar una herramientas de esta magnitud.

En los últimos años los sistemas de CAD para el modelado de sólidos han alcanzado una fase de madurez. El diseño asistido por computadora permite a las empresas dedicadas al desarrollo de nuevos productos mejorar su competitividad, sobre la base de una mejor calidad y una reducción de costos, principalmente en el desarrollo de un nuevo producto.

La utilización de un sistema de CAD permite disponer de forma fácil de un prototipo digital de un nuevo producto, con el que se puede interaccionar y evaluar los requerimientos del diseño. En el mercado actual existen sistemas CAD para el modelado de sólidos, la oferta de sistemas se ha ido estabilizando y últimamente las posiciones y cuotas de mercado no sufren alteraciones importantes.

Actualmente la mayoría de sistemas de CAD existentes en el mercado están desarrollados bajo un enfoque de 'tecnología de componentes', de modo que la producción de un nuevo sistema se desarrolla basándose en las aplicaciones y componentes de software existentes en el mercado. De este modo, un nuevo sistema de CAD se desarrolla ensamblando elementos que tienen prestaciones probadas y definidas.

El componente principal es el núcleo geométrico, puesto que es donde se registra y se representa la geometría y topología de un modelo. Para interactuar con el núcleo geométrico existe un conjunto de funciones para el modelado de sólidos, que se pueden entender como operaciones de bajo nivel. Sin embargo, para el usuario sólo son visibles las operaciones de alto nivel propias del paradigma de diseño que utilice el sistema, y no tiene acceso directo a las funciones de modelado de bajo nivel del núcleo geométrico, ni es necesario que conozca los detalles del modelo utilizado.

El desarrollo de una interfaz de usuario bien diseñada es lo que consigue una transparencia total en este sentido. La falta de integración entre el modelado de sólidos y las herramientas para la fabricación y el análisis de las piezas físicas sigue siendo uno de los principales problemas en los sistemas actuales, [5].

A continuación se mencionan algunos paquetes CAD disponibles en el mercado.

- 1) I-DEAS SDRC (Structural Dynamics Research Corporation)
- 2) PRO-ENGINEER PARAMETRIC TECHNOLOGY CORPORATION
- 3) CATIA IBM
- 4) AUTOCAD (2D) AUTODESK
- 5) MECHANICAL DESKTOP AUTODESK
- 6) IMAGINEER (2D) INTERGRAPH
- 7) SOLID EDGE INTERGRAPH
- 8) INVENTOR AUTODESK

Los primeros tres proporcionan un paquete completo de apoyo al diseño, están pensados para grandes corporativos ya que involucran a todos los departamentos de una empresa, desde compras, ventas, desarrollo del producto, diseño, manufactura y estructura de producción, además de que manejan herramientas poderosas de diseño basadas en el análisis de elemento finito y simulación de elementos en movimiento.

Los últimos se adaptan mejor a cualquier tipo de empresa y a diseñadores independientes, requieren de equipos menos sofisticados y de una organización industrial modesta. Aunque como ya mencionamos, el éxito de un buen diseño es resultado de la suma de las herramientas de que se pueda rodear el diseñador sumado a su capacidad.

### I.1.5. Selección de elementos comerciales.

No todos los elementos que integran una máquina deben diseñarse, existen empresas dedicadas a fabricar elementos "comerciales", es decir, cuentan con piezas en tamaños estándar de rodamientos, tornillos, cadenas de rodillos, sprokets, engranes, reductores de velocidad ó motores eléctricos. Estos últimos de gran importancia en el diseño ya que en muchas maquinas el movimiento rotativo es una constante.

El ingeniero de diseño debe conocer los elementos comerciales que existen en el mercado, evalúa la posibilidad de integrarlos a su diseño. Compara los datos del fabricante como materiales, resistencia, dimensiones o peso y realiza la selección de los mismos.

#### I.1.5.1. Cadena de rodillos.

La cadena de rodillos es un elemento de transmisión de potencia que consta de una serie de eslabones unidos por medio de pernos, figura 10. La cadena de rodillos se clasifica de acuerdo a su paso, que es la distancia entre los centros de los pernos, así existen varios tamaños de cadena cuya selección depende de la potencia a la que estarán sometidas, tabla 1.

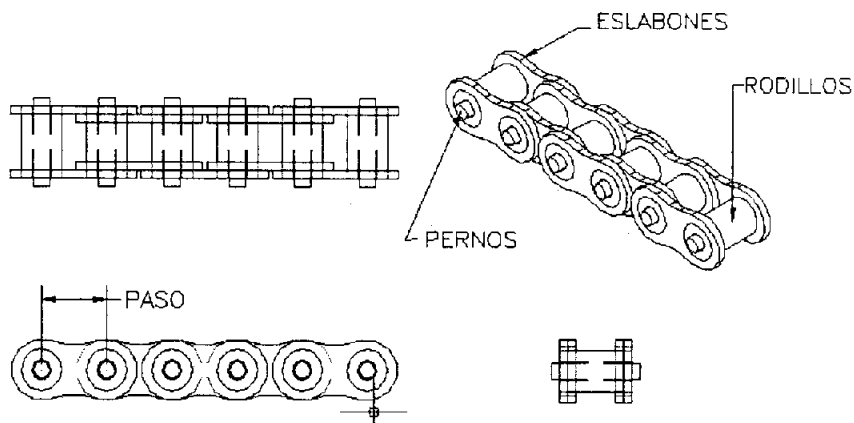


Figura 10. Cadena de rodillos.

El diseño de la cadena de rodillos permite la transmisión flexible de potencia entre ejes, en los cuales se montan impulsores dentados llamados "sprokets", figura 11, estos permiten una precisa transmisión de movimiento. La selección de una transmisión de cadena y sprokets se basa en requerimientos de torque elevado y baja velocidad, debido a que el peso de la cadena provoca que la inercia producida por la fuerza centrífuga provoque chicoteo en la misma y se dañe.

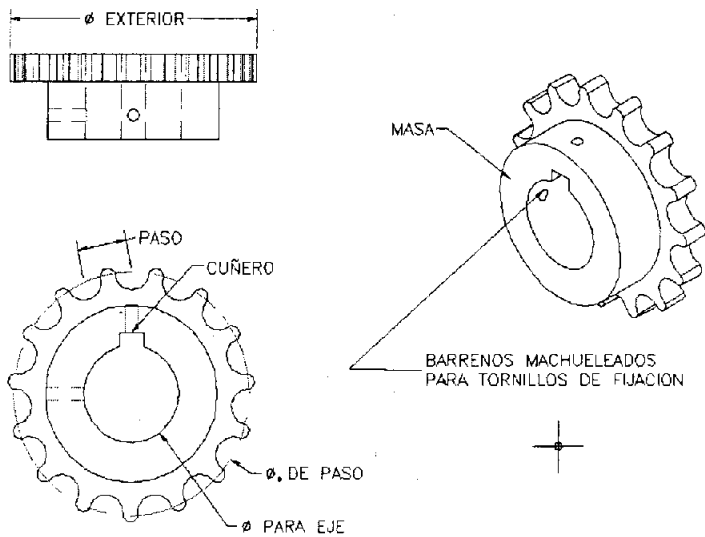


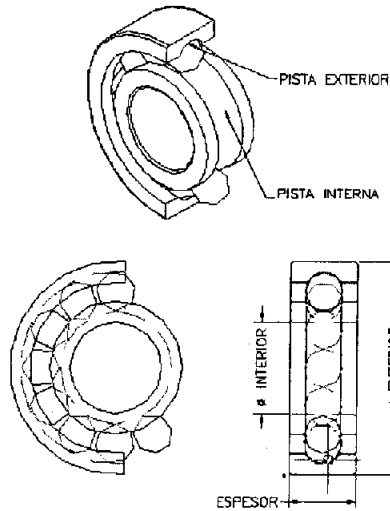
Figura 11. Impulsor de cadena o sproket.

Numero de Cadena	paso (pulg.)	Resistencia a la tracción (lb.)
36	3/8	2100
40	1/2	3700
50	5/8	6100
60	3/4	8500
80	1	14500
100	1 1/4	24000
120	1 1/2	34000
140	1 3/4	46000
160	2	58000
180	2 1/4	80000
200	2 1/2	95000
240	3	130000

Tabla 1. Pasos típicos en cadenas de rodillos. [6].

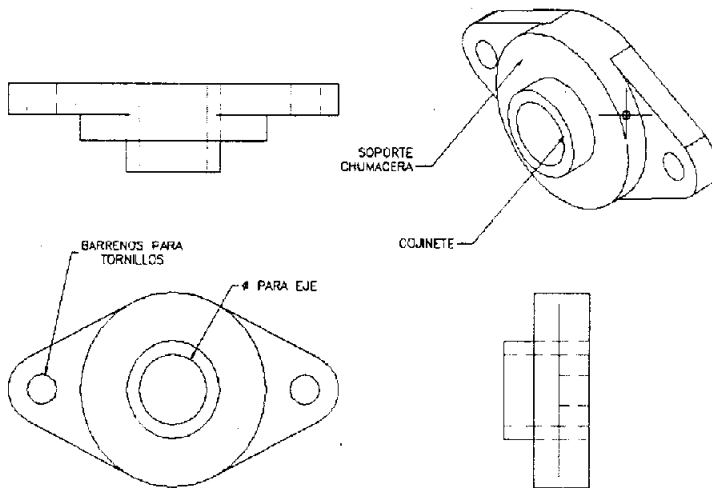
### 1.1.5.2. Rodamientos ó cojinetes.

Los rodamientos son elementos de maquinas diseñados para soportar una carga mientras permiten el movimiento relativo entre dos piezas de una maquina. Como se muestra en la figura 12, los rodamientos en su configuración más básica, constan de una carcasa formada por dos pistas que albergan con mínima tolerancia a las bolas. Las bolas son esferas metálicas endurecidas que permiten un deslizamiento suave y uniforme, además de que la carcasa debe mantenerse llena de lubricante.



**Figura 12.** Corte de un rodamiento de contacto radial con una hilera de bolas.

Los rodamientos mas usados en la industria son los de contacto radial de bolas, pueden tener una o dos hileras de bolas o cilindros, estos últimos permiten mayor carga pero no admiten un elevado desalineamiento relativo entre cojinetes. La aplicación típica de los cojinetes es soportar una flecha rotatoria, entonces, se planean cavidades con las dimensiones necesarias para alojar rigidamente al rodamiento, o bien, existen rodamientos montados en un cuerpo de hierro o acero fundido con barrenos para ser montados por medio de tornillos. La figura 13 muestra un rodamiento montado comúnmente llamado chumacera.



**Figura 13.** Rodamiento montado o chumacera.

### 1.1.5.3. Reductor de velocidad.

Para comprender el principio de operación de un reductor de velocidad, es necesario definir a los engranes. Un engrane es una rueda dentada diseñada para transmitir movimiento y potencia entre ejes, los dientes de un engrane se insertan con precisión en otro ejerciendo una fuerza perpendicular al radio del eje. La adecuada selección en cuanto a dimensiones y ordenamiento de los engranes permite variar la velocidad y el torque en un sistema según se requiera.

Un reductor de velocidad es una carcasa fabricada de fundición de hierro o aluminio, la cual contiene un tren de engranes de varios tamaños acoplados con el fin de disminuir la velocidad de entrada.

Los reductores de velocidad a menudo se utilizan para acoplar una unidad motriz, que puede ser un motor eléctrico o de combustión interna, a una maquina como se muestra en la figura 14. Cuando se diseña una maquina es importante definir parámetros como velocidad y potencia, difícilmente se encuentra en el mercado un motor que cumpla con los parámetros de diseño, entonces, la adecuada selección y ubicación de elementos de transmisión de potencia permiten obtener la velocidad y el torque requerido. El torque también es modificado por el reductor de velocidad ya que la potencia mecánica  $P_m$  queda definida por la siguiente ecuación:

$$P_m = \omega T \quad \dots(3)$$

Donde:

$P_m$  : es la potencia mecánica dada en  $\frac{N - m}{s}$

$\omega$  : es la velocidad angular  $\frac{\text{radianes}}{s}$ ;  $T$  : es el torque o par en  $N - m$

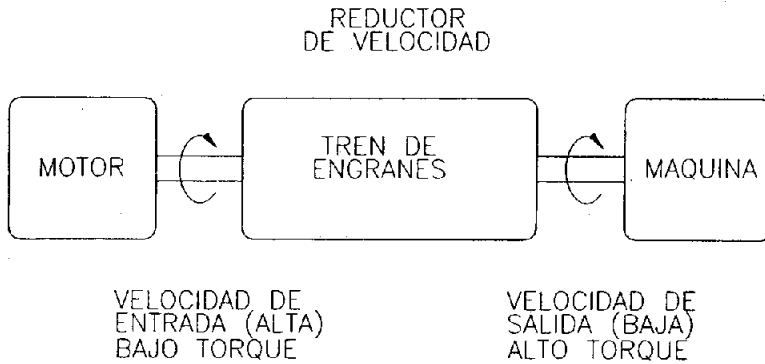
La relación de reducción de un reductor se define como el cociente entre la velocidad de entrada y la velocidad de salida. La eficiencia del reductor, es decir, el cociente de la potencia de entrada y la potencia de salida del mismo, se ve afectada por la relación de reducción, un reductor con una reducción alta implica una mayor cantidad de engranes involucrados en la reducción, y por consiguiente, mayor fricción.

$$\eta = \frac{P_{entrada}}{P_{salida}} \quad \dots(4)$$

Donde:

$\eta$  : es la eficiencia. Es adimensional y generalmente se especifica en porcentaje.

