



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

“DISEÑO DE DETALLE DE UN ROBOT
PARA CORTE DE CUERO”

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

ING. MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO

P R E S E N T A:

ISMAEL NAVA DOMÍNGUEZ

TUTOR:

DR. MARCELO LÓPEZ PARRA



2007

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Borja Ramírez Vicente
Secretario: Dr. González González Leopoldo Adrián
Vocal: Dr. López Parra Marcelo
1^{er}. Suplente: Dr. Ramírez Reivich Alejandro
2^{do}. Suplente: Dr. Dorador González Jesús Manuel

Lugar donde se realizó la tesis:

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

TUTOR DE TESIS:

Dr. López Parra Marcelo.

FIRMA

AGRADECIMIENTOS.

Gracias a Dios por concederme el Don de la vida,
por dejarme crecer dentro de la familia a la que pertenezco,
por darme la oportunidad de alcanzar metas como esta,
pero sobre todo, gracias por la fe que me permite sentir
su presencia a cada instante y siempre salir adelante.

En especial a las personas más importantes en mi vida: mis padres y hermanos.

A Ernesto Flores Nava.

A la UNAM y a su Facultad de Ingeniería en su División de Estudios de Posgrado por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría.

A mis profesores de Maestría el Dr. Mario Acosta Flores, Dr. Alejandro Ramírez Reivich, Dr. Álvaro Ayala Ruiz, Dr. Oscar Jesús Rendón Gómez, Dr. Marcelo López Parra, Dr. Luís Alejandro Ferrer Argote, M.I. Israel González Estévez, por haberme transmitido sus valiosos conocimientos durante la Maestría.

Al M.I. Alonso Madera Coronel por su ayuda y consejos.

A la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U.P. Culhuacan por darme las bases de mi formación como ingeniero.

Al Dr. Humberto Acedo Espinosa por su gran consejo de realizar mis estudios de Maestría.

Agradezco el apoyo económico recibido por el PAPIIT con el cual pude realizar este trabajo de tesis.

A mi director de tesis el Dr. Marcelo López Parra por su gran apoyo incondicional.

Agradezco el apoyo económico recibido por la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP) con el cual logré realizar mis estudios de Maestría.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN. | I |
| 1 ANTECEDENTES. | 1 |
| 1.1 Robot cartesiano para corte de cuero prototipo 1. | 1 |
| 1.2 Tipos de cuero para calzado empleados por la empresa. | 2 |
| 1.3 Tipos de máquinas para corte de cuero que existen comercialmente. | 3 |
| 2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE DISEÑO. | 5 |
| 2.1 Introducción. | 5 |
| 2.1.1 Definición del problema. | 5 |
| 2.1.2 Objetivo. | 5 |
| 2.1.3 Alcance. | 5 |
| 2.2 Requerimientos. | 5 |
| 2.2.1 Determinación de los requerimientos del cliente. | 5 |
| 2.2.2 Ponderación de los requerimientos del cliente | 6 |
| 2.2.3 Estudio comparativo (Benchmarking). | 7 |
| 2.2.4 Traducción de los requerimientos del cliente. | 9 |
| 2.3 Especificaciones de diseño. | 9 |
| 3 DISEÑO CONCEPTUAL. | 10 |
| 3.1 Estructura de un robot industrial. | 10 |
| 3.2 Principales características de los robots. | 10 |
| 3.3 Clasificación de los robots. | 10 |
| 3.4 Descomposición funcional. | |
| 3.5 Características de los conceptos para la transmisión mecánica del robot. | 16 |
| 3.6 Configuraciones generadas | 17 |
| 3.6.1 Configuración I | 17 |
| 3.6.2 Configuración II | 17 |
| 3.7 Evaluación de las configuraciones generadas | 18 |
| 4 DISEÑO DE DETALLE. | 19 |
| 4.1 Selección de módulos y cálculos del torque M_{req} | 19 |
| 4.1.1 Cálculo de la longitud del módulo para el eje Z y el torque M_{req} . | 21 |
| 4.1.2 Cálculo de la longitud del módulo para el eje X y el torque M_{req} . | 22 |
| 4.1.3 Cálculo de la longitud del módulo para el eje Y, y el torque M_{req} . | 23 |
| 4.2 Tipos de módulos seleccionados y torques M_{req} . | 24 |
| 4.3 Sistema de Riel de bolas amplio. | 24 |
| 4.4 Motores impulsores de los tornillos de bolas recirculantes. | 25 |

| | |
|--|----|
| 4.5 Configuración de la transmisión mecánica para el segundo robot. | 26 |
| 4.6 Listado de componentes. | 27 |
| 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 28 |
| ANEXOS | 29 |
| Anexo A.1 Elementos de la transmisión mecánica, definición de precisión y definición de repetibilidad. | 29 |
| Anexo A2 Experimentos realizados para encontrar la fuerza necesaria para cortar cuero. | 31 |
| A2.1 Experimento 1: Uso de un Dinamómetro. | 31 |
| A2.2 Experimento 2 Uso del banco de pruebas BPRC07. | 34 |
| Anexo A.3 Figuras. | 37 |
| Anexo B Planos del Banco de pruebas, y de la transmisión mecánica propuesta | 42 |
| Anexo B1 Banco de pruebas | 43 |
| Anexo B2 Transmisión mecánica propuesta | 47 |
| REFERENCIAS | 52 |
| Referencias electrónicas del Benchmarking | 52 |

INTRODUCCIÓN.

Una empresa fabricante de calzado solicitó a la Facultad de Ingeniería de la UNAM el diseño y fabricación de un robot cartesiano prototipo 1 para el corte de cuero, el cual es un sistema automático. Dicho robot fue desarrollado por el Dr. Tang Yu y su equipo de investigación, una fotografía del robot se puede observar en la figura 1.1 del capítulo uno de la presente tesis. El desarrollo de ese robot ha permitido realizar experimentos que demuestran la ventaja de utilizar sistemas automáticos.

La misma empresa fabricante de calzado solicitó ahora a la Facultad de Ingeniería el diseño y desarrollo de un segundo robot, capaz de operar en ambiente industrial, incorporando atributos de funcionamiento como son: corte con chorro de agua, alta repetibilidad, alta velocidad de corte y capacidad para hacer *nesting*.

La presente tesis se enfoca al diseño de una transmisión mecánica (Anexo A1.1), para el segundo robot, que proporcione una velocidad de corte de cuero alta, y alta repetibilidad (Anexos A1.2 y A1.3).

Si se emplea un robot cartesiano, el cual cuente con tornillos de bolas recirculantes, como mecanismo, para dar movimiento a cada uno de los ejes del robot, y, utilizando perfiles comerciales de alta precisión, como elementos de soporte, se puede obtener en la transmisión una velocidad de corte alta, y, alta repetibilidad.

En el capítulo 1 se muestran las características del primer robot para corte de cuero, los tipos de cuero para calzado, empleados por la empresa y los robots para corte de cuero que existen comercialmente.

Para llevar a cabo el diseño de la transmisión mecánica del segundo robot se utilizó una metodología de diseño que sirvió como guía, dicha metodología está representada mediante un proceso de diseño el cual se divide en las siguientes etapas: Definición del problema de diseño, Diseño conceptual y Diseño de detalle.

Para la primera etapa del proceso de diseño (Definición del problema de diseño) se utilizó la metodología QFD (*Quality Function Deployment*) Despliegue de funciones de calidad, desarrollada en el capítulo 2. El objetivo principal del uso de esta metodología fue obtener un conjunto de especificaciones, con las cuales se asegura satisfacer las expectativas de la empresa fabricante de calzado.

En el capítulo 3 se realizó el diseño conceptual de la transmisión mecánica del segundo robot. En este diseño se plantearon principios de funcionamiento, alternativas de solución para dichos principios. Las alternativas obtenidas fueron evaluadas, estableciendo así una configuración (Modelo 3D).

Una vez obtenida la configuración de la transmisión mecánica para robot en el capítulo 4 se desarrolló el diseño de detalle, en donde se realizó el cálculo y la justificación del mecanismo de la transmisión. Mediante experimentos (Ver anexo A2), realizados en el banco de pruebas BPRC07 (Ver figura A2.5), se estableció la fuerza necesaria para el corte de cuero, debido a que dicha fuerza era un dato requerido para el cálculo. El banco de pruebas BPRC07 se diseñó y fabricó en el Centro de Diseño y Manufactura (C. D. M.) de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Por último en el capítulo 5 se presentan las conclusiones y las recomendaciones.

Adicionalmente se muestran en el Anexo B los planos del banco de pruebas BPRC07 y los planos en donde se muestra la configuración de los componentes seleccionados para la transmisión del segundo robot.

1 ANTECEDENTES.

1.1 Robot Cartesiano para corte de cuero prototipo 1.

Mediante la visita realizada a la Facultad de Ingeniería de la UNAM CAMPUS JURIQUILLA se llevó a cabo el levantamiento del robot cartesiano (Prototipo 1) para corte de cuero (Ver figura 1.1). La configuración de este robot es de coordenadas cartesianas, el cual cuenta con 4 grados de libertad, tres para desplazarse en la dirección X, Y, Z, y, uno para el giro de la cuchilla de corte (Ver figura 1.2.).



Figura 1.1 Robot Cartesiano (Prototipo 1).

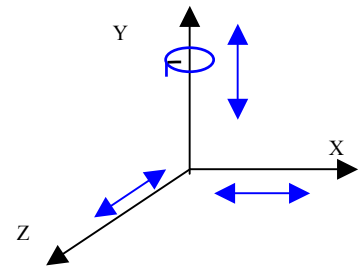


Figura 1.2 Grados de libertad.

El sistema de impulsión que utiliza el robot es mediante el uso de motores eléctricos (Ver figura 1.3), junto con un mecanismo de bandas y poleas dentadas como transmisión mecánica (Ver figura 1.4).

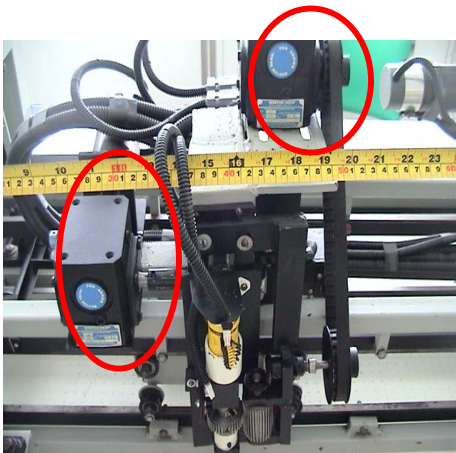


Figura 1.3 Motores impulsores

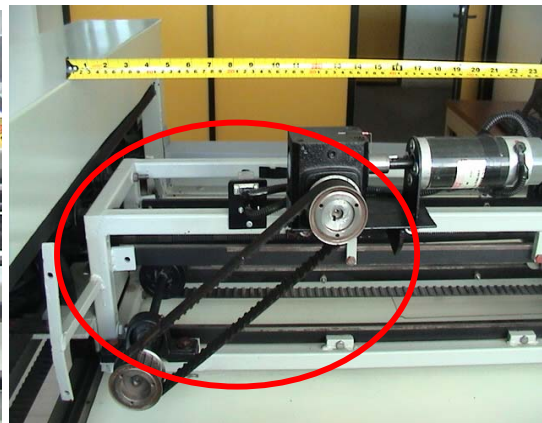


Figura 1.4 Transmisión mecánica.

El robot efectúa el corte del cuero empleando una cuchilla (Ver figura 1.5), cuyas características se muestran en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Características de la cuchilla.

| Material | Largo (mm) | Ancho (mm) | Espesor (mm) | Ángulo de corte | Modulo de tracción (GPA) | Dureza - Vickers Kgf mm^{-2} |
|----------------------|------------|------------|--------------|-----------------|--------------------------|---------------------------------------|
| Carburo de Tungsteno | 50 | 7 | 1 | 45° | 600 | 1550 |

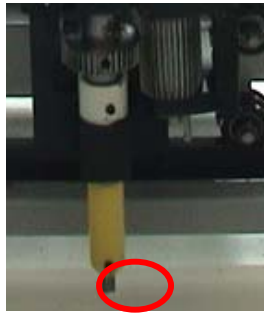


Figura 1.5 Cuchilla

1.2 Tipos de cuero para calzado empleados por la empresa.

Los tipos de cuero empleados por la empresa para la fabricación de calzado son: La anilina, la semianilina, semicorregida, pigmentada, gamuza, flor y la carne. Los cuales se muestran en la figura 1.6.



