



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

“DISEÑO DE CONFIGURACIÓN DE UN ROBOT  
CORTADOR DE CUERO”

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

INGENIERÍA MECÁNICA - DISEÑO MECÁNICO

P R E S E N T A :

**JUAN MARTÍN JUÁREZ LANDÍN**



TUTOR:

**DR. MARCELO LÓPEZ PARRA**

2008

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich

Secretario: Dr. Jesús Manuel Dorador González

Vocal: Dr. Marcelo López Parra

1<sup>er.</sup> Suplente: Dr. Adrián Espinoza Bautista

2<sup>do.</sup> Suplente: M.I. Antonio Sánchez Zepeda

Lugar donde se realizó la tesis:

Posgrado de Ingeniería, Ciudad Universitaria, México D. F.

**TUTOR DE TESIS:**

Dr. Marcelo López Parra

---

**FIRMA**

## **Agradecimientos**

A Dios por permitirme disfrutar la belleza de vivir y continuar aprendiendo de mis semejantes en base a su voluntad.

A mis padres, por sembrar la semilla del éxito, por brindarme su apoyo en todo momento e impulsarme a seguir estudiando.

A mis hermanas, por los años que compartimos juntos, por los buenos momentos.

A la UNAM, en especial a la Facultad de Ingeniería por permitirme continuar con los estudios de maestría.

A profesores y amigos, por compartir su experiencia dentro y fuera del aula.

A mi director de tesis Dr. Marcelo López Parra, por el tiempo que me dedicó en las revisiones y observaciones en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco el apoyo económico recibido por parte de la DGEP con el cual pude realizar mis estudios de maestría.

# Índice

## *Agradecimientos*

*Introducción* ..... **I**

*Nomenclatura* ..... **III**

**1. Antecedentes** ..... **1**

1.1. Robot Industrial ..... 1

1.2. Estructura mecánica de un robot..... 1

1.2.1. Articulaciones del robot ..... 2

1.2.2. Configuraciones principales de un robot ..... 2

1.3. Sistemas de Impulsión del Robot..... 4

1.4. Precisión de movimiento ..... 6

1.5. Ventajas de un robot cartesiano ..... 7

1.6. Motores de accionamiento ..... 7

1.6.1. Motores neumáticos ..... 7

1.6.2. Motores hidráulicos..... 8

1.6.3. Motores eléctricos ..... 8

1.7. Proceso de fabricación de calzado de cuero ..... 9

1.8. Máquinas cortadoras de cuero para la producción de calzado ..... 11

1.9. Patentes ..... 15

1.10. Robot del Dr. Yu Tang Xu..... 19

**2. Proceso de diseño**..... **21**

2.1. Descripción del proceso de diseño..... 21

2.1.1 Etapa 1 Diseño Conceptual..... 21

2.1.2 Etapa 2 Materialización del diseño..... 22

2.1.2.1. Arquitectura del producto..... 22

2.1.2.2. Diseño de configuración..... 22

2.1.2.3. Diseño paramétrico..... 23

2.1.3 Etapa 3 Diseño de detalle ..... 23

**3. Diseño conceptual**..... **25**

3.1. Definición del problema ..... 25

3.1.1 Definición del problema ..... 25

3.1.2 Necesidades del cliente ..... 25

3.1.3 Especificaciones..... 26

3.2. Búsqueda y análisis de información ..... 26

3.3. Generación del concepto..... 27

3.3.1 Consideración preliminar..... 27

3.3.2 Alternativas generadas..... 27

<b>4. Diseño de configuración.....</b>	<b>30</b>
4.1. Diseño de configuración del robot para corte de cuero .....	30
4.1.1. Descripción de componentes .....	30
<b>5. Selección de elementos.....</b>	<b>35</b>
5.1. Módulos lineales .....	35
5.1.1. Módulo lineal PSK.....	35
5.1.2. Módulo lineal MKK.....	36
5.2. Motores eléctricos .....	37
5.2.1. Servomotor módulo Y.....	38
5.2.2. Servomotor módulo Z .....	39
5.2.3. Servomotor módulo X.....	39
5.3. Estructura de soporte y elementos de fijación .....	40
<b>Conclusiones.....</b>	<b>41</b>
<b>Anexo A. Información Técnica .....</b>	<b>42</b>
A.1 Módulo PSK 60.....	42
A.2 Módulo MKK 25-110 .....	44
A.3 Motores eléctricos .....	48
A.4 Perfiles .....	49
A.5 Elementos de conexión .....	51
A.6 Montaje de motores eléctricos con cople.....	51
<b>Anexo B. Cálculos.....</b>	<b>53</b>
B.1 Cálculos para el módulo Y .....	53
B.2 Cálculos para el módulo Z .....	56
B.3 Cálculos para el módulo X.....	62
B.4 Cálculos para estructura de soporte .....	68
<b>Anexo C. Planos.....</b>	<b>74</b>
<b>Bibliografía. ....</b>	<b>79</b>
<b>Referencias electrónicas.....</b>	<b>79</b>

## **Introducción**

Una de las actividades principales que ha enfrentado la industria en la producción de calzado es el proceso de corte de cuero. Para llevar a cabo esta tarea existen tres tipos de corte: corte a mano consiste en cortar cuero manualmente por medio de navaja apoyándose de plantillas para marcar el contorno, corte mecanizado por medio de troqueles que son activados de forma mecánica o hidráulica, corte automático por medio de robots que pueden ser programados para realizar diferentes cortes y emplear varias herramientas.

Las industrias mexicanas continúan usando el corte a mano ya que les resulta más económico que adquirir robots de procedencia extranjera que son de precio elevado, además en caso de adquirirlo realizarán gastos por mantenimiento y soporte técnico.

El propósito de este trabajo es diseñar un robot para corte de cuero que sirva de apoyo para la industria de calzado mexicana, con el cual bajen costos, aumenten la calidad además de reducir el desperdicio de material.

Fue en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, a solicitud de una empresa manufacturera de calzado, lugar donde tiene origen de desarrollo y estudio del primer prototipo para la creación de un robot cortador de cuero, el cual esta basado en la configuración de un robot cartesiano. Se desarrollaron tres configuraciones del robot para corte de cuero, este trabajo de tesis presenta una alternativa para el diseño de robot de corte de cuero utilizando elementos comerciales, además de ser una solución para cubrir las necesidades de la industria de calzado.

En el primer capítulo se presenta en que consiste un robot industrial y cómo está estructurado mecánicamente, cuales son los tipos de impulsión para dar movimiento a un robot además se describe el procedimiento para la fabricación de calzado y se presentan las máquinas comerciales para realizar corte de cuero agregando características técnicas. Se describen algunas patentes para el diseño y movimiento de robots como apoyo para mejorar el prototipo de una máquina de corte, para finalizar el capítulo se muestra el prototipo que ha sido estudiado por el Dr. Tang Xu Yu. En el capítulo 2 se mencionan las etapas del proceso de diseño y se describen algunas de las actividades que se deben realizar, además se presentan los pasos a seguir para realizar un diseño de configuración. En el capítulo 3 se presenta el diseño conceptual en donde

se menciona la definición del problema, las necesidades identificadas, así cómo fueron establecidas las especificaciones para el diseño. En el capítulo 4 se describe la etapa de diseño de configuración cómo fue que se llegó al arreglo y ensamble del robot para corte de cuero. En el capítulo 5 se presenta cómo fue llevada a cabo la selección de los componentes que integran el diseño del robot para corte de cuero. Finalmente se incluyen las conclusiones y recomendaciones para desarrollo a futuro para mejorar el diseño de la máquina de corte de cuero además de presentar como anexo los cálculos desarrollados para la selección de componentes y motores eléctricos, planos e información técnica como material complementario.

## Nomenclatura

$a$	Longitud de separación de patas de mesa
$a$	Aceleración
$\delta$	Flexión
$\delta_{\max}$	Flexión máxima
$F$	Fuerza aplicada al módulo
$F_L$	Fuerza de alimentación
$i$	Relación de reducción de engrane
$J$	Momento de inercia de masa
$J_{fr}$	Momento de inercia de carga externa
$J_K$	Momento de inercia del cople
$J_{Br}$	Momento de inercia del freno del motor
$J_M$	Momento de inercia del motor
$J_S$	Momento de inercia del sistema con carga adicional
$J_{Rv}$	Momento de inercia de accionamiento por banda dentada
$J_{tot}$	Momento de inercia total
$k_1, k_2, k_3$	Constantes
$L, L_1, L_2$	Longitud del modulo lineal
$L_p$	Longitud de perfil estructural
$L_T$	Longitud de mesa
$m$	Carga aplicada al modulo
$m_b$	Masa movida
$m_{fr}$	Carga externa
$m_M, m_{M1}, m_{M2}$	Masa del motor
$m_p'$	Masa del perfil por unidad de longitud
$m_p$	Masa del perfil
$M$	Momento flexionante
$M_{adm}, M_{per}$	Momento admisible
$M_a$	Momento de aceleración del motor
$M_L$	Momento de carga

$M_{Mmax}$	Momento máximo del motor
$M_R, M_{fr}$	Momento de fricción
$M_{RS}$	Momento de fricción del sistema
$M_{RRv}$	Momento de fricción de accionamiento por banda dentada
$n$	Velocidad de rotación
$n_{Mmax}$	Velocidad de rotación máxima
$P$	Paso del tornillo
$R_{11}, R_{21}$	Reacciones en apoyos del módulo Z
$R_{12}, R_{22}$	Reacciones en apoyos del módulo X
$R_{S1}, R_{S2}$	Reacciones de las patas estructurales
$s$	Carrera
$s_a$	Distancia de aceleración
$s_c$	Distancia a velocidad constante
$t$	Tiempo total
$t_a$	Tiempo de aceleración
$t_c$	Tiempo a velocidad constante
$v$	Velocidad lineal
$v_c$	Velocidad constante
$v_{max}$	Velocidad máxima
$V$	Fuerza cortante

## **1. Antecedentes**

En el presente capítulo se mencionan los antecedentes básicos para la identificación de un robot industrial, de sus partes y cómo están clasificados. Así como los tipos de accionamientos para su movimiento. Además se presentan algunas máquinas comerciales para el corte de cuero.

### ***1.1. Robot Industrial***

Un robot industrial es una máquina programable de uso general que se identifica por tener brazos móviles. El robot puede programarse para desplazar su brazo a través de una secuencia de movimientos con el fin de realizar alguna tarea de utilidad (Groover y et. al., 1990).

El robot industrial está formado por un sistema mecánico (estructura mecánica articulada) y es controlado por un sistema electrónico, el cual está integrado por lo general, por una computadora (Ferraté, 1986). Este se diseña y especifica en función de los diversos movimientos que deberá efectuar.

El robot industrial tendrá mayor capacidad si en su diseño se adapta a diferentes ciclos de trabajo y además se toma en cuenta una variedad de elementos terminales como son pinzas, pistola de soldar, ventosas, herramientas, etc. Cabe resaltar que un robot industrial especializado en la fabricación de un producto o proceso puede transformarse en una máquina de fabricación flexible por medio de la reprogramación y adaptabilidad, todo esto con la finalidad de ajustarse a las demandas variables de la producción sin la modificación de su estructura mecánica.

### ***1.2. Estructura mecánica de un robot***

La estructura mecánica de un robot se refiere a la construcción física del cuerpo, brazo y muñeca de la máquina. La mayoría de los robots utilizados en las fábricas actuales están montados sobre una base que está sujeta al suelo. El cuerpo está unido a la base y el conjunto del brazo está unido al cuerpo. Al final del brazo está la muñeca o herramienta.

### 1.2.1. *Articulaciones del robot*

Un robot manipulador está típicamente formado por una serie de elementos (brazos, enlaces, segmentos, eslabones) unidos mediante articulaciones (pares cinemáticos) que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. Este movimiento es producido por los actuadores. El último elemento se denomina “elemento terminal” el cual puede ser una pinza, una herramienta, etc.

El movimiento de la articulación puede ser: de desplazamiento, de giro y una combinación de ambos. A cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior es conocido como **grados de libertad** (GDL). El número de GDL del robot viene dado por la suma de los GDL de las articulaciones que lo componen. En la figura 1.1 se muestran los tipos de articulaciones con sus respectivos GDL.



Figura 1.1 Tipos de articulaciones

Las articulaciones del brazo y el cuerpo están diseñadas para permitir que el robot desplace su elemento terminal a una posición deseada dentro de los límites del tamaño del robot y de los movimientos de las articulaciones.

### 1.2.2. *Configuraciones principales de un robot*

Una configuración sirve para representar de manera apropiada el tipo de actividades que se les asignará a un robot.

Se suele precisar siempre de tres ejes en la estructura que configura el brazo, responsable del posicionamiento del elemento terminal.

La industria ha establecido el término de grados de libertad para describir el número de maneras que se puede mover un robot. La forma de esos movimientos y la manera en la que son articulados constituyen la configuración de un robot (Asfahl, 1992).

Los robots industriales están disponibles en una amplia gama de tamaños, formas y configuraciones físicas. Las configuraciones más empleadas en robots industriales se muestran en la figura 1.2, son cuatro: cartesiana, cilíndrica, esférica y angular.

### ***Configuración cartesiana***

Debido a las coordenadas que definen su movimiento, posee tres movimientos lineales, es decir, tiene tres grados de libertad: la **cartesiana** tiene tres ejes lineales perpendiculares (x, y, z). En robots es usada cuando la precisión es más importante que la flexibilidad (habilidad de llegar a cualquier punto, en posición y orientación, en el área de trabajo).

Los movimientos que realiza este robot entre un punto y otro son con base en interpolaciones lineales.

Interpolación, en este caso, significa el tipo de trayectoria que realiza el manipulador cuando se desplaza entre un punto y otro.

A la trayectoria realizada en línea recta se le conoce como interpolación lineal y a la trayectoria hecha de acuerdo con el tipo de movimientos que tienen sus articulaciones se le llama interpolación por articulación.

### ***Configuración cilíndrica***

Puede realizar dos movimientos lineales y uno rotacional, o sea, que presenta tres grados de libertad.

El robot de configuración cilíndrica está diseñado para ejecutar los movimientos conocidos como interpolación lineal e interpolación por articulación.

La interpolación por articulación se lleva a cabo por medio de la primera articulación, ya que ésta puede realizar un movimiento rotacional.

La **cilíndrica** ( $\theta, z, \gamma$ ) tiene menos precisión que la cartesiana, pero más flexibilidad.

### ***Configuración esférica***

Tiene varias articulaciones. Cada una de ellas puede realizar un movimiento distinto: rotacional, angular y lineal.

Este robot utiliza la interpolación por articulación para moverse en sus dos primeras articulaciones y la interpolación lineal para la extensión y retracción.

La configuración **esférica o polar** ( $\theta, \beta, \gamma$ ), con dos grados de rotación y uno de desplazamiento, usada para levantar y colocar grandes pesos.

**Configuración angular**

La configuración **angular o rotatoria** ( $\theta, \beta, \alpha$ ) es la más flexible y adaptable y se usa cuando no se requiere un alto grado de precisión y el movimiento de piezas pesadas (Iñigo, Vidal 2004).

Presenta una articulación con movimiento rotacional y dos angulares.

Aunque el brazo articulado puede realizar el movimiento llamado interpolación lineal (para lo cual requiere mover simultáneamente dos o tres de sus articulaciones), el movimiento natural es el de interpolación por articulación, tanto rotacional como angular.

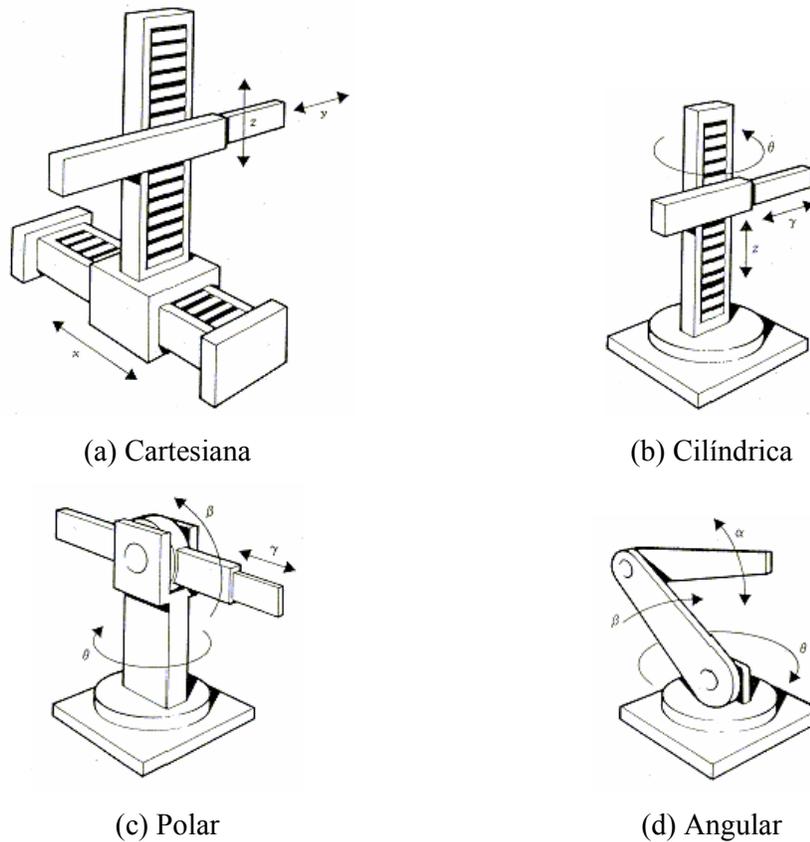


Figura 1.2 Principales Configuraciones de un Robot

**1.3. Sistemas de Impulsión del Robot**

La capacidad del robot para desplazar su cuerpo, brazo y muñeca se proporciona por el sistema de impulsión utilizado para accionar el robot.

El sistema impulsor determina la velocidad de los movimientos del brazo, la resistencia mecánica del robot y su rendimiento dinámico.

Los robots industriales, disponibles comercialmente, están accionados por uno de los tres tipos de sistemas de impulsión. Los más comunes son:

1. Impulsión hidráulica.
2. Impulsión eléctrica.
3. Impulsión neumática.

Los dos tipos utilizados en los robots son la impulsión hidráulica y eléctrica.

El sistema de impulsión hidráulica se utiliza un fluido, generalmente un tipo de aceite, para que el robot pueda movilizar sus mecanismos.

La impulsión hidráulica se utiliza para robots grandes, los cuales presentan mayor velocidad y mayor resistencia mecánica.

Se le da el nombre de impulsión eléctrica cuando se usa la energía eléctrica para que el robot ejecute sus movimientos.

La impulsión eléctrica se utiliza para robots de tamaño mediano, pues éstos no requieren de tanta velocidad ni potencia como los robots diseñados para funcionar con impulsión hidráulica.

Los robots que usan la energía eléctrica se caracterizan por una mayor exactitud y repetibilidad.

Solo resta hablar de aquellos robots que se valen de la impulsión neumática para realizar sus funciones. En la impulsión neumática se comprime el aire; abastecido por un compresor, el cual viaja a través de mangueras.

Los robots que funcionan con impulsión neumática están limitados a operaciones como la de tomar y situar ciertos elementos.

Es importante señalar que no todos los elementos que forman el robot pueden tener el mismo tipo de impulsión.

La velocidad establece la rapidez con la que el robot puede realizar un ciclo de trabajo determinado.

Para tener en consideración una velocidad óptima, además de reducir el tiempo del ciclo de producción, depende de factores como:

- Exactitud para situar la muñeca. Se requiere más tiempo para reducir errores de localización cuando se incrementa la exactitud.
- Peso del objeto que se manipula. A mayor peso, aumenta la inercia y la cantidad de movimiento por lo que el robot debe accionar con menor lentitud.

- Distancias a recorrer. En casos de recorrer distancias largas en menor tiempo se requiere de aumentar la aceleración y desaceleración para que alcance la velocidad programada, lo cual en caso de recorrer una distancia corta no permitiría al robot alcanzar la velocidad programada.

#### ***1.4. Precisión de movimiento***

La precisión de movimientos en un robot industrial depende de tres factores: ***la resolución espacial, la exactitud y la repetibilidad.***

##### **La resolución espacial**

Se define como el incremento más pequeño de movimiento que puede ejecutar un robot.

La resolución espacial depende:

- Directamente del control del sistema y de las inexactitudes mecánicas del robot.
- Del control del sistema porque éste, precisamente, es el medio para controlar todos los incrementos individuales de una articulación.

Las *inexactitudes mecánicas* se encuentran estrechamente relacionadas con la calidad de los componentes que conforman las uniones y las articulaciones. Como ejemplos de inexactitudes mecánicas pueden citarse la holgura de los engranes, las tensiones en las poleas, las pérdidas de fluidos debidas a fugas, etcétera.

##### **La exactitud**

Se refiere a la capacidad de un robot para situar el extremo de su muñeca en un punto deseado dentro del volumen de trabajo.

La exactitud mantiene una relación directa con la resolución espacial, es decir, con la capacidad del control del robot de dividir en incrementos muy pequeños el volumen de trabajo.

La exactitud de un robot resulta afectada por varios factores, algunos de estos son:

- Un robot presenta una mayor exactitud cuando su brazo opera cerca de la base. A medida que el brazo se aleja de la base, la exactitud se irá haciendo menor.

Esto se debe a que las inexactitudes mecánicas se incrementan al ser extendido el brazo.

- Otro factor que afecta a la exactitud es el peso de la carga, las cargas más pesadas reducen la exactitud (al incrementar las inexactitudes mecánicas).

El peso de la carga también afecta la velocidad de los movimientos del brazo y la resistencia mecánica.

### **La repetibilidad**

Se refiere a la capacidad del robot de regresar las veces que sean necesarias al punto que se le programó.

En un robot industrial se espera que la repetibilidad esté en el orden de +/- 0.002 in.

Cabe hacer la aclaración que si usamos un microscopio, es posible apreciar las variaciones microscópicas que presenta el robot cada vez que regresa al punto indicado.

En otras palabras, no existe la repetición absolutamente exacta.

### ***1.5. Ventajas de un robot cartesiano***

En el presente trabajo el robot cortador de cuero está basado especialmente en un robot cartesiano, por lo que es de importancia mencionar algunas de las ventajas como sigue:

- Buena precisión.
- Velocidad constante en todo el espacio de trabajo.
- Puede cubrir grandes áreas de trabajo.
- Tiene rigidez en cada uno de sus miembros.

Además de que en el desarrollo de un robot cartesiano se vuelve una solución rápida ya que considera el movimiento lineal.

### ***1.6. Motores de accionamiento***

Los distintos tipos de motores utilizados en la construcción de robots son de gran importancia ya que de ellos depende el movimiento del elemento terminal.

La clasificación de los motores de accionamiento está basada en su energía de activación la cual puede ser: neumática, hidráulica y eléctrica. Ya que esta es muy utilizada en procesos industriales.

#### ***1.6.1. Motores neumáticos***

También conocidos como actuadores neumáticos, aquí se estudian los actuadores aptos para control continuo. Dado que el accionamiento es aire a presión, y dado que el aire es compresible, el posicionamiento dependerá de la carga de trabajo. Por ello, la precisión en trayectoria continua que podrá obtenerse con este tipo de elemento será

inferior a la obtenible con los otros tipos de actuadores, a menos de que se utilicen sensores de posición (Ferraté, 1986).

Los motores neumáticos son ligeros y compactos. Su arranque y paro es muy rápido y pueden trabajar con velocidad y par variables sin necesidad de un control complejo.