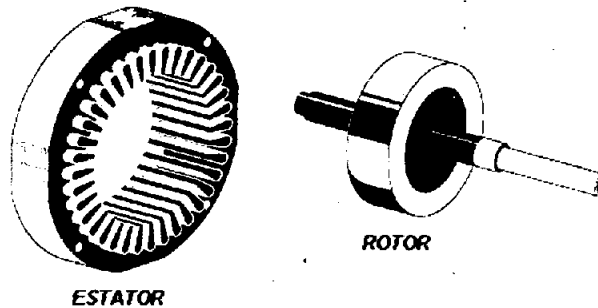
$P$  : es la potencia a la entrada y salida en un sistema.



**Figura 14.** Sistema motor-reductor-maquina.

#### 1.1.5.4. Motor eléctrico.

Un motor eléctrico es una maquina capaz de convertir energía eléctrica en mecánica. El motor más comúnmente utilizado en la industria es el de inducción, las dos partes activas de un motor de inducción son el estator o elemento fijo y el rotor o elemento móvil, figura 15. El estator tiene la forma de cilindro hueco y se encuentra fijo a la carcasa que es la cubierta que proporciona la protección física y da soporte al motor. El rotor se encuentra dentro del estator acoplado a la flecha la cual se encuentra fija mediante cojinetes fijos a la carcasa.



**Figura 15.** Rotor y estator de un motor eléctrico.

El estator esta integrado por un gran número de discos fijos llamados laminaciones, incluye una serie de ranuras en la parte interior, formando canales a lo largo del núcleo interior, a través de los canales pasan varias capas de alambre de cobre que se entrelazan para formar una serie de devanados continuos, conocidos como bobinas.

La forma o patrón de las bobinas en el estator determina el numero de polos, y estos a su vez la velocidad sincrona del motor.

La velocidad sincrona de un motor de corriente alterna esta relacionada con el



numero de polos eléctricos bobinados en el motor y la frecuencia (en México la frecuencia nominal es de 60 Hz).

$$\omega_s = \frac{120f}{p} [rpm] \quad \dots(5)$$

donde:

$\omega_s$ : Es la velocidad angular sincrona en revoluciones sobre minuto.

$f$ : Es la frecuencia en Hz.

$p$ : Es el numero de polos.

El rotor también tiene laminaciones colocadas una arriba de la otra con canales a lo largo de su longitud. Por lo regular los canales están rellenos con barras sólidas que se fabrican de un buen conductor como el cobre, con los extremos de todas las barras conectados a anillos continuos en cada extremo. En algunos rotores más pequeños, el conjunto completo de barras y anillos en los extremos se funden en aluminio como una unidad integral.

Como se ilustra en la figura 16, si esta pieza fundida fuera observada sin las laminaciones, su aspecto sería similar al de una jaula para ardillas. Por consiguiente, a los motores de inducción se les suele llamar motores de jaula de ardilla. La combinación de la jaula de ardillas y las laminaciones se fija en la flecha del motor con precisión para asegurar la alineación concéntrica con el estator y un buen equilibrio dinámico mientras gira.

Cuando el rotor se instala sobre los cojinetes en los que se apoya y se inserta dentro del estator, existe un pequeño hueco entre la superficie exterior del rotor y la superficie externa del estator,

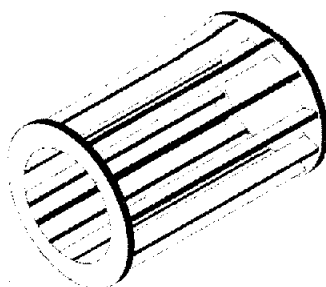


Figura 16. Rotor jaula de ardillas.

#### 1.1.5.4.1. Eficiencia.

La eficiencia o rendimiento de un motor eléctrico es una medida de su habilidad para convertir la potencia eléctrica que toma de la línea de alimentación, en

potencia mecánica útil, se expresa usualmente en porcentaje, matemáticamente es el resultado del cociente entre la potencia mecánica útil sobre la potencia eléctrica.

$$\eta = \frac{P_m}{P_e} \quad \dots(6)$$

Donde:

$P_m$ : Es la potencia mecánica útil en Watts.

$P_e$ : Es la potencia eléctrica suministrada en Watts.

$\eta$ : Es la eficiencia.

Un motor bien diseñado puede tener un precio de compra elevado, pero generalmente tendrá una mayor eficiencia que el de un motor estándar.

La tabla 2, considera a un motor eléctrico-marca ASEA de 4 polos. Es importante mencionar que siempre se consulten los datos de placa para cada motor en particular, ya que no son los mismos entre las diferentes marcas que se tienen en el mercado.

POTENCIA (HP)	MOTOR ASEA EFICIENCIA ESTANDAR	MOTOR ASEA ALTA EFICIENCIA
0.25	60.1%	60.2%
0.50	68.5%	76.1%
0.75	71.2%	76.5%
1	78.5%	75.5%
1.5	80.0%	82.5%
2	81.5%	84.0%
3	81.5%	85.5%
5	84.0%	87.5%
7.5	86.5%	88.5%

Tabla 2. Eficiencia en función de la potencia e un motor marca ASEA.

#### I.1.5.4.2. Aislamiento

Un parámetro importante a considerar es que un excesivo calor en el motor causara al paso del tiempo un deterioro prematuro en el embobinado.

aislamiento, rodamientos y lubricación.

El incremento de temperatura del motor durante su funcionamiento es el resultado de la fricción de los rodamientos, la carga mecánica y la resistencia eléctrica del estator. Las clases más comunes de aislamiento usados en motores eléctricos hasta el momento son clase "BII, clase "CII y clase "HII.

**a) Aislamiento Clase "B".**

Basado en una temperatura ambiente de 40 grados centígrados es adecuado para soportar un incremento de hasta 80 grados centígrados, esta clase de aislamiento es la común en los motores estándar.

**b) Aislamiento Clase "F".**

Basado en una temperatura ambiente de 40 grados centígrados es adecuado para soportar un incremento de hasta 105 grados centígrados.

**c) Aislamiento Clase "H".**

Basado en una temperatura ambiente de 40 grados centígrados es adecuado para soportar un incremento de hasta 125 grados centígrados, esta clase de aislamiento es la común en los motores para trabajar con inversor de frecuencia.

#### **I.1.5.4.3 Factor de servicio.**

El factor de servicio mostrado en los datos de placa de los motores indica la cantidad de sobrecarga continua a la que el motor puede ser sometido sin causa de daño, siempre que el voltaje y la frecuencia sean los mismos valores de placa del motor.

El motor puede ser sobrecargado hasta el caballaje que resulta de multiplicar el rango del caballaje indicado por el factor de servicio, cuando se opera a carga del factor de servicio el motor puede tener una eficiencia, factor de potencia y velocidad ligeramente diferentes a los mostrados en la placa.

Los motores están diseñados para operar a un voltaje de alimentación, para el caso de los motores marca ASEA a 220 V ó 440 V a 60 HZ y para los motores marca BALDOR a 230 V ó 460 V A 60 HZ, bajo condiciones nominales de operación se puede admitir una variación máxima en la tensión de alimentación de +/- 10% siempre y cuando se mantenga la frecuencia nominal de operación y que se presente por periodos cortos de tiempo pero si son prolongadas estas variaciones pueden dañar al motor o la vida útil del mismo.

Los valores indicados en las tablas de características de motores son válidos solo para condiciones de tensión y frecuencia nominal, cuando un motor tenga que ser operado en condiciones diferentes a éstas dentro los límites de variación

de tensión, se pueden esperar alteraciones en su comportamiento que pudiere afectar la operación deseada.

### **1.1.6 Principios del manejo de materiales.**

Dentro de un proceso productivo es necesario el movimiento de materiales, es importante aclarar que durante el transporte de materiales es poco el valor agregado que se le puede aprovechar a un elemento o equipo mecánico, por lo que un sistema de manejo de materiales será eficiente siempre y cuando se utilice la vía más corta y de menor esfuerzo o energía aplicado al mismo, [20].

Pero lo anterior tiene validez debido a que de nada sirve un producto en su lugar de fabricación, entonces el manejo de materiales se convierte en una herramienta logística, cuyo objetivo es crear una cadena de suministros que deben estar en el lugar y tiempo previamente especificado, con el objetivo de eficientar el sistema al que pertenecen.

El manejo de materiales requiere de un conocimiento preciso de las características físicas y químicas de los materiales a desplazar, con lo que se garantiza un manejo adecuado de los mismos, ya que es diferente el transporte de líquidos o polvos, por ejemplo si estos último se encuentran a granel o en bultos.

Existen cuatro factores que afectan a las decisiones sobre el manejo de los materiales: el tipo de sistema de producción, los productos que se van a manejar, el tipo de edificio dentro del cual se van a manejar los materiales y el costo de los dispositivos para el manejo de los mismos.

Una correcta selección de un equipo para el manejo de materiales, permite que un sistema productivo tenga siempre y a la mano el elemento o mecanismo que lo integre a su sitio. Con lo que se obtiene:

- Reducción de costos.
- Aumento de capacidad.
- Mejor distribución.

Los principios del manejo de materiales se enuncian a continuación:

1. Se deben hacer las distancias del transporte tan cortas como sea posible. Debido a que los movimientos más cortos requieren de menos tiempo y dinero que los movimientos largos.
2. Se debe de reducir el tiempo de permanencia en las terminales de una ruta tanto como se pueda.
3. Se deben de reducir los cruces y otros patrones que conducen a una congestión, tanto como lo permitan las instalaciones.
4. Se debe de minimizar el tiempo que se emplea en "transporte vacío". Pueden lograrse sustanciales ahorros si se pueden diseñar sistemas

para el manejo de materiales que solucionen el problema de ir o regresar sin una carga útil.

5. Se debe de considerar un aumento en la magnitud de las cargas unitarias disminuyendo la capacidad de carga, reduciendo la velocidad o adquiriendo un equipo más versátil.
6. Utilizar la gravedad, si no es posible tratar de encontrar otra fuente de potencia que sea igualmente confiable y barata.

#### **I.1.6.1 Transportadores**

El transportador es un aparato relativamente fijo diseñado para mover materiales, pueden tener la forma de bandas móviles: rodillos operados externamente o por medio de gravedad, [6].

Los transportadores tienen varias características que afectan sus aplicaciones en la industria. Primero son independientes de los trabajadores, es decir, se pueden colocar entre máquinas o entre edificios y el material colocado en un extremo llegará al otro sin intervención humana. Esta característica de independencia conduce a otro factor: se pueden usar los transportadores para fijar el ritmo de trabajo.

Otra característica de los transportadores es que siguen rutas fijas. Esto limita su flexibilidad y los hace adecuados para la producción en masa o en procesos de flujo continuo.

Una característica final de los transportadores es que proporcionan un método para el manejo de materiales mediante el cual los materiales no se extravían con facilidad.

## **1.2. Manufactura.**

"La Ingeniería de Manufactura es la ciencia que estudia los procesos de conformado y fabricación de componentes mecánicos con la adecuada precisión dimensional, así como de la maquinaria, herramientas y demás equipos necesarios para llevar a cabo la realización física de tales procesos, su automatización, planificación y verificación." [2]

La Ingeniería de Manufactura es una función que lleva acabo personal técnico, y esta relacionada con la planeación de los procesos de manufactura para la producción económica de productos de calidad. Su función principal es preparar la transición de los materiales desde las especificaciones de diseño hasta la manufactura de un producto físico. Su propósito general es optimizar la manufactura, el ámbito de la ingeniería de manufactura incluye muchas actividades y responsabilidades que dependen del tipo de operaciones de producción que se realizan. Entre las actividades usuales están las siguientes:

- 1) Planeación de los procesos
- 2) Solución de problemas y mejoramiento continuo.
- 3) Diseño para la capacidad de manufactura.

La planeación de procesos implica determinar los mas adecuados y el orden en el cual deben realizarse para producir una parte o producto determinado, estos se especifican en la ingeniería de diseño. El plan de procesos debe desarrollarse dentro de las limitaciones impuestas por el equipo de procesamiento disponible y la capacidad productiva.

### **1.2.1. Planeación de procesos.**

Tradicionalmente, la planeación de procesos la llevan acabo ingenieros en manufactura que conocen los procesos y son capaces de leer dibujos de ingeniería con base en su conocimiento, capacidad y experiencia. Desarrollan los pasos de procesamiento que se requieren en la secuencia más lógica para hacer cada parte. A continuación se mencionan algunos detalles y decisiones requeridas en la planeación de procesos.

- Procesos y secuencias.
- Selección del equipo.
- Herramientas, matrices, moldes, soporte y medidores.
- Herramientas de corte y condiciones de corte para las operaciones de maquinado.
- Métodos.
- Estándares de trabajo.
- Estimación de los costos de producción.
- Estimación de materiales.
- Distribución de planta y diseño de instalaciones.

Los procesos necesarios para manufacturar un elemento específico se determinan en gran parte por el material con que se fabrica. El diseñador selecciona el material con base en los requerimientos funcionales, una vez seleccionado el material, la elección de los procesos posibles se delimita considerablemente, los materiales en ingeniería se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Metales,
- Cerámicos,
- Polímeros,
- Materiales compuestos.

Una típica secuencia de procesamiento para fabricar una parte separada consiste en:

- 1.- Materia prima inicial,
- 2.- Procesos básicos,
- 3.- Procesos secundarios,
- 4.- Procesos para el mejoramiento de las propiedades,
- 5.- Operaciones de acabado.

Un proceso básico establece la geometría inicial de la parte. Entre ellos están la forja y el laminado de chapas metálicas. En la mayoría de los casos, la geometría inicial debe refinarse mediante una serie de procesos secundarios, estas operaciones transforman la forma básica en la geometría final. Hay una correlación entre los procesos secundarios que pueden usarse y el proceso básico que proporciona la forma inicial. La selección de ciertos procesos básicos reduce la necesidad de procesos secundarios gracias a que con el modelo se obtienen características geométricas detallada de dimensiones precisas.