Figura 1.6 Tipos de cuero para la fabricación de calzado.

1.3 Tipos de máquinas para corte de cuero que existen comercialmente.

Se efectuó una búsqueda de información de máquinas comerciales para corte de cuero y se encontraron las siguientes opciones: Corte por láser, corte por chorro de agua y corte por cuchilla. A continuación se describen brevemente.

- Sistema de corte por láser.



Empresa: Eurolaser.

Esta máquina está constituida por un carro longitudinal (eje z) y un carro transversal (eje x). No cuenta con movimiento en Y debido a que cuenta con un cabezal con su sistema láser. Por lo tanto tiene dos grados de libertad.

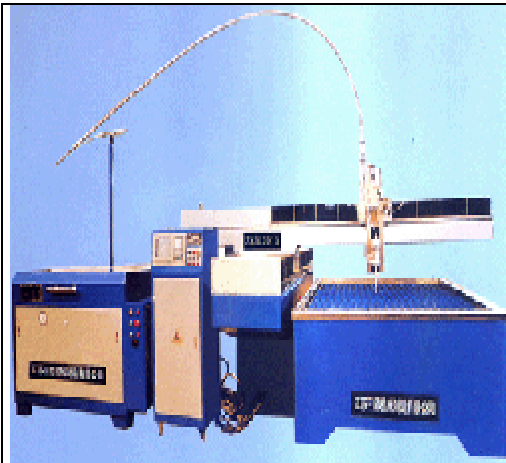
Su transmisión mecánica está formada por tornillos de bolas recirculantes y servomotores como impulsores de los tornillos de bolas.

Esta máquina es versátil debido al número de materiales que se pueden procesar es muy amplio gracias a su sistema láser.

Cuenta con una alta velocidad de corte de 1 a 1000 mm/s y una excelente repetibilidad de +/- 0,02 mm.

Figura 1.7 Modelo: L 2500.

- Sistema de corte por chorro de agua.



Empresa: Jiangsu Sanxing Machinery Manufacture Co., Ltd.

Este sistema está principalmente constituido por un generador de alta presión, una máquina CNC y un sistema CAD/CAM. El corte por chorro de agua a alta presión es una nueva técnica de corte. Su velocidad de corte es alta y cuenta con buena repetibilidad.

Esta máquina al igual que la máquina que utiliza el sistema láser cuenta con dos grados de libertad y como transmisión mecánica emplea tornillos de bolas recirculantes y servomotores como impulsores de los tornillos de bolas.

Su velocidad de corte es alta y su repetibilidad es de +/- 0,05 mm.

Figura 1.8 Modelo SXSL2015

- Sistema de corte por cuchilla.



Figura 1.9 Modelo: ATOM Flashcut Model 15155 Oscillating Knife Cutting System.

2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE DISEÑO.

2.1 Introducción.

Para la determinación de los requerimientos y especificaciones de la transmisión mecánica que incluye el segundo robot cartesiano para corte de cuero se utilizó la metodología *Quality Function Deployment* (Q.F.D.). Dicha metodología es una herramienta la cual de manera sistemática determina los requerimientos del cliente hasta llegar a un conjunto de especificaciones mostradas en la tabla 2.6 (Matriz Q.F.D.).

2.1.1 Definición del problema.

Realizar el diseño de detalle de la transmisión mecánica de un robot para corte de cuero, que sea capaz, de trabajar en un ambiente industrial.

2.1.2 Objetivo.

- Diseñar una transmisión que proporcione una velocidad de corte de cuero alta, y, alta repetibilidad.
- Realizar experimentos que permitan establecer cual es la fuerza necesaria para cortar el cuero proporcionado por la empresa.

2.1.3 Alcance.

Se propondrán la transmisión mecánica del robot. Se presentarán los cálculos y la selección de la transmisión mecánica. Se describirá la configuración de la transmisión mecánica, así como también sus elementos estructurales mediante un modelo 3D.

2.2 Requerimientos.

2.2.1 Determinación de los requerimientos del cliente.

A través de una visita a la empresa fabricante de calzado de zapato que se localiza en el estado de León, Guanajuato, se logró elaborar un listado de requerimientos (Ver Tabla 2.1) que debe reunir el segundo robot cartesiano para corte de cuero para que pueda trabajar en un ambiente industrial y así ser considerado de calidad.

Tabla 2.1 Tabla de requerimientos.

| Requerimientos del segundo robot cartesiano para corte de cuero | |
|---|--|
| 1.- | Que sea de bajo costo. |
| 2.- | Que tenga buena repetibilidad. |
| 3.- | Facilidad de transportar. |
| 4.- | Que tenga una velocidad alta de corte. |
| 5.- | Facilidad de mantenimiento. |
| 6.- | Que sea capaz de cortar el siguiente tipo de cuero: Anilina, semianilina, semicorregida, pigmentada, gamuza, flor y la carne. |
| 7.- | Que sea capaz de cortar los siguientes calibres de piel: <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 20px;"> <div style="text-align: center;">10-12</div> <div style="text-align: center;">1.0 mm - 1.2 mm 2.2 mm -2.4 mm</div> </div> |
| 8.- | Que tenga un área de trabajo de 3 x 1.5 m |

2.2.2 Ponderación de los requerimientos del cliente.

Los requerimientos del cliente se dividen en dos partes, obligatorios y deseables (Tabla 2.2), siendo los primeros totalmente necesarios para el funcionamiento del segundo robot cartesiano, los requerimientos deseables.

Tabla 2.2 Tabla de requerimientos obligatorios y deseables.

| Requerimientos obligatorios. | |
|------------------------------|---|
| A. | Que sea de bajo costo. |
| B. | Que sea capaz de cortar el siguiente tipo de piel: Anilina, semianilina, semicorregida, pigmentada, gamuza, flor y la carne. |
| C. | Facilidad de mantenimiento. |
| D. | Que sea capaz de cortar los siguientes calibres de piel: <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 20px;"> <div style="text-align: center;">10-12</div> <div style="text-align: center;">1.0 mm - 1.2 mm 2.2 mm -2.4 mm.</div> </div> |
| E. | Que tenga buena repetibilidad. |
| F. | Área de trabajo = 3x1.5m. |
| G. | Que tenga una alta velocidad de corte. |
| Requerimientos deseables. | |
| a. | Facilidad de transportar. |

2.2.3 Estudio comparativo (Benchmarking).

El objetivo de este estudio, es determinar los puntos débiles, y, fuertes de las máquinas para corte de cuero que existen comercialmente en relación con los requerimientos de la empresa. Este estudio comparativo es un paso importante para establecer especificaciones de diseño que no fueron posibles ser obtenidas por la empresa (Referencia [5]). Algunos de los datos mostrados en la tabla 2.3 fueron obtenidos de paginas Web de proveedores de máquinas para corte de cuero, y otros datos fueron solicitados por correo electrónico a estos mismos (Referencia [1w-16w]).

Tabla 2.3 Benchmarking.

| Modelo | Sistema de corte | Vc | Área de trabajo (m) | Peso (Kg.) | P | Materiales que pueden cortar | Rp (mm) | País de origen | Precio \$USD |
|------------------------|------------------|-----------------------|---------------------|------------|----------------------|--|-----------|------------------------|------------------|
| AAAtom flash cut 15155 | Navaja oscilante | 50 m/min | 1.5x1.5 | | | Piel | +/-0.02 | U. S. A. | 150000 |
| LC-2400 | Navaja | 1-1000 mm/s | 2.4 x 1 | | 12.5 KW | Piel y otros materiales | +/- 0.02 | Suiza | |
| ML 1100 | Navaja | 20 +/-2 (strokes/min) | 1.9x1.78 | 4500 | 5.5 KW | Piel | | China (mailand) | |
| FB400 | Láser | 10-600 mm/s | .79x.82 | 65 | 110-240 VAC 50/60 Hz | Piel, ante, gamuza, tejidos de vaquero, algodón, cartón, madera, corcho, vinil, papel, hojas de acrílico | +/- 0.025 | Inglaterra U. S. A. | 24000 32000 |
| VB345 | Hidráulico | 10-25 times/min | 1x2 | 6500 | 15 HP x 6P | Textil, pieles, carpetas, cartón, material de espuma, corcho, etc. | | | 330,000 |
| Yc- 506 E | Hidráulico | 30- 50 times/min | 1.55x1.45 | 2250 | 7.5HP x 6P | Materiales EVA, Materiales espumosos, piel | | Shangai. | 125000 |
| XCLP2-500 | Hidráulico | 0.09 m/s | 1.64 x0.76 | 3000 | 4 KW | Piel, plástico, imitación piel nylon, pvc, etc | | Shangai | 70000 |
| Elicut K2 Water jet | Chorro de agua | 80 m/min max | 1.6 x1.25 | | 15 KW | Cuero y otros materiales | +/-0.04 | Italia. | 83,000 |
| SXSL2015 | Chorro de agua | 0-75 m/min | 1.5x2 | | 37 KW | | +/- 0.05 | Shanghai | 53,000 63,000 |
| L-2500 | Laser | 1-1000 mm/s | 1.8x2.5 | 920 | | piel | +/- 0.02 | Alemania | 142000 euros |
| GSB-2C/8 | Hidráulico | 0.10 m/s | | | 0.75 KW | Piel, imitación piel, plástico, cartón. | | China | 140000 |

Vc = Velocidad de corte

P = Potencia.

Rp= Repetibilidad.

Debido a que la empresa requiere una velocidad de corte alta, y, una repetibilidad alta, de este estudio comparativo se puede establecer un rango para dichos requerimientos. Una velocidad de corte alta deberá estar dentro del rango de 1.33 a 2 m/s, esto como resultado de la suma vectorial de velocidad de los ejes X y Z. El valor de repetibilidad para ser considerado como alto deberá estar en el rango de +/- 0.05 a +/- 0.02 mm.

Una vez obtenida toda la información posible se eligió una máquina de cada opción encontrada (Corte por láser, corte por chorro de agua, y, corte por cuchilla) para ser comparadas de acuerdo con los requerimientos mostrado en la tabla 2.4

Tabla 2.4 Comparación de máquinas para corte de cuero.

| Máquina de corte | SXSL20 15 (I) | FB400 (II) | L-2500 (III) | Atom flash cut 15155 (IV) |
|---|---------------------|---------------|-----------------|------------------------------------|
| A Costo. | 4 | 6 | 4 | 4 |
| B Capacidad para cortar diferentes pieles. | 8 | 8 | 8 | 8 |
| C Facilidad de mantenimiento. | 6 | 8 | 8 | 8 |
| D Capacidad para cortar diferentes calibres de piel. | 8 | 8 | 8 | 8 |
| E Que tenga buena repetibilidad. | 6 | 8 | 8 | 8 |
| F Área de trabajo | 6 | 4 | 6 | 4 |
| G Velocidad de corte | 8 | 2 | 6 | 4 |
| a. Facilidad de transportar. | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Totales | 54 | 52 | 56 | 52 |

| |
|--|
| <p>Evaluación:</p> <p>El requerimiento es satisfecho:</p> <p>8. Totalmente. 6. Casi por completo. 4. Medianamente. 2. Muy poco. 0. Nada.</p> |
|--|

2.2.4 Traducción de los requerimientos del cliente.

Esta es una de las etapas decisivas en el proceso de diseño, en algunos casos los requerimientos del cliente no necesitan traducción ya que están expresados en términos medibles. En muchos otros, es necesario hacer una descomposición (Ver tabla 2.5) que puede derivar en varios términos medibles para cada requerimiento del cliente.