Los robots que utilizan actuadores neumáticos son, en general, de movimientos rápidos aunque su precisión y repetitividad sean inferiores a las de los que emplean otro tipo de actuadores.

### ***1.6.2. Motores hidráulicos***

Su fuente de energía es hidráulica solo que su comportamiento es distinto al neumático, ya que el fluido es aceite que es incompresible a la presión de trabajo y más viscoso. Este accionamiento hidráulico es adecuado en movimientos que no son excesivamente rápidos, pero que requieran una mayor precisión y repetitividad, manejando cargas importantes.

### ***1.6.3. Motores eléctricos***

Los motores eléctricos permiten un control previo de posición y velocidad mediante controladores electrónicos y su conexión a un controlador lógico programable es simple. Por ello, y dado que los actuadores para robots deben poseer baja inercia y un par de aceleración elevado, junto con la capacidad de trabajar a bajas velocidades, los actuadores electromecánicos más utilizados en el accionamiento de robots son los motores de corriente continua de baja inercia, y los motores de paso a paso.

#### ***Motores de corriente continua***

En este tipo de motores, los devanados inductor e inducido son alimentados por corriente continua. El control de velocidad se efectúa fácilmente manteniendo constante la corriente del inductor y actuando sobre la tensión en bornes del inducido, o bien manteniendo constante la tensión del inducido y actuando sobre el inductor. Con el primer método, a flujo constante, el par electromagnético generado es proporcional a la corriente de inducido lo que permite medir fácilmente el par y utilizar esta variable en el control del motor.

### ***Motores eléctricos paso a paso***

Son motores síncronos que a partir de una señal de mando en forma de impulsos, giran un cierto ángulo cuyo valor es un número entero de veces un ángulo elemental, o paso. Debido a esta característica, este tipo de motores es especialmente adecuado para el control, en anillo abierto, sin realimentación.

Los motores paso a paso trabajan con grandes fluctuaciones instantáneas de velocidad, lo que ocasiona aceleraciones elevadas. Por ello, a fin de evitar excesivas tensiones, se debe prestar atención a esta característica cuando se deben acoplar a reductores de engranajes.

### ***1.7. Proceso de fabricación de calzado de cuero***

Un proceso importante en la fabricación de calzado es el proceso de corte de cuero. Para llevar a cabo esta tarea existen diferentes formas, como son por medio de un suaje y una máquina hidráulica, por navaja, por chorro de agua y por láser.

La manufactura de calzado de cuero cementado a la horma y a la suela, comienza por el cortado de las partes de cuero que forman el corte (parte superior de un zapato), de una piel ya adecuadamente tratada. La habilidad del cortador es muy importante, ya que de esto dependerá la apariencia del zapato, la igualdad de colores dentro del par, la capacidad de retención de la forma y el costo, al provocar mayor o menor desecho de materia prima. Existen dos tipos de corte:

1.- Corte a mano. Se corta con una cuchilla de mano el contorno de una plantilla de la forma adecuada. Como el corte de cuero debe hacerse piel por piel (no pueden apilarse, ya que así no podrían evitarse las imperfecciones), el corte manual no es tan ineficiente, respecto al mecánico.

2.- Corte mecanizado. Se usan básicamente prensas de corte, con cuchillas hechas de fleje de acero doblado en frío para lograr la forma del componente al ser cortado. Dichas prensas pueden ser activadas por medios mecánicos o hidráulicos.

Se cortan también las piezas que compondrán las partes interiores del zapato, forro y chinela, contrahortes, etc., las cuales pueden ser de cuero o sintéticas. Las suelas pueden ser producidas también en la planta, en cuyo caso deben suajarse y emparejarse. Pueden también comprarse a un proveedor, especialmente si son de material sintético, ya prácticamente acabadas.

Los componentes de cuero del corte son sometidos a los procedimientos preliminares, para evitar espesor irregular o con adherencias, que los prepararán para el cosido: desorillar, rebajar, igualar, ojalillar, y demás operaciones que sean necesarias. Estos procesos sólo pueden hacerse económicamente en plantas grandes, al menos con dos líneas de mil zapatos cada una. Cuando el tamaño de la planta no permite equipo especializado, el rebaje puede hacerse a mano, o comprarse cueros de espesor calibrado.

El cosido del corte (pespunte) es la operación más importante en la fabricación de calzado, por ser la actividad que emplea más mano de obra y por la destreza requerida para su ejecución. El cosido requiere que se marque previamente el corte para guiar convenientemente al pespunteador y hacer su trabajo más rápido y fácil. Hay dos métodos principales para el marcado:

- 1) Marcas incorporadas a los troqueles de corte, los troqueles pueden incorporar pequeños punzones, que marcan adecuadamente los puntos importantes.
- 2) También pueden hacerse marcas con bolígrafos, a través de dispositivos adecuados que incluyan rendijas para hacer marcas.

El pespunte involucra el cosido de todos los componentes del corte. Algunos diseños de calzado requieren además el agujero decorativo del corte, por ejemplo, en la zona de los dedos, para lo cual pueden usarse herramientas manuales o máquinas agujeradoras.

Se coloca luego el corte ya cosido sobre la horma, adicionando también los refuerzos para el talón, los dedos y la chinela. A continuación, se procede al contado, que consiste en formar el bloque superior del zapato. Corte y chinela (la cual fue clavada previa y provisionalmente a la horma). Para esto, deben estirarse los bordes del corte alrededor de la horma (el espesor del cuero ya fue previamente reducido, manualmente o a máquina, para mejorar la apariencia del calzado y la comodidad en su uso), se raspa (carda) el borde inferior del corte para que el cemento adhiera, se le agrega el espinazo (pieza de metal o madera que da robustez al zapato), y se cementa el bloque superior a la suela, que previamente había sido también adicionada y cementada convenientemente. Manualmente se cortan los hilos que hayan quedado en las costuras o los restos del forro.

Luego de retirada la horma, el zapato queda semiterminado, faltando sólo por realizar tres operaciones: colocar el tacón, en caso de que no estuviera ya incorporado a la suela; emparejarlo y enviarlo al departamento de adorno. Allí se lava, se retoca y se le da brillo,

se le agrega la plantilla y se le da un pulido general. Por último, hay una inspección por control de calidad, se le agregan las agujetas (en caso de necesitarlas) y finalmente, se empaca.

### ***1.8. Máquinas cortadoras de cuero para la producción de calzado***

El desarrollo tecnológico de maquinaria para la industria del calzado se ha especializado en cada proceso de su producción. A continuación se presentarán algunas de las máquinas especialmente diseñadas para el corte de cuero, ya que será el caso de estudio en este trabajo.

El **sistema ADISA** es un sistema de corte de piel para partes de calzado. El sistema integra componentes de hardware como un sistema de digitalización, escáner y mesa de corte; componentes de software como procesamiento de imágenes, etc.

Partes del sistema:

- Mesa de digitalización para marcado de defectos
- Mesa de corte para colocar y marcar tamaños.
- Mesa de clasificación de partes cortadas.
- Proyector VGA para retroalimentación durante el marcado y encendido durante retiro.
- Cámara para escaneo de piel.
- Transportador.
- Computadoras para el control de componentes y procesamiento.

Especificaciones: Tamaño de piel máximo 1700x2400 mm

La máquina MASTERCUT 2100 de Blackman and White Ltd., con cortador de cuchilla cuenta con las siguientes características técnicas:

Ancho:	
Básico de Mesa de corte	4075 mm
Total del carro de corte	4325 mm
a) Longitud:	17.08 m
c) Altura de mesa:	850 mm +/- 50 mm
Velocidad lineal máxima:	1.5 m/s
Precisión; +/- 0.50 mm,	Repetibilidad: +/- 0.25 mm

La máquina ELITRON EliCUT K2 se aprecia en la figura 1.3 diseñada para el corte automático de la piel por medio de cuchilla oscilante cuenta con las características técnicas:

EliCUT K2 Linea	
Dimensiones máquina:	
Longitud	2050 mm
Profundidad	4640 mm
Altura	2420 mm
Dimensiones área de corte:	
Profundidad	1200 mm
Ancho	1500 mm
Velocidad:	
Velocidad máxima	80 m/min
Alimentación:	
Eléctrica	3-fase 220/400VAC 50/60Hz 19 KW
	Monofase 220/240VAC 50/60Hz 5KW
Neumática	4/6 bar



Figura 1.3 Máquina cortadora de piel EliCUT K2

Otro sistema de corte de pie es Taurus XM de GERBER TECHNOLOGY, las características técnicas:

Taurus XM	
Dimensiones máquina:	
Longitud	3600 mm
Profundidad	4500 mm
Dimensiones área de corte:	
Profundidad	2740 mm
Ancho	3200 mm
Altura de mesa	820 a 850 mm
Velocidad:	
Velocidad máxima	1.27 m/s
Aceleración máxima	10.16 m/s <sup>2</sup>
Alimentación:	
Eléctrica	Generador de vacío
	3-fase 208/230VAC 60Hz a 25.6-23.4 amps
	3-fase 460VAC 60Hz a 11.7 amps
	Sistema de conducción 220VAC a 15 amps (1 fase)
Neumática	5.5/8.3 bar @ 14.15 lpm



Figura 1.4 Máquina Corte de Piel Taurus XM

La mesa de corte por cuchilla ATOM Flashcut 30155 con un sistema de generación de vacío para fijar la piel, tiene las características técnicas:

ATOM	
Dimensiones área de corte:	
Profundidad	1550 mm
Ancho	3000 mm
Velocidad:	
Velocidad máxima	0.83 m/s (50 m/min)

Otra máquina diseñada para cortar piel y materiales sintéticos por cuchilla se muestra en la figura 1.5 es la CM44 COMELZ ITALIA, las características técnicas son:

CM44	
Dimensiones máquina:	
Largo	3240 mm
Ancho	2000 mm
Alto	1680 mm
Peso neto	1700 kg
Dimensiones área de corte:	
Profundidad	Ilimitada
Ancho	1500 mm
Número de cabezales de corte	2
Velocidad:	
Velocidad máxima	2x50 m/min
Resolución	0,025 mm
Alimentación Eléctrica	(3-fase+neutro) 400 V- 50 Hz
Consumo eléctrico	10 KW
Alimentación neumática	7 bar



Figura 1.5 Máquina de corte por cuchilla CM44

La máquina Zicutter 1300 se muestra en la figura 1.6 emplea el corte por cuchilla oscilante, con las siguientes características técnicas:

Zicutter	
Área útil de corte	1000x1500 mm
Número de herramientas	3
Velocidad:	
Velocidad máxima	20 m/min
Proceso de corte	Cuchilla oscilante
Sistema de vacío	Bomba rotativa



Figura 1.6 Máquina de corte por cuchilla oscilante

### ***1.9. Patentes***

Durante el desarrollo de un producto es importante realizar una búsqueda de información, para así obtener como recursos fuentes de ideas que proporcionen herramientas para diseñar un producto de calidad.

La búsqueda de patentes es una buena fuente de ideas y de información técnica, incluye dibujos detallados y explicaciones de cómo funcionan muchos productos (Ulrich, 2004). Al realizar la consulta de patentes por medio de bases de datos se encuentra que hay dos tipos principales de patentes: *patentes de utilidad o de función* y *patentes de diseño*. La patente de utilidad presenta cómo una idea opera o se usa. Las patentes de diseño cubren sólo el aspecto o forma de la idea. Las patentes de diseño no son muy fuertes, con un cambio ligero en la forma de un aparato que lo hace parecer diferente es considerado un producto diferente. Las patentes de utilidad son muy fuertes, porque ellas cubren cómo el dispositivo trabaja, no cómo parece (Ullman, 2003).

Al buscar una patente se encuentran que los títulos que están en una patente americana, dan el número patente (si no hay una "D" enseguida del número, se trata de una patente de utilidad), el nombre del primer inventor, y la fecha. La información importante en la primera columna es el archivo, la fecha, su clase, y otras referencias citadas.

Algunas de las patentes encontradas para el corte de cuero son:

Número de patente	Fecha	Patente	Título
85 07827	22.05.1985	Española	Procedimiento de recortado de una piel o similar a partir de la colocación interactiva de plantillas sobre dicha piel
WO 2005102628	03.11.2005	Internacional	Máquina para corte de piel y materiales similares para la manufactura de partes de calzado y usos similares
EP 0 512 188	11.09.1996	Europea	Máquina para corte de plantillas de una hoja de material
DE	02.10.2003	Alemana	Robot cortador de piel
US 5 476 358	19.12.1995	Americana	Robot cartesiano de 3 ejes

*“Procedimiento de recortado de una piel o similar a partir de la colocación interactiva de plantillas sobre dicha piel”*

Esta patente trata de un procedimiento que consiste en colocar la piel sobre un plano de trabajo de una mesa de corte automatizada, colocando plantillas manualmente sobre la piel, las plantillas servirán como medio de codificación que permitirá la identificación y el reconocimiento de la posición de la plantilla en el marco, en fotografiar la distribución realizada, en analizar la imagen obtenida en vistas a leer los códigos que llevan las plantillas y en gobernar el desplazamiento del corte útil por el interior de dicho marco en vistas a reproducir los contornos de las plantillas decodificadas.

Se trata de un procedimiento para el recortado directo y automático de una piel, sobre la cual se habrán situado manualmente unas plantillas.

Esta invención se aplica al recortado de patrones en la industria del cuero, especialmente en la industria del calzado.

Esta técnica propone para el recortado automático de una piel a partir de la colocación interactiva manual de plantillas que permite ganar tiempo en su puesta en práctica, permitiendo combinar al mismo tiempo las ventajas de un posicionamiento manual directo sobre la piel, por parte del cortador, y las ventajas de un gobierno automático informatizado del recortado de la piel por medios modernos actualmente existentes (por láser, por chorro de agua, etc.).

*“Máquina para corte de piel y materiales similares para la manufactura de partes de calzado y usos similares”*

Se refiere a una máquina de corte de piel natural, regenerada o materiales sintéticos para la fabricación de partes de calzado.

Consiste en una máquina de control numérico, que corte el material sin usar troqueles para corte incluye una superficie de trabajo que combina la colocación y sujeción del material a cortar; medios ópticos para proyectar imágenes de las formas a cortar sobre el material extendido en la superficie; medios para soportar y mover una herramienta de corte sobre dicha superficie y medios para controlar el desplazamiento de dicha herramienta de corte de acuerdo con los datos proporcionados por el medio óptico.

La herramienta de corte básicamente es una cabeza adecuada para controlar los movimientos axiales de alta velocidad por los diferentes ángulos de orientación de la

herramienta de corte a lo largo del contorno de las piezas formadas por cortar del material.

La máquina en cuestión puede formarse de una estructura que proporcione una superficie de trabajo para soportar y anclar el material a cortar combinando con: - un ensamble de guía soportado sobre un plano paralelo a la superficie de trabajo; - un accesorio fijo en dicho ensamble para llevar una herramienta para cortar el material; - una unidad óptica distanciada sobre dicha superficie para proyectar una imagen de la forma de la pieza a cortar; - un sistema para orientar la unidad óptica a disposición del operador para posicionar la imagen sobre el material a cortar y medios para datos derivados de la orientación de la unidad óptica para permitir el posicionado del accesorio y herramienta de corte, y el corte consiguiente del material en los lugares seleccionados por el operador y por el comando de operación.

*“Máquina para corte de plantillas de una hoja de material”*

En la industria del calzado, las plantillas de cartón son empleadas para proporcionar la forma del contorno de referencia o perfil para hacer la parte superior del calzado.

Las plantillas de cartón son formadas de hojas de cartón las cuales son cortadas de acuerdo a la forma deseada usando una máquina de corte adecuada.

La máquina emplea cortadores rotatorios pequeños los cuales consisten en dos herramientas de corte una herramienta superior y otra herramienta de emparejamiento que se mueven sincrónicamente en posición alineada una de la otra. Estas herramientas están apoyadas por dos carros respectivamente adaptados para ejecutar un movimiento transversal lineal a lo largo de una dirección. Cada carro es montado sobre una barra y sobre un tornillo conductor, donde la barra y el tornillo conductor son soportados por una guía de carro, los dos tornillos conductores de los carros son conectados por un solo motor para originar movimiento sincrónico.

*“Robot cartesiano de 3 ejes”*

Este robot proporciona los elementos para que con el accionamiento de un solo eje los tres ejes sean movidos.

El robot cartesiano de tres ejes el cual incluye un solo motor de accionamiento para conducir el robot en tres direcciones de movimiento, conocidas como los ejes X, Y, Z.

Está compuesto de un apoyo en posición horizontal que tiene un carro montado de movimiento horizontal. El motor de accionamiento se monta en el primer apoyo y es conectado al primer carro para moverlo longitudinalmente. Un segundo apoyo es asegurado en el primer apoyo y se extiende transversalmente. Un segundo carro se monta en el segundo apoyo. Un tercer apoyo se monta verticalmente en el segundo carro y tiene un accesorio en su extremo para manipular las piezas de trabajo. Cuenta con un freno transversal para detener el primer carro, de forma similar un freno vertical para detener el segundo carro. Con este sistema de frenos se logra que cada carro se pueda fijar y se ubique su extremo del manipulador.

### ***1.10. Robot del Dr. Yu Tang Xu***

Uno de los trabajos realizados por el Dr. Yu Tang Xu, es un robot diseñado para el proceso de corte el cual podrá elevar la productividad y bajar el costo mediante cortes más rápidos y precisos.

En la Facultad de Ingeniería se ha desarrollado un robot cartesiano con cuatro grados de libertad para realizar el corte de cuero: tres grados de libertad (x, y, z) para posicionar la navaja y un grado de libertad para el ángulo de ésta (Díaz-Rodríguez, 2005).

Actualmente, el prototipo se muestra en la figura 1.7 se encuentra instalado en la UDETEQ dentro de las instalaciones del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) en Juriquilla. Se están llevando a cabo las pruebas finales tanto de hardware como el software, así como los algoritmos de control.



Figura 1.7 Prototipo de robot cartesiano para corte de cuero

El prototipo de robot cartesiano está construido principalmente de elementos mecánicos comerciales como son: poleas y bandas dentadas, perfiles de acero, así como de electromecánicos: servomotores en la figura 1.8 se pueden apreciar algunas partes del robot.



Figura 1.8 Algunos elementos del prototipo de robot cartesiano

## **2. Proceso de diseño**

En este capítulo se explica de manera breve el proceso de diseño en ingeniería, se describen las actividades a llevar a cabo, además se dan algunos de los puntos a considerar para llegar a un diseño de configuración.

### **2.1. Descripción del proceso de diseño**

Para diseñar un producto exitoso, este debe apegarse a un proceso de diseño, de esta forma se puede asegurar que será un producto confiable, competente y adecuado para los propósitos de su diseño, entre otros factores a considerar.

Existe una gran cantidad de procesos de diseño propuestos por diferentes autores, los cuales pueden variar en detalle pero son básicamente similares. Este trabajo de tesis sigue las primeras etapas del proceso de diseño (Dieter, 2000). Las etapas de diseño se describen enseguida:

#### **2.1.1 Etapa 1 Diseño Conceptual**

Es el proceso por el cual se inicia el diseño, considerando la creación de todas las soluciones posibles y seleccionando el mejor concepto. En esta etapa se requiere de mucha creatividad. Las actividades a desarrollarse en la etapa de diseño conceptual son:

- Identificación de las necesidades del cliente: La meta de esta actividad es comprender y comunicar las necesidades al equipo de diseño.
- Definición del problema: Consiste en crear un informe que describa como se lograra satisfacer las necesidades del cliente. Este involucra el análisis de productos de la competencia, se establecen las especificaciones y limitaciones.
- Búsqueda de información: Consiste en reunir la información necesaria para el diseño en ingeniería.
- Conceptualización: se refiere en la generación del concepto por medio de un amplio conjunto de conceptos que satisfacen al problema. Es de gran ayuda los métodos de creatividad combinando con una eficiente reunión de información.
- Selección del concepto: Evaluación de los conceptos de diseño, modificando y mejorando el concepto.
- Refinar las especificaciones de diseño: Las especificaciones de diseño del producto se retoman después de que se ha seleccionado el concepto. El equipo

de diseño debe comprometerse para lograr los parámetros de diseño, desempeño y costo.

- Revisión del diseño: Asegurará que el diseño es físicamente realizable y que es económico. Este es necesario ya que idea una estrategia para minimizar el ciclo del producto e identificar recursos en personas, equipo y dinero necesario para completar el proyecto.

### **2.1.2 Etapa 2 Materialización del diseño**

Se parte del concepto seleccionado para materializarlo. En esta etapa de diseño, se considera la resistencia, selección de materiales y elementos que integran el diseño para darle forma. Materialización del diseño esta relacionado con la arquitectura del producto, diseño de configuración y diseño paramétrico.

#### **2.1.2.1. Arquitectura del producto**

Consiste en dividir el sistema en subsistemas o módulos. En este paso se decide como los componentes físicos del diseño estarán ordenados y combinados para llevar a cabo las necesidades funcionales del diseño.

#### **2.1.2.2. Diseño de configuración**

En el diseño de configuración se establece la forma y dimensiones generales de componentes. El término componente es usado en el sentido genérico para incluir partes especiales, partes estandarizadas y ensambles o módulos. Una *parte* es un objeto que en su diseño no tiene operaciones de ensamblado al ser manufacturado. Una *parte estandarizada* es una que tiene una función genérica y se fabrica normalmente sin considerar un producto en particular. Una *parte especial* se diseña y manufactura con un propósito específico. Un *ensamble* es una colección de dos o más partes. Un *subensamble* es un ensamble que se incluye dentro de otro ensamble o subensamble. Un *ensamble estándar* o *módulo* es un ensamble o subensamble el cual tiene una función genérica y se fabrica frecuentemente.

Una *configuración* es la estructura que muestra el arreglo y ensamble de los componentes en el producto. Las formas o configuraciones dependen fuertemente de los materiales disponibles y los métodos de producción.

Pasos a seguir para iniciar un diseño de configuración:

1. Revisar las especificaciones del diseño y cualquiera de las especificaciones de componentes desarrolladas para un subensamble en particular.
2. Establecer las limitaciones en el espacio que pertenecen al producto o subensamble a ser diseñado.
3. Crear y refinar las interfases o conexiones entre componentes. Equilibrio de fuerza.
4. Al llevar a cabo el diseño, mantener la independencia funcional en el diseño de un ensamble o componente.
5. Antes de emplear mucho tiempo en el diseño, responder las siguientes preguntas:
  - ¿Puede ser eliminada una parte o combinada con otra?
  - ¿Se puede usar una parte estandarizada o un módulo?

Generalmente, la mejor manera de comenzar con el diseño de configuración es empezar dibujando las configuraciones alternativas de una parte. Los dibujos son una ayuda importante en la generación de la idea y una forma para reunir ideas sin relación en los conceptos de diseño.

Un tipo especial en el diseño de configuración pero poco frecuente es la selección de un diseño. Para seleccionar adecuadamente los elementos del robot cortador de cuero, se realizaron cálculos.

### ***2.1.2.3. Diseño paramétrico***

Identifica los parámetros que caracterizan al objeto que es estudiado, con la finalidad de encontrar los mejores valores para cada parámetro. Éstos incluyen los materiales del producto, dimensiones, tolerancias, procesos de manufactura, así como aspectos del diseño que puedan llevar a una falla.