Después de operaciones de conformado, por lo general se hacen operaciones para mejorar las propiedades mecánicas, en muchos casos, las partes no requieren estos pasos de mejoramiento de propiedades en su secuencia de procesamiento. Las operaciones de acabado son las últimas de la secuencia, por lo general proporcionan un recubrimiento en la superficie de la pieza con el fin de proteger o darle vista.

A continuación se menciona una clasificación típica de los procesos de conformado de materiales:

Procesos de conformación sin eliminación de material:

- Por fundición.
- Por deformación.

Procesos de conformación con eliminación de material:

- Por arranque de material en forma de viruta.
- Por abrasión.

Procesos de conformado de polímeros y derivados:

- Plásticos.
- Materiales compuestos.

Procesos de conformación por unión de partes:

- Por soldadura.

Procesos de medición y verificación dimensional:

- Tolerancias y ajustes.
- Medición dimensional.

### 1.2.2. Paileria.

Al proceso de conformado de lamina de metal se le llama paileria. Una lamina de acero se produce al hacer pasar una masa de material entre dos cilindros superpuestos girando en sentido inverso, operación que se realiza en caliente o en frío.

En las operaciones de doblado y curvado de la lamina se efectúa la deformación de la misma si variar su espesor inicial de la lamina, por lo tanto, la superficie total se mantiene constante.

El proceso de doblado de la lamina se realiza en prensas neumáticas en las cuales se monta el herramental, que costa de matriz y punzón, herramientas de material endurecido y con la geometría de la pieza que se desea obtener, la figura 17 esquematiza el proceso de doblado.

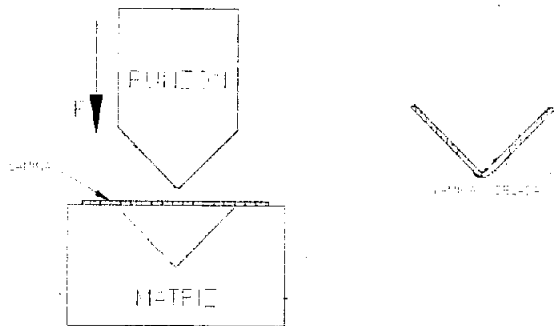
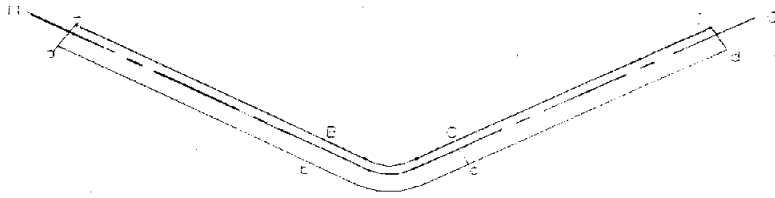


Figura 17. Matriz y punzón para el doblado de lamina.

Al doblar una lamina se provoca una compresión por el lado interno del doblado, mientras que la parte externa sufre un estiramiento, considere la lamina de la figura 18, la superficie comprendida entre B y C resulta comprimida, en cambio la superficie entre b y c resulta estirada. A medida que nos aproximamos por cada cara de la lamina hacia el centro, va disminuyendo la deformación hasta llegar a la línea MQ denominada fibra neutra, en la cual la lamina se ha doblado sin experimentar deformación.





**Figura 18.** Desarrollo de una pieza doblada.

Entonces, el desarrollo real de una pieza doblada, es decir, la longitud antes de deformarla se puede calcular con mucha aproximación si se conoce la posición de la fibra neutra.

Experimentalmente se ha comprobado que si el espesor de una lamina es menor a 1 mm, la fibra neutra se encuentra a la mitad de la lamina, si el espesor es mayor, la fibra neutra se localiza a  $1/3$  del espesor medido a partir de radio más pequeño, [4].

### **1.2.3. Procesos de conformado por arranque de material.**

Los procesos de conformado de materiales por arranque de material se realizan con herramienta de corte de un filo o de varios, las herramientas de un filo, figura 19, se utilizan principalmente en el torneado, las herramientas de mas de un filo se utilizan en el fresado y el taladrado principalmente.

El principio fundamental del corte de materiales radica en la diferencia de durezas entre la herramienta de corte y la pieza de trabajo, entre mas dura sea la pieza de trabajo, será necesario el empleo de una herramienta de corte aun más dura.

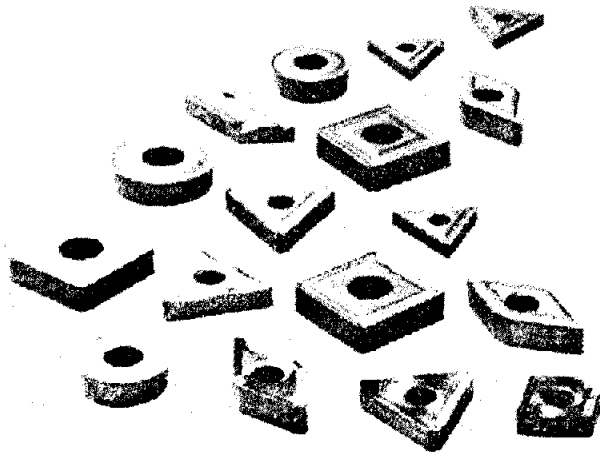


Figura 19. Insertos de corte o pastillas.

### 1.2.3.1. Torneado.

El torneado se realiza en una máquina herramienta llamada torno como el de la figura 20, esta máquina tiene una mordaza en la cual se fija la pieza de trabajo, la cual gira mientras la herramienta de corte es presionada contra ésta para producir el arranque de material.

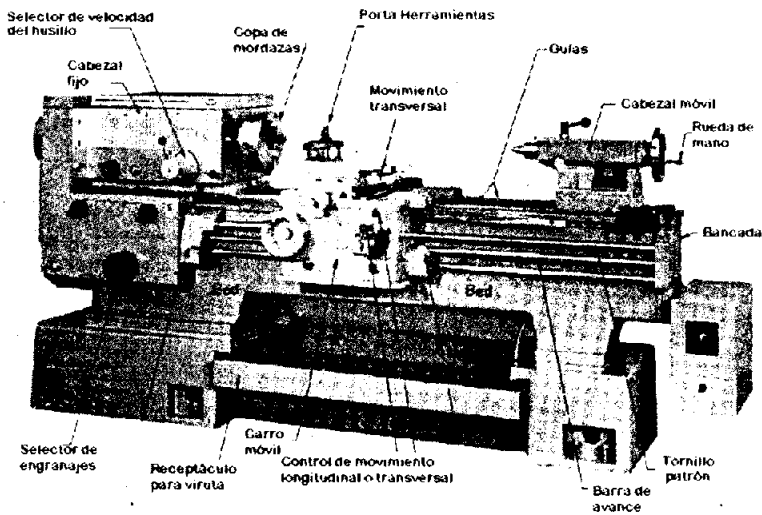


Figura 20. Torno.

Las operaciones principales en el torno son el cilindrado, careado y roscado o generación de filetes. El cilindrado es una operación de mecanizado que produce partes cilíndricas, tiene por objeto lograr una superficie cilíndrica de menor diámetro que la original, en forma básica, esta operación puede ser definida como el mecanizado de una superficie externa que es realizada con la pieza girando, con una herramienta de corte monofilos y con la herramienta de corte paralela al eje de la pieza a una distancia que removerá la superficie, lo anterior se ilustra en la figura 21.

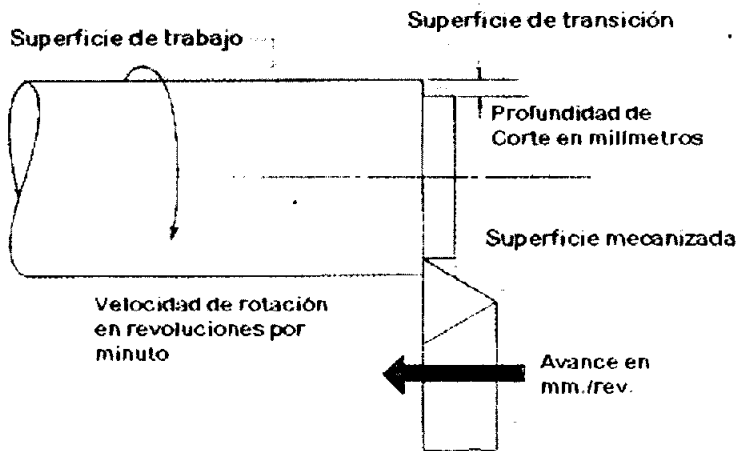


Figura 21. Esquema de la operación de torneado.

Según la figura anterior, en todo proceso de mecanizado podemos identificar tres superficies:

*Superficie de trabajo:* superficie que va a ser removida en el mecanizado.

*Superficie mecanizada:* superficie producida por la herramienta.

*Superficie de transición:* la parte de la superficie formada en la pieza por el filo y que será removida en la siguiente carrera o revolución.

#### 1.2.3.1.1. Refrentado.

Este proceso consiste en maquinarse una de las caras de la pieza cilíndrica para dejarla perfectamente plana. Esto se realiza moviendo la herramienta en dirección normal al eje de rotación de la pieza con respecto a la herramienta de corte, cabe mencionar que en este proceso se coloca con un cierto ángulo con respecto al eje de la pieza, ocupándose la misma herramienta usada para el cilindrado.

### 1.2.3.1.2. Roscado.

Este es un proceso en el cual se le da forma de rosca a una pieza cilíndrica, figura 22. Existen muchos métodos para producir roscas, pero el torno fue el primero en implementarlo y sigue siendo el más versátil y simple.

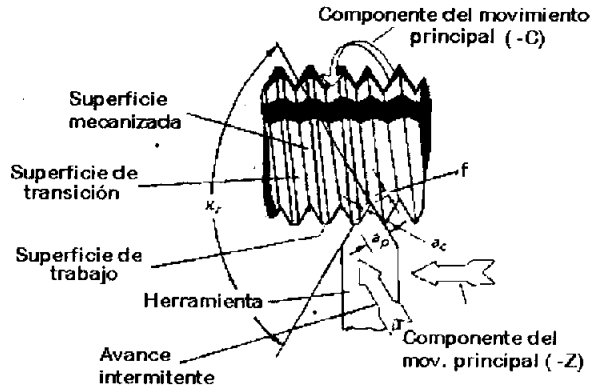


Figura 22. Esquema de generación de una rosca.

### 1.2.3.2. Taladrado.

Este proceso consiste en generar una superficie cilíndrica interior (agujero), por medio del uso de brocas en espiral, esta herramienta tiene dos filos como se muestra en la figura 23 y cada uno de ellos corta la mitad del material al dar un giro.

La velocidad de corte es máxima en el borde exterior del filo principal y cero en la punta de la broca, la cual tiene forma de un filo de cincel corto. Este último, al taladrar, fuerza al material hacia los lados para ser removido por los filos.

La calidad del orificio producido es principalmente determinada por las condiciones de los filos secundarios, siendo poco afectada por el estado de la punta. Es importante mencionar que la viruta formada por los filos toma una forma helicoidal y sale a través de las ranuras de la broca.

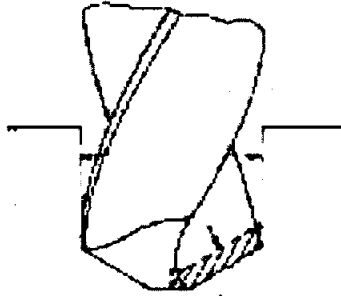


Figura 23. Herramienta de corte de dos filos (broca).

### 1.2.3.3. Fresado.

Este proceso consiste en arrancar material de una pieza haciéndola pasar por una herramienta multifilo. A diferencia del mecanizado en un torno, en la fresa se mueve la pieza a mecanizar y la herramienta permanece fija.

Toda herramienta para fresado queda definida por tres parámetros, según la nomenclatura  $A * B * C$ , donde A es el diámetro, B es el ancho y C es el número de dientes, la figura 24 muestran algunas herramientas para el fresado.

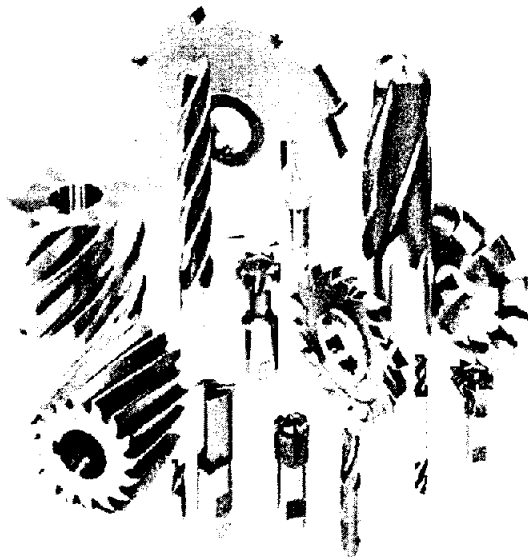


Figura 24. Herramientas multifilo (fresas).

El fresado se puede clasificar según la posición de la herramienta respecto del material de trabajo en:

**Fresado horizontal:** la superficie fresada es generada por los dientes localizados en la periferia del cuerpo cortante (herramienta). El eje de rotación de la herramienta está en un plano paralelo al de la superficie de la pieza de trabajo.

**Fresado vertical:** la herramienta es montada en un husillo, cuyo eje es perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo. Aquí la herramienta corta solo con una parte de sus dientes.

**Fresado superficial:** se puede confundir con el fresado vertical, la diferencia radica en que la superficie de la herramienta en contacto con el material no es plana (fresado vertical), sino que tiene filo con formas diversas. Todos estos procesos se muestran en la figura 25.

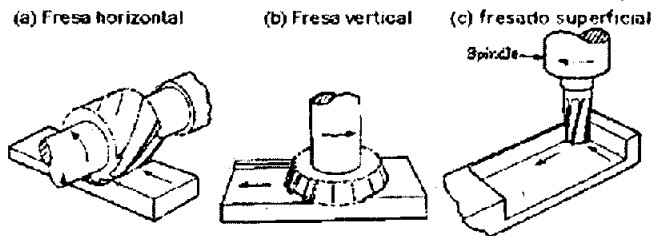


Figura 25. Tipos de fresado.