Tabla 2.5 Traducción de requerimientos.

| Ref. | Requerimientos no mensurables. | Requerimiento traducido. | Valor | Unidad |
|------|--------------------------------|--|---------------|----------------------|
| a | Facilidad de transportar | - b1 Construcción ligera -b2 Riesgo de ruptura de algún componente. | 920< 0 | Kilogramos. % |

2.3 Especificaciones de diseño (Matriz Q. F. D.).

En la tabla 2.6 se muestran las necesidades de la empresa de calzado convertidas en especificaciones de diseño. Esta tabla es conocida como Matriz Q. F. D. o la casa de la calidad. Las celdas de la matriz relacionan las necesidades de la empresa (filas) con un sistema de unidades (columnas). El resultado del análisis comparativo (Benchmarking) es mostrado en las últimas columnas de la tabla.

Tabla 2.6 Especificaciones de diseño del segundo robot (Matriz Q.F.D.)

| Traducción de requerimientos | | A | B | C | D | E | F | G | a1 | a2 | Comparación | | | |
|------------------------------|--|---------------|--|-----------------|-------|--------------------|---------|----------|-------|----|-------------|----|-----|----|
| Req | Requerimientos del cliente | Pond. | | | | | | | | | I | II | III | IV |
| A | Que sea de bajo costo | | * | | | | | | | | 4 | 6 | 4 | 4 |
| B | Que sea capaz de cortar cuero | | | * | | | | | | | 8 | 8 | 8 | 8 |
| C | Facilidad de mantenimiento. | | | | * | | | | | | 6 | 8 | 8 | 8 |
| D | Que sea capaz de cortar diferentes calibres. | | | | | * | | | | | 8 | 8 | 8 | 8 |
| E | Que tenga alta repetibilidad | | | | | | * | | | | 6 | 8 | 8 | 8 |
| F | Que tenga alta velocidad de corte. | | | | | | | * | | | 6 | 4 | 6 | 4 |
| G | Área de trabajo | | | | | | | | * | | 8 | 2 | 6 | 4 |
| a | Fácil de transportar | | | | | | | | * | * | 8 | 8 | 8 | 8 |
| | Total | | | | | | | | | | 54 | 52 | 56 | 52 |
| | Unidad. | \$ US D | | Número x año | mm | mm | m | m/s | Kg | % | | | | |
| | Metas | 60000< | Anilina, pigmentada, goma, flor y la carne. | 1 | 1-2.4 | +/- 0.1 - 0.025 | 3 x 1.5 | 1.33 - 2 | 960 < | 0 | | | | |

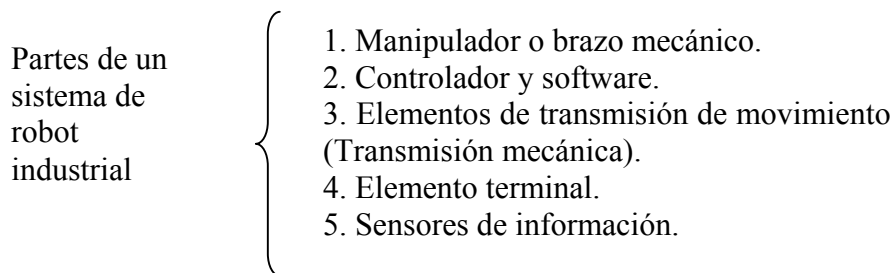
Como se puede observar el uso de la matriz Q. F. D nos ayuda a que una gran cantidad de información se encuentre de una forma organizada y resumida.

3 DISEÑO CONCEPTUAL.

El proceso creativo de diseño comienza con la necesidad, transcurre a través de las ideas y concluye con la concepción de formas. El diseño conceptual corresponde a la segunda etapa, en esta etapa se decide sobre la configuración, y, la apariencia que tendrá el robot. Por tal motivo a continuación se hablará brevemente de la morfología de un robot.

3.1 Estructura de un robot industrial.

La idea común que se tiene de un robot industrial, es la de un brazo mecánico articulado, pero este elemento no es más que una parte de lo que se considera técnicamente como un sistema de robot industrial (Referencia [6]).



3.2 Principales características de los robots.

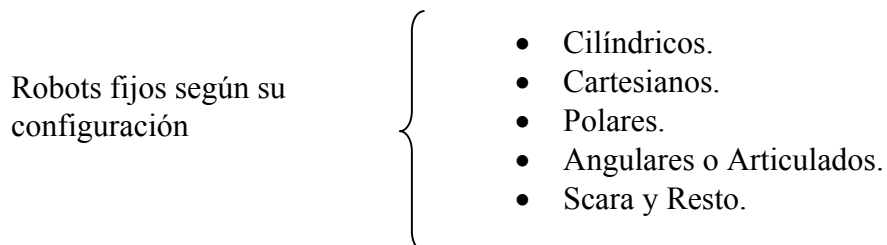
Grados de libertad.

Son los posibles movimientos básicos (giros y desplazamientos) independientes. Un mayor número de grados de libertad conlleva un aumento de la flexibilidad en la posición del elemento terminal.

Alcance

Región del espacio hasta donde puede llegar a situarse el punto de referencia del elemento terminal.

3.3 Clasificación de los robots.



El autor de la tesis decidió la utilización de una configuración cartesiana debido a que este tipo de configuración presenta las siguientes ventajas:

Se pueden obtener grandes precisiones en el punto de referencia u origen de coordenadas del elemento terminal, que ningún otro sistema puede superar a los robots cartesianos, a los que se les puede dotar de guías tan amplias como se desee y métodos de posicionamiento que pueden ser tan precisos como las máquinas de control numérico.

Tiene un mayor alcance con respecto a las otras configuraciones.


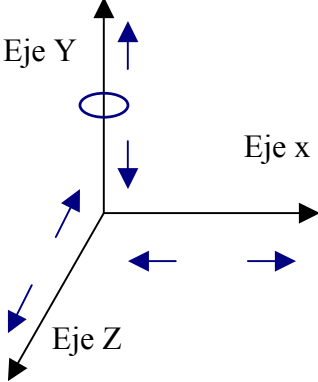

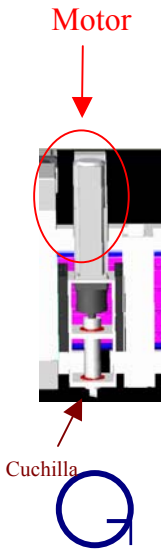

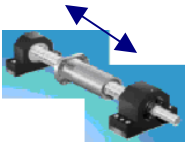


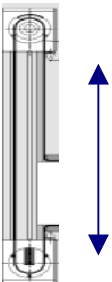
Debido a su configuración los robots cartesianos tienen una gran rigidez.

Así mismo de la búsqueda de información comercial sobre máquinas de corte la configuración que es utilizada es la cartesiana.


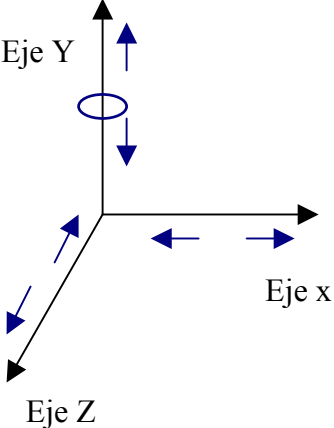





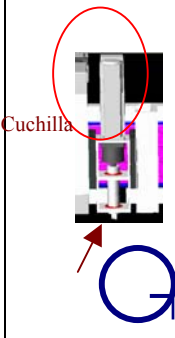

3.4 Descomposición funcional (Matriz morfológica).

En la tabla 3.1. Se desarrolla una descomposición funcional, la cual comienza con la función global, que consiste en transmitir movimiento al robot cartesiano, como función primaria se tienen tres movimientos en las direcciones X, Y y Z, y, como función secundaria el giro de la cuchilla en el eje Y, que nos dan un total de cuatro grados de libertad. También en dicha tabla se muestran los diferentes conceptos, que pueden ser empleados para cumplir con dichas funciones.


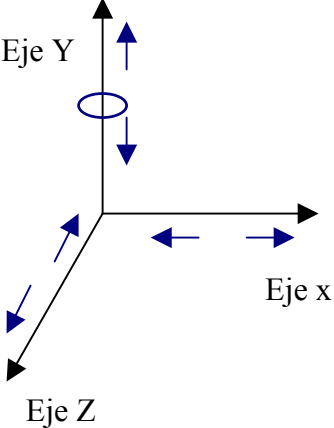

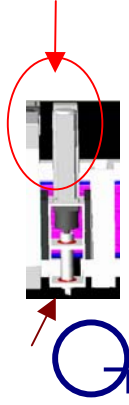
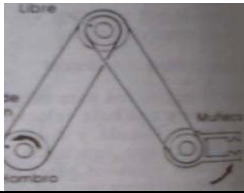

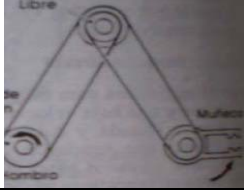

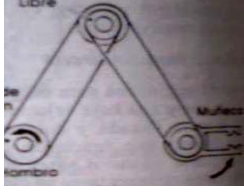
Tabla. 3.1 Descomposición funcional (Matriz Morfológica).

| Función global | Función Primaria | | Función secundaria. |
|---|--|--|---|
| <p>Transmitir movimiento a cada eje del Robot Cartesiano.</p>   | <p>T1. Mover carro longitudinal en eje Z.</p> | <p>T1.1.1. Tornillo de bolas recirculantes.</p>  | <p>Girar la cuchilla directamente con un motor.</p>  |
| | | <p>T1.2.1. Poleas y banda dentada.</p>  | |
| | <p>T2. Mover carro transversal en eje X.</p> | <p>T1.1.2. Tornillo de bolas recirculantes.</p>  | |
| | | <p>T.1.2.2. Poleas y banda dentada.</p>  | |
| | <p>T3. Mover el cabezal que tiene la cuchilla en el eje Y.</p> | <p>T1.1.3 Tornillo de bolas recirculantes.</p>  | |
| | | <p>T.1.2.3. Poleas y banda dentada.</p>  | |

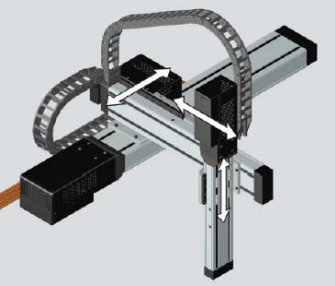
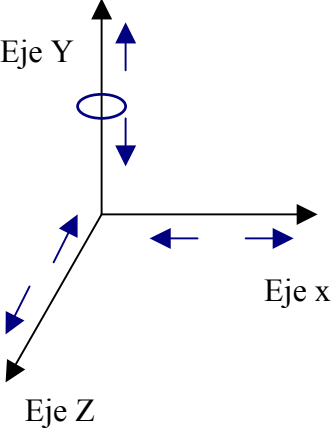

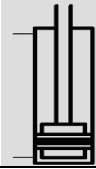

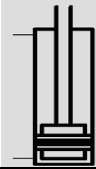

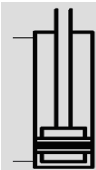
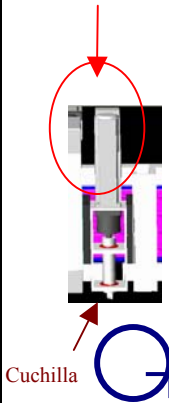
Continuación de la tabla 3.1

| Función global | Función Primaria | | Función secundaria. | |
|--|---|--|---------------------|--|
| <p>Transmitir movimiento a cada eje del Robot Cartesiano.</p>   | <p>T1 Mover carro longitudinalmente en eje Z.</p> | <p>T1.3.1 Piñón y cremallera.</p>  | | |
| | | <p>T1.4.1 Impulsor de tornillo sin fin.</p>  | | |
| | <p>T2 Mover carro transversal en eje X.</p> | <p>T2.3.2 Piñón y cremallera.</p>  | | |
| | | <p>T2.4.2 Impulsor de tornillo sin fin.</p>  | | |
| | <p>T3 Mover el cabezal que tiene la cuchilla en el eje Y.</p> | <p>T3.3.3 Piñón y cremallera.</p>  | | <p>Girar la cuchilla directamente con un motor.</p> <p>Motor ↓</p>  |
| | | <p>T3.4.3 Impulsor de tornillo sin fin.</p>  | | |