### ***2.1.3 Etapa 3 Diseño de detalle***

El desarrollo de detalles es la última etapa para diseñar un producto. Finalmente se plantean o se desarrolla el arreglo, la forma, las dimensiones y las propiedades superficiales de todas las partes individuales; se especifican los materiales; se preparan todos los planos y otros documentos para producción.

Las etapas descritas anteriormente se muestran en la figura 2.1.

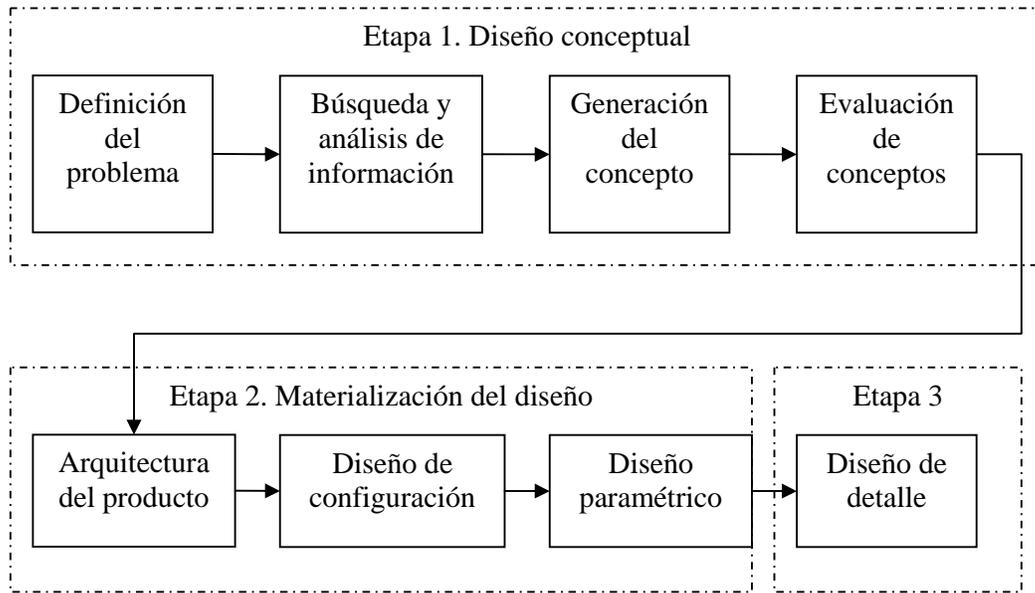


Figura 2.1. Secuencia lógica de pasos a seguir dentro del proceso de diseño básico

### ***3. Diseño conceptual***

En este capítulo se presentan algunas de las actividades basadas en la primera etapa del proceso de diseño. Con la finalidad de tener un orden y comprender como se desarrollo el diseño del robot cartesiano.

#### ***3.1. Definición del problema***

Consiste en reunir toda la información acerca de las necesidades del cliente, por lo que se debe identificar cada una de estas necesidades, para ello se interpreto la información que proporciona el cliente o usuario líder, por medio de entrevistas y encuestas.

Además para una mejor comprensión de las necesidades, es recomendable conocer el estado del arte para satisfacer las necesidades.

##### ***3.1.1 Definición del problema***

Realizar el diseño de un robot para corte de cuero el cual sirva de apoyo para la industria de calzado.

#### ***Objetivo.***

Desarrollar el diseño de configuración de un robot cartesiano con cuatro grados de libertad para cortar cuero por medio de la aplicación de componentes comerciales y seleccionar los motores eléctricos para su accionamiento.

#### ***Alcance***

Se describirá el arreglo que integra al robot cortador de cuero. Se presentarán los cálculos para la selección adecuada de elementos mecánicos y motores de accionamiento así como elementos estructurales.

##### ***3.1.2 Necesidades del cliente***

Por medio de una visita realizada a la empresa fabricante de calzado se interpretaron algunas de las necesidades para contemplar en el diseño del robot. Las cuales se presentan enseguida:

- En la mesa se pueda colocar la piel a cortar

- Evitar el corte manual y fatiga en el operador
- Disminuir el tiempo de corte y desperdicio de material
- Facilidad en mantenimiento.

### **3.1.3 Especificaciones**

Aquí se traducen los requerimientos del cliente a especificaciones de diseño. Ya que la información en cuanto a requerimientos proporcionados por la empresa es reducida, se llevo a cabo el análisis de la información presentada en la sección 1.8, con la finalidad de poder establecer las especificaciones requeridas por el equipo de diseño.

Algunas de las especificaciones son las siguientes:

#### ***Dimensiones del área de trabajo***

El área de trabajo que debe tener la máquina para corte de cuero depende de las dimensiones y geometría del material que se desea cortar, para este caso se trata de cuero, por lo que se considera el largo y ancho promedio de un lado de piel. “El 90% de los lados tienen un largo máximo de 2.4 metros y un ancho de 1.5 metros”.

#### ***Altura de la mesa***

La altura de la mesa esta entre 800 mm a 850 mm.

#### ***Velocidad***

La velocidad lineal máxima de acuerdo a la información analizada es de 1.5 m/s (90 m/min), por lo que se considera para propósitos de este diseño.

#### ***Proceso de corte***

El corte es por medio de cuchilla de 50 mm de largo por 7 mm de ancho por 1 mm de espesor.

## **3.2. Búsqueda y análisis de información**

Esta actividad se llevo a cabo para obtener fuentes de ideas al momento de diseñar, para ello primero se documento a detalle acerca del problema, sus características, productos similares que se encuentran en el mercado, entre otras fuentes.

Muchos de estos datos se ordenaron y clasificaron de manera que se extrajeron conclusiones.

Esta información consistió en consultar patentes, el robot del Dr. Tang, vistas en las secciones 1.9 y 1.10 respectivamente y la búsqueda de información técnica,; las cuales aportaron algunos principios de funcionamiento para el desarrollo de este trabajo.

### ***3.3. Generación del concepto***

Con base a las especificaciones del diseño y la información se contemplan las alternativas que hacen posible la solución del problema, entre ellas, la lluvia de ideas, en las que participaron distintas personas involucradas en el diseño del robot cortador de cuero; se presentan las propuestas de solución generadas; el empleo de información comercial también fue de ayuda para generar dibujos de posibles soluciones.

#### ***3.3.1 Consideración preliminar***

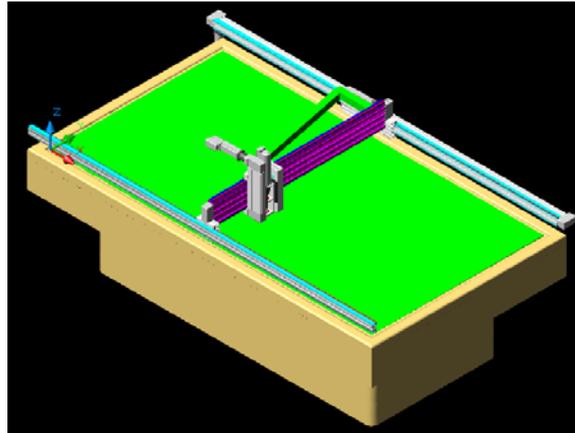
Con la información de un robot industrial, su estructura mecánica y sistemas de impulsión se procedió a dar soluciones de forma conceptual al diseño del robot.

Ya que en el proceso de corte de cuero para la producción de calzado requiere precisión además de que es grande la cantidad de piezas a cortar, para poder llevar a cabo la automatización del proceso de corte y que se cumpla con las especificaciones mencionadas, el robot adecuado para esta tarea es uno del tipo cartesiano.

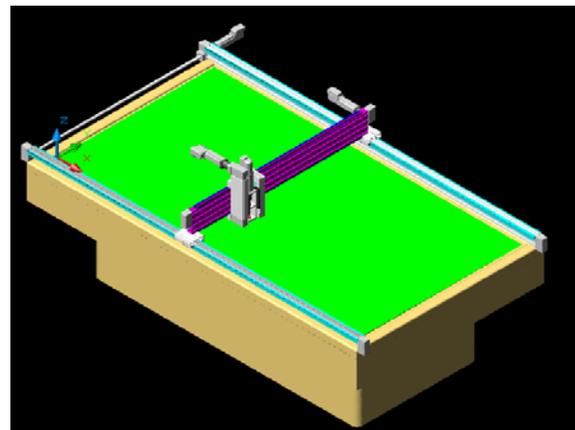
#### ***3.3.2 Alternativas generadas***

Para generar las alternativas se observó el prototipo de robot cortador de cuero del Dr. Tang y básicamente en la configuración de un robot cartesiano, ya que el área de trabajo que un robot cartesiano puede cubrir es amplia y sirve para aprovechar la colocación de una piel. Este robot presenta cuatro grados de libertad, donde tres grados son para movimiento lineal y uno para movimiento rotacional, se realizó la búsqueda de los elementos comerciales tanto mecánicos como electromecánicos que pueden resolver el principio de operación que desempeña cada una de las partes del robot cartesiano.

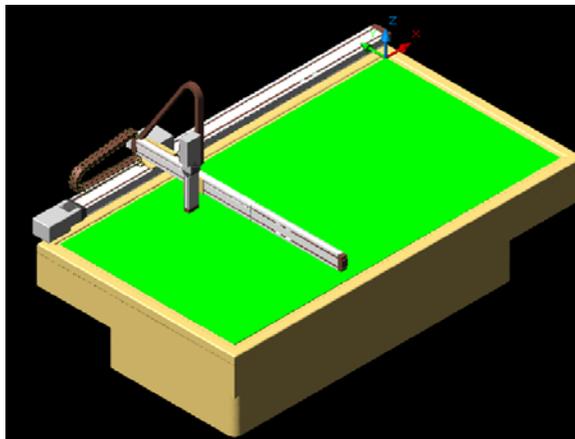
Con el equipo de trabajo integrado por alumnos de ingeniería, maestría y doctorado del Centro de Diseño y Manufactura, se presentaron propuestas para la configuración del robot cartesiano para corte de cuero, en la figura 3.1 se presentan las tres propuestas.



Configuración I



Configuración II



Configuración III

Figura 3.1 Propuestas para configuración de robot cartesiano

En cada una de las configuraciones mostradas en la figura 3.1 se tiene como característica principal una base estructural que sirve como soporte de los brazos del robot cartesiano además de funcionar como mesa de trabajo para colocar las pieles. En estos, su accionamiento es por medio de motores eléctricos, en la configuración I la transmisión de movimiento lineal en los ejes (x, y, z) es empleando bandas dentadas que son adaptadas en un perfil de aluminio comercial, paralelamente al brazo en la dirección x se tiene una guía lineal para soportar el brazo transversal. En la configuración II la transmisión de movimiento lineal en los ejes (x, y, z) son empleando bandas dentadas que son adaptadas en un perfil de aluminio comercial, con una flecha de accionamiento para lograr una transmisión directa en ambas bandas dentadas. En la configuración III, la transmisión de movimiento lineal en los ejes (x, y, z) es mediante el empleo de módulos lineales estos operan por medio del uso de tornillos de bolas recirculantes.

Por mi parte cabe señalar que trabajé en la configuración III, que dio origen al desarrollo del presente trabajo de tesis. Además de que una de las características de los tornillos de bolas recirculantes, es que tienen una mejor precisión en la transmisión de movimiento lineal que con el empleo de bandas dentadas.

#### 4. Diseño de configuración

En este capítulo se presenta el diseño de configuración del robot para corte de cuero, se describe el arreglo y ensamble de componentes.

##### 4.1. Diseño de configuración del robot para corte de cuero

En la figura 4.1 se muestra el concepto de la máquina diseñada para cortar cuero. Posteriormente se describirá cada parte que integran el diseño de configuración.

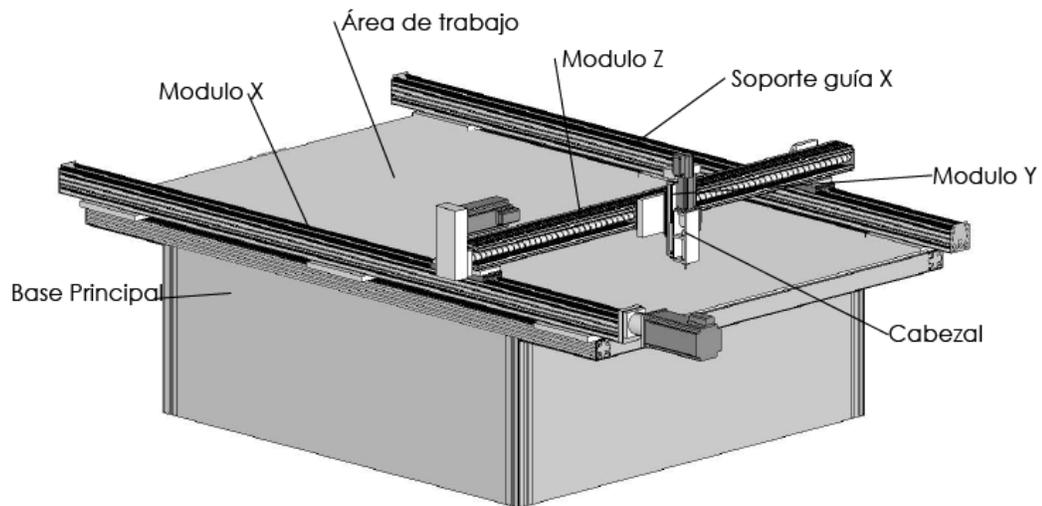


Figura 4.1 Diseño de configuración del robot para corte de cuero

##### 4.1.1. Descripción de componentes

La configuración se divide en los componentes indicados en la figura 4.1 estos se describirán como:

- a) Cabezal: este componente sirve para direccionar y soportar la herramienta de corte en la figura 4.2 se aprecian la partes que lo forman.

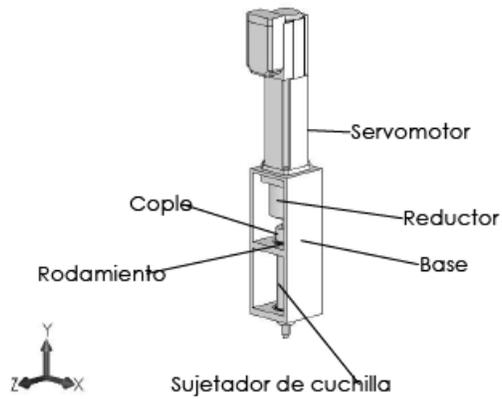


Figura 4.2 Cabezal

- b) Módulo Y: empleado para desplazar el módulo lineal PSK en la dirección del eje Y debido a que la mesa de dicho módulo se encuentra fija, libera y encaja la cuchilla en la superficie de corte, ver figura 4.3.

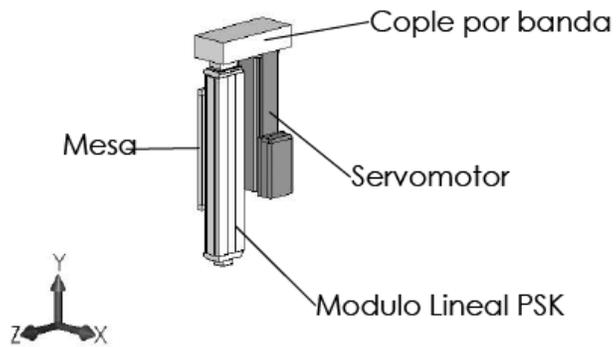


Figura 4.3 Módulo Y

- c) Módulo Z: desplaza linealmente en la dirección del eje Z la mesa, permitiendo posicionar la navaja a lo ancho de la superficie esté se muestra en la figura 4.4.

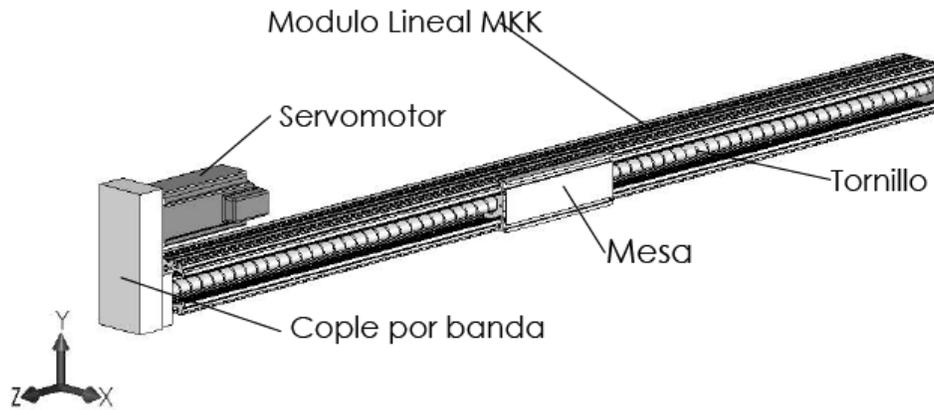


Figura 4.4 Módulo Z

- d) Módulo X: se muestra en la figura 4.5, sirve para el desplazamiento lineal de la mesa en la dirección del eje X, permite posicionar el módulo Z a lo largo de la superficie de corte.

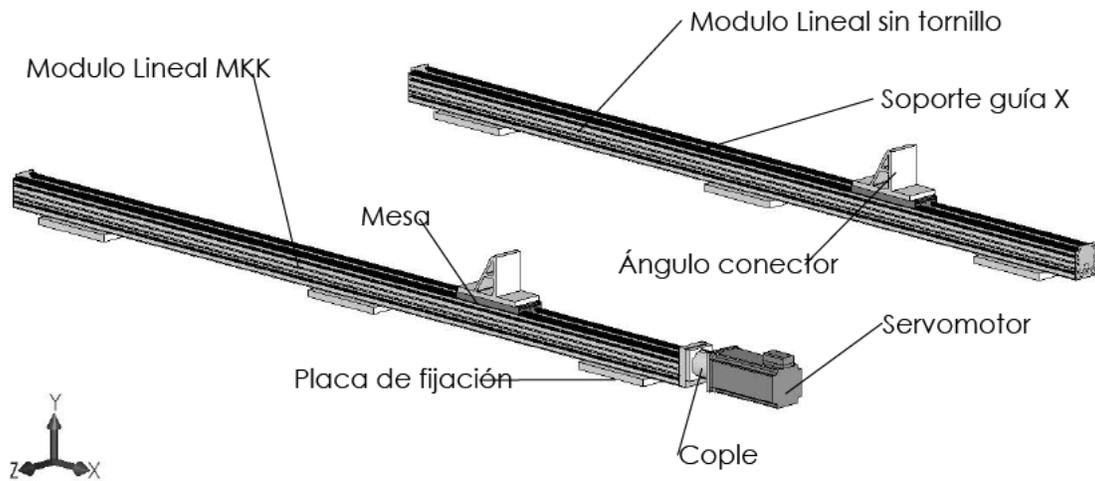


Figura 4.5 Módulo X y guía de soporte

- e) Soporte guía X: sirve para que el módulo Z se apoye y evitando que se encuentre en voladizo además de que el peso caiga totalmente sobre el módulo X.
- f) Base principal: en la figura 4.6 se muestra solamente el arreglo estructural de la base que soporta los brazos.

Arreglo estructural

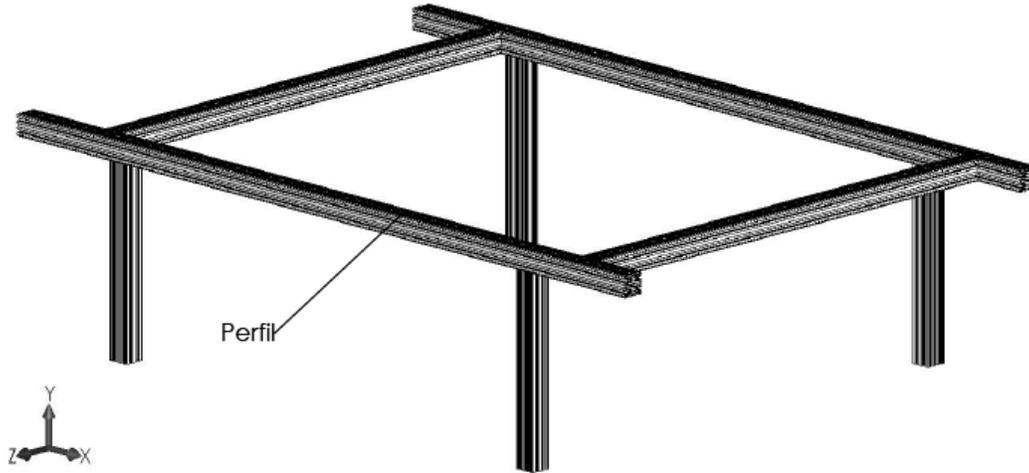


Figura 4.6 Estructura de mesa

La **base principal** sirve como mesa de trabajo para tener una altura adecuada, donde pueden ser colocadas las pieles para comenzar a cortar los patrones seleccionados, además que mantiene los módulos que forman el robot.

El **tornillo de bolas** sirve como medio para poder transmitir movimiento y transformar el movimiento rotacional a lineal.

El **cojinete de apoyo** tiene la función de dar soporte a los extremos del tornillo de bolas, además contribuye a reducir fricción y más alta exactitud de posicionado. Para evitar la deformación del tornillo debida a la flexión se coloca junto con una **guía lineal**, la cual sirve como soporte de las cargas verticales y laterales con ello se aumenta la rigidez y la capacidad de carga.

En conjunto al unir el tornillo de bolas, los cojinetes y guías lineales se obtiene lo que comercialmente se conoce como **Módulo lineal**. Este proporciona medios simples para convertir el movimiento rotatorio de una flecha al movimiento lineal de un carro conducido. La flecha puede ser volteada por una amplia variedad de medios: rotación manual con un manubrio; vía una transmisión de una pieza de equipo rotatorio; o usando un motor neumático, hidráulico o eléctrico.

Las aplicaciones más comunes usan motores eléctricos (normalmente vía una caja de engranes).

**Ventajas en la construcción de un sistema cortante.**

La introducción de un Robot Cortador para la producción de una fábrica permite:

- La reducción dramática de los problemas asociados con la fabricación, administración y almacenamiento de troqueles cortantes.
- Flexibilidad de la producción.
- Una reducción del tiempo requerido para la preparación de modelos y la introducción de productos terminados al mercado.

Este robot cortador de cuero es la solución ideal para la producción pequeña y mediana para cada compañía. La calidad y vida de los componentes junto con el control preciso, velocidad alta cortando y alto grado de seguridad, hacen la solución perfecta para la producción de calzado.

## 5. Selección de elementos

En este capítulo se presentan los elementos mecánicos, motores eléctricos y perfiles de soporte seleccionados que integran el diseño de configuración del robot para corte de cuero por navaja; considerando las especificaciones de diseño.

### 5.1. Módulos lineales

Los módulos lineales son sistemas de movimiento lineal, se caracterizan por ser precisos, diseño estructural de fácil montaje para diferentes longitudes, perfil de aluminio de dimensión compacta integrado además con un sistema de riel para soportar mayor carga y evitar la deflexión del tornillo de bolas. El ensamble de tornillo de bolas de precisión calidad rolado cuenta con tuerca cilíndrica.

La selección de los módulos lineales se hace simultáneamente con la selección del motor impulsor y siguiendo los pasos listados a continuación:

1. Condiciones de uso: carga, velocidad, carrera. Para dimensionar el módulo lineal.
2. Identificar módulo y posible motor impulsor. Se identifica un módulo aproximado a las condiciones anteriores.
3. Estimar la longitud del módulo. Se considera el paso que tendrá el tornillo de bolas además de la longitud necesaria para montar sensores.
4. Seleccionar el tornillo de bolas. Se determina el diámetro y el paso del tornillo.
5. Factores relacionado con el montaje del motor. Estos son momento de fricción, momento de inercia, velocidad de rotación.
6. Resumen. Se presenta el módulo lineal seleccionado con algunas de las características técnicas que deberá tener el motor.