#### 1.2.4. Procesos de unión.

La mayoría de los productos que se fabrican en la actualidad están formados por más de una pieza, en algunos casos estas piezas deben sujetarse con rigidez y en otros se requiere una sujeción en una posición específica, en donde este libre para moverse. Los métodos de unión deben de tomar en cuenta la necesidad de desarmar el producto para darle servicio o reemplazar piezas, y a veces, se debe permitir el ajuste de la posición de una pieza para compensar el desgaste normal debido al uso de la misma.

La necesidad de unir y sujetar se satisface con técnicas y dispositivos para unión o sujeción permanente o temporal. El ingeniero debe conocer las características, ventajas y limitaciones de todas las técnicas y dispositivos para unión para seleccionar la más adecuada en una aplicación específica.

Los procesos de unión constan de dos categorías: cohesión y adhesión. Un ejemplo común de cohesión es la soldadura, en la cual se fusionan dos o más piezas entre sí para formar una pieza continua o monolítica. La cohesión se utiliza en muchos procesos industriales, particularmente en metales. La adherencia difiere de la soldadura porque utiliza una sustancia totalmente diferente en su

composición de las piezas por unir o adherirse. La adherencia incluye pegamentos, soldadura con latón o soldadura blanda.

La sujeción mecánica tiene dos tipos generales: juntas y sujetadores. Las juntas son la configuración mecánica de las piezas para que queden soportadas o retenidas por interferencia física e incluyen costuras y ensamblaje.

El grupo de sujetadores mecánicos incluye todos los tipos de tornillos, pasadores (pernos), clavos, grapas, remaches (roblones), para unir dos o más piezas por medio de una pieza separada, que es el sujetador, sus ventajas son la adaptabilidad en términos de tamaño, forma, costo y facilidad de ensamblar con herramientas comunes. Otro factor puede ser la facilidad para dar servicio o reparación.

#### 1.2.4.1. Sujetadores roscados.

Los sujetadores roscados son cualquier dispositivo mecánico que utiliza el principio del plano circular inclinado para aplicar presión. Este grupo incluye una gran variedad, como son: los tornillos de rosca helicoidal para madera, plásticos y lámina metálica, tornillos roscados (pernos), tornillos de maquina y tuercas. En la figura 26 se ilustra la nomenclatura de un sujetador roscado.

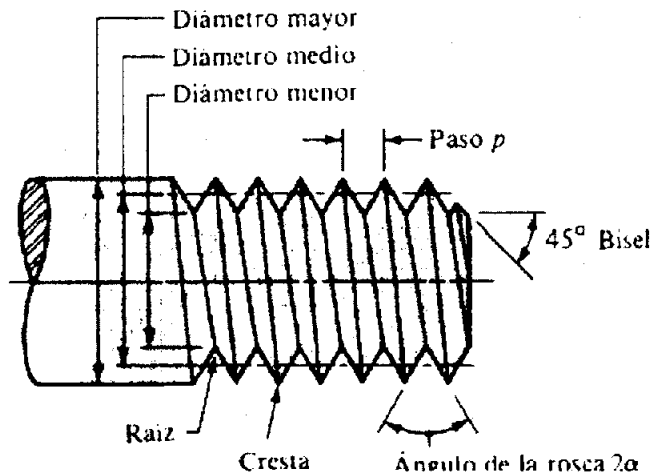


Figura 26. Sujetador roscado.

#### 1.2.4.2. Remaches (roblones).

Los remaches son sujetadores metálicos que no tiene roscas ni cabezas ranuradas, se suelen hacer con metales dúctiles y maleables para poder

trabajarlos con facilidad, se colocan en agujeros taladrados o punzonados y se ensancha el cuerpo contra los lados del agujero, después se remacha la punta para formarle una ceja pequeña.

Los remaches tienen hasta  $\frac{1}{4}$ " de diámetro, los roblones tienen un diámetro mayor a  $\frac{1}{4}$ ". Aunque la soldadura a remplazado en muchos casos a los roblones, se siguen utilizando en materiales difíciles de soldar como en lámina, también son excelentes para sujetar materiales plásticos, madera o cuero. Los remaches especiales y las maquinas remachadoras hacen posible un método rápido de sujeción, además de fuerte y económico.

#### **1.2.4.3. Retenes.**

Este termino incluye cualquier dispositivo utilizado para mantener una pieza en su lugar, por ejemplo para alinear una polea, en un eje, evitar que un eje gire dentro de un engrane, impedir que una polea se deslice de su lugar e incluso mantener juntos los alambre de un grupo.

#### **1.2.4.4. Pasadores.**

La mayoría de los pasadores se introducen en un eje o bien atraviesan la masa de un engrane, pueden ser rectos o cónicos. El pasador recto se suele hacer de una laminación a fin de que se expanda para asentar con mas firmeza contra las paredes de un agujero. También existen pasadores destinados a fallar con el esfuerzo con el fin de protege el eje o él engrane.

#### **1.2.4.5. Cuñas o chavetas.**

Se utilizan para mantener a los engranes, poleas y piezas rotatorias fijas a un eje. Se colocan en un cuñero en el eje y en una ranura en la pieza. Estas ayudan a transmitir la potencia mientras que el eje y la pieza no pueden girar de manera independiente.

#### **1.2.4.6. Bujes (casquillos).**

Su aplicación básica es proporcionar una superficie de apoyo para ejes rotatorios o para alinear y centrar piezas fijas, se suelen fabricar de materiales más dúctiles que los ejes con el fin de proporcionar una zona de desgaste, su fijación es por medio de un ajuste con interferencia.

#### **1.2.4.7. Soldadura.**



Soldar significa unir sólida y permanentemente dos o más piezas, la unios se realiza a alta temperatura con o sin aporte de material. La soldadura puede clasificarse en homogénea y heterogénea, en la primera las piezas a unir y el material de aporte tiene las mismas propiedades mecánicas, en la soldadura heterogénea, el material de aporte y las piezas a unir son de distinta naturaleza. Si la soldadura se efectúa sin aporte de material se denomina autógena.

#### 1.2.4.7.1. Soldadura por arco eléctrico.

La soldadura por arco eléctrico se realiza utilizando el calor producido al saltar un arco eléctrico entre dos conductores de distinta polaridad. Cuando se ponen en contacto los polos opuestos de un generador o fuente de energía, se establece una corriente eléctrica de gran intensidad, la zona de contacto es la que tiene mayor resistencia, además de que el aire que rodea la esta zona se ioniza y prácticamente se convierte en un conductor, figura 27, de esta manera al separar ligeramente los polos es posible mantener el arco. La tensión necesaria para mantener el arco es de 40 V por centímetro de separación entre los electrodos.

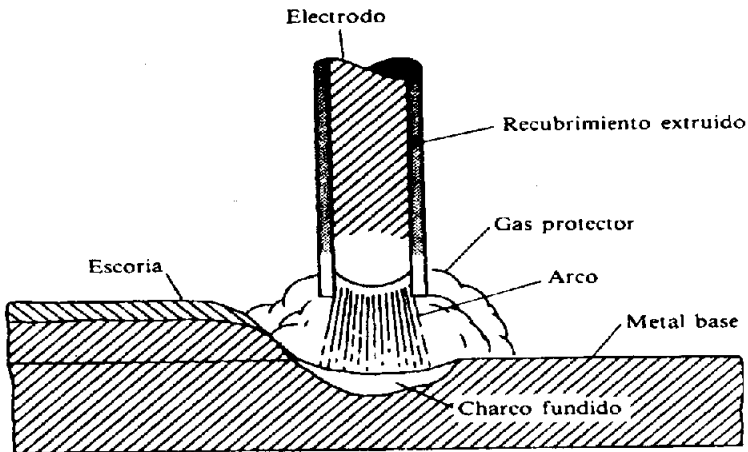


Figura 27. Formación del arco eléctrico.

La soldadura por arco se realiza con electrodos de carbón o metálicos, los electrodos están formados por una varilla de acero calibrada, cubierta por una capa concéntrica de minerales adecuados al tipo de soldadura, dicho recubrimiento tiene las siguientes finalidades:

- Favorece el encendido del arco y su estabilidad debido a las sustancias ionizantes de que se compone.

- b) Mejora las características mecánicas del metal depositado en la soldadura debido a las sustancias desoxidantes y protectoras contra la acción del nitrógeno del aire.

En el proceso de soldadura por arco eléctrico se alcanza temperaturas superiores a 3000°C que funden el material del electrodo debido al campo electromagnético formado, el metal de aporte es forzado a depositarse en el metal base, por lo que es posible realizar soldaduras contra la gravedad y a su vez el recubrimiento del electrodo formado por minerales inertes se funde y alcanza la superficie del material líquido que al enfriarse forma una costra protectora de la soldadura mientras se enfría, el gas que se desprende del arco se debe al recubrimiento que forma una barrera protectora al depósito del metal, para evitar que se mezcle con aire (hidrógeno) y quede porosa la soldadura.

Una vez enfriado el cordón, es necesario retirar la "cáscara" para revisar o bien para aplicar un siguiente cordón.

#### 1.2.4.7.2 Clasificación de la soldadura.

- Filete: el cordón está formado en su sección transversal por un ángulo. Este tipo de soldadura sirve para unir dos piezas no alineadas entre sí y por ser este caso muy común en la conexión de miembros estructurales, se emplea en el 80% de los casos.
- Soldadura por penetración: figura 28, Se obtienen depositando material de aporte entre los bordes de dos placas que pueden estar alineadas en el mismo plano.

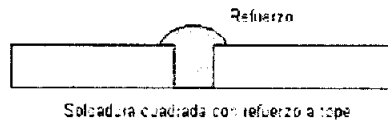


Figura 28. Soldadura de penetración.

- Penetración parcial: figura 29, cuando la soldadura no penetra totalmente las placas o cuando una placa es más delgada que la otra.

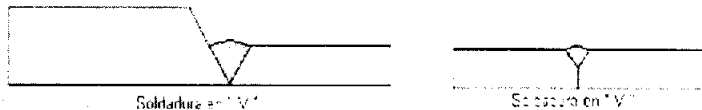


Figura 29. Penetración parcial.

- Penetración completa: figura 30, la soldadura atraviesa todo el espesor de las placas (iguales).



Figura 30. Soldadura de penetración.

Esta soldadura se prefiere cuando las placas o elementos planos deben quedar en el mismo plano.

- Soldadura de tapón y ranura: figura 31, se hacen en placas traslapadas, rellenando por completo con metal de aportación un agujero circular (tapón) o alargado (ranura) hecho en una de ellas y teniendo como fondo la otra placa.

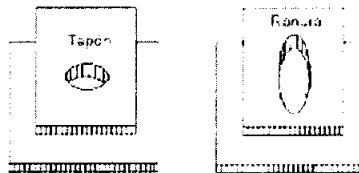


Figura 31. Soldadura de tapón.

Se emplean cuando la longitud de filete no es suficiente para proporcionar toda la resistencia de la conexión.

#### 1.2.4.8 Ajustes y tolerancias.

Durante el diseño de elementos mecánicos, es importante considerar que de la correcta interacción de éste con las demás piezas constituyentes de una máquina, depende la funcionalidad de la misma. Por lo anterior los ingenieros diseñan elementos por resistencia primero y por geometría después, esto es, que las dimensiones de cada pieza permitan un correcto ensamble.

Es importante señalar que toda actividad humana lleva intrínsecamente un factor de incertidumbre ya sea de apreciación, o bien por los instrumentos de medición. Cabe señalar que medir significa comparar una dimensión estándar conocida con una dimensión que necesitamos conocer.

Las piezas mecánicas en ingeniería se diseñan tomando en cuenta ese factor de incertidumbre y especificando en los planos de fabricación, un correcto margen que permita absorber las desviaciones propias del proceso de fabricación, técnicamente llamado tolerancia, cuando la tolerancia tiende a cero se diseñan

elemento dimensionalmente precisos, siendo la precisión el grado de exactitud de la pieza contra la dimensión teórica de diseño.

Por otra parte, el termino ajuste se refiere a las operaciones de taller que permiten aproximarnos con la mínima desviación al tamaño teórico de diseño. Los ajustes pueden ser de deslizamiento o interferencia, todo depende de la función de la pieza.

El montaje de elementos de transmisión de potencia es una situación típica en la que se deben considerar los ajustes y tolerancias. Por ejemplo una polea o un engrane, se diseña con un diámetro interior que permita un ensamble de deslizamiento para colocarla hasta su posición en el eje, pero un ajuste demasiado flojo provocara que una vez trabajando se produzca ruido, por otro lado, el ajuste de un eje con un rotor de turbina que trabajara a altas velocidades se diseña con un ajuste de interferencia con el fin de evitar vibraciones.

Para seleccionar la tolerancia optima, es importante tomar en cuenta la capacidad del equipo técnico y maquinaria que realizará el proceso de fabricación desde un punto de vista realista, es decir, especificar un ajuste funcional que pueda lograrse con la infraestructura con que se cuente y con el conocimiento previo de la proporcionalidad entre precisión y economía, ya que una tolerancia bastante cerrada lleva un mayor tiempo para alcanzarse y demanda de maquinaria y equipo en excelentes condiciones.

Los ajustes y tolerancias se encuentran normalizados, lo anterior con el fin de que los planos de fabricación de una pieza puedan reproducirse en cualquier parte del mundo, con la geometría que le permita funcionar de acuerdo a las especificaciones de diseño. Para especificar el ajuste optimo se recomienda consultar la norma ANSI (American National Standards Institute), [14].

La adecuada selección de los procesos de unión y ensamble de elementos mecánicos, depende de diversos factores que van desde la capacidad de producción, la selección de materiales (tomando en cuenta las propiedades mecánicas y características de los mismos), la funcionalidad ó expectativa que se tenga del producto terminado y por supuesto, que el proceso resulte ser sencillo y económicamente viable.