Continuación de la tabla 3.1

| Función global | Función Primaria | | Función secundaria. |
|---|---|---|--|
| <p>Transmitir movimiento a cada eje del Robot Cartesiano.</p>   | <p>T1 Mover carro longitudinal en eje Z.</p> | <p>T1.5.1 Cadena articulada.</p>  | <p>Girar la cuchilla directamente con un motor.</p> <p>Motor</p>  <p>Cuchilla</p> |
| | | <p>T1.6.1 Cables</p>  | |
| | <p>T2 Mover carro transversal en eje X.</p> | <p>T2.5.2 Cadena articulada.</p>  | |
| | | <p>T2.6.2 Cables</p>  | |
| | <p>T3 Mover el cabezal que tiene la cuchilla en el eje Y.</p> | <p>T3.5.3 Cadena articulada.</p>  | |
| | | <p>T3.6.3 Cables.</p>  | |

Continuación de la tabla 3.1

| Función global | Función Primaria | | Función secundaria. | |
|--|---|---|---------------------|--|
| <p>Transmitir movimiento a cada eje del Robot Cartesiano.</p>   | <p>T1 Mover carro longitudinal en eje Z.</p> | <p>T1.7.1 Impulsor armónico.</p>  | | |
| | | <p>T1.8.1 Pistón.</p>  | | |
| | <p>T2 Mover carro transversal en eje X.</p> | <p>T2.7.2 Impulsor armónico.</p>  | | |
| | | <p>T2.8.2 Pistón.</p>  | | |
| | <p>T3 Mover el cabezal que tiene la cuchilla en el eje Y.</p> | <p>T3.7.3 Impulsor armónico.</p>  | | <p>Girar la cuchilla directamente con un motor.</p> |
| | | <p>T3.8.3 Pistón.</p>  | | <p>Motor</p>  |

3.5 Características de los conceptos para la transmisión mecánica del robot.

Para seleccionar el mejor mecanismo, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- 1.- Debe tener capacidad de transmisión a distancia, debido a que las dimensiones de las hojas de cuero son de 1.5 x 3m.
- 2.- Debe tener aplicación en Robots cartesianos.
- 3.- Elegir un mecanismo que tenga el mínimo de juego para así lograr alta repetibilidad.
- 4.- Debe ser capaz de lograr una velocidad de corte alta.

En la tabla 3.2 se muestran las características de algunos de los conceptos mostrados en la tabla 3.1.

Tabla 3.2 Capacidades y aplicaciones de transmisiones mecánicas (Referencia [4]).

| Transmisión | Reducción | Capacidad de transmisión a distancia | Aplicación en robots. |
|--|-----------|--------------------------------------|--------------------------|
| T1.1.1 Tornillo de bolas recirculantes | Mucha | Sí | Articulados Cartesianos |
| T1.2.1 Banda y polea dentada | Poca | Si | Scara Cartesianos |
| T1.3.1 Piñón y cremallera | Buena | Si | Pórticos y cartesianos |
| T1.4.1 Vis sin fin - corona | Mucha | No | Cilíndricos |
| T1.5.1 Cadena | Poca | Sí | Scara |
| T1.6.1 Poleas y cables | Mucha | Sí | Garras, dedos. |
| T1.7.1 Reductor armónico | Mucha | No | Articulados |
| T1.8.1 Neumáticos | No | Sí | Garras |
| Piñón - corona | Buena | No | Cilíndricos Articulados. |
| Hidráulicos | No | Sí | Cilíndricos Esféricos |
| Paralelogramo articulado | Ninguna | Sí | Articulados |
| Reductor con satélites | Buena | No | |

Existen mecanismos sin juego, los cuales ayudan a obtener una elevada repetibilidad, estos mecanismos se muestran a continuación:

- Mecanismos sin juego
- Tornillos de bolas recirculantes.
 - Reductores armónicos.
 - Sin fin y corona.

3.6 Configuraciones generadas (modelos 3D).

Tomando en cuenta las especificaciones de diseño mostradas en la tabla 2.6, y, las características de cada uno de los conceptos mostrados en la tabla 3.2, se realizaron dos configuraciones, la primera se realizó con bandas y poleas dentadas (Ver figura 3.1), y, la segunda con tornillos de bolas recirculantes (Ver figura 3.2).

3.6.1 Configuración I¹.

Esta configuración (Ver figura 3.1), tiene 4 grados de libertad 3 de ellos se deben a sus tres ejes (X, Y, Z) y el cuarto al giro en eje Y. Su transmisión mecánica es mediante bandas y poleas dentadas en cada uno de los ejes antes mencionados, y para el giro se utiliza un servomotor acoplado directamente con el porta cuchilla.

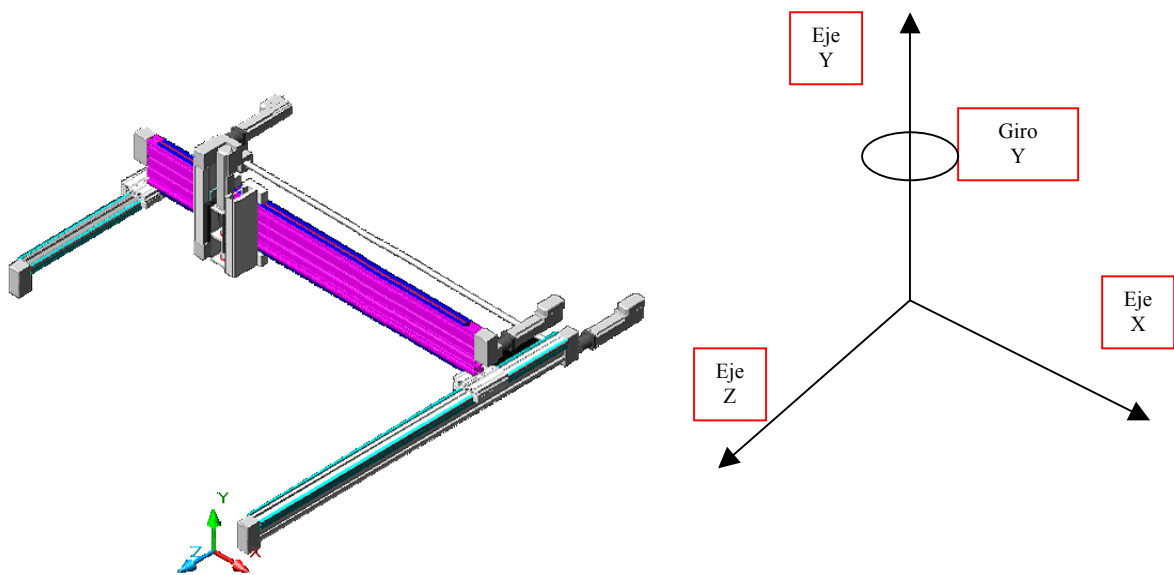


Figura 3.1 Configuración I

3.6.2 Configuración II.

En la figura 3.2 se muestra la configuración II, la cual es equivalente a la configuración I, solo que debido a que se utilizan tornillos de bolas recirculantes como transmisión mecánica su estructura es un poco más robusta, pero a cambio se obtienen otras ventajas las cuales son:

- Alta repetibilidad, ya que si se usan tornillos de bolas el juego en el mecanismo es casi nulo.
- Una elevada capacidad de carga.
- Su baja fricción hace que puedan ser impulsados en ambas direcciones.

¹ Configuración realizada por el M.I. Alonso Madera Coronel.

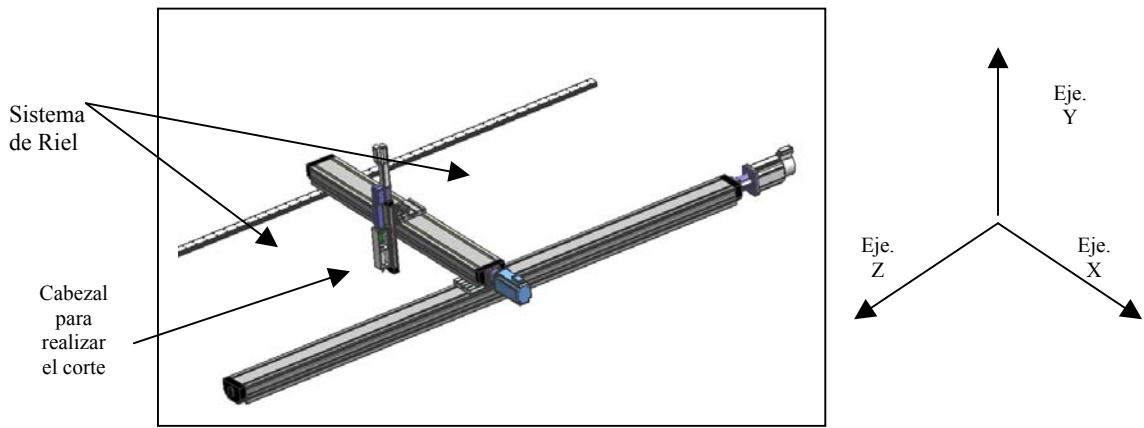


Figura 3.2 Configuración II

Figura 3.2 Configuración II

3.7 Evaluación de las configuraciones generadas.

En la tabla 3.3, se muestra la configuración que resultó con mayor puntaje, de acuerdo con los requerimientos de la tabla 2.6, por lo tanto la configuración II es la que será utilizada para el diseño de detalle de la transmisión mecánica del segundo robot.

Tabla 3.3 Evaluación de configuraciones

| Configuración. | Requerimientos funcionales. | | | | Puntuación. |
|----------------|-----------------------------|---|---|---|-------------|
| | E | F | G | a | |
| I | 6 | 8 | 8 | 8 | 30 |
| II | 8 | 8 | 8 | 8 | 32 |

Evaluación:

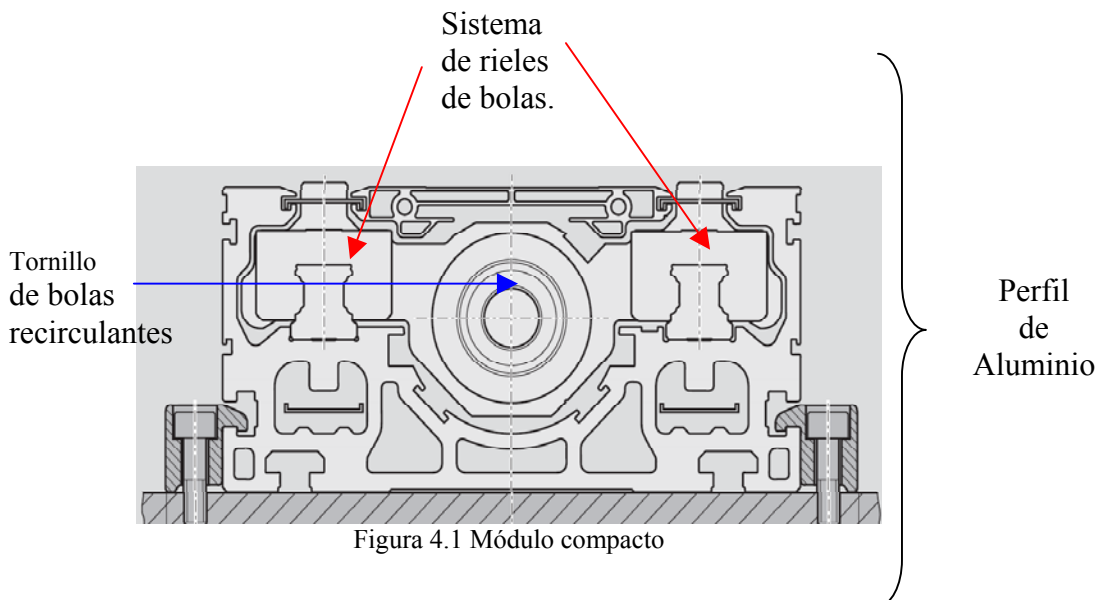
El requerimiento es satisfecho:

- 8. Totalmente.
- 6. Casi por completo.
- 4. Medianamente.
- 2. Muy poco.
- 0. Nada.

4 DISEÑO DE DETALLE.

En esta parte se encuentra el cálculo y selección del mecanismo de la transmisión para el robot cartesiano.