#### 5.1.1. Módulo lineal PSK

##### Módulo Y

Para la selección del módulo lineal mostrado en la figura 4.3 (pág. 31) que sujetara al cabezal, se consideraron los siguientes puntos:

- Una masa de 20 kg como máximo del cabezal y accesorios de fijación
- Dimensiones compactas del módulo
- Velocidad de 25 m/min
- Montaje del motor por cople

El proceso de selección del módulo lineal es iterativo. En este se debe suponer un diámetro de tornillo y un paso, además de considerar simultáneamente el motor impulsor. Se analizaron otros módulos lineales sin embargo estas opciones resultaron ser de dimensiones grandes y se excedían en capacidad, lo que suponía la selección de un motor de mas potencia, mas caro y con mayor dimensión.

De acuerdo a las consideraciones hechas y los cálculos realizados el módulo lineal PSK 60 es el que cumple con los requisitos mencionados, con tornillo de bolas de 12 mm de diámetro y un paso de 5 mm. La longitud del módulo es de 300 mm. El ensamble consta de un tornillo, mesa de aluminio de longitud larga, con banda de protección, en la figura 5.1 se muestra el módulo psk. La información técnica, cálculos y dibujo para este módulo se presentan en las secciones A.1 (pág. 42), B.1 (pág. 53) y plano ML2 (pág. 78) respectivamente.

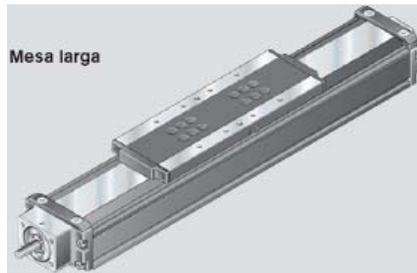


Figura 5.1 Módulo PSK

### **5.1.2. Módulo lineal MKK**

Para los siguientes módulos se presenta una breve descripción de su selección, en los anexos se encuentra más información. Las partes del módulo MKK junto con los elementos de desgaste se muestran en la figura A.8a (pág. 45).

#### Módulo Z

Para la selección del módulo lineal mostrado en la figura 4.4 (pág. 32), se consideraron los siguientes puntos:

- Una masa de 50 kg
- Dimensiones compactas del módulo
- Velocidad de 90 m/min
- Montaje del motor

De acuerdo a las consideraciones hechas y los cálculos realizados el módulo lineal MKK 25-110 es el que cumple con los requisitos mencionados, con tornillo de bolas de

32 mm de diámetro, un paso de 32 mm y un soporte de tornillo para soportar la velocidad requerida para la dimensión del módulo. La longitud del módulo es de 2254 mm. La información técnica, cálculos y dibujo para este módulo se presentan en las secciones A.2 (pág. 44), B.2 (pág. 56) y plano ML1 (pág. 77) respectivamente.

### Módulo X

Para la selección del módulo lineal MKK mostrado en la figura 4.5 (pág. 32), se consideraron los siguientes puntos:

- Una masa de 116,2128 kg
- Dimensiones compactas del módulo
- Velocidad de 90 m/min
- Montaje del motor directo

De acuerdo a las consideraciones hechas y los cálculos realizados el módulo lineal MKK 25-110 es el que cumple con los requisitos mencionados, con tornillo de bolas de 32 mm de diámetro, un paso de 32 mm y dos soportes de tornillo para soportar la velocidad requerida para la dimensión del módulo. La longitud del módulo es de 3266 mm. La información técnica, cálculos y dibujo para este módulo se presentan en las secciones A.2 (pág. 44), B.3 (pág. 62) y plano ML1 (pág. 77) respectivamente.

### Módulo soporte guía X

El módulo lineal mostrado en la figura 4.5 (pág. 32), fue seleccionado para evitar la flexión del módulo Z, este no cuenta con tornillo de accionamiento al igual que con soportes de tornillo. Su función, como se comentó, es soportar y servir de riel guía.

## **5.2. Motores eléctricos**

Un servomotor es un motor eléctrico con capacidad de ser **controlado**, en **velocidad** y/o **posición**.

- Control en velocidad: posibilidad de hacer girar al motor a una velocidad determinada independientemente de la carga o fuerza que deba vencer.
- Control en posición: posibilidad de realizar desplazamientos entre dos posiciones determinadas con precisión.

Existen muchos controladores de movimiento computarizado los cuales permiten al usuario programar sucesiones de movimiento complejas definiendo una serie de movimientos con una velocidad dada, dirección, aceleración y duración. Los

controladores básicos realizarán este control en un solo eje, pero las unidades sofisticadas pueden controlar varios ejes de una vez, coordinando el movimiento entre ellos. Esto es común en maquinaria de CNC, escoger y situar máquinas y robots.

Los controladores de movimiento inteligentes son unidades sofisticadas que proporcionan posicionamiento exacto y pueden abordar tareas complejas. Mientras ellos puedan usarse junto con muchos tipos de motores, ellos normalmente son más comúnmente acoplados con servomotores o motores de pasos.

Los servomotores trabajan en sistemas de lazo cerrado y tienen un dispositivo (un encoder o codificador) que constantemente le dice al controlador donde el motor está. Esto proporciona confirmación que el motor ha realizado el movimiento requerido que será importante si el movimiento es coordinado con otras acciones. Los servomotores tienden a operar a velocidades relativamente altas (6000rpm son comunes para algunos tipos) y pueden ofrecer muy altos torques en corto arranque así como mantener un buen desempeño, haciéndolos la opción adecuada en aplicaciones dinámicas.

La selección del motor se realiza de forma simultáneamente con la selección del módulo lineal. Para lograr un cálculo exacto del motor (motor y controlador) será posible cuando se conozca la secuencia del movimiento en general, incluyendo tiempos muertos, fuerza de alimentación y condiciones ambientales. La guía para la selección del motor se enlista a continuación:

1. Identificar el motor. Se estudia el motor previamente utilizado en la selección del módulo lineal.
2. Verificar torque.
3. Obtener el perfil de movimiento. Para observar su comportamiento se obtiene la gráfica velocidad-tiempo.
4. En caso de conocer la fuerza de alimentación repetir los pasos 1 al 3.

### **5.2.1. Servomotor módulo Y**

Para la selección del servomotor impulsor con transmisión por banda mostrado en la figura 4.3 (pág. 31), se consideraron los siguientes puntos:

- Un módulo lineal PSK 60
- Montaje del motor por cople

El proceso de selección del motor considera los resultados del sistema de accionamiento por tornillo de bolas.

El servomotor adecuado es MKD025B-144 con una velocidad de rotación máxima de  $9000 \text{ min}^{-1}$ , momento de inercia de  $0,3 \text{ kgcm}^2$ , masa de 2kg. En la figura A.23(a) (pág. 52) se muestran las dimensiones del servomotor y su montaje con cople de transmisión por banda dentada. La información técnica, cálculos y dibujo para este motor se presentan en las secciones A.3 (pág. 48), B.1 (pág. 55) y plano ML2 (pág. 78) respectivamente.

### **5.2.2. Servomotor módulo Z**

Para la selección del servomotor impulsor con transmisión por banda mostrado en la figura 4.4 (pág. 32), se consideraron los siguientes puntos:

- Un módulo lineal MKK 25-110
- Montaje del motor por cople
- Fuerza de alimentación

El servomotor adecuado es MKD071B-061 con una velocidad de rotación máxima de  $4600 \text{ min}^{-1}$ , torque máximo de 11,3 Nm, momento de inercia de  $8,7 \text{ kgcm}^2$ , masa de 8,8 kg. En la figura A.23(b) (pág. 52) se muestran las dimensiones del servomotor y su montaje con cople de transmisión por banda dentada. La información técnica y cálculos para este motor se presentan en las secciones A.3 (pág. 48) y B.2 (pág. 59) respectivamente.

### **5.2.3. Servomotor módulo X**

Para la selección del servomotor impulsor con transmisión por cople directo mostrado en la figura 4.5 (pág. 32), se consideraron los siguientes puntos:

- Un módulo lineal MKK 25-110
- Montaje del motor por cople
- Fuerza de alimentación

El servomotor adecuado es MKD090B-047 con una velocidad de rotación máxima de  $2900 \text{ min}^{-1}$ , torque máximo de 14,4 Nm, momento de inercia de  $43,0 \text{ kgcm}^2$ , masa de 14 kg. En la figura A.23(c) (pág. 52) se muestran las dimensiones del servomotor y su montaje con cople directo. La información técnica y cálculos para este motor se presentan en las secciones A.3 (pág. 48) y B.3 (pág. 67) respectivamente.

### **5.3. Estructura de soporte y elementos de fijación**

En esta sección se presenta el perfil estructural de aluminio del cual estará diseñada la base principal que soportará los brazos del robot además de mencionar algunos de los elementos para fijar cada brazo.

#### **Elementos de soporte y fijación**

##### Módulo Y (módulo de precisión PSK60)

- Fijación del módulo de precisión se logra directamente con tornillos en el cuerpo principal o a través de bridas de fijación externas.
- Placa de conexión sirve para fijar el cuerpo del módulo Y a la mesa del módulo Z. En la figura A.21 (pág. 51) se ilustra la placa de conexión con dimensiones.

##### Módulo Z (módulo MKK)

- La forma de fijar el módulo Z, es por medio de ángulos de conexión mostrado en la figura 4.5 (pág. 32) y en la figura A.22 (pág. 51) se presentan las dimensiones. En la sección B.4 (pág. 68) se muestra el cálculo para la deflexión del módulo. Se recomienda que al fijar el módulo los ángulos queden separados una distancia mínima de 5mm en cada extremo.

##### Módulo X (módulo MKK)

- La forma de fijar el módulo X, es por medio de tres placas de conexión en la parte inferior del módulo lineal mostrado en la figura 4.5 (pág. 32) y en la A.21 (pág. 51) se presentan las dimensiones. Se seleccionaron tres placas de conexión por que se trata de un elemento dinámico de alta velocidad, en la sección B.4 (pág. 69) se muestra el cálculo de flexión que indica que con el empleo de dos apoyos de fijación no sobrepasa la flexión. Se recomienda que al fijar el módulo las placas de conexión queden separadas una distancia mínima de 5mm en cada extremo.

#### **Estructura de soporte**

En el diseño de la base principal de soporte se considera la fuerza crítica que deberá soportar la estructura. En el análisis de fuerzas en cada soporte de la sección B.4 (pág. 69), se considera al portaherramientas en una esquina del área de corte lo cual indica que es ahí donde se encuentra la carga crítica para el análisis estructural.

Se selecciono un perfil estructural de aluminio 80x80L, la estructura de la mesa se muestra en la figura 4.6 (pág. 33), con un peso de aproximadamente 60 kg.

## Conclusiones

El presente trabajo será de utilidad para poder realizar otras configuraciones y determinar demás elementos que integraran la máquina cortadora de cuero.

Con el empleo de módulos lineales en este diseño se pretende que sea de dimensiones compactas, de fácil ensamble y desensamble en caso de requerirse, además de que sea ligero. Se recomienda el uso de módulos lineales ya que este cuenta con todos los elementos integrados de forma compacta que con el empleo de elementos mecánicos por separado.

Una característica importante en el empleo de módulos de longitud grande es que cuentan con soportes de tornillo los cuales logran que el tornillo de bolas alcance altas velocidades, lo que no hubiera sido posible al seleccionar solamente un tornillo de bolas con sus apoyos.

En el diseño propuesto se consideró la longitud del módulo lineal con el empleo de elementos de sensado, por lo que se recomienda para trabajo futuro en el control se consulten los catálogos de Bosch aquí referenciados.

Para tener un análisis de fuerza de corte se recomienda realizar pruebas para medir la fuerza necesaria para cortar el cuero. La fuerza utilizada en el cálculo de servomotores fue proporcionada por pruebas realizadas en pieles de espesores distintos en los laboratorios de Flexi industria manufacturera de calzado. Las gráficas de velocidad-tiempo considerando la fuerza de corte servirán de apoyo para trabajo a futuro en la selección del controlador.

Se recomienda estudiar al cabezal porta herramientas aquí propuesto o realizar otras propuestas además de que con el corte por medio de cuchilla será necesario proponer un dispositivo para sujetar la piel.

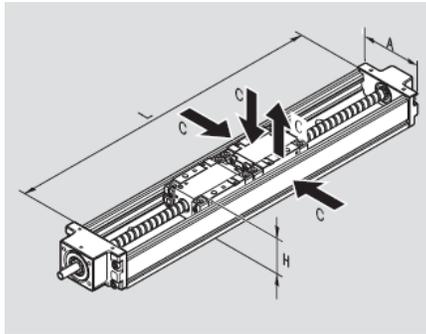
Un análisis de costo se deja para trabajo posterior para determinar si el diseño propuesto es económico.

**Anexo A. Información Técnica**

En este anexo se presenta la información comercial utilizada en el desarrollo de este trabajo de tesis que proporcionan el fabricante del producto.

**A.1 Módulo PSK 60**

La figura A.1 presenta el módulo PSK y sus dimensiones



Longitudes de preferencia con cortos plazos de entrega

PSK 50 L (mm)	PSK 60 L (mm)	PSK 90 L (mm)
150	150	340
200	200	440
250	250	540
300	300	640
-	400	740
-	500	840
-	600	940
-	700	-

Longitudes variables (específicas del cliente)

Además se suministran bajo pedido, longitudes variables hasta  $L_{m\acute{a}x}$ . Ver la longitud  $L_{m\acute{a}x}$  bajo cada ejecución.

Módulo de precisión	Medidas A x H (mm)	Capacidad de carga dinámica C (N)				
		Longitud estándar		Mesa		
		1 TT	2 TT	1 TT	2 TT	
	PSK 50	50 x 26	7300	11850	-	-
PSK 60	60 x 33	7300	11850	9000	14620	
PSK 90	86 x 46	21300	34600	27500	44670	

Nota: todos los módulos de precisión se pueden obtener sin accionamiento.

TT = Mesa

Figura A.1 Dimensiones y capacidad de carga

La figura A.2 presenta la velocidad admisible del módulo PSK 60

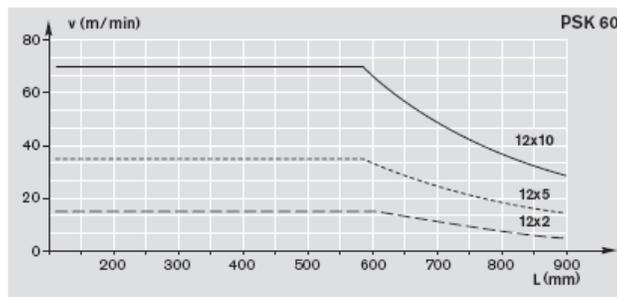


Figura A.2 Velocidad admisible

La figura A.3 representa una gráfica para el momento admisible

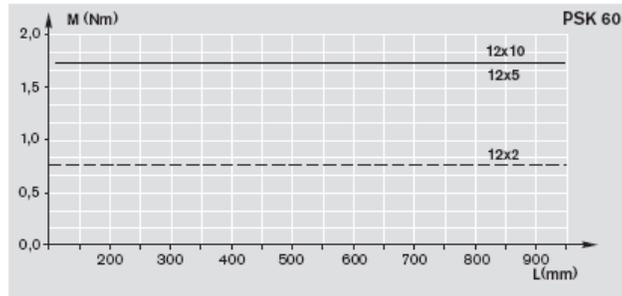


Figura A.3 Momento admisible

La figura A.4 presenta el momento de fricción  $M_R$  en el eje del motor

Módulo de precisión	Husillo $d_p \times P$	Momento de fricción $M_R$ (Nm) en la ejecución con mesa sin protección o con perfil de protección				con banda de protección	
		1 TT o 2 TT		1 TT o 2 TT		1 TT o 2 TT	
		Longitud estándar	Larga	Longitud estándar	Larga	Longitud estándar	Larga
PSK 50	8 x 2,5	0,10	–	0,10	0,11		
PSK 60	12 x 2	0,12	0,12	0,12	0,13		
	12 x 5	0,13	0,14	0,14	0,15		
	12 x 10	0,15	0,16	0,16	0,18		
PSK 90	16 x 5	0,30	0,31	0,30	0,31		
	16 x 10	0,30	0,33	0,32	0,35		
	16 x 16	0,31	0,37	0,34	0,39		

TT – Mesa

Figura A.4 Momento de fricción

La figura A.5 presenta los datos de accionamiento por transmisión de correa dentada y motor eléctrico

Motor	MKD 25B				MKD 41B			
Revoluciones efectivas máximas $n_{m\acute{a}x}$ (min <sup>-1</sup> )	Ⓔ				Ⓔ			
Momento nominal $M_N$ (Nm)	0,9				2,7			
Par de giro máximo $M_{m\acute{a}x}$ (Nm)	Ⓔ				Ⓔ			
Momento de inercia de las masas $J_M + J_{Br}$ (10 <sup>-6</sup> kgm <sup>2</sup> )	30 + 8				170 + 16			
Momento de sujeción del freno $M_{Br}$ (Nm)	1,0				2,2			
Masa con freno $m_{Br}$ (kg)	2,25				4,65			

Motor	MKD 25B / MSM 030B / MSM 030C				MKD 41B / MSM 040B						
Momento de fricción $M_{RR}$ (Nm)	0,35				0,4						
Reducción	Husillo $d_p \times P$	L (mm)	Par de giro admisible para longitud L = ... en		Momento de inercia de las masas reducido en		Par de giro admisible para longitud L = ... en		Momento de inercia de las masas reducido en		
			i = 1	i = 1,5	i = 1	i = 1,5	i = 1	i = 1,5	i = 1	i = 1,5	
			$M_{Rv}$ (Nm)	$M_{Rv}$ (Nm)	$J_{Rv}$ (10 <sup>-6</sup> kgm <sup>2</sup> )	$J_{Rv}$ (10 <sup>-6</sup> kgm <sup>2</sup> )	$M_{Rv}$ (Nm)	$M_{Rv}$ (Nm)	$J_{Rv}$ (10 <sup>-6</sup> kgm <sup>2</sup> )	$J_{Rv}$ (10 <sup>-6</sup> kgm <sup>2</sup> )	
PSK 60	12 x 2	940	0,80	0,50	45,6	17,7					
	12 x 5	940	1,60	1,10	45,6	17,7					
	12 x 10	940	1,60	1,10	45,6	17,7					
PSK 90	16 x 5	940	2,40	1,60	40	14,0	940	2,40	1,60	234	98,9
	16 x 10	940	2,50	1,70	40	14,0	940	3,90	2,60	234	98,9
	16 x 16	940	2,50	1,70	40	14,0	940	4,80	3,20	234	98,9

Figura A.5 Datos de accionamiento y motor

La figura A.6 muestra los datos para los momentos de inercia de las masas del sistema

$$J_s = [k_1 + k_2 \cdot L + k_3 (m_b + m_{fe})] \cdot 10^{-8}$$

$J_s$  = Momento de inercia de las masas del sistema, con masa externa (kgm<sup>2</sup>)  
 $k_1, k_2, k_3$  = Constantes (véase tabla)  
 $m_b$  = Masa movida (véase datos técnicos) (kg)  
 $m_{fe}$  = Masa externa (kg)  
 $L$  = Longitud del PSK (mm)

Módulo de precisión	Husillo $d_p \times P$	Constantes		
		$k_1$	$k_2$	$k_3$
PSK 50	8 x 2,5	0,485	0,002	0,158
	12 x 2	0,971	0,018	0,101
	12 x 5	0,959	0,011	0,633
PSK 60	12 x 10	0,959	0,011	2,533
	16 x 5	3,678	0,031	0,633
	16 x 10	3,678	0,031	2,533
PSK 90	16 x 16	3,702	0,034	6,485

Figura A.6 Momento de inercia por masa externa

La figura A.7 presenta los datos de masa movida  $m_B$  que son de utilidad para encontrar el momento de inercia.

Módulo de precisión	Masa movida $m_b$ (kg)								
	Versión de la mesa	Longitud de la mesa	sin protección y sin accionamiento		sin protección y con accionamiento		con perfil de protección		con banda de protección
			1 TT	2 TT	1 TT	2 TT	1 TT	2 TT	1 TT
PSK 50	en acero	estándar	0,20	0,40	0,22	0,42	0,29	0,56	–
		estándar	0,11	0,21	0,12	0,23	0,19	0,37	0,20
	en aluminio	larga	–	–	–	–	–	–	0,37
PSK 60	en acero	estándar	0,25	0,49	0,27	0,52	0,38	0,73	–
		larga	0,34	0,6 <sub>9</sub>	0,37	0,71	0,51	1,00	–
	en aluminio	estándar	0,12	0,24	0,15	0,27	0,25	0,48	0,33
PSK 90	en acero	estándar	0,77	1,54	0,85	1,62	1,09	2,10	–
		larga	1,04	2,08	1,11	2,15	1,43	2,79	–
	en aluminio	estándar	0,38	0,76	0,46	0,84	0,70	1,32	0,80
		larga	0,49	0,9 <sub>8</sub>	0,57	1,06	0,89	1,70	1,40

TT – Mesa

Figura A.7 Datos de masa movida  $m_B$

### A.2 Módulo MKK 25-110

La figura A.8 presenta el módulo MKK y sus dimensiones

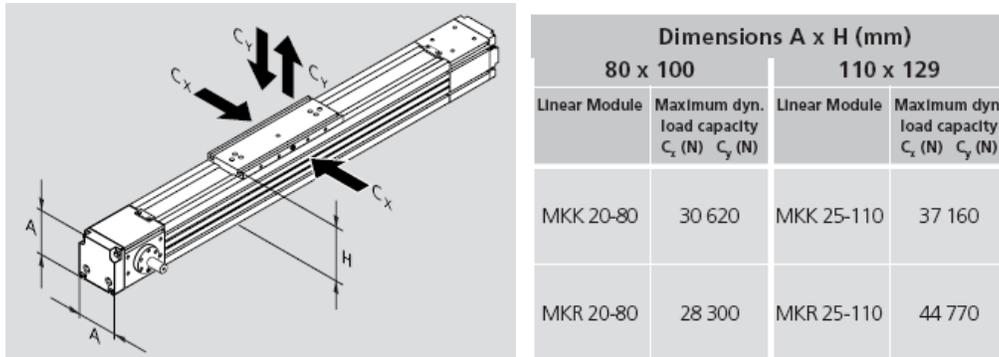


Figura A.8 Dimensiones y capacidad de carga

En la figura A.8a se muestran algunas de las partes del módulo lineal MKK así como elementos de desgaste.