### **1.2.5. Producción económica**

EL costo de un producto depende de las inversiones que se generan en cuanto al consumo de materias primas, maquinas, mano de obra y otros gastos generales.

Maquinaria, mano de obra = costos independientes

Materiales, materias primas = costos principales.

Puede afirmarse que el objetivo de una producción económica radica en generar un producto bajo cierto beneficio, esto es, que el costo debe ser aceptable y competitivo, también debe existir una demanda para el producto o más aun, esta demanda debe crearse.

Desde que se empezaron a utilizar maquinas-herramientas, siempre ha habido un gradual pero constante avance hacia la construcción de maquinaria más eficiente, ya sea combinando operaciones o haciéndolas más independientes de la operación humana, reduciendo los tiempos de maquinado y el costo de mano de obra. Algunas se han convertido en maquinas completamente automáticas con sistemas de control cada vez más complejos pero más fáciles de operar.

Esto ha hecho que se alcance grandes volúmenes de producción aun costo de mano de obra cada vez mas bajo. Lo que es esencial para cualquier sociedad que desea gozar de un alto nivel de vida. El desarrollo de maquinas de alta producción va acompañado del concepto de calidad de manufactura. La calidad y la precisión en las operaciones de manufactura, demandan la existencia permanente de un control geométrico severo sobre las piezas que se pretenden sean intercambiables y que ofrezcan mejor servicio durante su operación.

A continuación se mencionan algunos criterios fundamentales que determinaban una producción económicamente viable.

- 1.- Un proyecto funcional lo más simple posible y de una calidad estética apropiada.
- 2.- La selección de un material que represente la mejor relación entre las propiedades físicas, su aspecto exterior, costo y factibilidad para trabajarlo.
- 3.- La selección de los procesos de manufactura para fabricar el producto se selecciona con el fin de que con ello se obtenga la necesaria exactitud y rugosidad, aun costo unitario lo mas bajo posible.

## II. Máquina Desespinaadora de Tunas.

México, con una superficie de 49 000 hectáreas de terreno cultivado con nopal tunero en sus 6 variedades y un rendimiento de 9.8 toneladas por hectárea, es el primer productor de tuna en el mundo, [19].

"Nopal es el nombre común de las plantas de un género de la familia de las cactáceas. Se distribuye por toda América tropical y la región mediterránea. Existen alrededor de 150 especies americanas, propias de lugares cálidos y semidesérticos. Se caracterizan por tener tallos o pencas planas en forma de paletas, cubiertos de pequeños agrupamientos de pelos rígidos llamados gloquidios y, por lo general, también de espinas. Las flores amarillas y rojas, de gran tamaño, dan lugar a un fruto verrucoso piriforme llamado tuna", [11].

En el estado de México se concentra cerca del 60% de la producción tunera del país. [19]. Es aquí donde comienza nuestro trabajo de investigación, específicamente en el pueblo de Santiago Tolman, en este lugar se realizó una investigación de campo con el fin de obtener además de los datos recavados en documentos y artículos, las necesidades reales de la gente que esta directamente involucrada en la producción del nopal de tuna.

Es falso el dicho que reza: "*al nopal solo se le visita cuando tiene tunas*". El proceso de producción de tuna involucra una serie de etapas que van desde la selección y siembra de la planta previa preparación del suelo; espera de dos a tres años tiempo que tarda la planta en madurar, durante el cual es necesario eliminar la hierba nociva, aplicar productos químicos para prever las plagas y abonar periódicamente las plantas.

Para que la fruta este en condiciones de ser vendida, es necesario que tenga las características mínimas que le permitan al proceso ser redituable. La tuna con mejor valor debe ser de buen tamaño, libre de espinas y sin maltrato, ya que éste reduce el tiempo de vida de la fruta.

La presente investigación se centra solo en la eliminación de espina de la fruta y el manejo adecuado para evitar dañarla. El proceso más efectivo hasta el momento es el desespinado manual, el proceso comienza con la selección y corte de la fruta, después es depositada en una cama de paja para posteriormente ser tallada con una escoba. El grado de eliminación depende del tiempo dedicado al proceso, el tiempo promedio se estimo con base en un análisis de operaciones y resultado de 5 minutos por caja (una caja contiene 100 tunas o 16 kg.).

La temporada de tuna se concentra en 12 semanas y empieza a finales de mayo. Un productor promedio cosecha 150 cajas de tuna por día durante este tiempo.

Las figuras 32, 33 y 34 muestran el proceso de selección corte y limpieza de la fruta, es importante observar la poca protección con que cuentan las persona que realizan esta actividad.



**Figura 32.** Selección y corte de la tuna.



**Figura 33.** Depositado de la fruta en la cama de paja.



**Figura 34.** Desespinado de la tuna (proceso tradicional).

En la zona de estudio se cuenta con aproximadamente 30 máquinas desespadoras de fabricación hechiza, aunque no conocemos el sistema con que trabajan, es posible evaluar la calidad del producto que realizan, la fruta procesada por ellas queda con un desespinado aceptable, pero el daño que se le provoca a la fruta es tal, que acelera el proceso de maduración de la fruta hasta en un 50%, con las subsecuentes pérdidas económicas.

Las máquinas de línea de las que se tiene información son de origen italiano, la figura 35 muestra una cepilladora para higos chumbos (higo chumbo es el nombre que se le da a la tuna en Italia y España). Estas máquinas son fabricadas por la empresa AGRIMAT pero en la zona de estudio no se cuenta con este tipo de equipos, [22].





**Figura 35. AGRILUX 4000 SPECIAL para higos chumbos con cepillos superiores motorizados, aspirador centrífugo inferior y cinta motorizada de empuje en la entrada.**

Por lo anterior la inquietud de desarrollar un sistema nacional que optimice el desespinado de la tuna, mejore su aspecto, eleve su precio y genere en los productores la necesidad de modernizar tanto sus procesos de cultivo y cosecha, como la de adquirir elementos que mejoren la calidad de sus productos.

Se diseñó un prototipo funcional pensado en un productor con la capacidad de producción mencionada, empleando una estrategia fortuita durante el desarrollo de la etapa creativa del proyecto, realizando visitas a la zona de estudio y reuniones de trabajo en las cuales mediante la técnica "Brainstorming"; los datos recopilados, las pruebas realizadas; los comentarios y sugerencias hechos por los productores, son analizados desde un punto de vista crítico, lógico y científico para transformarlos en la información técnica que regirá el proyecto desde la planeación, diseño, fabricación, hasta la puesta en marcha del prototipo.

Se conformó un equipo de trabajo integrado por cuatro estudiantes de ingeniería, de los cuales dos son mecánicos, uno industrial y el otro electricista. Se realizó un levantamiento en papel de las ideas que surgieron, la depuración de las más viables llevo al equipo a planear pruebas que simularan el proceso de desespinado manual por cepillado.

### **II.1 Dimensiones de la tuna.**

La geometría de la tuna es cercana a la de un huevo, por lo que se puede caracterizar a partir del diámetro " $d$ " en su parte media y de la longitud  $l$  total " $l$ " de la misma, figura 35.

Para tal efecto, se realizó un muestreo de la cosecha del 29 de julio del 2004 en la huerta del Sr. Gregorio Rojas, se seleccionaron 20 tunas que representaron el 0.20% del total de fruta cosechada ese día, los datos se muestran en la tabla 3.

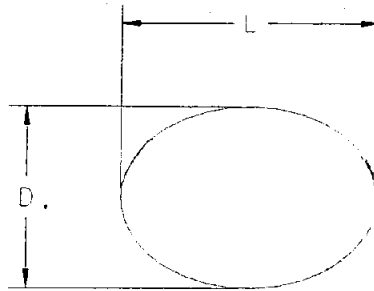


Figura 35. Geometría de la tuna.

<i>n</i>	<i>d</i>	<i>l</i>
1	1.50	2.50
2	1.75	3.00
3	2.75	2.75
4	1.50	2.75
5	2.00	2.75
6	2.00	2.50
7	2.00	2.75
8	1.75	2.75
9	2.00	3.00
10	2.00	2.75
11	1.75	3.00
12	1.50	2.50
13	1.50	2.75
14	2.75	2.70
15	1.75	2.75
16	2.00	2.75
17	2.00	3.00
18	2.00	2.75
19	2.00	2.75
20	2.00	2.55

Tabla 3. Dimensiones *d* y *l* de la fruta (en pulgadas).

En los datos de la tabla 3 y de las figuras 33 y 34, se observa que el tamaño de la fruta es irregular, por lo que a partir de las dimensiones tomadas se realizó un ajuste de datos por regresión para conocer la relación entre el diámetro y la longitud de la tuna.

Se propone el siguiente modelo matemático, se espera una función lineal.

$$\begin{aligned} na_0 + a_1 \sum d &= \sum l \\ a_0 \sum d + a_1 \sum d^2 &= \sum dl \end{aligned} \quad \dots(7)$$

Donde:

$a_0, a_1$ : Son las constantes a encontrar para definir el modelo:  $l(d) = a_0 + a_1 d$

$d$ : Es el diámetro de la tuna medido en pulgadas.

$l$ : Es la longitud medida en pulgadas.

$n$ : El tamaño de la muestra.

En la tabla 4 se realizan los cálculos para definir éste modelo.

$n$	$d$	$l$	$d^2$	$dl$
1	1.50	2.50	2.2500	3.7500
2	1.75	3.00	3.0625	5.2500
3	2.75	2.75	7.5625	7.5625
4	1.50	2.75	2.2500	4.1250
5	2.00	2.75	4.0000	5.5000
6	2.00	2.50	4.0000	5.0000
7	2.00	2.75	4.0000	5.5000
8	1.75	2.75	3.0625	4.8125
9	2.00	3.00	4.0000	6.0000
10	2.00	2.75	4.0000	5.5000
11	1.75	3.00	3.0625	5.2500
12	1.50	2.50	2.2500	3.7500
13	1.50	2.75	2.2500	4.1250
14	2.75	2.70	7.2625	7.4250
15	1.75	2.75	3.0625	4.8125
16	2.00	2.75	4.0000	5.5000
17	2.00	3.00	4.0000	6.0000
18	2.00	2.75	4.0000	5.5000
19	2.00	2.75	4.0000	5.5000
20	2.00	2.55	4.0000	5.1000
$\Sigma$	38,50	55,00	93,5000	106,0000

Tabla 4. Cálculos para definir (7). Las dimensiones están en pulgadas.

Los datos de la tabla 4 se sustituyen en el modelo (7) y se resuelve el sistema de ecuaciones con dos incógnitas:

$$20a_0 + a_1 38.50 = 55$$

$$a_0 38.5 - a_1 93.5 = 106$$

$$a_0 = 2.7378$$

$$a_1 = 6.3056 \times 10^{-3}$$

Finalmente:

$$l(d) = 2.7378 + 6.3056 \times 10^{-3} d$$

Este modelo describe con suficiente precisión la relación entre el diámetro y la longitud de la fruta, lo que nos permite trabajar sobre un tamaño estándar de tuna.

La gráfica de la figura 36 muestra la longitud y diámetro promedio de la fruta:

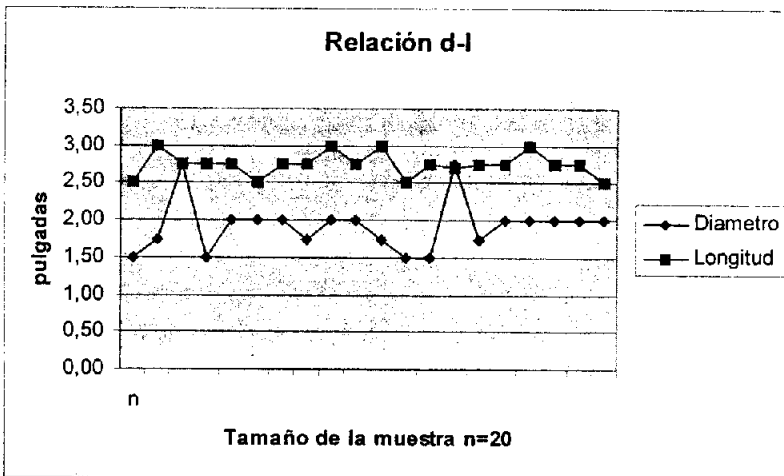


Figura 36. Diámetro y longitud promedio de la fruta.

El diámetro promedio de la fruta es de 1.925" según la tabla 3, y sustituyendo este valor en el modelo propuesto se obtiene la longitud de una tuna estándar.

$$d = \frac{\sum_{j=1}^{i=n} d}{n} \quad \dots(8)$$

Donde:  $d$  y  $n$  quedan definidos en la tabla 3.

$$d = \frac{38.5}{20} = 1.925 [pulg]$$

El diámetro promedio  $d$  en (7):

$$l(1.925) = 2.7378 + 6.3056 \times 10^{-3} \times 1.925$$

$$l = 2.75 [pulg]$$

La figura 37 muestra las dimensiones de una tuna ideal sobre la que se trabajó en el desarrollo del presente trabajo.

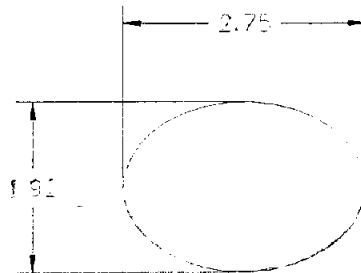


Figura 37. Dimensiones de una tuna ideal en pulgadas.

## II.2 Diseño y evaluación del prototipo.

Una vez que se determinó la geometría de la tuna y se conocen los procesos convencionales de desespinado de la misma, se procede al diseño de un sistema que realice el cepillado, el cual, debe contar con las características de calidad y funcionalidad descritas a lo largo de la presente investigación, se analizan dos diseños como alternativas de solución.