Debido a que se quiere obtener una velocidad de corte alta, y, alta repetibilidad, se decidió utilizar módulos compactos (Ver figura 4.1), los cuales están formados por perfiles, que proporcionan la estructura de soporte para dar movimiento lineal a cada uno de los ejes (X, Y, Z), estos módulos se pueden montar directamente o vía elementos estandarizados de la conexión. En estos módulos pueden ser colocados los tornillos de bolas recirculantes con una alta exactitud. Con sus dos sistemas de rieles de bolas integrados a sus perfiles de aluminio, los módulos son capaces de ofrecer altas capacidades de carga, y, alta rigidez, Ref.[11]. A continuación se llevará a cabo el cálculo y la selección de dichos módulos.



4.1 Selección de los módulos y cálculo del torque M_{req} .

Aquí se realiza la selección de los tres módulos que forman parte de la transmisión mecánica del robot, así como también el torque requerido para mover cada uno de sus tornillos de bolas (M_{req}).

En la tabla 4.1 se muestra la nomenclatura empleada para el cálculo de la longitud de los módulos, y el torque M_{req} .

La selección de cada módulo, depende de las dimensiones que tienen cada tornillo de bolas. Los tornillos de bolas se seleccionaron basados en dos criterios, la velocidad de corte y la máxima carrera requerida (L_{Hmax}). Tomando en consideración L_{Hmax} se procede al cálculo de la longitud del módulo haciendo uso de las formulas de la tabla 4.2

Una vez que se tiene la longitud del módulo se realiza el cálculo del torque M_{req} . Para realizar el cálculo del torque se desarrolló una hoja de cálculo en Excel mostradas en las tablas 4.5, 4.7 y 4.9. En la hoja de cálculo se utilizaron las formulas mostradas en la tabla 4.3. Dichas formulas están basadas en fabricante de tornillos de bolas NSK (Referencia [2])

Para el cálculo del torque se tuvo la necesidad de establecer la fuerza necesaria para cortar el cuero (F_c), proporcionado por la empresa, la cuál fue de 1 N. Para establecer dicha fuerza se realizaron dos experimentos, en uno de los experimentos se empleo el banco de pruebas BPRC07, el cual se diseñó y fabricó en el C. D. M. (Ver Anexo A.2).

Tabla 4.1. Nomenclatura .

| | | | |
|------------|---|-------------|--|
| L_{AGK} | -Longitud del modulo AGK. | | |
| L_{Hmax} | -Máxima carrera requerida. | V_{perm} | -Velocidad máxima permisible. |
| L_C | -Longitud de la tuerca del tornillo. | d_0 | -Diámetro del tornillo de bolas. |
| L_N | -Longitud debida a elementos de soporte. | M_{req} | -Tórque requerido para mover el tornillo de bolas. |
| C_{stat} | -Carga estática soportada. | W_t | -Peso del tornillo de bolas. |
| C_{dyn} | -Carga dinámica soportada. | N_{km} | -Kilogramos por cada metro. |
| N_{pt} | -Número de parte del tornillo de bolas. | P | -Paso del tornillo de bolas. |
| μ | -Coeficiente de fricción. | W | -Peso. |
| g | -Aceleración de la gravedad. | η | -Eficiencia del tornillo de bolas. |
| T_a | -Tórque debido a la conversión de movimiento rotacional en movimiento lineal. | T_u | -Tórque debido a la fricción de los componentes rotacionales. |
| T_1 | -Tórque del motor a velocidad constante. | J_{carga} | -Momento de inercia debido a la Carga. |
| ρ | -Densidad del tornillo de bolas. | R | -Radio del tornillo de bolas. |
| ω | -Velocidad angular. | T_{pmax} | -Límite superior del tórque de la fricción dinámica del tornillo de bolas. |
| J_s | -Momento de inercia debido al tornillo de bolas. | π | -3.1416 |
| T_2 | -Tórque en aceleración = M_{req} | V_R | -Velocidad resultante del eje X y Z |
| F_a | -Carga axial. | F_c | -Fuerza de corte. |

Tabla 4.2 Formulas para el cálculo de la longitud de los módulos.

| | |
|--|--|
| $L_{ref} = L_{Hmax} + L_C + L_N$ Ec.1 | $L_{AGK} = L_{ref} + L_2 + B_1 + B_{11}$ Ec.2 |
| | Anexo A3-2 |

Tabla 4.3 Formulario para el cálculo del torque (M_{req}).

| | |
|--|--|
| $V_{perm} = \frac{L}{t}$ Ec.3 | $T_{aceleración} = \left[\frac{J_{carga}}{\eta} + J_S + J_M \right] \frac{\omega}{t}$ Ec.9 |
| $F_a = F_c + (\mu)(W)(g)$ Ec.4 | $T_{pmax} = 0.143WgP$ Ec.10 |
| $T_a = \frac{F_a P}{2\pi\pi}$ Ec.5 | $T_1 = (T_a + T_{pmax} + T_u)$ Ec.11 |
| $J_{carga} = \frac{WP^2}{(2\pi)^2}$ Ec.6 | $M_{req} = T_2 = T_1 + T_{aceleración}$ Ec.12 |
| $J_s = \frac{\pi L_{Hmax} \rho R^4}{2}$ Ec.7 | |
| $\omega \approx \frac{2\pi V_{perm}}{P}$ Ec.8 | Referencia [2] |

4.1.1 Cálculo de la longitud del módulo para el eje Z y el torque M_{req} .

Tabla 4.4 Datos para cálculo del torque M_{req} en el eje Z

| | |
|-------------------------------|---|
| P: 40mm | $L_{Hmax} = 3$ m. |
| W = 120 Kg | Wt: (Nkm)(L). $W_t := (2.16 \text{ kg/m})(3\text{m}) = 6.48 \text{ Kg.}$ |
| $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ | $V_{perm} = 75 \text{ m/min (1.25 m/s).}$ |
| $C_{dyn.} = 37000 \text{ N}$ | $\eta = 0.9$ |
| $C_{stat.} = 62300 \text{ N}$ | $\rho = 7750.36 \text{ kg/m}$ |
| $\mu = 0.004$ | $d_0 = 40 \text{ mm}$ |

Cálculo de la longitud del módulo AGKZ (L_{AGKz}).

$$L_{ref} = 3 + 0.244 + 0.200 = 3.44 \text{ m}$$

$$L_{AGKz} = L_{ref} + L_2 + B_1 + B_{11} = 3.44 + 0.073 + 0.065 + 0.080 = 3.66 \text{ m}$$

Tabla 4.5 Cálculo del torque M_{req} en el eje Z.

| Características del tornillo de bolas y fuerza necesaria para el corte de cuero | | | | | | | | | |
|---|------------------|--------------------|-------|---------------------|----------|-----------------------------|--------|-----------------------|-------|
| W (kg) | P (m/revolución) | F _C (N) | μ | T _U (Nm) | Pi Π | ρ (kg/m ²) | η | L _{Hmax} (m) | R (m) |
| 120 | 0.04 | 1 | 0.004 | 0.0469 | 3.1416 | 7750.36 | 0.9 | 3 | 0.02 |

Continuación de la tabla 4.5

| Variables para calcular el torque total para mover el tornillo de bolas recirculantes (Distancia y tiempo). | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|----------------------------|--------------|------------------------------------|--|------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------|------------------------|
| Distancia (m) | Tiempo (s) | V _{perm} (m/s) | ω (rad/s) | Fuerza debida al peso (N) | T _a +T _u (Nm) | T _a (Nm) | J = Momento polar de inercia | | | Torque debido a la aceleración (Nm) | T _{pmax} (Nm) | T ₂ (Nm) |
| | | | | | | | J _{carga} (Kgm ²) | J _s (Kgm ²) | J _M (Kgm ²) | | | |
| 1.25 | 1 | 1.25 | 196.35 | 4.7088 | 0.033 | 0.08 | 0.0048 | 0.007 | 0.0043 | 3.75 | 6.733 | 10.56 |

4.1.2 Cálculo de la longitud del módulo para el eje X y el torque M_{req}.

Tabla 4.6 Datos para cálculo del torque M_{req} en el eje X

| | |
|-----------------------------|--|
| P: 32mm | L _{Hmax} : 1.5 m. |
| W = 32 Kg | W _t : (0.63kg/m)(1.5m)= 0.945 Kg. |
| g = 9.81 m/s ² | V _{perm} = 115m/ min (1.917m/s). |
| C _{dyn} : 14700 N | η = 0.9 |
| C _{stat} : 23300 N | ρ=7750.36kg/m |
| μ=0.004 | d ₀ = 32 mm |

Cálculo de la longitud del módulo para el eje X

$$L_{ref} = 1.5 + 0.204 + 0.106 = 1.81 \text{ m.}$$

$$L_{CKK 25-200} = L_{ref} + L_2 + B_1 + B_{11} = 1.81 + 0.042 + 0.060 + 0.060 = 2 \text{ m.}$$

Tabla 4.7 Cálculo del torque M_{req} el eje X.

| Características del tornillo de bolas y fuerza necesaria para el corte de cuero | | | | | | | | | |
|---|---------------------|-----------------------|-------|------------------------|---------|---------------------------|-----|--------------------------|----------|
| W (kg) | P (m/revolución) | F _C (N) | μ | T _U (Nm) | Pi Π | ρ (kg/m ²) | η | L _{Hmax} (m) | R (m) |
| 32 | 0.032 | 1 | 0.004 | 1.3 | 3.1416 | 7750.36 | 0.9 | 1.5 | 0.016 |

Continuación de la tabla 4.7

| Variables para calcular el torque total para mover el tornillo de bolas recirculantes (Distancia y tiempo). | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|--------------------|---------------|
| Distancia (m) | Tiempo (s) | V_{perm} (m/s) | ω (rad/s) | Fuerza debida al peso (N) | T_a+T_u (Nm) | T_a (Nm) | J = Momento polar de inercia | | | Torque debido a la aceleración (Nm) | T_{pmax} (Nm) | T_2 (Nm) |
| | | | | | | | J_{carga} (Kgm ²) | J_s (Kgm ²) | J_M (Kgm ²) | | | |
| 1.6 | 1 | 1.6 | 314.16 | 1.255 | 0.0071 | 1.31 | 0.0008 | 0.0012 | 0.0008 | 1.091 | 1.43 | 3.83 |

4.1.3 Cálculo de la longitud del módulo para el eje Y, y el torque M_{req} .

Tabla 4.8 Datos para cálculo del torque M_{req} en el eje Y

| | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| P: 10mm | L_{Hmax} : 0.2 m. |
| W = 8 Kg | W_t : (0.05kg/m)(0.1m)= 0.05Kg. |
| $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ | V_{perm} :30m/min (0.5 m/s). |
| C_{dyn} : 2200 N | $\eta = 0.9$ |
| C_{stat} : 2800 N | $\rho=7750.36\text{kg/m}$ |
| $\mu=0.004$ | $d_0 = 12\text{mm}$ |

Tabla 4.9 Cálculo del torque M_{req} en el eje Y

| Características del tornillo de bolas y fuerza necesaria para el corte de cuero | | | | | | | | | |
|---|---------------------|--------------|-------|---------------|----------------|--------------------------------|--------|-------------------|----------|
| W (kg) | P (m/revolución) | F_C (N) | μ | T_U (Nm) | P_i Π | ρ (kg/m ²) | η | L_{Hmax} (m) | R (m) |
| 8 | 0.005 | 1 | 0.004 | 0.18 | 3.1416 | 7750.36 | 0.9 | 0.1 | 0.006 |

Continuación de la tabla 4.9

| Variables para calcular el torque total para mover el tornillo de bolas recirculantes (Distancia y tiempo). | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|----------------------------|---------------------|------------------------------------|--|------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------|------------------------|
| Distancia (m) | Tiempo (s) | V _{perm} (m/s) | ω (rad/s) | Fuerza debida al peso (N) | T _a +T _u (Nm) | T _a (Nm) | J = Momento polar de inercia | | | Tórque debido a la aceleración (Nm) | T _{pmax} (Nm) | T ₂ (Nm) |
| | | | | | | | J _{carga} (Kgm ²) | J _s (Kgm ²) | J _M (Kgm ²) | | | |
| 1.1 | 1 | 1.1 | 1382 | 0.3192 | 0.0003 | 0.1802 | 5X10 ⁻⁶ | 1.6 X10 ⁻⁶ | 0.00038 | 0.05713184 | 0.0561 | 0.29 |

4.2 Tipos de módulos seleccionados y torques M_{req}.

En la tabla 4.10 se muestra: el tipo de módulo para mover cada eje del robot, las características de cada uno de sus tornillos de bolas recirculantes, y el torque M_{req}. Esto como resultado de los cálculos realizados (Ver tabla 4.5, 4.7 y 4.9), y tomando en consideración las especificaciones de diseño.