Elemento	Conjunto de repuesto (CR), Pieza de desgaste (PD)
1	CR Rodamiento fijo
1a	PD Rodamiento fijo
2	CR Cinta de protección
2a	PD Cinta metálica
2b	Amarre de cinta
2c	Chapa metálica
3	CR Recirculador
4	CR Rodamiento libre
4a	PD Rodamiento (2x)
4b	Soporte para rodamiento
5	CR Cuerpo del módulo
6	Varilla roscada para ranura en T
7	CR Raíl
8	CR Tornillo de bolas o Husillo de bolas (HDB)
9	CR Mesa

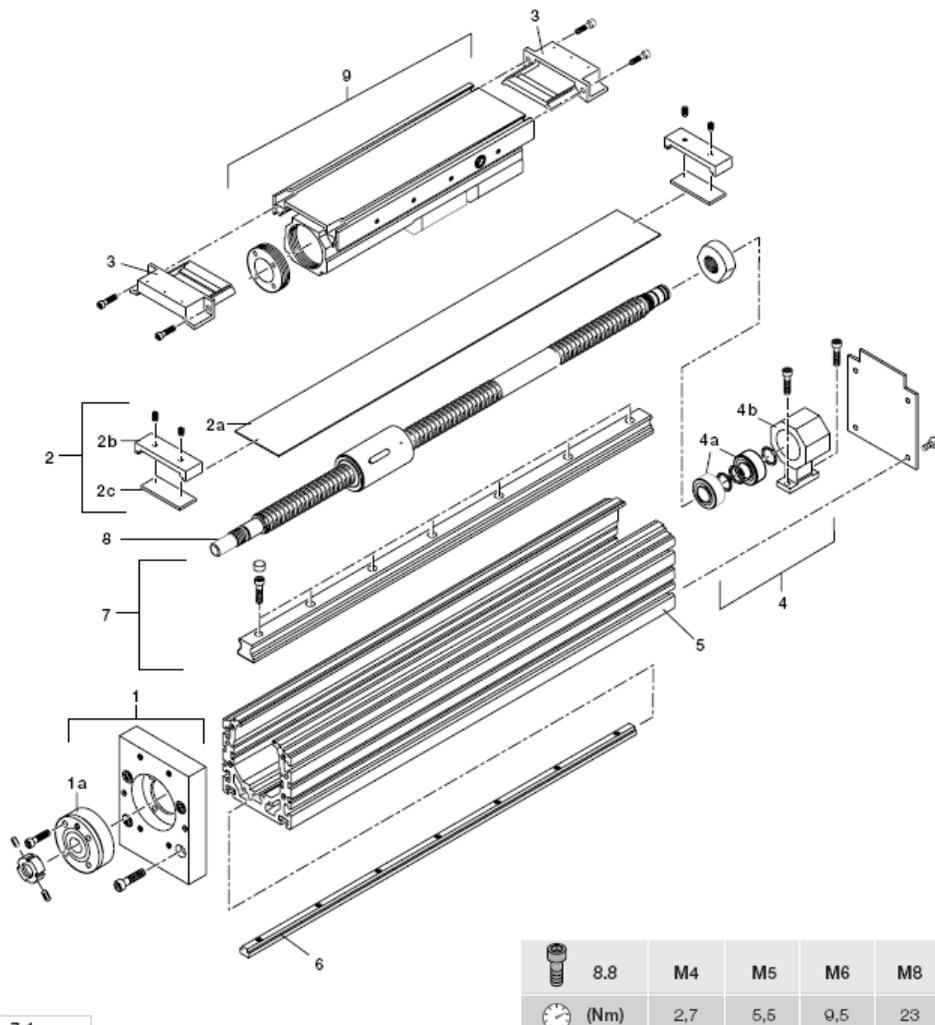


Figura A.8a Conjuntos de repuestos MKK 25-110

La figura A.9 presenta la velocidad admisible, como es su variación con la longitud del módulo MKK 25-110 y con soporte de tornillo (SPU)

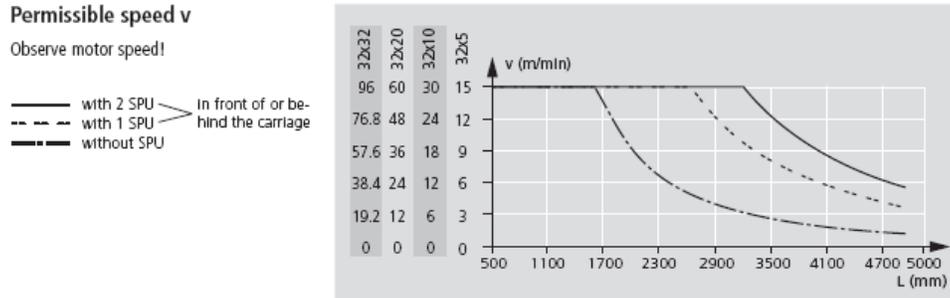
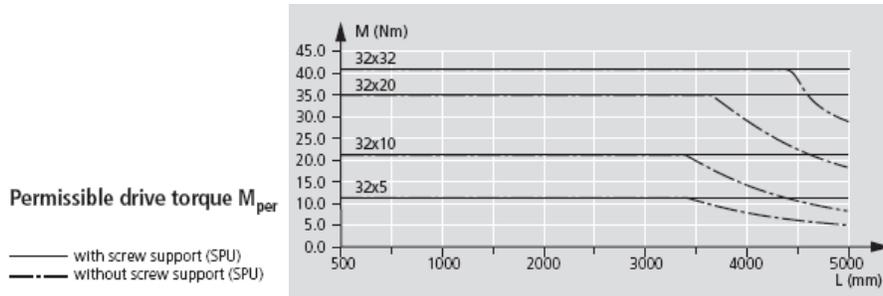


Figura A.9 Velocidad admisible

La figura A.10 representa la gráfica el momento admisible del módulo MKK 25-110 además como varia con respecto a la longitud y con soporte de tornillo, en la parte inferior se muestran los datos del momento máximo admisible debido a las variaciones del diámetro del tornillo



Linear Module	$M_{per\ max}$ (Nm)
MKK 15-65	4.5
MKK 20-80	4.5
MKK 25-110	18
MKK 35-165	74

Figura A.10 Momento admisible y datos momento máximo

La figura A.11 presenta el momento de fricción  $M_R$  en el eje del motor con y sin soporte de tornillo

Ball screw $d_o \times P$	Friction moment $M_R$ (Nm)		
	without SPU	with 1 SPU	with 2 SPU
32 x 5	0.8	0.9	0.9
32 x 10	0.9	1.1	1.2
32 x 20	0.9	1.2	1.4
32 x 32	1.0	1.5	1.9

Figura A.11 Momento de fricción

La figura A.12 presenta los datos de accionamiento por transmisión de correa dentada

Motor type		MKD 71B / MHD 71B					MKD 90B / MHD 90B				
Overall dimensions (mm)		66 x 116					90 x 160				
Friction moment $M_{Rv}$ (Nm)		0.5					0.6				
Reduction $i = \dots$		Permissible torque up to length $L = \dots$ at <sup>1)</sup>		Reduced mass moment of inertia at			Permissible torque up to length $L = \dots$ at <sup>1)</sup>		Reduced mass moment of inertia at		
Belt type		25 AT5 32 AT5		25 AT5 32 AT5			50 AT10 50 AT10		50 AT10 50 AT10		
Linear Module	Ball screw	L (mm)	$M_{Rv}$ (Nm)	$M_{Rv}$ (Nm)	$J_{Rv}$ ( $10^{-6}$ kgm <sup>2</sup> )	$J_{Rv}$ ( $10^{-6}$ kgm <sup>2</sup> )	L (mm)	$M_{Rv}$ (Nm)	$M_{Rv}$ (Nm)	$J_{Rv}$ ( $10^{-6}$ kgm <sup>2</sup> )	$J_{Rv}$ ( $10^{-6}$ kgm <sup>2</sup> )
MKK 15-65	16 x 5	1500	2.4	1.4	1420	230					
	16 x 10	1600	3.5	2.4							
	16 x 16	1600	4.3	3.0							
MKK 20-80	20 x 5	2500	2.3	1.4	1420	230					
	20 x 20	2500	4.3	3.5							
	16 x 10	1600	3.3	2.5							
	16 x 16	1700	4.0	3.2							
MKK 25-110	32 x 5	3000	12.0	6.0	1400	260	2500	26.0	13.0	7780	1260
	32 x 10	3000	19.0	11.0			2250	52.0	26.0		
	32 x 20	3000	19.0	13.0			2500	67.0	33.5		
	32 x 32	3000	19.0	13.0			3250	67.0	33.5		

Figura A.12 Datos de accionamiento

La figura A.13 muestra los datos de las constantes para el cálculo de momentos de inercia de las masas del sistema y el momento de fricción

Linear Module	Ball screw	Constant			Friction moment $M_R$ (Nm)
		$k_1$	$k_2$	$k_3$	
MKK 15-65	16 x 5	3.714	0.0390	0.633	0.4
	16 x 10	7.134	0.0390	2.533	0.4
	16 x 16	14.247	0.0390	6.484	0.4
MKK 20-80	16 x 10	9.161	0.0390	2.533	0.4
	16 x 16	19.435	0.0390	6.485	0.4
	20 x 5	8.274	0.1004	0.633	0.5
	20 x 20	32.971	0.1004	10.132	0.5
MKK 25-110	32 x 5	61.459	0.7117	0.633	1.0
	32 x 10	70.767	0.7117	2.533	1.1
	32 x 20	104.328	0.6668	10.132	1.1
	32 x 32	181.778	0.6668	25.938	1.2

Figura A.13 Constantes

La figura A.14 presenta el momento de inercia de masa del cople y algunos datos del servomotor de c.A.

Linear Module	Rated torque of coupling $M_K$ (Nm)	Mass moment of inertia $J_K$ (kgm <sup>2</sup> )	Coupling mass (kg)
MKK 15-65	19	$57 \cdot 10^{-6}$	0.26
MKK 20-80	19	$57 \cdot 10^{-6}$	0.26
MKK 25-110	50	$200 \cdot 10^{-6}$	0.70
MKK 35-165	98	$390 \cdot 10^{-6}$	0.90

Motor type	MKD 71B-061-KG1	MHD 71B-061-NG1	MKD 90B-047-KG1	MHD 90B-047-NG1
Maximum effective rotary speed $n_M$ (1/rpm)	④	④	④	④
Rated torque $M_{MN}$ (Nm)	8	8	12	12
Maximum torque $M_{Mmax}$ (Nm)	④	④	④	④
Mass moment of inertia $J_M + J_{Br}$ (10 <sup>-6</sup> kgm <sup>2</sup> )	870 + 38	870 + 72	4150 + 110	4300 + 110
Braking torque $M_{Br}$ (Nm)	5	5	11	11
Load with brake $m_{Br}$ (kg)	9.17	9.4	14.65	14.6

Figura A.14 Momento de inercia de masa por coque y datos de servomotor

La figura A.15 es la gráfica de la deflexión máxima que soporta el módulo, presentando el comportamiento de la flexión a lo largo del módulo bajo diferentes cargas

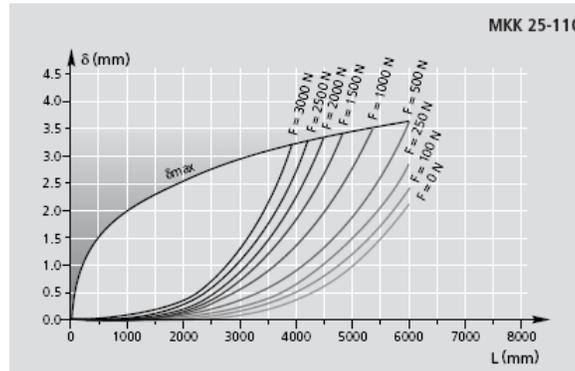


Figura A.15 Gráfica de deflexión del módulo

### A.3 Motores eléctricos

La figura A.16 presenta los datos de los servomotores

Motor Type	Motor Size	Controller	$n_{max}$ [min <sup>-1</sup> ]	$M_{dN}$ [Nm]	$M_{max}$ [Nm]	$n_{100}$ [min <sup>-1</sup> ]	$J_M$ [kgcm <sup>2</sup> ]	$J_B$ [kgcm <sup>2</sup> ]	$m_M$ [kg]	$m_B$ [kg]	$M_{Br}$ [Nm]	SB [%]
MKD	025B-144	DKC*.3-040-7	9000	0.8	4	9000	0.3	0.08	2	0.25	1	511
M*D	041B-144	DKC*.3-040-7	7500	2.7	11.3	7500	1.7	0.16	4.5	0.25	2.2	453
M*D	071B-061	DKC*.3-040-7	4600	8	26.2	4144	8.7	0.72	8.8	0.62	5	357
M*D	071B-061	DKC*.3-040-7	4600	8	11.3	4600	8.7	0.72	8.8	0.62	5	143
M*D	071B-061	DKC*.3-100-7	4600	8	32	3800	8.7	0.72	8.8	0.62	5	451
M*D	090B-047	DKC*.3-040-7	2900	12	14.4	2900	43.0	3.6	14	1.1	11	121
M*D	090B-047	DKC*.3-100-7	2900	12	43.5	1800	43.0	3.6	14	1.1	11	450
MHD	093C-058	DKC*.3-100-7	3500	23	72.4	3018	30.0	3.6	23.5	1.1	22	353
MHD	093C-058	DKC*.3-100-7	3500	23	31.9	3500	30.0	3.6	23.5	1.1	22	141

Preconditions: 1. Voltage supply 3 x 400 V AC  
2. PWM frequency 4 kHz (standard)  
3. Motors without fans

Note: M\*D means that the data applies to both the MKD and the MHD series.

Figura A.16 Datos de servomotores de cA

### A.4 Perfiles

La figura A.17 presenta el perfil de soporte empleado para el diseño de la mesa

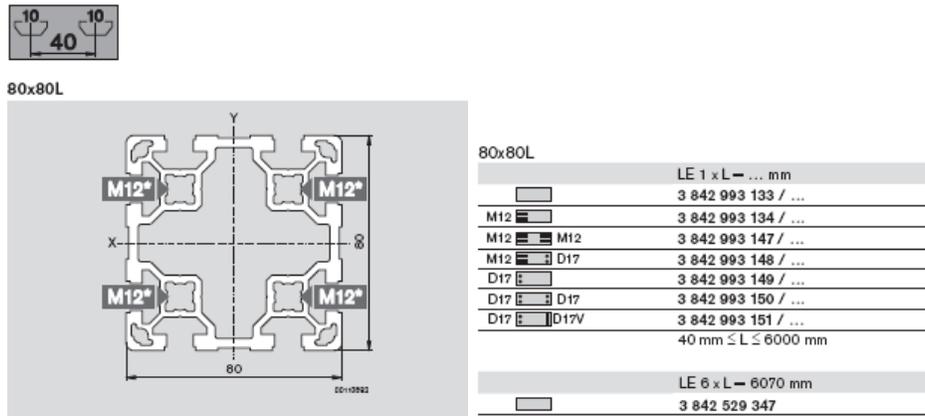


Figura A.17 Perfil

En la siguiente tabla A.1 se presenta datos extraídos del catalogo de elementos mecánicos para un perfil 80x80L

Momento de inercia	$I_x = I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	132,1
Momento de resistencia	$W_x = W_y$ [cm <sup>3</sup> ]	33,0
Área del perfil	A [cm <sup>2</sup> ]	18,2
Masa	m[kg/m]	4,9
Ranura del perfil	[mm]	10
Tabla A.1 Propiedades mecánicas del perfil 80x80L		

La figura A.18 presenta el posible elemento de unión escuadra 80/80 empleado para el diseño de la mesa y el juego de fijación

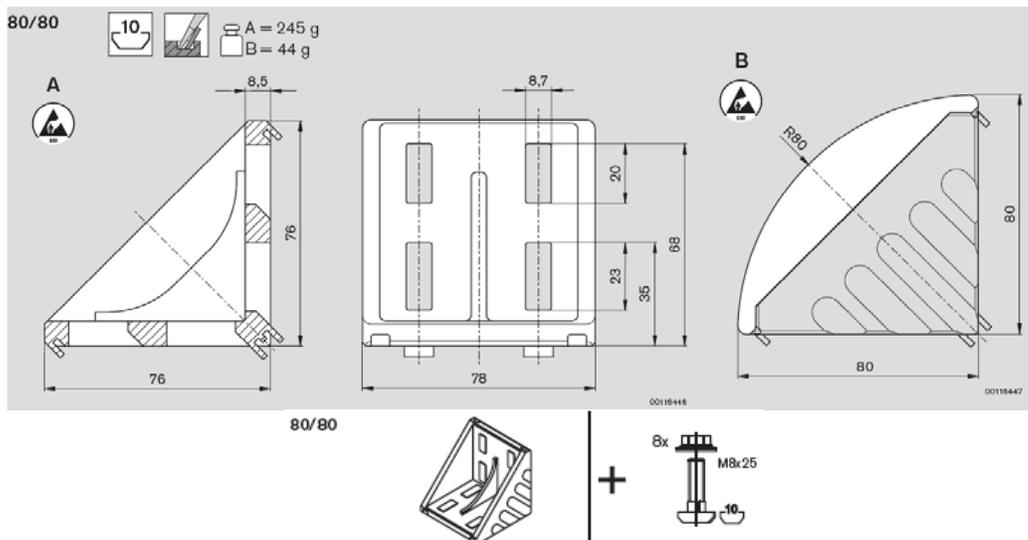


Figura A.18 Escuadra de unión

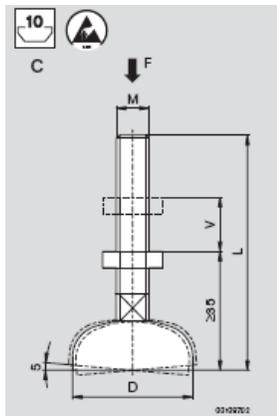
La tabla A.2 presenta la capacidad de carga empleando como elemento de unión una escuadra



20/20	5 Nm	700 N	6 Nm	25 Nm	—
20/40	5 Nm	1 400 N	15 Nm	50 Nm	8 Nm
30/30	10 Nm	1 250 N	25 Nm	75 Nm	—
30/60	10 Nm	2 500 N	100 Nm	170 Nm	25 Nm
60/60-8	10 Nm	5 000 N	320 Nm	370 Nm	110 Nm
60/60-10	25 Nm	3 000 N	125 Nm	150 Nm	—
40/40	25 Nm	3 000 N	55 Nm	145 Nm	35 Nm
40/80	25 Nm	6 000 N	180 Nm	400 Nm	60 Nm
80/80	25 Nm	14 000 N	500 Nm	1 000 Nm	400 Nm
45/45	25 Nm	3 000 N	60 Nm	160 Nm	—
45/90	25 Nm	6 000 N	180 Nm	400 Nm	60 Nm
90/90	25 Nm	12 000 N	370 Nm	800 Nm	200 Nm
43x42	25 Nm	2 000 N	—	160 Nm	—
50/50	25 Nm	4 000 N	125 Nm	250 Nm	38 Nm
50/100	25 Nm	7 500 N	300 Nm	600 Nm	73 Nm
100/100	25 Nm	15 000 N	550 Nm	1 100 Nm	480 Nm

Tabla A.2 Capacidad de carga con escuadra de unión

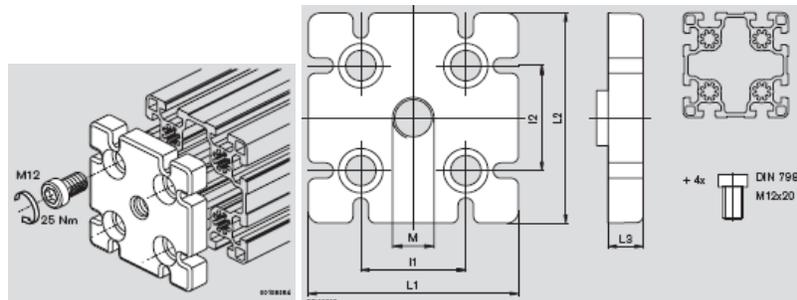
La figura A.19 muestra las posibles patas articuladas a emplear para nivelar la mesa



	D	M	F[N]	L	V
C	44	12	10000	85	30
	44	16	20000	145	80
	44	12	10000	160	80
	58	12	10000	85	30

Figura A.19 Escuadra de unión

La figura A.20 ilustra la placa para fijar las patas al perfil de la mesa de soporte

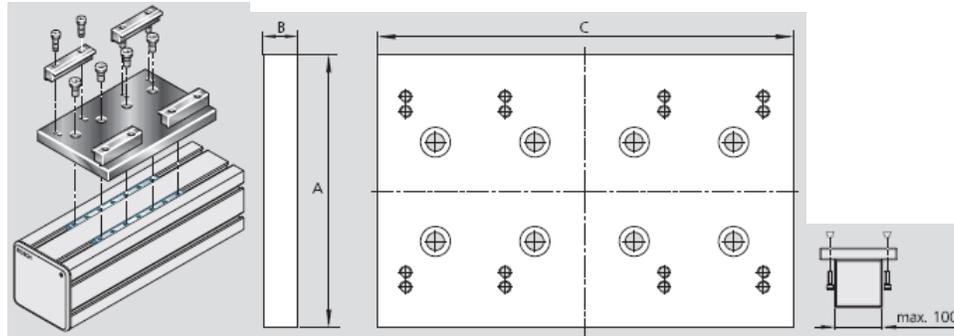


	M	L1	L2	l1	L3	F [N]
80x80L	12	80	80	40	15	10000

Figura A.20 Placa de fijación

### A.5 Elementos de conexión

La figura A.21 ilustra la placa de conexión para módulos lineales, perfil de soporte y cabezal



Módulo	Tamaño de sección	Dimensiones (mm)			Masa (kg)
		A	B	C	
PSK 60	-	163	25	320	4.2
MKK 25-110	40	163	25	320	4.2

Figura A.21 Placa de conexión

La figura A.22 muestra el ángulo de conexión con un peso aproximado de 2.5 kg para fijar el módulo lineal MKK 25-110 con la mesa de otro módulo lineal

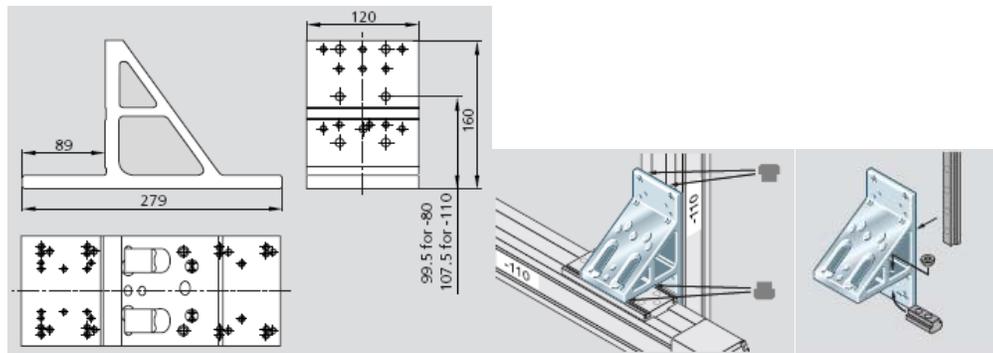
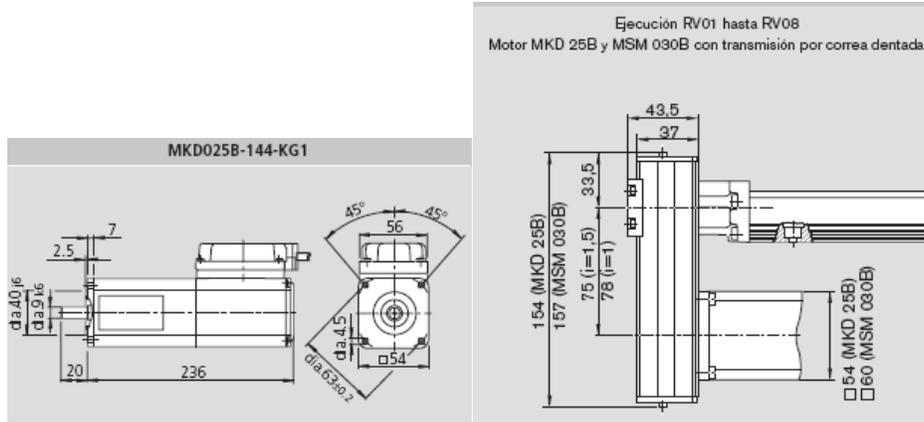


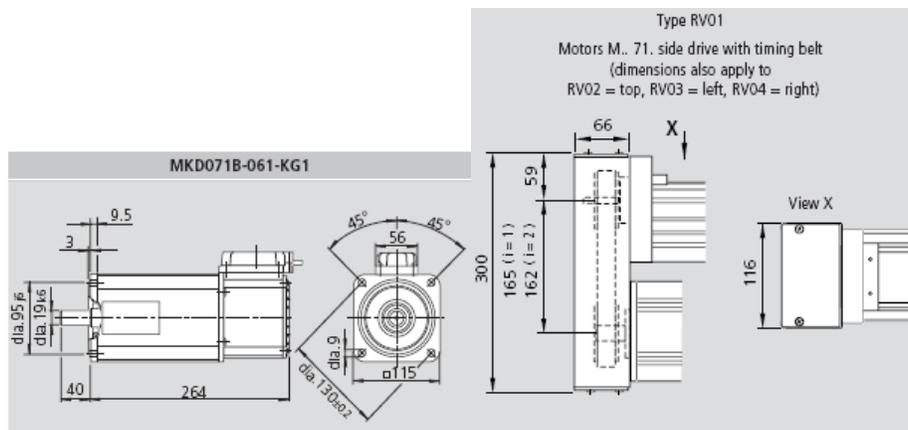
Figura A.22 Ángulo de conexión

### A.6 Montaje de motores eléctricos con cople

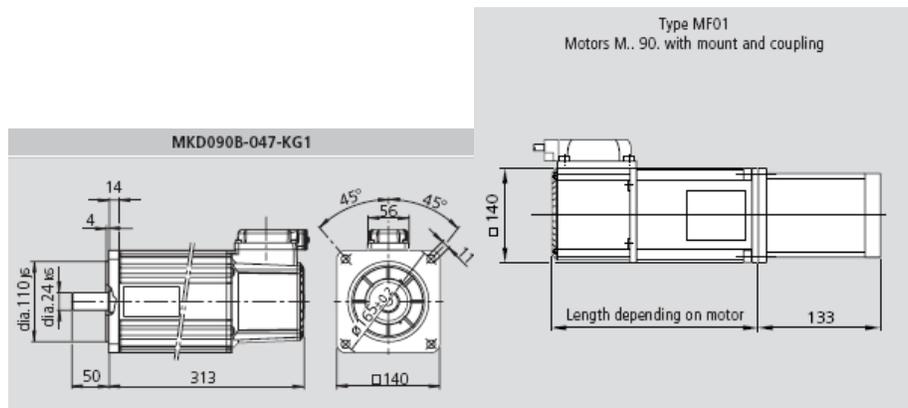
La figura A.23 ilustra las dimensiones del motor y montaje por cople directo o con transmisión de banda dentada para cada uno de los servomotores seleccionados.