**Alternativa "A":** Máquina desespinaadora con cepillos giratorios y sistema de avance de fruta por plano inclinado. El prototipo tiene una estructura en la cual se monta una serie de cepillos con movimiento angular, la fruta rueda sobre un plano inclinado ubicado bajo los cepillos.

**Alternativa "B":** Máquina desespinaadora con cepillos giratorios y sistema de avance de fruta por transportador. En este caso la fruta se desplaza de manera horizontal con la ayuda de un transportador que obliga a la fruta a desplazarse bajo los cepillos en lugar de depender de la fuerza de gravedad como en la alternativa "A".

## II.2.1 Planeación económica.

A continuación se comparan las alternativas para decidir cual resulta más viable tanto técnica como económicamente.

Es importante mencionar que ambas alternativas solo difieren en la manera en que la fruta se hace pasar por los cepillos, se puede simplificar el análisis económico si al costo de la alternativa "A" restamos los costos relativos al diseño y fabricación del trasportador de la alternativa "B".

Como se acoto al inicio de este capitulo, la capacidad de producción de tuna en el estado de México garantiza la futura comercialización del proyecto, por lo que el análisis de mercado se reduce a la cantidad de máquinas que se pueden fabricar.

De esta manera y considerando que el equipo de trabajo no tiene la maquinaria ni la capacidad instalada para la fabricación del prototipo, se determino subcontratar en talleres especializados el maquinado de los elementos. Solo se trabajará en el ensamble de los componentes.

En las tablas 5 y 6 se muestran los costos de fabricación de ambas alternativas.

<b>Costo fijos</b>	Materiales.	\$ 6 000.00	
	Mano de obra.	\$12 000.00	
	Equipo de fuerza.	\$ 7 000.00	
	Equipo de control.	\$ 5 500.00	
	Subcontratos	\$ 11 500.00	\$42 000.00
<b>Costos variables</b>		\$ 8 500.00	
	Ingeniería	\$32 000.00	\$40 500.00
<b>Total.</b>			\$82 500.00

Tabla 5. Costos de diseño y fabricación de la alternativa "A".

<b>Costo fijos</b>	Materiales.	\$10 000.00	
	Mano de obra.	\$12 000.00	
	Equipo de fuerza.	\$14 000.00	
	Equipo de control.	\$ 5 500.00	
	Subcontratos	\$ 11 500.00	\$53 000.00
<b>Costos variables</b>		\$ 8 500.00	
	Ingeniería	\$32 000.00	\$40 500.00
<b>Total.</b>			\$93 500.00

**Tabla 6.** Costos de diseño y fabricación de la alternativa "B".

Antes de continuar con el análisis económico, es importante determinar el precio de venta, para conocerlo se tomaran en cuenta los costos totales menos los costos de ingeniería, el costo de ingeniería se recuperara gradualmente en la etapa de comercialización.

#### II.2.1.1 Tasa mínima aceptable de rendimiento.

La TMAR se calcula a partir del pronóstico de inflación, debido a que una inversión de este tipo, además de resolver un problema debe proporcionar un beneficio económico, la TMAR es la suma de la inflación y el premio al riesgo, el cual depende de la utilidad que se demande al proyecto. La tabla 7 muestra el comportamiento de la inflación en los últimos 10 años.

	<b>AÑO</b>	<b>%inflación</b>
1	2004	5.16
2	2003	3.98
3	2002	5.7
4	2001	4.4
5	2000	8.96
6	1999	12.32
7	1998	18.61
8	1997	15.72
9	1996	27.7
10	1995	61.97
<b>Pronostico</b>		<b>16.452</b>

**Tabla 7.** Comportamiento de la inflación.

Debido a que un pronostico inflacionario involucra un análisis a nivel macroeconómico, solo se tomo en cuenta el promedio de la muestra, la TMAR con la que se realiza el análisis económico es del 25%, que es la utilidad que demandaremos al proyecto menos el pronostico (promedio) de la inflación.

El precio de venta es entonces:

$$PV = (CF + CV)1.25 \quad \dots(9)$$

Donde:

PV es el precio de venta (en el año cero)

CF costos fijos

CV costos variables.

$$PV = \$ 76 875.00$$

### II.2.1.2 Punto de equilibrio.

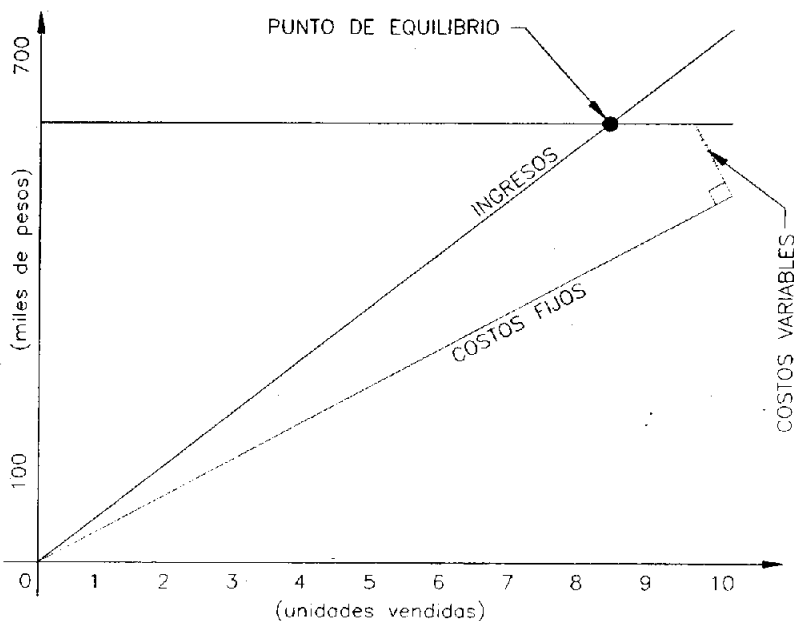
Se realiza un análisis de inversión con ayuda del método "Punto de Equilibrio", posteriormente se planea la fabricación de máquinas en un periodo de 3 años.

En la tabla 8 se observa que para la venta de la primer máquina se tiene una perdida, debido a que no se esta contabilizando el costo de la ingeniería. Se aprecia también que después de vender 9 máquinas se ha recuperado la inversión inicial, la tabla 8 y la grafica de la figura 38 muestran lo anterior.

Unidades vendidas	costos fijos	costos variables	costo total	precio de venta	utilidad	Utilidad acumulada
1	\$ 53 000.00	\$ 40 500.00	<b>\$ 93 500.00</b>	\$ 76 875.00	-\$ 16 625.00	\$ 0
2	\$ 53 000.00	\$ 8 500.00	\$ 61 500.00	\$ 76 875.00	\$ 15 375.00	-\$ 1 250.00
3	\$ 53 000.00	\$ 8 500.00	\$ 61 500.00	\$ 76 875.00	\$ 15 375.00	\$ 14 125.00
4	\$ 53 000.00	\$ 8 500.00	\$ 61 500.00	\$ 76 875.00	\$ 15 375.00	\$ 44 875.00
5	\$ 53 000.00	\$ 8 500.00	\$ 61 500.00	\$ 76 875.00	\$ 15 375.00	\$ 44 875.00
6	\$ 53 000.00	\$ 8 500.00	\$ 61 500.00	\$ 76 875.00	\$ 15 375.00	\$ 60 250.00
7	\$ 53 000.00	\$ 8 500.00	\$ 61 500.00	\$ 76 875.00	\$ 15 375.00	\$ 75 625.00
8	\$ 53 000.00	\$ 8 500.00	\$ 61 500.00	\$ 76 875.00	\$ 15 375.00	<b>\$ 91 000.00</b>
9	\$ 53 000.00	\$ 8 500.00	\$ 61 500.00	\$ 76 875.00	\$ 15 375.00	<b>\$106 375.00</b>
10	\$ 53 000.00	\$ 8 500.00	\$ 61 500.00	\$ 76 875.00	\$ 15 375.00	\$121 750.00

Tabla 8. Unidades fabricadas y vendidas contra costo total.





Con estos datos y la capacidad de fabricación mencionada, se realiza un plan de fabricación a 3 años.

<b>Máquinas fabricadas</b>		
	<b>Alternativa A</b>	<b>Alternativa B</b>
<b>1 año</b>	3	2
<b>2 años</b>	5	4
<b>3 años</b>	8	6

Tabla 9. Plan de producción a 3 años en base al punto de equilibrio.

### II.2.1.3 Valor presente neto VPN.

Como las máquinas no se puede vender en el año cero, es decir, cuando comienza el desarrollo de proyecto, tomando en cuenta que la fabricación esta basada en la capacidad de fabricación y no en el mercado, se realiza el análisis del VPN para ambas alternativas.

El VPN consiste en trasladar al presente los flujos netos de efectivo (FNE) que resulten del balance entre los costos totales, la utilidad y la inversión inicial.

$$VPN = -P + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FNE_j}{(1+i)^j} \quad \dots(10)$$

Donde:

$P$  es la inversión inicial.

$j$  es el número de periodos de análisis.

$i$  es la TMAR de referencia.

La tabla 10 muestra una comparativa entre el VPN de las dos alternativas.

	Alternativa A	Alternativa B
	FNE	FNE
1 año	\$ -23 485.00	\$ -26 050.00
2 años	\$ 54 767.25	\$ 53 357.40
3 años	\$158 460.50	\$144 732.50
<b>VPN</b>	<b>\$ 14 894.82</b>	<b>\$ -6 088.23</b>

Tabla 10. VPN para ambas alternativas.

#### II.2.1.4 Tasa interna de rendimiento TIR.

La definición matemática de la TIR radica en conocer la  $i$  para la cual la fórmula del VPN es igual a cero, es decir, con los parámetros establecidos se obtiene la tasa de rendimiento para la cual la inversión es igual a los FNE durante el periodo de estudio. En la tabla 11 se observa la TIR obtenida para las 2 alternativas.

$$P = \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FNE_j}{(1+i)^j} \quad \dots(11)$$

	Alternativa A	Alternativa B
	FNE	FNE
<b>1 año</b>	<b>\$ -23 485.00</b>	<b>\$ -26 050.00</b>
<b>2 años</b>	<b>\$ 54 767.25</b>	<b>\$ 53 357.40</b>
<b>3 años</b>	<b>\$ 158 460.50</b>	<b>\$ 144 732.50</b>
$i$	32%	22.25%

Tabla 11. TIR para ambas alternativas.

Con los datos obtenidos hasta el momento se realiza una matriz de decisión para determinar la alternativa de inversión.

MATRIZ DE DECISIÓN DE ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN			
ALTER-NATIVA	METODO DE COMPARACION		
	VPN \$	TIR %	FUNCIONALIDAD TECNICA
<b>A</b>	14 894.82	32	El desespinado que realiza el prototipo con sistema de avance por plano inclinado es bueno, pero la fuerza de gravedad no es suficiente para hacer avanzar la fruta de manera regular, las tunas mas grades son detenidas por los cepillos, pero avanzan al ser empujadas con más fruta.
<b>B</b>	-6 088.23	22.25	El desespinado que realiza el prototipo con transportador es bueno, el transportador permite mantener un ritmo regular de trabajo, al cepillar una determinada cantidad de fruta en un tiempo constante. El inconveniente que tiene es que se eleva el costo de fabricación y la complejidad de ensamble del sistema.

**Tabla 12.** Matriz de decisión del alternativas de inversión.

Los resultados arrojados en el análisis anterior y resumidos en la matriz de decisión, apuntan a escoger la alternativa de inversión "A".

1. En el rubro que compara el VPN, se observa que mientras con la alternativa "A" se obtiene un VPN superior a cero que es la condicionante para inclinarse por esta decisión, el VPN de la alternativa "B" es negativo.
2. La TIR que se obtiene para la alternativa "A" es superior a la TMAR considerada al plantear el análisis económico, como se esperaba, al resultar negativo el VPN de la alternativa "B" la TIR resultado por debajo de la TMAR.
3. Técnicamente es más viable el diseño de la alternativa de desespinaadora con transportador.

La capacidad teórica de alternativa de producción "B" es de una caja por minuto. Actualmente el costo de desespinar una caja de fruta es de 3.00 y 5.00 pesos dependiendo si el proceso es manual o en las maquinas desespinaadoras convencionales.

Si el sistema prototipo trabaja una temporada al 60% de su capacidad, el balance económico costo del sistema contra el ahorro que genera adquirir el prototipo es el siguiente.

12 semanas (7 días) 8 horas (0.60) = 403.2 horas.

El tiempo que trabaja el sistema durante un año se encuentra por debajo del que recomiendan los fabricantes para dar mantenimiento a los elementos críticos del sistema, como son rodamientos y la cadena de rodillos. Por lo que el mantenimiento se reduce a lubricar los elementos sujetos a fricción y a la limpieza diaria del equipo.

El costo de mantener el equipo limpio se estima en \$150.00

El costo de lubricante es de \$450.00

El sistema cuenta con 2 motores de ½ HP y 1 motor de 1 ½ HP, el consumo total es de 1.865 Kw/Hr. La tarifa de la comisión federal de electricidad en la zona es de \$2.98 Kw/Hr.

Para el análisis de producción de la alternativa de inversión "B" no es posible cuantificar la cantidad de fruta desespinada por unidad de tiempo. Debido a que el avance de la fruta a través de los cepillos depende de la presión que ejerce la fruta contra estos, si se aumenta la cantidad de fruta en la rampa, el peso obliga el avance, pero demasiado peso eleva la velocidad de avance y disminuye el tiempo de cepillado.

De manera contraria a la lógica que ofrece la matriz de decisión, la alternativa de inversión seleccionada es la "B" debido a que:

- La viabilidad técnica tiene un mayor peso, ya que de esta depende el éxito comercial del producto.
- Al garantizar el avance de la fruta a través del cepillado, se puede ofrecer una capacidad de producción comprobable del equipo.
- De la misma manera, es posible regular la distancia de los cepillos a la fruta para obtener un mejor cepillado, lo que no es posible en el sistema con plano inclinado.
- Con un diseño como el de la alternativa "B", se tiene la confianza de buscar medios de financiamiento con miras a superar las expectativas de fabricación.