Tabla 4.10 Tórque requerido para mover el tornillo de bolas.

| EJE | Tipo de módulo | L _{Hmax} (m) | d ₀ (mm) | P (mm) | Wt (Kg) | V _{perm} (m/s) | V _R (m/s) | M _{req} (Nm) |
|-----|----------------|--------------------------|------------------------|-----------|------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Z | AGK | 3 | 40 | 40 | 6.48 | 1.25 | 2 | 10.6 |
| X | CKK 25-200 | 1.5 | 32 | 32 | 0.945 | 1.6 | | 4 |
| Y | CKK 12-90 | 0.2 | 12 | 10 | 0.05 | 1 | | 0.3 |

Tipo de Módulo: AGK.

AGK40 40X40 MKD090BMB MF SEC-F MA02 Steel cover plate 2 SS SEC-L Ver. 3-4

Tipo de Módulo: CKK 25-200.Ver A3-6

Tipo de Módulo: CKK 12-90Ver. A3-7

4.3 Sistema de Riel de bolas amplio.

Debido a la longitud del eje x del robot, se decidió utilizar un sistema de riel (Ver figura 3.2), para que dicho eje no estuviera en cantiliver, y, así poder eliminar momentos de torsión. Los sistemas de rieles amplios (Ver A3.8) cuentan con excelentes propiedades como, alta capacidad de carga debida a torques, y, alta rigidez, Ref. [14]

Selección.

Carro, versión de acero, 25/70, R1671 293 10 (Ver 3.9)

Riel, 25/70, R1675 203 31. (Ver A3-10).

4.4 Motores impulsores de los tornillos de bolas recirculantes.

En la tabla 4.1, se muestran cuales son los torques requeridos para mover cada uno de los tornillos de bolas recirculantes, con esos valores se pueden seleccionar los motores que forman parte de cada modulo.

- Los servomotores tienen las siguientes ventajas:
- Alta confiabilidad de funcionamiento.
- Operación libre de mantenimiento.
- Alta capacidad de carga.
- Es posible variar la velocidad.

Debido a las ventajas mencionadas anteriormente, los motores que se encuentran en la tabla 4.11, son los apropiados, para realizar el movimiento requerido.

Selección.

Tabla 4.11 Servomotores seleccionados.

| Eje | Tipo de Servomotor | Tórque requerido (Nm) | Tórque Nominal del motor (Nm) |
|-----|---|-----------------------|-------------------------------|
| Z | Marca Bosch Rexroth Modelo: MKD090B. Número de parte: 8611-056-03 | 10.6 | 12 Ref[9] |
| X | Marca Bosch Rexroth. Modelo: MKD071B, Número de Parte: 8611-055- 03 | 4 | 6 Ref[13] |
| Y | Marca Bosch Rexroth. Modelo: MKD025B, Número de parte: 8611-053-03 | 0.3 | 0.8 Ref[12] |

4.5 Configuración de la transmisión mecánica para el segundo robot.

La transmisión mecánica que se presenta en la figura 4.2 muestra la configuración de la transmisión propuesta la cual esta formada básicamente por:

- I.- Un módulo AGK con tornillo de bolas recirculantes para dar movimiento al robot en la dirección Z.
- II.- Un módulo CKK 25-200 con tornillo de bolas recirculantes para dar movimiento en la dirección X.
- III.- Un módulo CKK 12-90 con tornillo de bolas recirculantes para dar movimiento en la dirección Y.
- IV.- Un sistema de riel de bolas amplio el cual sirve como apoyo y guía para el eje Z, con el cual se eliminan momentos de torsión.
- V.- Un servomotor MKD 025B para el giro de la cuchilla.

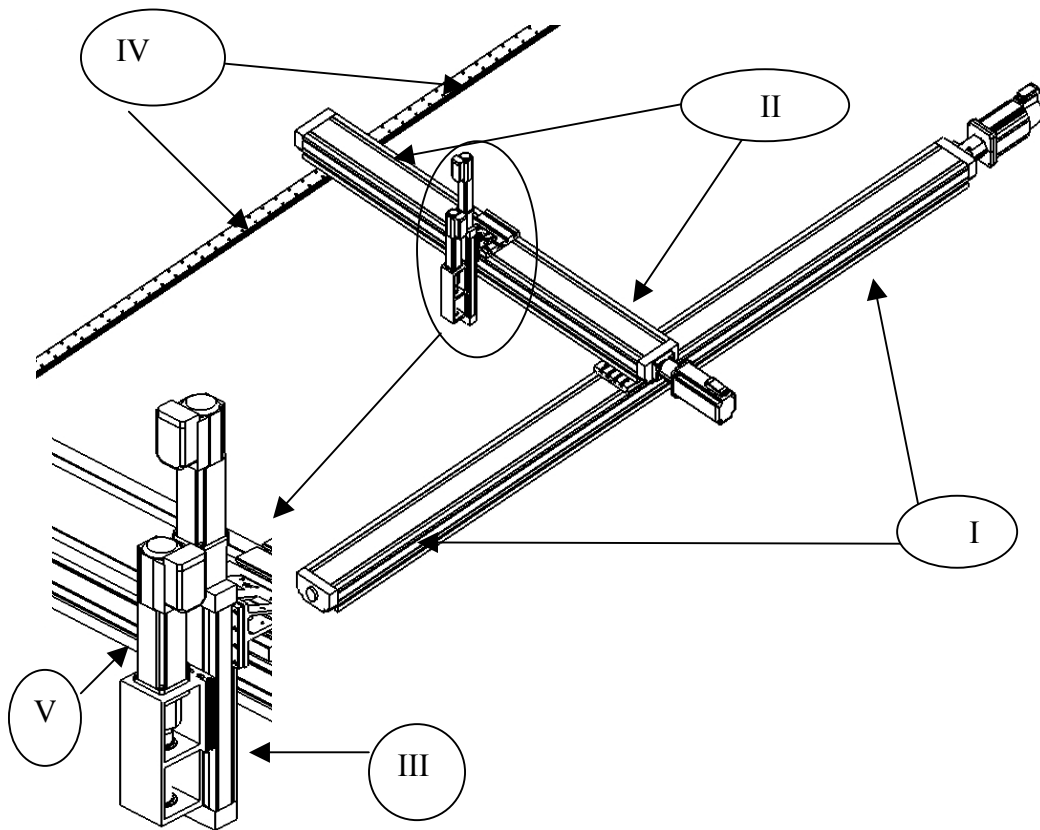


Figura 4.2 Configuración de la transmisión mecánica propuesta.

4.6 Listado de componentes.

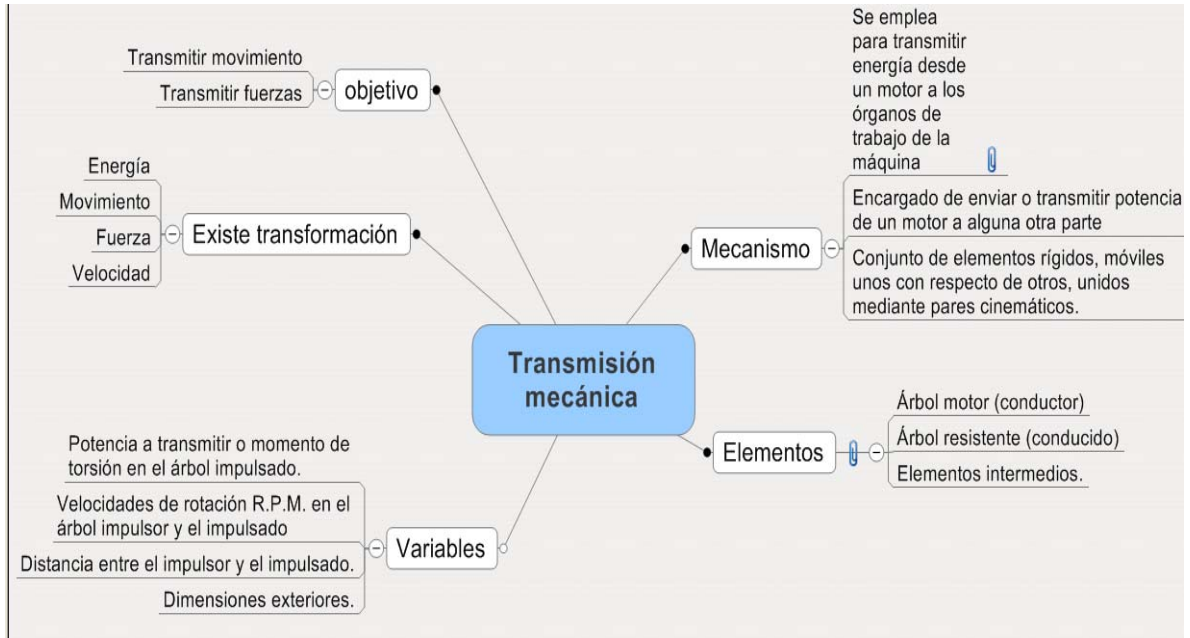
| Componentes | Descripción | Cantidad |
|--|---|----------|
| Módulo para el eje z | Tipo de Módulo: AGK. AGK40 40X40 MKD090BMB MF SEC-F MA02 Steel cover plate 2 SS SEC-L Ver. 3-4 | 1 |
| | Servomotor Marca Bosch Rexroth. Modelo: MKD090B, Tensión: 200VCA, Número de parte: 8611-056-03, Velocidad Nominal: 3200RPM, Par Nominal: 12Nm, Par Máximo: 43.5 Nm, | |
| | Tornillo de bolas recirculantes. AGK 40X40RX6-3 1 3 T5 R 82K203 31K200LREF 3600 0 1. Ver. A3-5 | |
| Módulo para el eje x | Tipo de Módulo: CKK 25-200. Ver A3-6 | 1 |
| | Servomotor Marca Bosch Rexroth. Modelo: MKD071B, Número de Parte: 8611-055- 03, Tensión: 200VCA, Par Nominal: 6Nm. Par Máximo: 11.3 Nm. Velocidad Máxima: 4600RPM, | |
| | Tornillo de bolas recirculantes. 32x32. | |
| Módulo para el eje y | Tipo de Módulo: CKK 12-90 Ver. A3-7 | 1 |
| | Servomotor Marca Bosch Rexroth. Modelo: MKD 025B, Número de parte: 8611-053-03, Tensión: 200VCA, Par Nominal: 0.8Nm, Par Máximo: 4Nm. Velocidad Máxima: 9000RPM. | |
| | Tornillo de bolas recirculantes. 12x10 | |
| Servomotor para el giro de la cuchilla sobre el eje Y | Servomotor Marca Bosch Rexroth. Modelo: MKD 025B, Número de parte: 8611-053-03, Tensión: 200VCA, Par Nominal: 0.8Nm, Par Máximo: 4Nm. Velocidad Máxima: 9000RPM. | 1 |
| Sistema de riel de bolas amplio (Guía- soporte para el eje Z) | Carrito Marca Bosch Rexroth. Tamaño: 25/70, Número de parte: R1671 293 10 Ver. A3-8 | 1 |
| | Riel guía Marca Bosch Rexroth. Tamaño: 25/70. Número de parte: R1675 203 31, 3916. Ver.A3-10 | 1 |