(a) Motor MKD 25B



(b) Motor MKD 71B



(c) Motor MKD 90B

Figura A.23 Dimensiones de servomotores y Montaje con cople al: (a) Módulo Y, (b) Módulo Z, (c) Módulo X

## **Anexo B. Cálculos**

En este anexo se presentan los cálculos realizados para el diseño de máquina de corte de cuero como son el cálculo del módulo lineal para cada coordenada cartesiana (x, y, z) incluyendo cálculo de motores eléctricos y perfiles de soporte.

### ***B.1 Cálculos para el módulo Y***

#### 1. Condiciones de uso:

- Carga: mover una masa de 20 kg
- Carrera de 50 mm
- Velocidad máxima de 25 m/min.

#### 2. Módulo de precisión PSK 60

Longitud de mesa larga

Con banda de protección

Con servomotor tipo 25 cA

#### 3. Estimación de la longitud del módulo L.

Carrera de seguridad =  $2 \cdot P = 2 \cdot 5 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$

Longitud del módulo L = (carrera +  $2 \cdot$  carrera de seguridad) + 215 mm  
 $= 50 \text{ mm} + 2 \cdot (10 \text{ mm}) + 215 \text{ mm} = 285 \text{ mm}$

Longitud de preferencia es L = 300 mm (ver datos en figura A.1 (pág. 42))

#### 4. Selección del tornillo de accionamiento

Se selecciona el de menor paso. De acuerdo a la gráfica de “velocidad permisible” (ver gráfica en figura A.2 (pág. 42)), el accionamiento de tornillo de bolas para una  $v = 25 \text{ m/min}$  y una  $L = 300 \text{ mm}$  es:

Tornillo 12x5 con  $v_{\text{máx}} = 33 \text{ m/min}$

Con un torque de accionamiento máximo permisible (ver dato en figura A.3 (pág. 43)) de  $M_{\text{adm}} = 1.7 \text{ Nm}$

#### 5. Factores relacionados al montaje del motor:

##### Momento de fricción $M_R$

- Con motor montado por cople (ver figura A.4 (pág. 43))

$$M_R = M_{RS} = 0.14 \text{ Nm}$$

- Con motor montado por reductor ( $i=1$ , ver figura A.5 (pág. 43))

$$M_R = M_{RS}/i + M_{RRV} = 0.14 \text{ Nm}/1 + 0.35 \text{ Nm} = 0.49 \text{ Nm}$$

Momento de inercia de masa J

- Con motor montado por cople

$$J_S = [k_1 + k_2 * L + k_3 * (m_b + m_{fr})] * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \text{ (ver datos página 44, figuras A.6 y A.7)}$$

$$= [0,959 + 0,011 * 300 + 0,633 * (0,25 + 20)] * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$= 17,07725 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{fr} = J_S + J_k + J_{Br}$$

$$J_k = 1,20 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{Br} = 8 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{fr} = 26,27725 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Para manipulación:

$$J_M > J_{fr} / 6 = 26,27725 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 / 6$$

$$J_M > 4,3795 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Momento de inercia total  $J_{tot}$

$$J_{tot} = J_{fr} + J_M = 26,27725 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 + 4,3795 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{tot} = 30,65679 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

- Con motor montado por reductor

$$J_{fr} = J_s / i^2 + J_{Rv} + J_{Br} \quad ; \quad J_{Rv} = 45,6 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \quad ; \quad J_{Br} = 8 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{fr} = (17,07725 * 10^{-6} / 1^2 + 45,6 * 10^{-6} + 8 * 10^{-6}) \text{ kgm}^2$$

$$= 70,67725 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Para manipulación:

$$J_M > J_{fr} / 6 = 70,67725 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 / 6$$

$$J_M > 11,77954 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Momento de inercia total  $J_{tot}$

$$J_{tot} = J_{fr} + J_M = 70,67725 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 + 11,77954 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{tot} = 82,45679 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Velocidad de rotación n

$$A \ v = 25 \text{ m/min}$$

$$n_1 = (i * v * 1000) / P = (1 * 25 \text{ m/min} * 1000) / 5 \text{ mm} = 5000 \text{ min}^{-1} < n_{Mmax}$$

Masa del módulo kg

$$\text{Masa kg} = 0,0073 * L + 0,272 + m_b = 0,0073 * 300 + 0,272 + 0,25 = 2,712 \text{ kg}$$

## 6. Resumen

Módulo lineal PSK 60 con banda de protección, mesa de aluminio de longitud larga, montaje del motor MKD 25B con transmisión por banda dentada.

Longitud de preferencia  $L = 300$  mm

Tornillo 12\*5 con  $v_{\text{máx}} = 33$  m/min y  $M_{\text{adm}} = 1,7$  [Nm]

Momento de fricción: - Con cople  $M_R = 0,14$  Nm, - Por transmisión por banda dentada  $M_R = 0,49$  Nm

Motor con:

- Velocidad máxima efectiva  $n_{M_{\text{max}}} > 2812,5$  min<sup>-1</sup>
- Momento de inercia de masa: - con cople  $J_M = 0,3$  kgcm<sup>2</sup>  $> 0,04379$  kgcm<sup>2</sup>
- con transmisión por banda dentada  $J_M = 0,3$  kgcm<sup>2</sup>  $> 0,11779$  kgcm<sup>2</sup>
- Torque de accionamiento máximo permisible  $M_{\text{adm}} < 1,7$  Nm
- Revoluciones:  $n_M = 9000$  min<sup>-1</sup>  $> 5000$  min<sup>-1</sup>
- Par de giro  $M_M = 0,8$  Nm  $< 1,7$  Nm

## **Selección del motor**

### Principales cálculos

#### Sistema con accionamiento por tornillo de bolas

Módulo Lineal PSK 60

- Longitud de mesa larga = 186 mm
- 2 % precarga
- Con banda de protección
- Con motor MKD025B-44 (montaje del motor por un lado)

Para mover una masa de 20 kg una distancia de 50 mm a una velocidad máxima de 25 m/min, es decir con un máximo de 0,12 s (tiempo total).

De acuerdo a la figura A.16 (pág. 48) “Servomotor”, la combinación motor/controlador MKD025B-144 / DKC\*.3-040-7 con un límite torque/fuerza máximo (factor de sobre carga)

= 511%  $\Rightarrow M_{M_{\text{max}}} (= 4$  Nm):

#### Torque de aceleración del servomotor $M_a$

$M_a = 0,8 * M_{M_{\text{max}}} - M_{\text{fr}} = 0,8 * 4$  Nm  $- 0,49$  Nm = 2,71 Nm;

Tiempo de aceleración  $t_a$ 

$$t_a = J_{\text{tot}} \cdot (n \cdot 0,10472 / M_a) = (82,45679 \cdot 10^{-6}) \cdot (5000 \cdot 0,10472 / 2,71) = 0,0159 \text{ s}$$

Aceleración  $a$ 

$$a = v / (t_a \cdot 60) = 25 \text{ m/min} / (0,0159 \text{ s} \cdot 60) = 26,2055 \text{ m/s}^2$$

Distancia de aceleración  $s_a$ 

$$s_a = 0,5 \cdot a \cdot t_a^2 = 0,5 \cdot 26,2055 \text{ m/s}^2 \cdot (0,0159 \text{ s})^2 = 0,00331 \text{ m} = 3,31 \text{ mm}$$

Viaje de paso discreto  $s_c$  a velocidad constante

$$s_c = s - 2 \cdot s_a = 50 \text{ mm} - 2 \cdot 3,31 \text{ mm} = 43,38 \text{ mm}$$

Velocidad constante  $v_c$ 

$$v_c = 25 \text{ m/min} = 0,4167 \text{ m/s}$$

Tiempo de paso discreto  $t_c$  a velocidad constante

$$t_c = s_c / v_c = 0,04338 \text{ m} / 0,4167 \text{ m/s} = 0,1041 \text{ s}$$

Tiempo total  $t$ 

$$t = 2 \cdot t_a + t_c = 2 \cdot 0,0159 \text{ s} + 0,1041 \text{ s} = 0,1359 \text{ s}$$

Masa del motor  $kg$ 

$$m_M = 2 \text{ kg}$$

***B.2 Cálculos para el módulo Z***1. Condiciones de uso:

- Carga: mover una masa de 50 kg
- Carrera de 1500 mm
- Velocidad máxima de 90 m/min.

Un Módulo MKK 25-110 es el adecuado para obtener la velocidad deseada.

2. Módulo lineal MKK 25-110

Longitud de mesa  $L_T = 310 \text{ mm}$

2 % precarga

Con tira selladora

Con servomotor tipo 71 cA

3. Estimación de la longitud del módulo lineal  $L_1$ .

$$\text{Exceso de viaje} = 2 \cdot P = 2 \cdot 32 \text{ mm} = 64 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Máximo viaje} &= \text{Carrera efectiva} + 2 \cdot \text{Exceso de viaje} = 1500 \text{ mm} + 2 \cdot 64 \text{ mm} \\ &= 1628 \text{ mm} \end{aligned}$$

Longitud del módulo lineal = 1628 mm + 626 mm = 2254 mm

#### 4. Selección del tornillo de accionamiento

Se selecciona el de menor paso.

De acuerdo a la gráfica (ver figura A.9 (pág. 46) para “velocidad admisible”, el accionamiento de tornillo de bolas para una  $v = 90$  m/min y una  $L_1 = 2254$  mm es:

Tornillo 32x32

Con un torque de accionamiento máximo permisible de 40 Nm (ver figura A.10 (pág. 46)

#### 5. Factores relacionados al montaje del motor:

##### Momento de fricción $M_R$

- Con motor montado por cople (ver figura A.11 (pág. 46)

$$M_R = M_{RS} = 1.5 \text{ Nm}$$

- Con motor montado por reductor (ver figura A.12 (pág. 47)

$$M_R = M_{RS}/i + M_{RRV} = 1.5 \text{ Nm}/1 + 0.5 \text{ Nm} = 2 \text{ Nm}$$

##### Momento de inercia de masa $J$ (ver figura A.13 (pág. 47) y A.14 (pág. 48)

- Con motor montado por cople

$$\begin{aligned} J_S &= (k_1 + k_2 * L + k_3 * m_{fr}) * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \\ &= (181.778 + 0.667 * 2254 + 25.938 * 50) * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \\ &= 2982.096 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

$$J_k = 200 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{Br} = 38 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$\begin{aligned} J_{fr} &= J_S + J_k + J_{Br} \\ &= 3220.096 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

Para manipulación:

$$J_M > J_{fr} / 6 = 3220.096 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 / 6$$

$$J_M > 536.6827 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Momento de inercia total  $J_{tot}$

$$J_{tot} = J_{fr} + J_M = 3220.096 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 + 536.6827 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{tot} = 3756.7787 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

- Con motor montado por reductor (ver figura A.12 (pág. 47) y A.14 (pág. 48)

$$\begin{aligned} J_S &= (k_1 + k_2 * L + k_3 * m_{fr}) * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \\ &= (181.778 + 0.667 * 2254 + 25.938 * 50) * 10^{-6} \text{ kgm}^2 = 2982.096 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

$$J_{Rv} = 1400 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{Br} = 38 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$\begin{aligned} J_{fr} &= J_S/i^2 + J_{Rv} + J_{Br} \\ &= 4420.096 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

Para manipular:

$$J_M > J_{fr} / 6 = 4420.096 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 / 6$$

$$J_M > 736.683 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Momento de inercia total  $J_{tot}$

$$J_{tot} = J_{fr} + J_M = 4420.096 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 + 736.683 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{tot} = 5156.779 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Velocidad de rotación n

$$A \ v = 90 \text{ m/min}$$

$$n_1 = (i * v * 1000) / P = (1 * 90 \text{ m/min} * 1000) / 32 \text{ mm} = 2812.5 \text{ min}^{-1} < n_{Mmax}$$

Masa del módulo kg

Con un soporte de tornillo

$$\text{Masa kg} = 0.0217 * L + 8.5 = 0.0217 * 2254 + 8.5 = 57.4118 \text{ kg}$$

## 6. Resumen

Módulo Lineal MKK 25-110

Longitud = 2254 mm

Masa = 57.4118 kg

Transmisión tornillo de bolas:

Diámetro = 32 mm

Paso = 32 mm

Longitud de mesa:  $L_T = 310 \text{ mm}$

Precarga: 2 %

Motor con:

- Velocidad máxima efectiva  $n_{Mmax} > 2812.5 \text{ min}^{-1}$
- Momento de inercia de masa  $J_M > 736.683 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$
- Torque de accionamiento máximo permisible  $M_{per} < 40 \text{ Nm}$

**Selección del motor**Principales cálculosSistema con accionamiento por tornillo de bolas

Módulo Lineal MKK 25-110

- $L_T = 310$  mm
- 2 % precarga
- Con tira selladora
- Con motor MKD071B-061-KG1-KN (montaje del motor por un lado)

Para mover una masa de 50 kg una distancia de 1500 mm a una velocidad máxima de 90 m/min, es decir con un máximo de 1.0 s (tiempo total). El eje se instala horizontalmente.

De acuerdo a la figura A.16 (pág. 48) “Servomotor”, la combinación motor/controlador MKD071B-061 / DKC\*.3-040-7 con un límite torque/fuerza máximo (factor de sobre carga)

= 143%  $\Rightarrow M_{Mmax}$  (= 11.3 Nm):

Torque de aceleración del servomotor  $M_a$ 

$$M_a = 0.8 * M_{Mmax} - M_{fr} = 0.8 * 11.3 \text{ Nm} - 2 \text{ Nm} = 7.04 \text{ Nm}; \quad M_{max} \leq M_{perm}$$

$$M_{max} = 18 \text{ Nm} < M_{perm} = 40 \text{ Nm}$$

Tiempo de aceleración  $t_a$ 

$$t_a = J_{tot} * (n * 0.10472 / M_a) = (5156.779 * 10^{-6}) * (2812.5 * 0.10472 / 7.04) = 0.2157 \text{ s}$$

Aceleración  $a$ 

$$a = v / (t_a * 60) = 90 \text{ m/min} / (0.2157 \text{ s} * 60) = 6.954 \text{ m/s}^2$$

Distancia de aceleración  $s_a$ 

$$s_a = 0.5 * a * t_a^2 = 0.5 * 6.954 \text{ m/s}^2 * (0.2157 \text{ s})^2 = 0.1618 \text{ m} = 161.8 \text{ mm}$$

Viaje de paso discreto  $s_c$  a velocidad constante

$$s_c = s - 2 * s_a = 1500 \text{ mm} - 2 * 161.8 \text{ mm} = 1176.4 \text{ mm}$$

Velocidad constante  $v_c$ 

$$v_c = 90 \text{ m/min} = 1.50 \text{ m/s}$$

Tiempo de paso discreto  $t_c$  a velocidad constante

$$t_c = s_c / v_c = 1.1764 \text{ m} / 1.50 \text{ m/s} = 0.7843 \text{ s}$$

Tiempo total  $t$ 

$$t = 2 * t_a + t_c = 2 * 0.2157 \text{ s} + 0.7843 \text{ s} = 1.2157 \text{ s}$$

Masa del motor kg

$$m_M = 8.8 \text{ kg}$$

La figura B.1 muestra el perfil de movimiento trapezoidal, la cual puede servir como referencia para la selección del controlador.

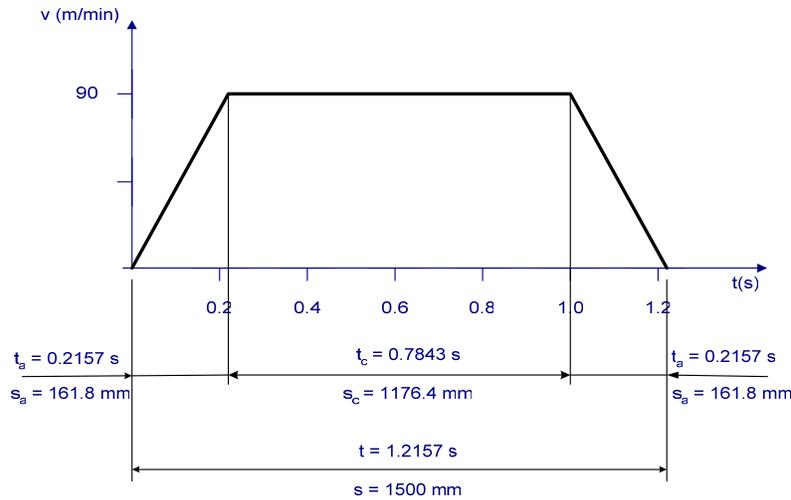


Figura B.1 Gráfica velocidad-tiempo

**Selección del motor considerando fuerza de alimentación ( $F_L$ )**

En este cálculo se considera la fuerza (16,2 kg) que se aplica a la cuchilla para realizar el corte, para apreciar el comportamiento.

Principales cálculosSistema con accionamiento por tornillo de bolas

Considerando el módulo lineal MKK 25-110 con motor MKD071B-061. En los siguientes cálculos debe notarse que las fórmulas cambian.

Torque de aceleración del servomotor  $M_a$ 

$$M_a = 0.8 * M_{Mmax} - M_{fr} - M_L ; \quad M_{max} \leq M_{perm}$$

$$M_L = (1.592 * 10^{-4} * F_L * P) / i$$

$$\text{Donde } F_L = 16.2 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 158.922 \text{ N}$$

$$M_L = (1.592 * 10^{-4} * 158.922 \text{ N} * 32 \text{ mm}) / 1 = 0.81 \text{ Nm}$$

$$M_a = 0.8 * 11.3 \text{ Nm} - 2 \text{ Nm} - 0.81 \text{ Nm} = 6.23 \text{ Nm};$$

$$M_{max} \leq M_{perm}$$

$$M_{max} = 18 \text{ Nm} < M_{perm} = 40 \text{ Nm}$$

Tiempo de aceleración  $t_a$ 

$$t_a = J_{\text{tot}} * (n * 0.10472 / M_a) = (5156.779 * 10^{-6}) * (2812.5 * 0.10472 / 6.23) = 0.2438 \text{ s}$$

Aceleración  $a$ 

$$a = v / (t_a * 60) = 90 \text{ m/min} / (0.2438 \text{ s} * 60) = 6.153 \text{ m/s}^2$$

Distancia de aceleración  $s_a$ 

$$s_a = 0.5 * a * t_a^2 = 0.5 * 6.153 \text{ m/s}^2 * (0.2438 \text{ s})^2 = 0.1829 \text{ m} = 182.9 \text{ mm}$$

Viaje de paso discreto  $s_c$  a velocidad constante

$$s_c = s - 2 * s_a = 1500 \text{ mm} - 2 * 182.9 \text{ mm} = 1134.2 \text{ mm}$$

Velocidad constante  $v_c$ 

$$v_c = 90 \text{ m/min} = 1.50 \text{ m/s}$$

Tiempo de paso discreto  $t_c$  a velocidad constante

$$t_c = s_c / v_c = 1.1342 \text{ m} / 1.50 \text{ m/s} = 0.7561 \text{ s}$$

Tiempo total  $t$ 

$$t = 2 * t_a + t_c = 2 * 0.2438 \text{ s} + 0.7561 \text{ s} = 1.2437 \text{ s}$$

La figura B.2 muestra el perfil de movimiento trapezoidal afectado por la fuerza de corte.

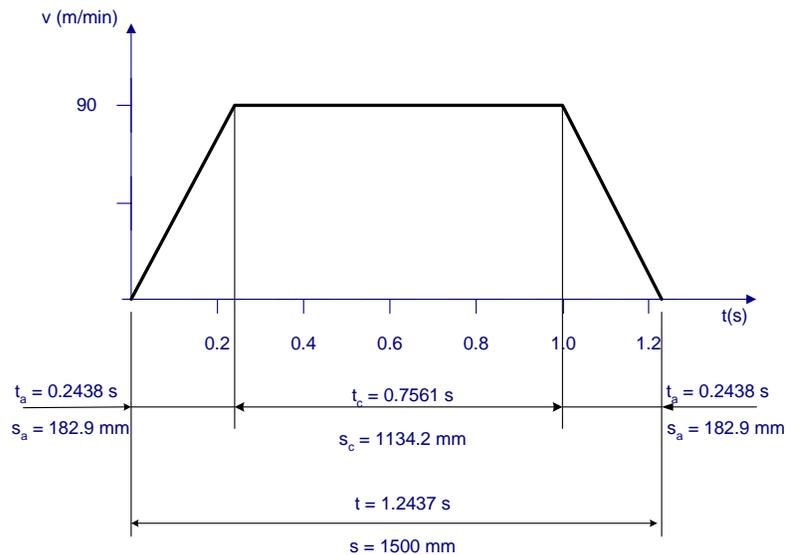


Figura B.2 Gráfica velocidad-tiempo

### ***B.3 Cálculos para el módulo X***

#### 1. Condiciones de uso:

- Carga: mover una masa de 116,2128 kg
- Carrera: 2336 mm
- Velocidad máxima de 90 m/min.