### **II.3 Fabricación.**

Como se menciona, solo se trabajó en el ensamble de los componentes, por lo que una vez que se realizaron y revisaron los planos de fabricación, se procedió a visitar talleres con el fin de evaluar cotizaciones y servicios, además de la ubicación que resultara logísticamente más idónea, puesto que durante la etapa de fabricación es necesario supervisar que los elementos mecánicos cumplan con las especificaciones de los planos.

### II.3.1 Lista de materiales.

Se realiza la ubicación de los centros de trabajo, así como la cotización y solicitud de los elementos comerciales, de los materiales y equipos de fuerza, entonces, se formaliza la lista de materiales que se resume a continuación.

#### Lista de materiales:

	Descripción.	Cantidad por unidad de medida
<b>Paileria.</b>	Guardas.	
	Lámina galvanizada calibre 18 (0,042" de espesor)	150 Kg.
	Tolvas de extracción.	
	Lámina de acero al carbón calibre 18"	100 Kg.
	Rampas de entrada y salida.	
	Lámina de acero al carbón calibre 12" (0,104")	10 Kg.
Base para chumaceras.		
	Lámina de acero al carbón calibre 12" (0,104")	4 Kg.
<b>Piezas maquinadas.</b>		
Ejes para trasportador.		
	Redondo AISI C-1018 de 1" de diámetro	10 Kg.
Ejes para cepillos.		
	Redondo AISI C-1018 de 1" de diámetro	22 Kg.
Núcleo de cepillos.		
	Tubo de acero al carbón cedula 40 de 2" de diámetro.	25 Kg.
<b>Herrería.</b>		
	Perfil tubular cuadrado calibre 12 de 1 1/2"	100 Kg.
<b>Elementos comerciales.</b>		
	Reductor de velocidad marca BONFIGLIOLI MW 63 con relación de reducción 100:1	1 pza.
	Reductor de velocidad marca BONFIGLIOLI MVF 49 con relación de reducción 7:1	1 pza.
	Motor WEG 4 polos 1750 rpm 1/2 HP	1 pza.
	Motor WEG 4 polos 1750 rpm 1 1/2 HP	1 pza.

Cadena de rodillos de acero al carbón paso 40	20 mts.
Sproket de acero al carbón paso 40 32 dientes.	4 pzas.
Sproket de acero al carbón paso 40 17 dientes.	4 pzas.

### II.3.2 Análisis de operaciones.

Se ponderan las actividades con el fin de que para el ensamble se cuente con los materiales en el momento en que se integran al sistema, para evitar que se eleven los costos por almacenaje.

Los sistemas que integran el prototipo se enlistan en el orden en que deben llegar al sitio de ensamble. Se describen las operaciones necesarias. El tiempo de fabricación se toma de las cotizaciones hechas por los talleres que fabrican las piezas.

Se analizan y clasifican la operaciones que deben efectuarse a los materiales, con el fin de transformarlos en los elementos que integran el prototipo.

Operación.	Descripción
A)	Fabricación de estructura:
A1)	Corte a medida de materiales: perfil tubular cuadrado y placa de acero I carbón AISI C-1018.
A2)	Unión de la estructura con soldadura eléctrica.
A3)	Limpieza (eliminación de filos).
A4)	aplicación de pintura.
B)	Ensamble del transportador.
B1)	Maquinado de redondo AISI C-1045 (ejes motriz y conducido).
B2)	Corte a medida del tubo de lámina de acero inoxidable AISI T-316 (empujadores).
B3)	Compra de cadena de rodillos y sprokets.
C)	Cepillos.
C1)	Maquinado de redondo AISI C-1045 para el eje.
C2)	Maquinado de tubo de acero A36 (núcleo soporte para cerda).
C3)	Unión del eje con el núcleo por medio de mamelones y tornillos.
C4)	La pieza que resulta se envía a que le coloquen la cerda.
D)	Sistema motriz.
D1)	Solicitar motores, reductores y elementos de control.
E)	Guardas de seguridad.
E1)	Corte y dobléz de lámina galvanizada.

### II.3.3 Tiempo de fabricación.

Una vez que se cuenta con la estructura, el tiempo aplicado al ensamble y termino del sistema es de 45 días, puesto que el trabajo lo realiza el equipo de trabajo (4 personas) el tiempo real de ensamble es de 13 días. Para los elementos comerciales se considera el tiempo de entrega de los mismos. En la tabla 13 se observa las operaciones y el tiempo aplicado a cada operación.

Operación	Operación precedente	Tiempo (días)
A1	-	2
A2	A1	4
A3	A2	1
A4	A3	2
B1	-	1
B2	-	1
B3	-	10
C1	-	2
C2	-	2
C3	C1, C2	1
C4	C1, C2 y C3	20
D1	-	28
E1	-	5

Tabla 13. Análisis de tiempo de operación.

Con los datos de la tabla se construye el diagrama de flujo de procesos, se observa que las actividades convergen en el ensamble final.

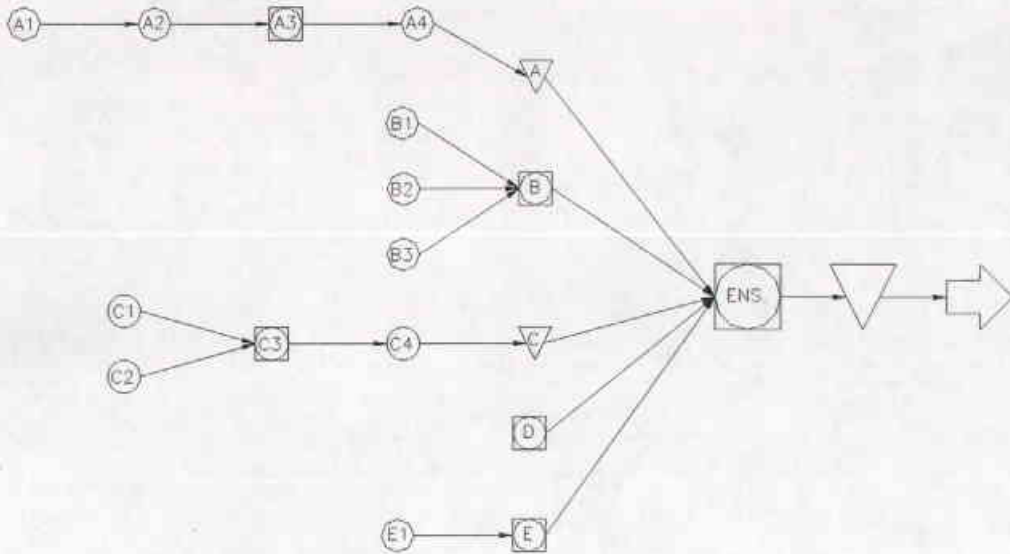


Figura 39. Diagrama de flujo de procesos.

A partir del diagrama de flujo de procesos, es posible manejar el inicio de cada actividad, de esta manera, el fin de cada actividad debe coincidir con la secuencia lógica de ensamble. El diagrama de la figura 40 esquematiza el manejo de los tiempos del proceso.

OPERACIÓN	T I E M P O E N D I A S																																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35			
A1																																						
A2																																						
A3																																						
A4																																						
B1																																						
B2																																						
B3																																						
C1																																						
C2																																						
C3																																						
C4																																						
D1																																						
E1																																						
ENSAMBLE																																						

Figura 40. Plan de actividades en el tiempo.



## **II.4 Descripción del equipo.**

El diseño del prototipo consta de un transportador de cadena de rodillos con empujadores, el cual obliga a la fruta a desplazarse sobre una cama fija.

A una distancia adecuada que depende del tamaño de la fruta se encuentra una serie de cepillos giratorios en dos etapas, en la primera se eliminan las espinas, en la segunda se da brillo a la fruta.

El sistema del transportador y los cepillos se acoplan en una estructura de perfil tubular cuadrado, la cual proporciona soporte y rigidez al sistema, dicha estructura se unió por medio de soldadura eléctrica y cuenta con soportes ajustables para alinear la máquina y prever las irregularidades del suelo.

Para definir la altura de trabajo del prototipo, se toman en cuenta las recomendaciones de la norma ISO 7250 e ISO 7731 [12,13], con el fin de que el operario realice el menor esfuerzo para depositar la fruta dentro de la máquina.

Los cepillos y el transportador son accionados por motores eléctricos, el sistema cuenta con guardas de lámina galvanizada con el fin de evitar que la espina se disperse, que las partes móviles estén accesibles al usuario y para proporcionar una geometría agradable a la vista.

Debido a que las dimensiones nominales de los materiales y elementos comerciales se dan generalmente en sistema inglés, se maneja indistintamente el sistema inglés e internacional de unidades, teniendo especial cuidado para evitar confusiones y errores.

### **II.4.1 Transportador horizontal con empujadores.**

El transportador realiza la tarea de desplazar la fruta obligándola a rodar sobre una cama de deslizamiento, se diseñó a partir de cadena de rodillos paso 40 de acero al carbón, la cadena cuenta con un aditamento que le permite acoplar un empujador, que es de tubo de lámina AISI T-316 de 1 mm de espesor (acero inoxidable grado alimenticio) debido a que estará en contacto directo con la fruta.

El modelado y los planos de fabricación de todos los elementos mecánicos utilizados en el proyecto se realizaron con la ayuda del software Mechanical desktop. La figura 41 muestra el modelo en CAD del transportador.

El transportador tiene una superficie efectiva de 2.60 m<sup>2</sup> (2.60 m de longitud x 1 m de ancho) con capacidad para 300 tunas (50 Kg.).

La fruta debe desplazarse a una velocidad de 6.50 m/s, el sistema de cadena de rodillos es impulsado por sprockets de 32 dientes y 5.1" de diámetro (0.13 m)

acoplados a una flecha de acero AISI C-1045 accionada por un moto-reductor de ½ HP y relación de velocidad de 100:1 con 16 rpm a la salida.

A continuación se calcula el tiempo que permanece la fruta en el transportador.

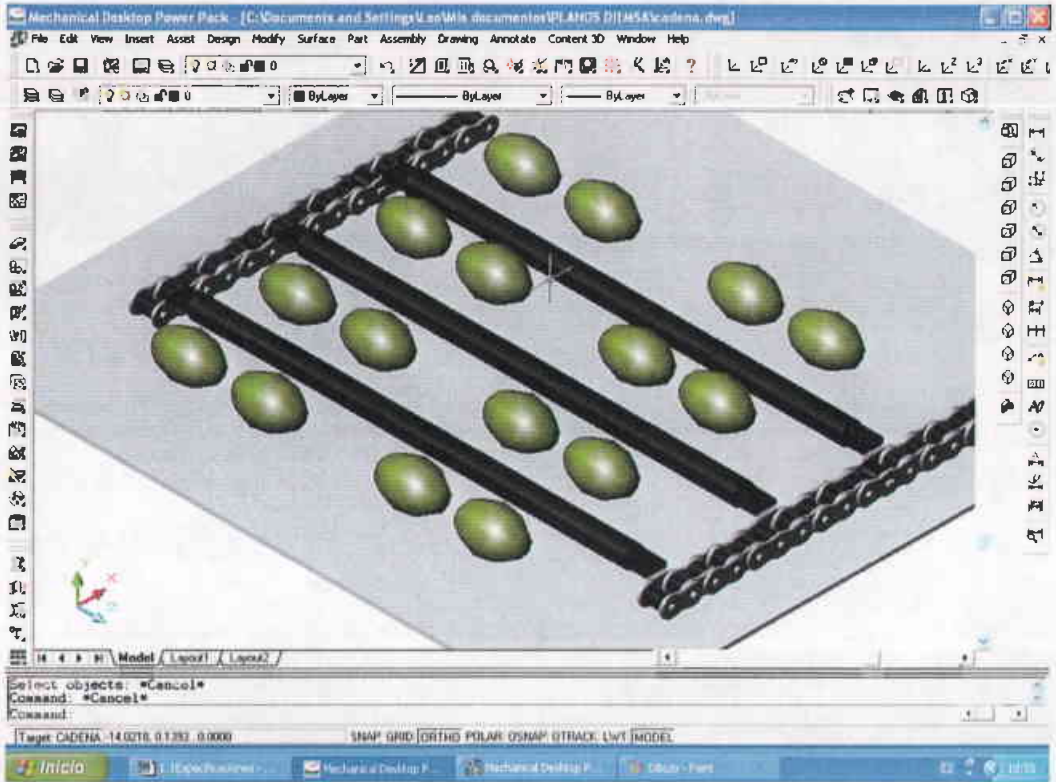


Figura 41. Modelado en CAD del transportador.

$$V = \frac{d}{t} \quad \dots(12)$$

Donde:

- $V$  : Es la velocidad en  $m/s$ .
- $d$  : Es la longitud del transportador en  $m$ .
- $t$  : Es el tiempo de permanencia de la fruta dentro del transportador.

$$V = \frac{d}{t}$$

$$6.5 \left[ \frac{m}{\text{min}} \right] = \frac{2.6[m]}{t}$$

$$t = 24[s]$$

Para calcular la potencia que requiere el sistema para desplazar la fruta, no solo se toma en cuenta el peso de la misma, además, se estima el peso de todos los componentes que integran el transportador, ya que todos estos se mueven en conjunto.

Estos elementos se describen en la tabla 14. Se realiza el calculo para un caso critico, es decir, con la máxima capacidad de fruta en el transportador,

CANTIDAD (unidades)	DESCRIPCIÓN	PESO
300	Tunas	490.50 N
4	Sprokets	21.00 N
12	Cadena de rodillos	373.80 N
20	Empujadores	184.40 N

Tabla 14. Peso a desplazar por el moto-reductor.