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

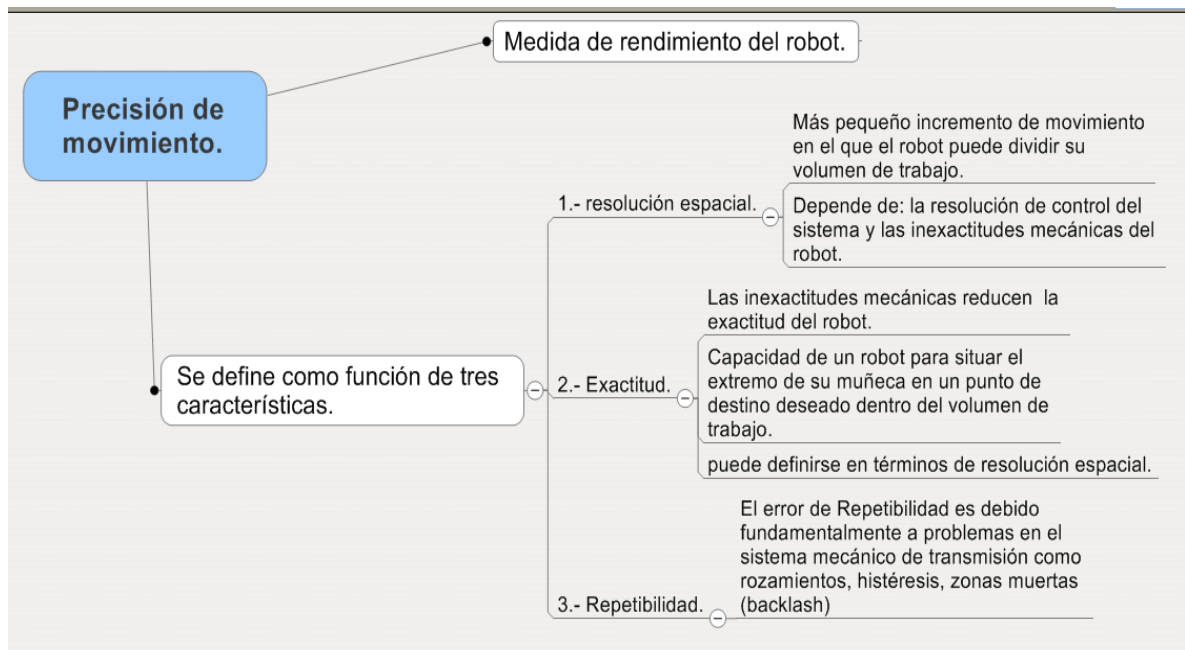
- Se diseñó la transmisión mecánica (Ver figura 3.2 y 4.2), para el segundo robot, el cuál será capaz de trabajar en un ambiente industrial. El cálculo de la transmisión se realizó con base en las mediciones de fuerzas que se obtuvieron con el banco de pruebas construido.
- Los módulos, con tornillos de bolas recirculantes, empleados en el diseño, de la transmisión propuesta, son de alta precisión con lo cual se ayuda a alcanzar una alta repetibilidad. Típicamente, éste tipo de tornillos tienen eficiencias mecánicas del orden del 90 a 95%.
- Esta transmisión puede transmitir a la cuchilla de corte una velocidad de 2 m/s como máximo.
- Al realizar experimentos se logró establecer la fuerza necesaria para cortar el cuero proporcionado por la empresa, la cual fue de 0.972 N (Ver tabla A2.2). Dicha fuerza fue empleada para el cálculo, y, la selección de los componentes de la transmisión.
- Se utilizaron servomotores debido a su alta confiabilidad de trabajo, y, precisión, además de la flexibilidad de operación que estos brindan.
- Con lo anterior se logró cumplir con las especificaciones de diseño establecidas.
- Para la mesa en donde deberá ir montada la transmisión mecánica propuesta se recomienda utilizar perfiles de aluminio estandarizados MGE (Referencia [16]) de Rexroth por las siguientes razones: Por su aplicación en robots cartesianos, y debido a que tanto el módulo AGK como el sistema de riel de bolas amplio utilizados, para la transmisión mecánica, pueden ser fácilmente ensamblados en dichos perfiles.

ANEXOS.

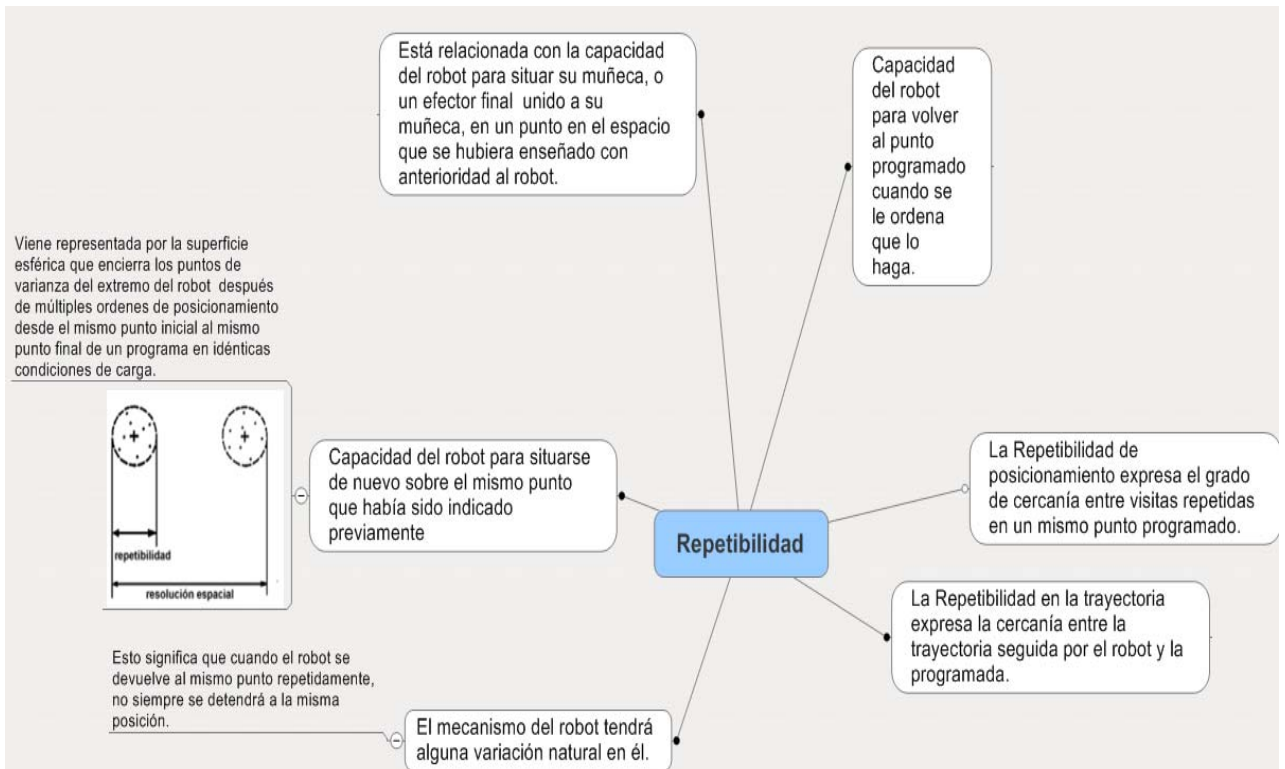
Anexo A1 Elementos de la transmisión mecánica, definición de precisión y definición de repetibilidad.



A1.1 Elementos de la transmisión mecánica.



A1.2 Definición de precisión (Referencia [10]) .



A1.3 Definición de repetibilidad (Referencia [10]).

Anexo A2 Experimentos realizados para encontrar la fuerza necesaria para cortar cuero.

Introducción.

Para conocer la fuerza necesaria, para cortar el cuero proporcionado por la empresa fabricante de calzado, se propuso realizar 2 experimentos, los cuales son:

Experimento 1: Uso de un Dinamómetro.

Experimento 2: Uso del banco de pruebas BPRC07.

A2-1 Experimento 1: Uso de un Dinamómetro.

Objetivo:

Encontrar la fuerza necesaria, para el corte de cuero proporcionado por la empresa fabricante de calzado, para que sea utilizada como base para el siguiente experimento que se llevarán a cabo, en donde se pretenderá conocer dicha fuerza con mayor exactitud.

Equipo requerido.

MC Máquina cortadora de loseta (Figura A2.1)

DM Dinamómetro (Figura A2.2)

Cuchilla

Cronómetro.

Regla.

Cuero para zapato.



Figura A2.1 MC



Figura A2.2 DM

Procedimiento del experimento.

Parte 1 (Medición de fuerza necesaria para mover el carro)

Paso 1. Instale una pluma sobre el carrito de la máquina cortadora de loseta (Ver figura A2.3).

Paso 2. Coloque una hoja sobre la base de corte (Ver figura A2.3).

Paso 3. Coloque el dinamómetro (Ver figura A2.3).

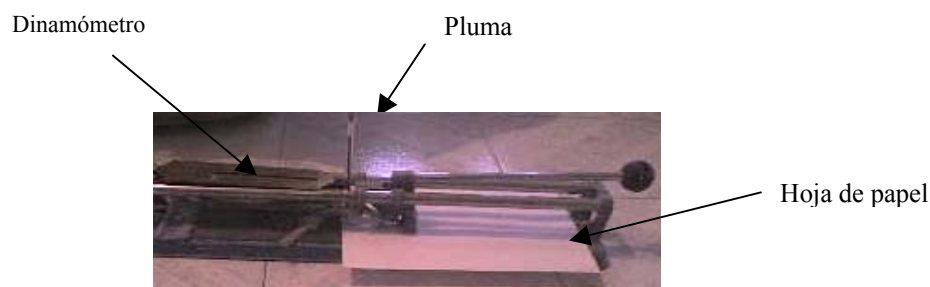


Figura A2.3 Parte 1 del experimento 1.

Paso 3. Proceda a realizar movimiento.

Nota: Con el cronómetro se medirá el tiempo necesario para mover una distancia x el carro, y, el dinamómetro será utilizado para medir la carga requerida para efectuar dicho movimiento.

Paso 4. Una vez que se han obtenido distancia, carga y tiempo necesaria para mover el carro, estos datos serán utilizados en las ecuaciones cinemáticas del movimiento en línea recta con aceleración constante, con esto se obtendrá la velocidad, aceleración con la cual se realizó el movimiento del carrito, para así posteriormente calcular la fuerza aproximada requerida para cortar cuero para zapato.

Parte 2 (Realización del corte del cuero).

Paso 1. Instale la navaja sobre el carro de la máquina cortadora de loseta.

Paso 2. Coloque el cuero sobre la base de corte (Ver figura A2.4).

Paso 3. Coloque el dinamómetro (Ver figura 2.4).



Figura A2.4 Parte 2 del experimento 1.

Paso 4. Proceda a realizar el corte del cuero.

Nota: Con el cronómetro se medirá el tiempo necesario para cortar una distancia x el cuero y el dinamómetro será utilizado para medir la carga requerida para efectuar el corte.

Paso 5. Una vez que se han obtenido distancia, carga y tiempo necesaria para cortar el cuero, estos datos serán utilizados en las ecuaciones cinemáticas del movimiento en línea recta con aceleración constante, con esto se obtendrá la velocidad, y, la aceleración con la cual se realizó el corte del cuero, para así posteriormente calcular la fuerza aproximada requerida para cortar cuero para zapato.

Una vez obtenida la fuerza necesaria para mover el carro, y, la fuerza cuando se realizó el corte del cuero, ambas fuerzas se restan para así obtener únicamente la fuerza de corte como se muestra en la tabla A2.1.

Toma de datos y resultados.

Tabla A2.1 Fuerza necesaria para cortar cuero.

| Medición. | Distancia (mm) | Carga (kg) | T (s) | V (m/s) | A (m/s ²) | Fuerza de corte (N) |
|-----------|----------------|------------|-------|---------|-----------------------|---------------------|
| 1 | 5 | 2 | 0.7 | 0.0143 | 0.0204 | 0.0408 |
| 2 | 6 | 3 | 0.7 | 0.0171 | 0.0245 | 0.0735 |
| 3 | 4 | 2 | 0.4 | 0.0200 | 0.0500 | 0.1000 |
| 4 | 6 | 2 | 0.3 | 0.0400 | 0.1333 | 0.2667 |
| 5 | 6 | 2 | 0.6 | 0.0200 | 0.0333 | 0.0667 |
| 6 | 7 | 2 | 0.2 | 0.0700 | 0.3500 | 0.7000 |
| 7 | 6 | 2 | 0.3 | 0.0400 | 0.1333 | 0.2667 |
| 8 | 7 | 2 | 0.4 | 0.0350 | 0.0875 | 0.1750 |
| 9 | 7 | 3 | 0.5 | 0.0280 | 0.0560 | 0.1680 |
| 10 | 7 | 3 | 0.4 | 0.0350 | 0.0875 | 0.2625 |
| | 6.1 | 2.3 | 0.5 | 0.0319 | 0.0976 | 0.2120 |

Cálculos (Referencia [1]).