Un Módulo MKK 25-110 es el adecuado para obtener la velocidad deseada.

#### 2. Módulo lineal MKK 25-110

Longitud de mesa  $L_T = 310$  mm

2 % precarga

Con tira selladora

Con servomotor tipo 71 cA

#### 3. Estimación de la longitud del módulo lineal $L_2$ .

Exceso de viaje =  $2 \cdot P = 2 \cdot 32$  mm = 64 mm

Máximo viaje = Carrera efectiva +  $2 \cdot$ Exceso de viaje = 2336 mm +  $2 \cdot 64$  mm  
= 2464 mm

Longitud del módulo lineal = 2464 mm + 802 mm = 3266 mm

#### 4. Selección del tornillo de accionamiento

Se selecciona el de menor paso.

De acuerdo a la gráfica (ver figura A.9 (pág. 46) para “velocidad admisible”, el accionamiento de tornillo de bolas para una  $v = 90$  m/min y una  $L_2 = 3266$  mm es:

Tornillo 32x32

Con un torque de accionamiento máximo permisible de 40 Nm (ver figura A.10 (pág. 46)

#### 5. Factores relacionados al montaje del motor:

##### Momento de fricción $M_R$

- Con motor montado por cople (ver figura A.11 (pág. 46)

$$M_R = M_{RS} = 1.9 \text{ Nm}$$

- Con motor montado por reductor (ver figura A.12 (pág. 47)

$$M_R = M_{RS}/i + M_{RRV} = 1.9 \text{ Nm}/1 + 0.5 \text{ Nm} = 2.4 \text{ Nm}$$

##### Momento de inercia de masa $J$

- Con motor montado por cople (ver figura A.13 (pág. 47) y A.14 (pág. 48)

$$J_S = (k_1 + k_2 \cdot L + k_3 \cdot m_{fr}) \cdot 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$= (181.778 + 0.667 \cdot 3266 + 25.938 \cdot 116.2118) \cdot 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$= 5374.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_k = 200 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{Br} = 38 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{fr} = J_S + J_k + J_{Br}$$

$$= 5612.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Para manipular:

$$J_M > J_{fr} / 6 = 5612.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 / 6$$

$$J_M > 935.41695 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Momento de inercia total  $J_{tot}$

$$J_{tot} = J_{fr} + J_M = 5612.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 + 935.41695 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{tot} = 6547.91865 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

- Con motor montado por reductor  $i = 1$  (ver figura A.12 (pág. 47) y A.14 (pág. 48))

$$J_S = (k_1 + k_2 * L + k_3 * m_{fr}) * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$= (181.778 + 0.667 * 3266 + 25.938 * 116.2118) * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$= 5374.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{Rv} = 1400 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{Br} = 38 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{fr} = J_S / i^2 + J_{Rv} + J_{Br}$$

$$= 6812.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Para manipular:

$$J_M > J_{fr} / 6 = 6812.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 / 6$$

$$J_M > 1135.417 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Momento de inercia total  $J_{tot}$

$$J_{tot} = J_{fr} + J_M = 6812.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 + 1135.417 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{tot} = 7947.9187 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Ya que el motor de 71 cA no cumple con  $J_M > 1135.417 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$ . Se analiza un motor de 90 cA

Momento de fricción  $M_R$

Con motor montado por cople (ver figura A.11 (pág. 46))

$$M_R = M_{RS} = 1.9 \text{ Nm}$$

Con motor montado por reductor (ver figura A.12 (pág. 47))

$$M_R = M_{RS} / i + M_{RRv} = 1.9 \text{ Nm} / 1 + 0.6 \text{ Nm} = 2.5 \text{ Nm}$$

Momento de inercia de masa J

- Con motor montado por cople (ver figura A.13 (pág. 47) y A.14 (pág. 48))

$$\begin{aligned} J_S &= (k_1 + k_2 * L + k_3 * m_{fr}) * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \\ &= (181.778 + 0.667 * 3266 + 25.938 * 116.2118) * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \\ &= 5374.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

$$J_k = 200 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{Br} = 110 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$\begin{aligned} J_{fr} &= J_S + J_k + J_{Br} \\ &= 5684.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

Para manipular:

$$J_M > J_{fr} / 6 = 5684.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 / 6$$

$$J_M > 947.41695 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Momento de inercia total  $J_{tot}$

$$J_{tot} = J_{fr} + J_M = 5684.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 + 947.41695 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{tot} = 6631.91865 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

- Con motor montado por reductor  $i = 1$  (ver figura A.12 (pág. 47) y A.14 (pág. 48))

$$\begin{aligned} J_S &= (k_1 + k_2 * L + k_3 * m_{fr}) * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \\ &= (181.778 + 0.667 * 3266 + 25.938 * 116.2118) * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \\ &= 5374.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

$$J_{Rv} = 7780 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{Br} = 110 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$\begin{aligned} J_{fr} &= J_S / i^2 + J_{Rv} + J_{Br} \\ &= 13264.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

Para manipular:

$$J_M > J_{fr} / 6 = 13264.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 / 6$$

$$J_M > 2210.75028 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Momento de inercia total  $J_{tot}$

$$J_{tot} = J_{fr} + J_M = 13264.5017 * 10^{-6} \text{ kgm}^2 + 2210.75028 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

$$J_{tot} = 15475.25198 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

Velocidad de rotación n

$$A \ v = 90 \text{ m/min}$$

$$n_1 = (i * v * 1000) / P = (1 * 90 \text{ m/min} * 1000) / 32 \text{ mm} = 2812.5 \text{ min}^{-1} < n_{Mmax}$$

Masa del módulo kg

Con un soporte de tornillo

$$\text{Masa kg} = 0.0217 * L + 9.8 = 0.0217 * 3266 + 9.8 = 80.6722 \text{ kg}$$

6. Resumen

Módulo Lineal MKK 25-110

Longitud = 3266 mm

Transmisión tornillo de bolas:

Diámetro = 32 mm

Paso = 32 mm

Longitud de mesa:  $L_T = 310 \text{ mm}$

Precarga: 2 %

Motor con:

- Velocidad máxima efectiva  $n_{M_{\max}} > 2812.5 \text{ min}^{-1}$
- Momento de inercia de masa  $J_M > 2210.75028 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$  (montaje con reductor)
- Momento de inercia de masa  $J_M > 947.41695 * 10^{-6} \text{ kgm}^2$  (montaje con cople)
- Torque de accionamiento máximo permisible  $M_{\text{per}} < 40 \text{ Nm}$

**Selección del motor**Principales cálculosSistema con accionamiento por tornillo de bolas

Módulo Lineal MKK 25-110

- $L_T = 310 \text{ mm}$
- 2 % precarga
- Con tira selladora
- Con motor MKD090B-047

Para mover una masa de 116.2118 kg una distancia de 2336 mm a una velocidad máxima de 90 m/min, es decir con un máximo de 1.5573 s (tiempo total). El eje se instala horizontalmente.

De acuerdo a la figura A.16 “Datos de servomotor”(pág. 48), la combinación motor/controlador MKD090B-047 / DKC\*.3-040 con un límite torque/fuerza máximo (factor de sobre carga)

$$= 121\% \Rightarrow M_{Mmax} (= 14.4 \text{ Nm}):$$

Torque de aceleración del servomotor  $M_a$

$$M_a = 0.8 * M_{Mmax} - M_{fr} = 0.8 * 14.4 \text{ Nm} - 2.5 \text{ Nm} = 9.02 \text{ Nm}; \quad M_{max} \leq M_{perm}$$

$$M_{max} = 18 \text{ Nm} < M_{perm} = 40 \text{ Nm}$$

Tiempo de aceleración  $t_a$

$$t_a = J_{tot} * (n * 0.10472 / M_a) = (15475.25198 * 10^{-6}) * (2812.5 * 0.10472 / 9.02) = 0.5053 \text{ s}$$

Aceleración  $a$

$$a = v / (t_a * 60) = 90 \text{ m/min} / (0.5053 \text{ s} * 60) = 2.9685 \text{ m/s}^2$$

Distancia de aceleración  $s_a$

$$s_a = 0.5 * a * t_a^2 = 0.5 * 2.9685 \text{ m/s}^2 * (0.5053 \text{ s})^2 = 0.379 \text{ m} = 379 \text{ mm}$$

Viaje de paso discreto  $s_c$  a velocidad constante

$$s_c = s - 2 * s_a = 2336 \text{ mm} - 2 * 379 \text{ mm} = 1578 \text{ mm}$$

Velocidad constante  $v_c$

$$v_c = 90 \text{ m/min} = 1.50 \text{ m/s}$$

Tiempo de paso discreto  $t_c$  a velocidad constante

$$t_c = s_c / v_c = 1.578 \text{ m} / 1.50 \text{ m/s} = 1.052 \text{ s}$$

Tiempo total  $t$

$$t = 2 * t_a + t_c = 2 * 0.5053 \text{ s} + 1.052 \text{ s} = 2.0212 \text{ s}$$

Masa del motor  $m_M$  kg

$$m_M = 14 \text{ kg}$$

La figura B.3 muestra el perfil de movimiento trapezoidal

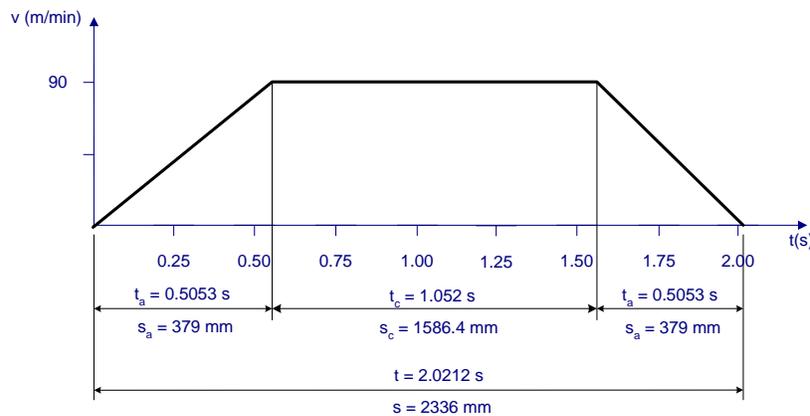


Figura B.3 Gráfica Velocidad-tiempo

**Selección del motor considerando fuerza de alimentación ( $F_L$ )**Principales cálculosSistema con accionamiento por tornillo de bolas

Nota: Los siguientes cálculos son para dimensionar el sistema de movimiento lineal.

Módulo Lineal MKK 25-110

- $L_T = 310$  mm
- 2 % precarga
- Con tira selladora
- Con motor MKD090B-047

Para mover una masa de 116.2118 kg una distancia de 2336 mm a una velocidad máxima de 90 m/min, es decir con un máximo de 1.5573 s (tiempo total). El eje se instala horizontalmente.

De acuerdo a la figura A.16 “Datos de servomotor”(pág. 48), la combinación motor/controlador MKD090B-047 / DKC01.3-040 con un límite torque/fuerza máximo (factor de sobre carga)

= 121%  $\Rightarrow M_{Mmax}$  (= 14.4 Nm):

Torque de aceleración del servomotor  $M_a$ 

$$M_a = 0.8 * M_{Mmax} - M_{fr} - M_L ; \quad M_{max} \leq M_{perm}$$

$$M_L = (1.592 * 10^{-4} * F_L * P) / i$$

$$\text{Donde } F_L = 16.2 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 158.922 \text{ N}$$

$$M_L = (1.592 * 10^{-4} * 158.922 \text{ N} * 32 \text{ mm}) / 1 = 0.81 \text{ Nm}$$

$$M_a = 0.8 * 14.4 \text{ Nm} - 2.5 \text{ Nm} - 0.81 \text{ Nm} = 8.21 \text{ Nm}; \quad M_{max} \leq M_{perm}$$

$$M_{max} = 18 \text{ Nm} < M_{perm} = 40 \text{ Nm}$$

Tiempo de aceleración  $t_a$ 

$$t_a = J_{tot} * (n * 0.10472 / M_a) = (15475.25198 * 10^{-6}) * (2812.5 * 0.10472 / 8.21) = 0.5552 \text{ s}$$

Aceleración  $a$ 

$$a = v / (t_a * 60) = 90 \text{ m/min} / (0.5552 \text{ s} * 60) = 2.7017 \text{ m/s}^2$$

Distancia de aceleración  $s_a$ 

$$s_a = 0.5 * a * t_a^2 = 0.5 * 2.7017 \text{ m/s}^2 * (0.5552 \text{ s})^2 = 0.4164 \text{ m} = 416.4 \text{ mm}$$

Viaje de paso discreto  $s_c$  a velocidad constante

$$s_c = s - 2 * s_a = 2336 \text{ mm} - 2 * 416.4 \text{ mm} = 1503.2 \text{ mm}$$

Velocidad constante  $v_c$ 

$$v_c = 90 \text{ m/min} = 1.50 \text{ m/s}$$

Tiempo de paso discreto  $t_c$  a velocidad constante

$$t_c = s_c/v_c = 1.5032 \text{ m} / 1.50 \text{ m/s} = 1.0021 \text{ s}$$

Tiempo total  $t$ 

$$t = 2*t_a + t_c = 2*0.5553 \text{ s} + 1.0021 \text{ s} = 2.1127 \text{ s}$$

La figura B.4 muestra el perfil de movimiento trapezoidal afectado por la fuerza de corte.

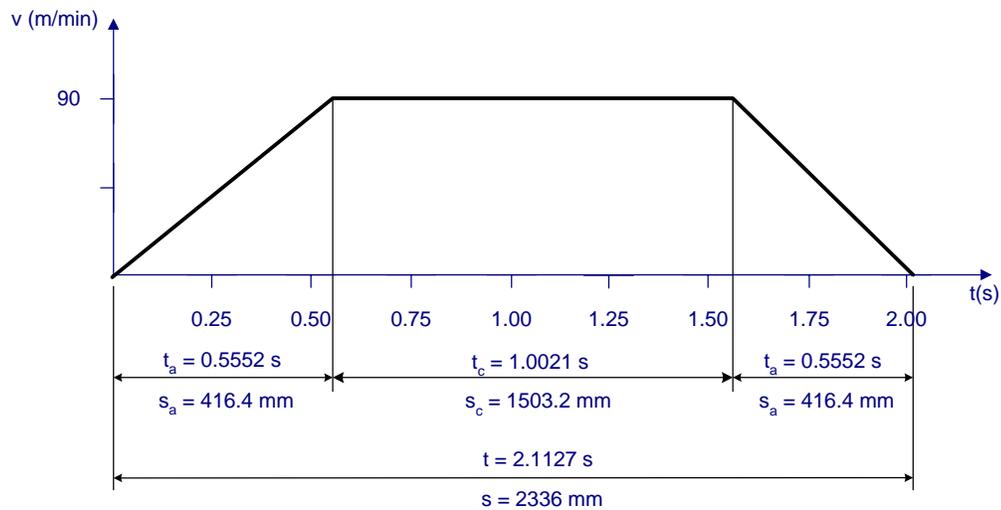


Figura B.4 Gráfica Velocidad-tiempo

### ***B.4 Cálculos para estructura de soporte***

#### **Deflexión para módulos lineales**

La deflexión restringe la carga posible por soportar. Si la deflexión máxima permisible es excedida, es necesario un soporte adicional.

Para los módulos seleccionados se tiene lo siguiente:

#### Módulo lineal MKK 25-110 (módulo Z)

$$L = 2254 \text{ mm}$$

$F = 500 \text{ N}$  fuerza de reacción considerada debida al peso del módulo Y y portaherramientas.

De la gráfica de figura A.15 (pág. 48) se obtiene, la flexión para la fuerza considerada que soportara el módulo Z y la flexión máxima son

$$\delta = 0.3 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = 2.7 \text{ mm}$$

Por lo cual no requiere de soporte adicional

Módulo lineal MKK 25-110 (módulo X)

$$L = 3266 \text{ mm}$$

$F = 1000 \text{ N}$  fuerza de reacción considerada sobre la mesa del módulo X debida al peso del módulo Z, módulo Y y portaherramientas.

De la gráfica de figura A.15 (pág. 48) se obtiene, la flexión para la fuerza aproximada que soportara el módulo X y la flexión máxima son

$$\delta = 0.8 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = 3.0 \text{ mm}$$

Por lo que no requiere de soporte adicional. Como este módulo es el que se ubica sobre la base principal y además de ser elementos de alta velocidad se fijara por medio de tres placas.

### Análisis de fuerzas en cada soporte

El siguiente cálculo presenta el análisis de fuerzas que serán aplicadas en los módulos para considerar cual será la fuerza que tendrá que soportar la estructura de soporte.

Para el primer módulo (módulo Z):

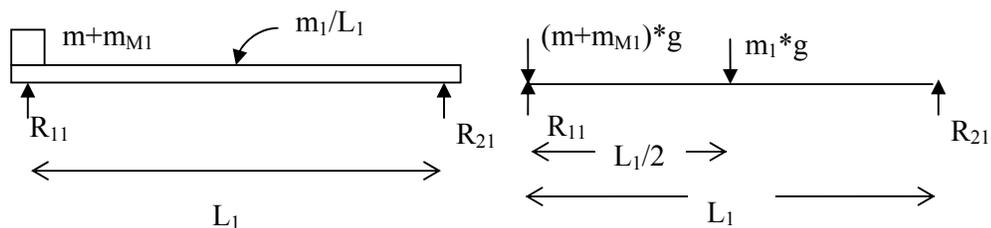


Figura B.5 Diagrama de cuerpo libre del módulo Z

Las fuerzas y reacciones de los apoyos se aprecian en la figura B.5. Donde:

$m = 50 \text{ kg}$  considerado como el peso máximo posible del módulo Y, cabezal y otros accesorios.

$m_{M1} = 8.8 \text{ kg}$  masa del motor.

$m_1 = 57.4118 \text{ kg}$  masa del módulo Z

$R_{11}$  y  $R_{21}$  = Reacciones de los apoyos sobre el módulo Z

Para este análisis se considera la masa  $m$  en un extremo del módulo, ya que sirve para obtener los valores críticos de carga para los soportes, resolviendo las ecuaciones de equilibrio estático ( $\Sigma M_{R11}=0$  y  $\Sigma M_{R21}=0$ ) con sentido horario positivo:

$$\Sigma M_{R11}=0 ; (m_1 * g) * L_1 / 2 - R_{21} * L_1 = 0.$$

$$\Sigma M_{R21}=0; R_{11} * L_1 - (m + m_{M1}) * g - (m_1 * g) L_1 / 2.$$

$$R_{21} = (m_1 * g) / 2 = (57.4118 * 9.81) / 2 = 281.605 \text{ N}$$

$$R_{11} = (m + m_{M1} + m_1 / 2) * g = (50 + 8.8 + 57.4118 \text{ kg} / 2) * 9.81 = 858.433 \text{ N}$$

Para el siguiente cálculo se considera la de mayor magnitud, la reacción  $R_{11}$

Para el segundo módulo (módulo X) :

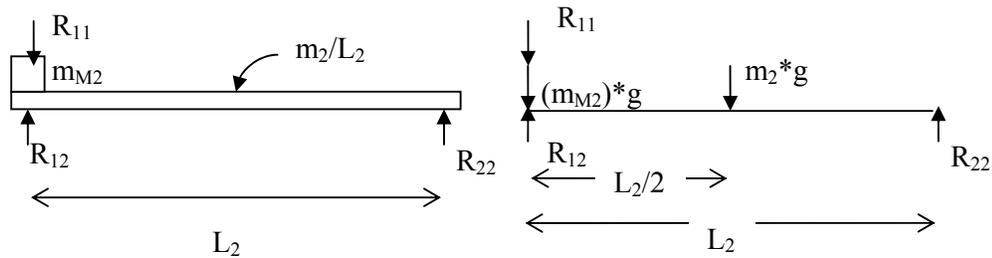


Figura B.6 Diagrama de cuerpo libre del módulo X

Las fuerzas y reacciones de los apoyos se aprecian en la figura B.6. Donde:

$m_{M2} = 8.8 \text{ kg}$  masa del motor impulsor del módulo X.

$m_2 = 80.6722 \text{ kg}$  masa del módulo X

$R_{12}$  y  $R_{22}$  = Reacciones de los apoyos sobre el módulo X

Para este análisis se considera la mesa del módulo X en un extremo del módulo, para obtener los valores críticos de carga para los soportes, resolviendo las ecuaciones de equilibrio estático ( $\Sigma M_{R12}=0$  y  $\Sigma M_{R22}=0$ ):

$$\Sigma M_{R12}=0 ; (m_2 * g) * L_2 / 2 - R_{22} * L_2 = 0.$$

$$\Sigma M_{R22}=0; - R_{11} * L_2 - (m_{M2} * g) * L_2 + R_{12} * L_2 - (m_2 * g) L_2 / 2 = 0.$$

$$R_{22} = (m_2 * g) / 2 = 80.6722 * 9.81 / 2 = 395.697 \text{ N}$$

$$R_{12} = R_{11} + (m_{M2} + m_2 / 2) * g = 858.433 + (8.8 + 80.6722 \text{ kg} / 2) * 9.81 = 1340.458 \text{ N}$$

y considerando la de mayor magnitud es la reacción  $R_{12}$  la cual servirá como guía para el diseño estructural de la mesa de soporte.

**Análisis de reacciones en perfil de mesa**

El siguiente cálculo presenta el análisis de fuerzas que serán aplicadas en los módulos para considerar cual será la fuerza que tendrá que soportar la estructura de soporte.

Para el perfil inferior del módulo X :

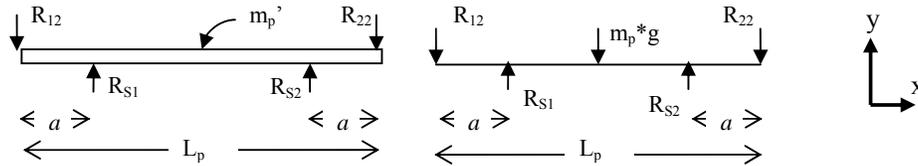


Figura B.7 Diagrama de cuerpo libre del perfil de base principal

Las fuerzas y reacciones de los apoyos se aprecian en la figura B.7. Donde:

$m_p' = 4,9 \text{ kg/m}$  masa del perfil por unidad de longitud para un perfil 80\*80L ver datos (página 49) en figura A.17 y tabla A.1.

$L_p = 2980 \text{ mm} = 2.98 \text{ m}$  longitud del perfil.

$a = 0.4923 \text{ m}$  longitud de separación

$m_p = (4,9 \text{ kg/m}) * (2.98 \text{ m}) = 14.602 \text{ kg}$  masa del perfil.

$R_{12}$  y  $R_{22} = 1340.458 \text{ N}$  y  $395.697 \text{ N}$ , respectivamente reacciones de las placas de unión sobre el perfil.

$R_{S1}$  y  $R_{S2} =$  Reacciones de las patas sobre perfil.