En la figura 42 se muestra el diagrama de fuerzas de la carga a desplazar contra el par del moto-reductor.

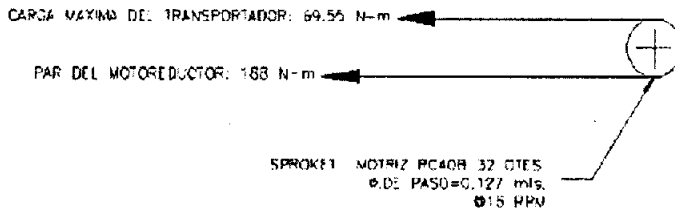


Figura 42. Diagrama de fuerzas en el trasportador.

La velocidad angular en el eje del moto-reductor es:

$$V = \omega r \quad \dots(13)$$

Donde:

- V: Es la velocidad lineal del transportador en metros sobre minuto.
- $\omega$ : Es la velocidad angular de la unidad motriz a seleccionar en radianes sobre minuto.
- r: Es el radio del sproket motriz en metros.

$$V = \omega r$$

$$6.5 \left[ \frac{m}{\min} \right] = \omega \left( 2.55 \text{ plg} \cdot 0.0254 \left[ \frac{m}{\text{plg}} \right] \right)$$

$$\omega = 100.35 \left[ \frac{\text{rad}}{\min} \right] \left( \frac{1}{2\pi} \right) = 15.97 \left[ \frac{\text{rev}}{\min} \right]$$

La potencia eléctrica es:

$$P = VI \quad \dots(14)$$

Donde:

- P: Es la potencia en watts.
- V: Es la diferencia de potencial en Volts.
- I: Es la corriente en Amperes.

La potencia mecánica es:

$$P = \omega T \quad \dots(15)$$

Donde:

- P: Es la potencia en watts.
- $\omega$ : Es la velocidad angular a la salida del reductor en radianes sobre segundo.
- T: Es par de torsión ó torque en N-m

El torque se calcula con el peso total de la carga a desplazar y el radio del sproket motriz, ya que es un brazo de palanca.

$$T = Wr \quad \dots(16)$$

Donde:

- T: Es par o torque en N-m.
- W: Es el peso total.
- r: El radio del sproket.

Entonces:

$$\begin{aligned} T &= Wr \\ T &= 1070[N] \cdot 0.065[m] \\ T &= 69.55[N.m] \end{aligned}$$

Sustituyendo T en (10):

$$P = \omega T$$

$$P = 1.67 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right] 69.55 [\text{N.m}]$$

$$P = 116.32 [\text{Watts}]$$

#### II.4.2 Sistema de cepillado de la fruta.

El objetivo principal de cepillar la fruta es la eliminación de la espina. Para este efecto, se diseñaron cepillos cilindricos con cerda de nylon de 0.3 mm de diámetro para la primera etapa, para la segunda se tienen dispuestos cepillos de cerda natural (pelo de caballo) con el fin de darle brillo a la tuna.

El correcto desespinado por medio de cepillos giratorios se obtiene combinando la fuerza de la cerda contra la fruta y la velocidad angular del cepillo.

La velocidad con la que se obtuvieron mejores resultados experimentalmente fue entre 7.00 y 10.00 m/min. Para resolver el problema de la fuerza el sistema cuenta con un ajuste vertical que permite modificar la distancia entre los cepillos y la fruta.

Debido a las características físicas de los materiales de la cerda, la longitud de ésta con respecto al núcleo del cepillo se consideró de 0.075 m, de esta manera la posición del cepillo podrá ajustarse para absorber el desgaste.

Definida la longitud de la cerda, las dimensiones del cepillo son de 1 m de largo (que es el ancho del transportador) y 0.20 m de diámetro. Con estos datos y la velocidad lineal requerida de la cerda con respecto a la fruta, se calcula la velocidad angular de los cepillos con (13).

$$V = \omega r$$

$$8.5 \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right] = \omega 0.10 [\text{m}]$$

$$\omega = 85 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{min}} \right] * \pi$$

$$\omega = 267 \left[ \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]$$

Los cepillos deben girar a una velocidad angular cercana a 267 rpm mientras están motados sobre cojinetes.

El primer cepillo es impulsado por un motor eléctrico acoplado a un reductor de velocidad, éste cepillo transmite movimiento y potencia a los demás por medio de

un arreglo de sproket y cadena de rodillos como se muestra en la figura 42, en la figura 43 se muestra el arreglo físico.

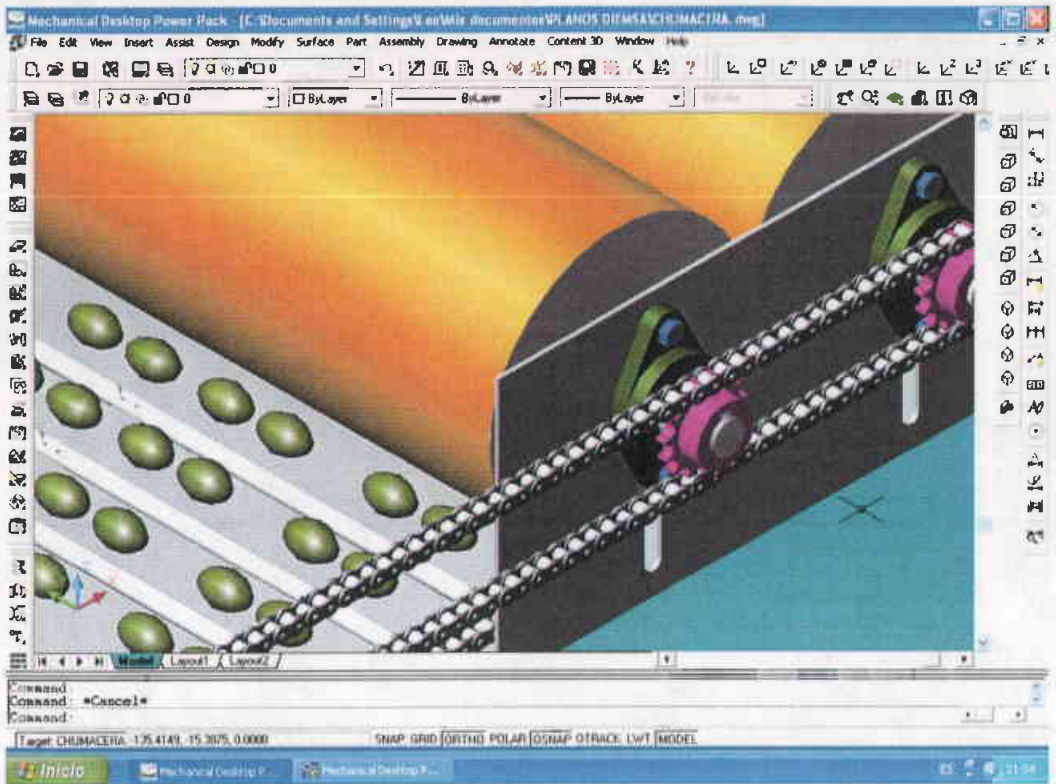


Figura 42. Ensamble de cepillos.



**Figura 43.** Ensamble de cepillos.

La eficiencia del sistema se obtiene debido a que los cepillos giran en dirección contraria al sentido del transportador, es importante observar que la placa que soporta los cepillos cuenta con correderas que cumplen don funciones ya mencionadas, absorber el desgaste de los cepillos y regular la presión de estos con la fruta.

## **II.5 Pruebas de campo.**

Con el prototipo físico listo se realizó una prueba de campo en el pueblo de Santiago Tolman, ésta se desarrollo el 30 de noviembre de 2004 con 15 cajas de tunas, lo que representa el 4% de la capacidad de producción de la máquina y el 12% de la cosecha del día.

### **II.5.1 Análisis de resultados.**

1. La velocidad del transportador (6 mts./min.) permite desespinar una caja y media de fruta en un minuto, esta velocidad excede la capacidad de producción del productor promedio.
2. Por lo anterior, el contar con este equipo permite prestar servicio de renta del mismo y amortizar la inversión inicial del cliente.

3. La primer caja que se deposito en el prototipo quedo muy maltratada, debido a que la distancia de los empujadores a la cama de deslizamiento no resulto ser la calculada mediante las consideraciones de diseño. Los empujadores en lugar de hacer avanzar la fruta pasaban por encima de la misma presionándola.
4. Al caer la fruta por la rampa de entrada se escucha demasiado ruido.
5. Cuando el quipo esta en operación se produce vibración.

### **II.5.2 Ajustes.**

1. Después de calzar la cama de deslizamiento con el fin de modificar la distancia con los empujadores, el desespinado de la fruta resulto ser el esperado por los productores.
2. Se debe garantizar que los empujadores no tengan movimiento vertical, con el fin de evitar daño en la fruta, figura 44.
3. Se diseño la cama de deslizamiento con lámina perforada con el fin de que la espina cayera por gravedad. Esto no fue así, por lo que se pretende generar una corriente de aire que la conduzca, además de diseñar un sistema de extracción y recuperación de espina.
4. Para disminuir el ruido en la rampa de entrada se decidió forrarla con un material que amortigüe la caída.
5. Es necesario anclar el quipo al piso para evitar vibraciones.
6. La unión de los empujadores a la cadena del trasportador se realizó con remaches, figura 44, los cuales tienden a aflojarse durante el esfuerzo, éstos se cambiaran por tornillos.





**Figura 44.** Detalle de fijación de los empujadores.

Finalmente, la figura 45 muestra el prototipo físico de la máquina desespinaadora de tunas que se diseñó, fabricó y que esta en la etapa de pruebas para verificar que los parámetros establecidos a lo largo del desarrollo del proyecto se cumplan, o bien, si será necesario redefinir algunos sistemas.



**Figura 45.** Prototipo de máquina desespinaadora de tunas.

## Conclusiones.

- 1.- Con base en la metodología de la investigación se diseñó y fabricó una máquina desespinaadora de tunas.
- 2.- El diseño de la máquina contempla las recomendaciones de las normas ISO concernientes a la ergonomía, además de los sistemas de seguridad que garantizan el bienestar del operario.
- 3.- La maquina permitirá a los productores de la región incrementar la calidad de la tuna.
- 4.- En las pruebas preliminares se observo que la maquina realiza un correcto desespinado sin provocar daño excesivo a la misma.
- 5.- Con la utilización de la máquina y las pruebas de campo realizadas, se planea diseñar equipos alternos para el lavado a la entrada y de selección por tamaños a la salida.
- 6.- Lo anterior además de incrementar las ganancias de los productores, generará en ellos la necesidad de crecimiento continuo.
- 7.- Se elaboraron los manuales de operación y mantenimiento. Se esta trabajando en un programa de capacitación para los productores con el fin de que realicen un manejo adecuado del equipo.
- 8.- El desarrollo del presente trabajo permitió a los involucrados poner en practica una de las áreas más importante de la ingeniería mecánica, aplicar conocimientos técnicos, ingenio, creatividad y criterio ingenieril para atender un problema real.
- 9.- Es importante destacar que la correcta solución y seguimiento del proyecto será trascendental para el desarrollo del campo mexicano.

## **Bibliografía.**

- 1.- Grech, Pablo, "Introducción a la Ingeniería un enfoque a través del diseño", Ed. Prentice Hall, Bogota, 2002.
- 2.- Groover, Mikell P., "Fundamentos de manufactura moderna", Ed. Prentice Hall, España, 2000.
- 3.- Jensen, Nicolás C.H., "Engineering drawing and design", Ed. Mc-GrawHill, New York, 1997.
- 4.- Lasheras, José María, "Tecnología mecánica y metrotecnia", tomo II, Ed. Donostiarra, España, 2000.
- 5.- Lee, K., "Principles of CAD/CAM/CAE Systems", Ed. Addison-Wesley, 1999.
- 6.- Moott, R. L., "Diseño de elementos de máquinas", Ed. Prentice Hall, 2ª edición, México, 1996.
- 7.- Norton, Robert L., "Diseño de máquinas", Ed. Prentice Hall, México, 1999.
- 8.- Orlov, Ingeniería del diseño, Ed. Mir, Moscú, 1985.
- 9.- Pedrero, Moya José Antonio, "Fundamentos de diseño de máquinas", Madrid, 2000.
- 10.- Shigley, Joseph Edward, "Diseño en ingeniería mecánica", Ed. Mc-GrawHill, México, 1998.
- 11.- Biblioteca de Consulta Microsoft ® Encarta ® 2004. © 1993-2003
- 12.- ISO 7250, Basic human body measurements for technological design, 1996.
- 13.- ISO 7731, Ergonomics danger signal for workplaces, 1986.
- 14.- American National Standards Institute B4.1.

## **Paginas Web.**

- 15.- <http://www.eng.clemson.edu.mx>
- 16.- [www.knaw.nl/ecpa/ink](http://www.knaw.nl/ecpa/ink), Marzo de 2004
- 17.- [www.aitecocosultores.com.es](http://www.aitecocosultores.com.es), Septiembre de 2004.
- 18.- <http://www.area.com.mx/usabilidad/Herramientas.htm>, Septiembre de 2004.

- 19.- <http://www.edomexico.gob.mx/sedagro/sedagro.htm>
- 20.- [www.imm.com.mx](http://www.imm.com.mx), Mayo del 2004
- 21.- <http://www.sac.org/automaq/index.htm>.
- 22.- <http://www.agrimat.it> Marzo del 2005.
- 23.- <http://www.cadsystem.com>

**Catálogos.**

- 24.- MARTIN, Sprocket and Gear, Inc. Catálogo 1090, 1995.
- 25.- BONFIGLIOLI, Riduttori, Catálogo 33/95, 1995.
- 26.- Joshep T. Ryerson and son, Inc. Stock list, 1999.
- 27.- Dodge, Bearing Engineering, Rockwell Automation, 2004.