Para este análisis se consideran solo dos placas de unión con reacciones en los extremos del perfil, resolviendo las ecuaciones de equilibrio estático  $\Sigma M_{S1}=0$ ,  $\Sigma F_y=0$  considerando sentido horario positivo para momentos y hacia arriba para fuerzas:

$\Sigma M_{S1}=0$ ;

$$- R_{12} * a + (m_p * g) * (L_p - 2a) / 2 - R_{S2} * (L_p - 2a) + R_{22} * (L_p - a) = 0$$

$$R_{S2} = \{ - (R_{12} * a) + [(m_p * g) * (L_p - 2a) / 2] + [R_{22} * (L_p - a)] \} / (L_p - 2a) \dots \dots A$$

$\Sigma F_y=0$ ;

$$- R_{12} - (m_p * g) - R_{22} + R_{S1} + R_{S2} = 0$$

$$R_{S1} = R_{12} + (m_p * g) + R_{22} - R_{S2} \dots \dots \dots B$$

Sustituyendo datos en las ecuaciones A y B

$R_{S2} = 234.231 \text{ [N]}$

$R_{S1} = 1645.1696 \text{ [N]}$

**Diagrama de cortante y momento flexionante del perfil**

Una vez conocidas las reacciones se procederá a dibujar los diagramas de fuerza cortante, momento flexionante tomando secciones del diagrama que aparece en la figura B.7, a continuación se muestran los cálculos.

Sección  $0 < x < a$ 

$$+\uparrow \Sigma F_y = -R_{12} - (m_p' * x * g) + V = 0 \quad \therefore \text{ para } x=0, V = 1340.458 \text{ N};$$

para  $x=a$ ,  $V = 1364.122 \text{ N}$ . (fuerza cortante máxima)

$$+\uparrow \Sigma M = (R_{12} * x) + (m_p' * x * g) * (x/2) + M = 0 \quad \therefore \text{ para } x = 0, M = 0;$$

para  $x = a$ ,  $M = -665.732 \text{ Nm}$  (momento flexionante máximo)

Sección  $a < x < (L - a)$ 

$+\uparrow \Sigma F_y = -R_{12} - (m_p' * x * g) + R_{S1} + V = 0 \quad \therefore \text{ para } x=a, V = -281.047 \text{ N};$  para  $x=L-a$ ,  $V = -185.13 \text{ N}$ .

$$+\uparrow \Sigma M = (R_{12} * x) - R_{S1} * (x-a) + (m_p' * x * g) * (x/2) + M = 0 \quad \therefore \text{ para } x = a,$$

$M = -665.732 \text{ Nm};$  para  $x = L - a$ ,  $M = -200.627 \text{ Nm}$

Sección  $(L - a) < x < L$ 

$+\uparrow \Sigma F_y = -R_{12} - (m_p' * x * g) + R_{S1} + R_{S2} + V = 0 \quad \therefore \text{ para } x=L - a, V = -419.361 \text{ N};$  para  $x=L$ ,  $V = -395.697 \text{ N}$ .

$$+\uparrow \Sigma M = (R_{12} * x) - R_{S1} * (x-a) + (m_p' * x * g) * (x/2) - R_{S2} * [x-(L-a)] + M = 0 \quad \therefore$$

para  $x = L - a$ ,  $M = -200.627 \text{ Nm};$  para  $x = L$ ,  $M = 0 \text{ Nm}$

Graficando las ecuaciones para cada sección se obtienen las gráficas que se muestran en las figuras B.8 y B.9.

Para el momento flexionante máximo  $665.732 \text{ [Nm]}$ . El esfuerzo máximo se obtiene mediante la ecuación

$$\sigma = \frac{M * y}{I} = \frac{M}{w}$$

para un perfil  $80 \times 80 \text{ L}$ ,  $w = 33.0 \text{ [cm}^3\text{]}$  por lo que  $\sigma = 2017.369 \text{ [N/cm}^2\text{]}$

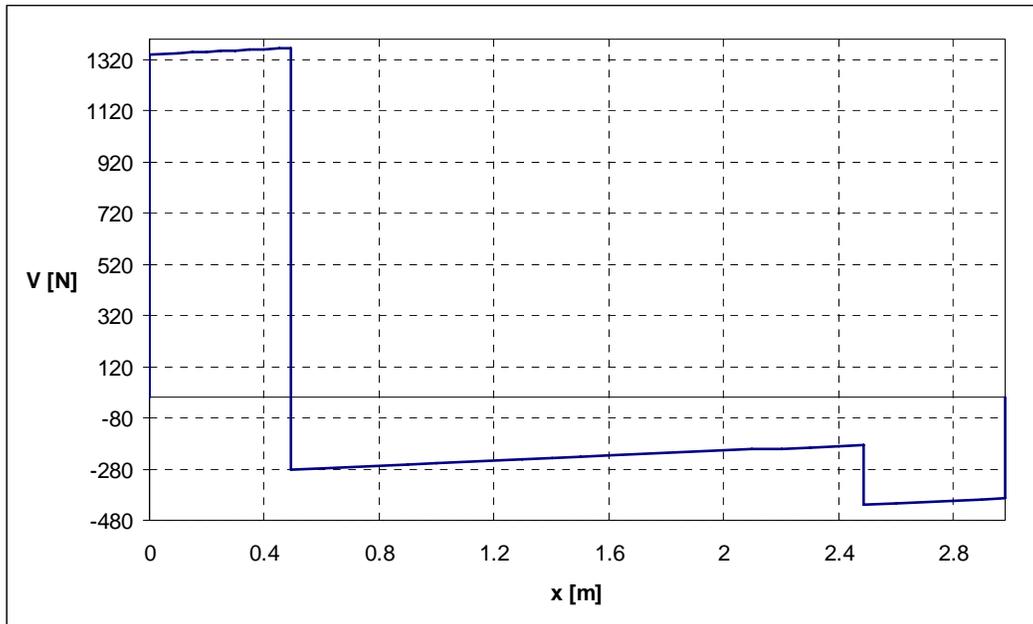


Figura B.8 Diagrama de fuerza cortante para el perfil estructural

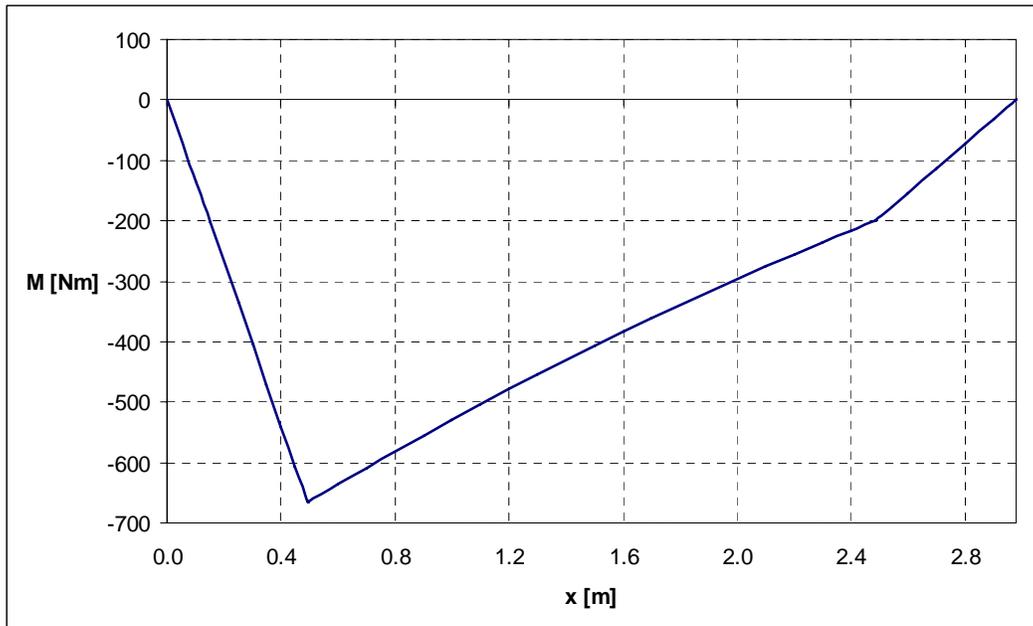
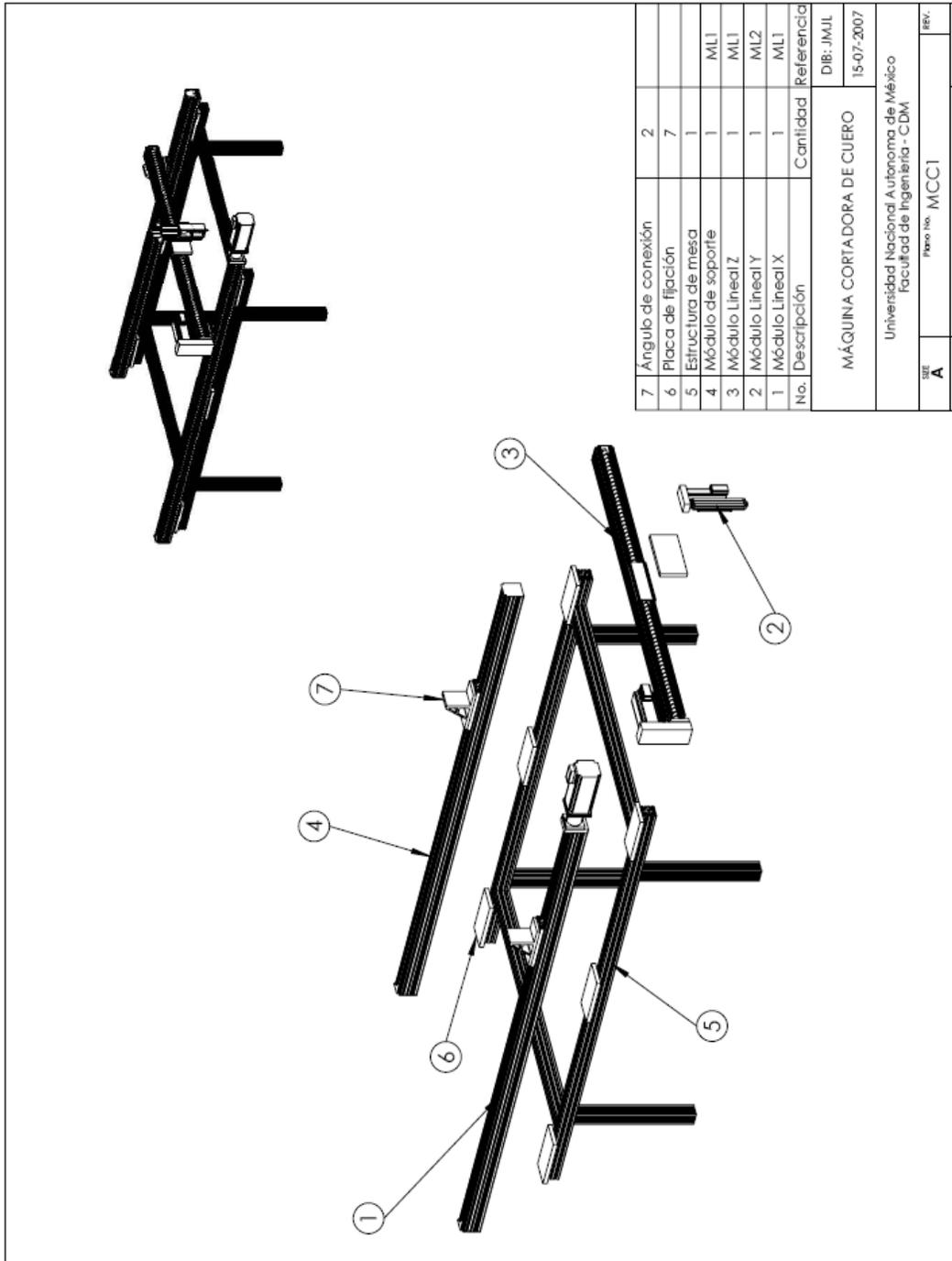


Figura B.9 Diagrama de momento flexionante para el perfil estructural

***Anexo C. Planos***

En este anexo se muestran los planos de los elementos del ensamble de la máquina cortadora de cuero, los cuales se presentan de la siguiente forma:

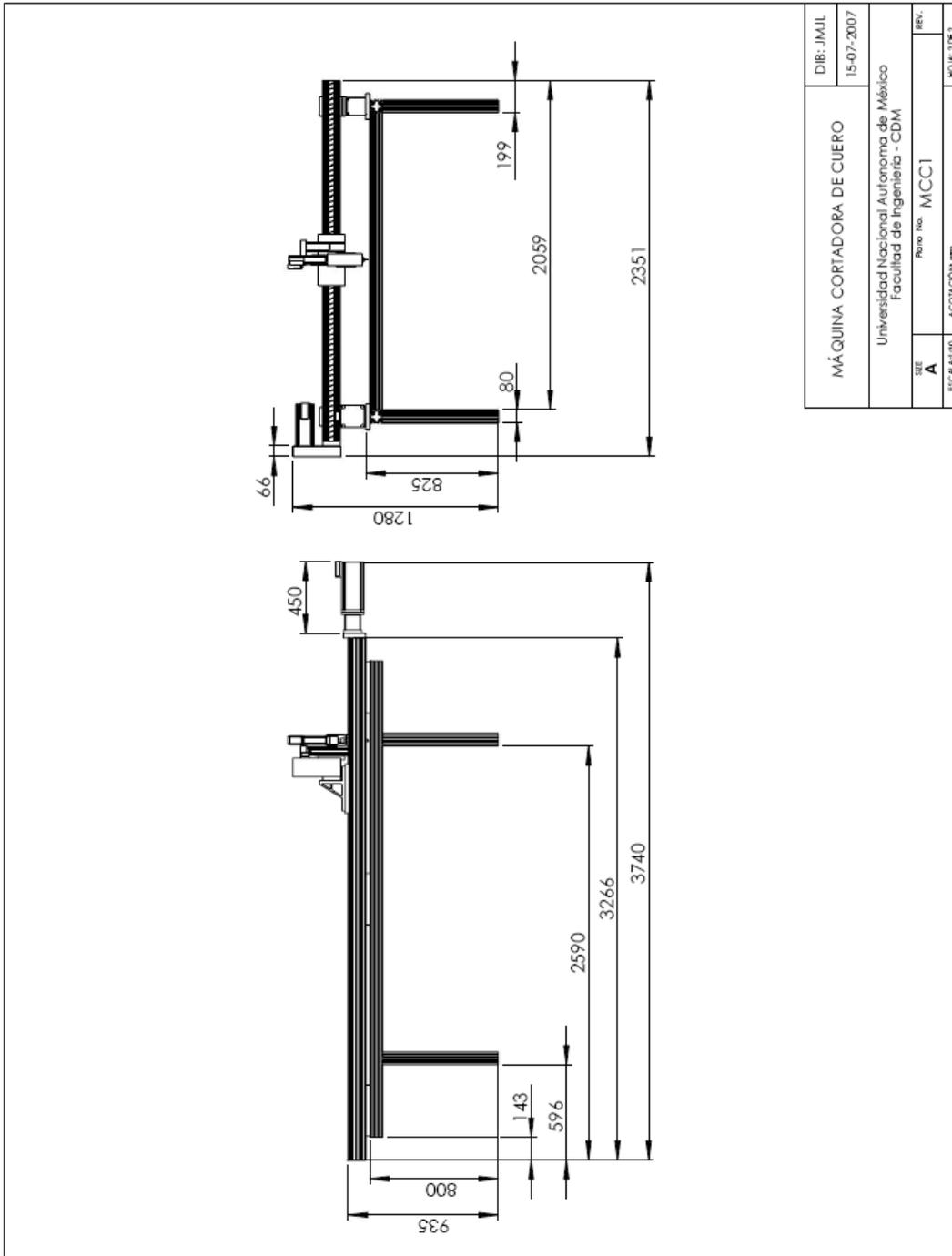
- a) Máquina cortadora de cuero, plano no. MCC1 hoja 1 de 2
- b) Máquina cortadora de cuero, plano no. MCC1 hoja 2 de 2
- c) Módulo Lineal MKK 25-110, plano no. ML1
- d) Módulo lineal PSK 60 con motor, plano no. ML2



No.	Descripción	Cantidad	Referencia
7	Angulo de conexión	2	
6	Placa de fijación	7	
5	Estructura de mesa	1	
4	Módulo de soporte	1	ML1
3	Módulo Lineal Z	1	ML1
2	Módulo Lineal Y	1	ML2
1	Módulo Lineal X	1	ML1

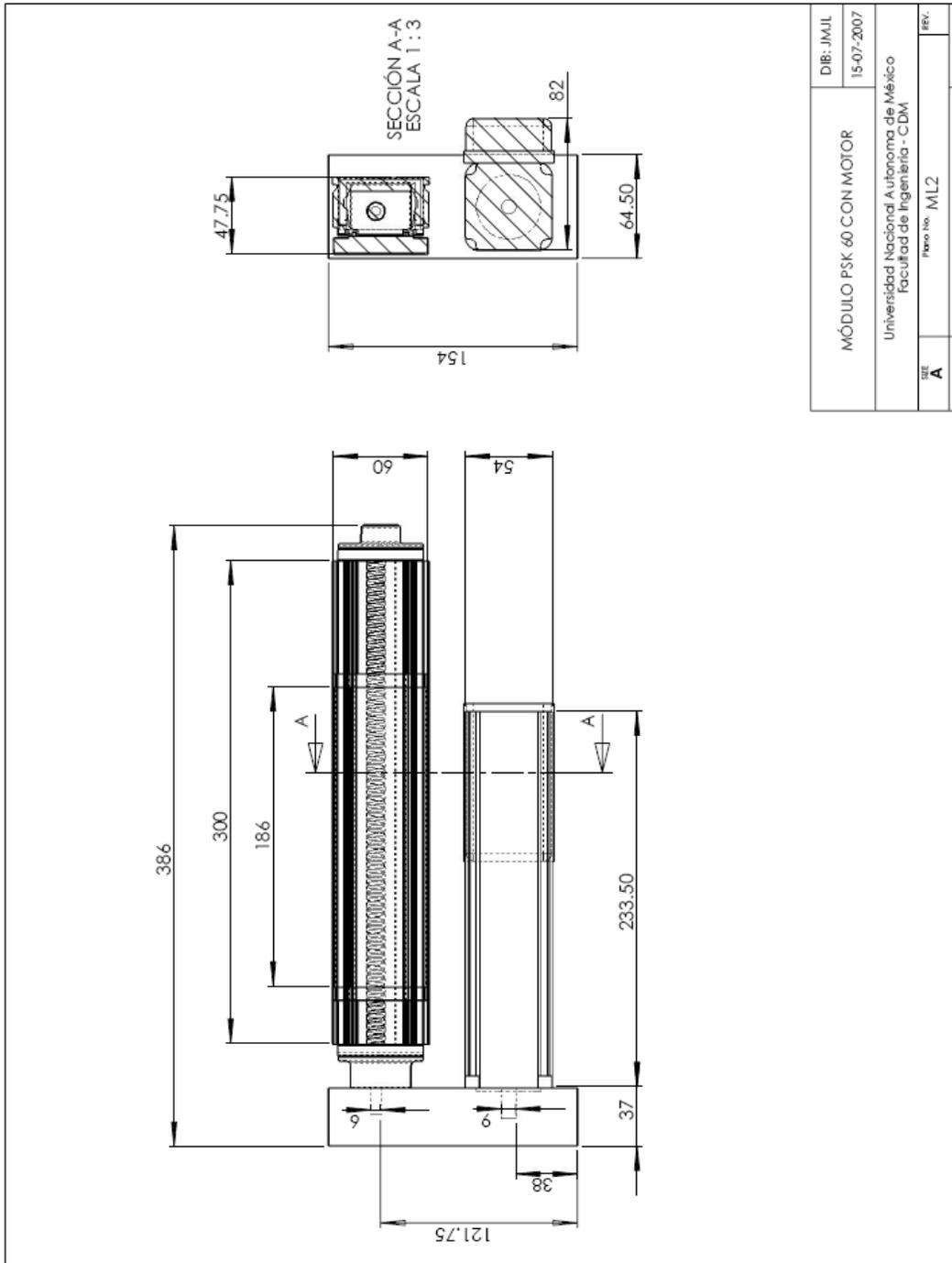
  

MÁQUINA CORTADORA DE CUERO	
DIB: JM/JL	
15-07-2007	
Universidad Nacional Autónoma de México	
Facultad de Ingeniería - CDMX	
DE	REV.
A	
Folio No. MCC1	
ESCALA: 1:1	ACOTACION: SA
HOJA: DE 2	



MÁQUINA CORTADORA DE CUERO		DIB: JM/JL
		15-07-2007
Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería - CDM		
SIZE	Rev. No.	REV.
A	MCC1	
ESCALA: 1:30		ACORDACIÓN: mm
		HOJA: 1 DE 2





DIB: JM/JL		15-07-2007	
MÓDULO PSK 60 CON MOTOR			
Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería - CDM			
REV.	Plano No.	MLZ	REV.
A	ESCALA 1:3	ACORDACIÓN (mm)	HOJA 1 DE 1

***Bibliografía.***

1. C. Ray Asfahl. Robots and manufacturing automation. 1992.
2. Díaz-Rodríguez et al. II Simposio La Investigación y Desarrollo en la Facultad de Ingeniería 2005.
3. Dieter, George Ellwood. Engineering Design: a materials and processing approach. 2000.
4. Ferraté Gabriel et al. Robótica Industrial. 1986
5. Groover, Mikell P. y et al. Industrial Robotics. 1990.
6. Iñigo Madrigal, Rafael y Vidal Idiarte Enric. Robots Industriales manipuladores. Edit Alfaomega 2004
7. Jaramillo Patiño, Judith. “La competitividad en la industria del calzado de cuero en México 1980 a 1995”. Tesis profesional de licenciatura, UNAM, F.E., 1998
8. López Villavicencio, Antonia. “La industria del cuero y calzado en México: cambio estructural y desempeño económico”. Tesis profesional de licenciatura, UNAM, F.E., 1997
9. Ollero Baturone, Aníbal. Robótica “Manipuladores y robots móviles”. 2001
10. Revista Facultad de Ingeniería, U.T .A. (Chile), Vol. 11 N° 2, 2003.
11. Ullman, David G. The Mechanical Design Process. 2003
12. Ulrich, karl T. and Eppinger, Steven D. Product Design and Development. 2004
13. Bosch Rexroth Group. Instrucciones para módulos lineales MKK Montaje, mantenimiento y recambio. RS 82471/01.97
14. Linear Modules RE 82402/2003-10
15. Elementos básicos de mecánica. Versión 11.0. 3842529115 (2006-04)
16. Controllers, Motors, Electrical Accessories. Servomotors. RE 82 710/2003-11
17. Módulos de precisión PSK. R310ES 2414 (2005.05)

***Referencias electrónicas***

<http://adisasystems.com>

<http://www.zund.com>

[http://www.torielli.com/eng/part\\_z.htm](http://www.torielli.com/eng/part_z.htm)

<http://www.bwcutters.com>

<http://www.elitron.es>

<http://www.introtec.com.ar/corteAutomatico.htm>

<http://www.gerberetechnology.com>

[http://www.mfgsup.com/dieless\\_cutting\\_equipment/atom\\_knife\\_cutting/](http://www.mfgsup.com/dieless_cutting_equipment/atom_knife_cutting/)

<http://www.comelz.com>

<http://www.zipor.com>