Velocidad

$$X = X_0 + (1/2)(V_{x0} + V_x)(t)$$

Despejando V_x obtenemos:

$$V_x = \frac{(X - X_0)(2)}{t} - V_{x0} = \dots\dots m/s \dots\dots (1)$$

Aceleración

$$V_x^2 = V_{x0}^2 + 2a(X - X_0)$$

Despejando a obtenemos:

$$a = \frac{(V_x^2 - V_{x0}^2)}{2(X - X_0)} = \dots\dots m/s^2 \dots\dots (2)$$

Donde:

V_x = velocidad final, V_{x0} = velocidad inicial, X = posición final, X_0 = posición inicial, a = aceleración.

La posición X_0 y la velocidad V_{x0} en el instante $t = 0$ son las condiciones iniciales dadas.

Fuerza

$$F = ma = Kg \ m/s^2$$

Donde:

F = fuerza de corte en (N).

M = carga necesaria para realizar el corte en Kg. Obtenida experimentalmente.

A= aceleración obtenidas mediante las ecuaciones de la cinemática.

A2.2 Experimento 2 Uso del banco de pruebas BPRC07.

Introducción.

En el experimento 1 se encontró la fuerza aproximada que se necesita para cortar el cuero proporcionado por la empresa fabricante de calzado.

Objetivo.

Obtener la fuerza necesaria, para corte de cuero con el banco de pruebas mostrado en la figura A1.1, y, compararla con la fuerza obtenida en el experimento 1.

Equipo requerido.

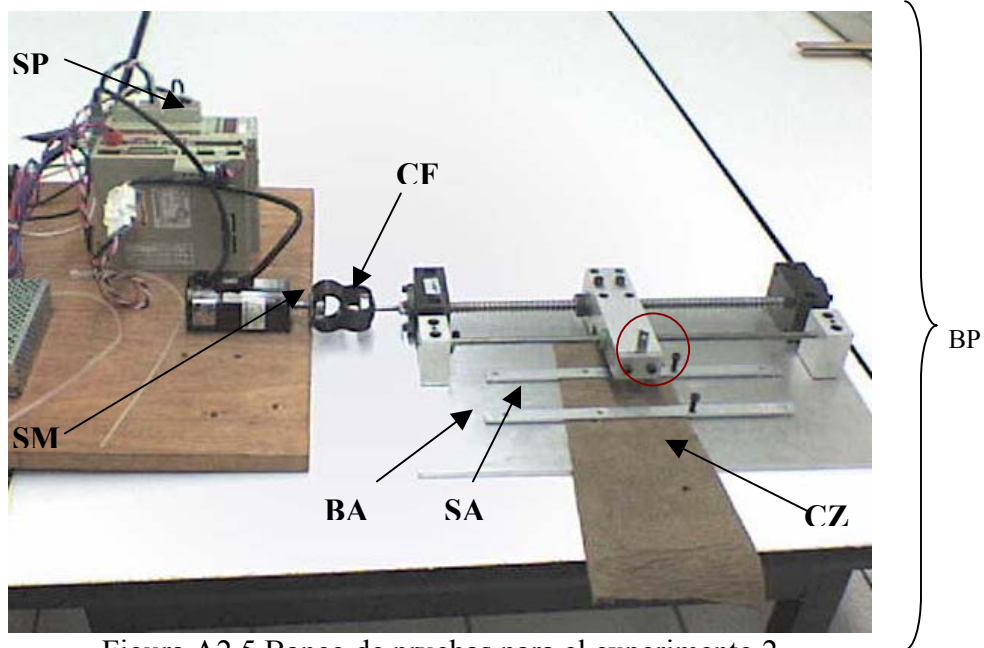
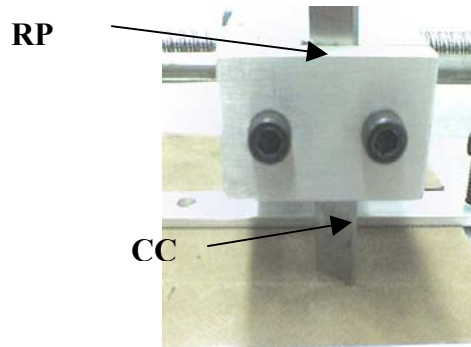


Figura A2.5 Banco de pruebas para el experimento 2



- BP:** Banco de pruebas para corte de cuero.
- SM:** Servomotor: 100 W Marca Yaskawa, Modelo: SGMAH-01AAFA1, Tensión: 200 VCA, Par: 0.318 Nm, Velocidad nominal: 3000 RPM, Corriente: 0.19 A.
- SP:** Servopack Marca Yaskawa Modelo: SGDH-01AE, Tensión: 200VCA, Potencia: 100 W, Modo de control: Digital / analógico.
- CF:** Cople flexible
- CZ:** Cuero para calzado.
- CC:** Cortador de carburo de Tungsteno con una punta en V a 45°.
- SA:** Soleras de aluminio.
- BA:** Base de aluminio del banco de pruebas.
- RP:** Ranura del porta herramientas del banco de pruebas.
- Lápiz.
- Regla.

Procedimiento del experimento.

Prueba 1.

- 1.- Coloque una hoja sobre la base de aluminio del banco de pruebas (**BA**).
- 2.- Coloque un lápiz en la ranura del porta herramientas del banco de pruebas (**RP**).
- 3.- Mover el lápiz una distancia x utilizando el servomotor (**SM**)
- 4.- Con los datos obtenidos aplicar las formulas de NSK para determinar la fuerza necesaria para mover el lápiz una distancia “ x ”.

Prueba 2.

- 1.- Coloque el cuero sobre la base de aluminio (**BA**) del banco de pruebas, sujetando el cuero con las dos soleras de aluminio (**SA**).
- 2.- Instale el cortador (**CC**) en la ranura del porta herramientas (**RP**) del banco de pruebas
- 3.- Cortar el cuero una distancia “ x ”
- 4.- Con los datos obtenidos aplicar las formulas de NSK para determinar la fuerza necesaria para cortar el cuero utilizado.

Nota: Una vez que se ha obtenido la fuerza necesaria para mover el porta-herramientas cuando se colocó el lápiz y la fuerza cuando se instaló el cortador estas se restan para así obtener la fuerza necesaria para cortar el cuero utilizado.

Tabla A2.2 Toma de datos y resultados.

| Número | D (m) | t (s) | V (m/s) | ω (rad/s) | Ta (Nm) | F (N) | Fp234 (N) | FR (N) | Trc (Nm) |
|--------|-------|-------|---------|------------------|---------|--------|-----------|---------------|----------|
| 1 | 0.051 | 6.18 | 0.0082 | 10.37 | 0.0034 | 285.67 | | | |
| 2 | 0.08 | 9 | 0.0088 | 11.17 | 0.0025 | 286.68 | 286.65 | 0.972 | 0.06543 |
| 3 | 0.076 | 8.73 | 0.0087 | 10.93 | 0.0025 | 286.66 | | | |
| 4 | 0.075 | 8.57 | 0.0087 | 10.99 | 0.0026 | 286.59 | | | |

Donde:

D = Distancia de corte.

T= Tiempo de corte.

V= Velocidad lineal promedio.

Fp234= Fuerza de corte promedio.

Fr = Fuerza necesaria para cortar cuero.

Trc= Tórque requerido para realizar el corte.

Cálculos y obtención de la fuerza de corte.

Datos:

Paso del tornillo de bolas: $P_{tb} = 5\text{mm/revolución}$.

Coefficiente de fricción dinámica = $\mu = 0.004$.

Aceleración de la gravedad = $a_g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

Tórque del motor = 0.318 Nm.

Eficiencia del tornillo de bolas = $e_{tb} = 0.9$.

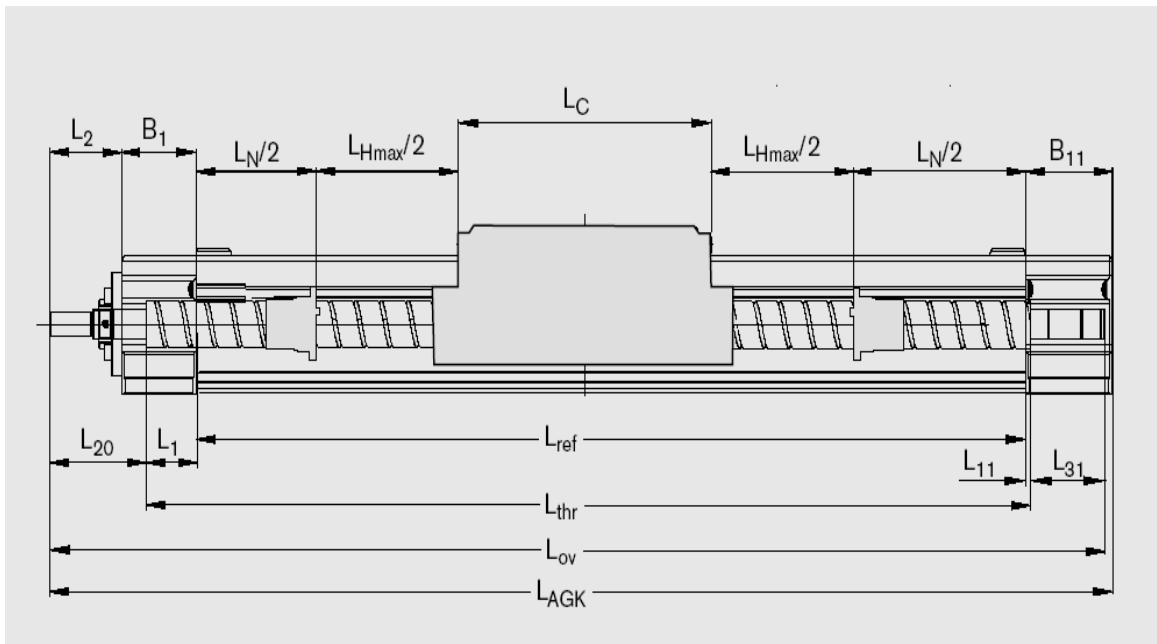
Radio del tornillo de bolas = $R_{tb} = 12.5 \text{ mm}$

Densidad del tornillo de bolas = $\rho_{tb} = 7750.36 \text{ kg/m}$.

Masa total = 2.39 Kg.

Formulas (Referencia [2])

Anexo A.3 (Figuras).



A3.2 Longitud del módulo AGK, Ref.[9].

Example:

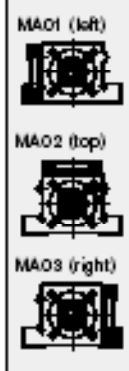
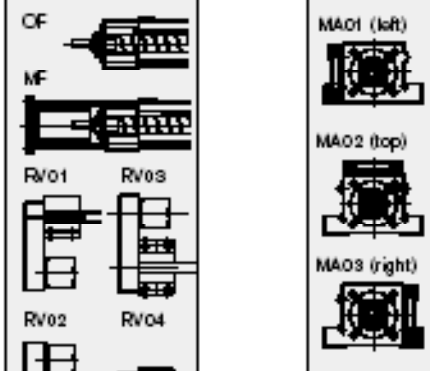
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|
| AGK40 | 40x20 | <input checked="" type="checkbox"/> | MKD071B with brake | <input checked="" type="checkbox"/> | RV01 | <input checked="" type="checkbox"/> | $i_{RV}=2$ | <input checked="" type="checkbox"/> | SEC-F | <input checked="" type="checkbox"/> | MA01 | <input checked="" type="checkbox"/> | Steel cover- plate | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 SS | <input checked="" type="checkbox"/> | SEC-L | <input checked="" type="checkbox"/> |
|-------|-------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|

For inquiries/orders: Please check the appropriate boxes below and enter the length in at least one of the fields provided.

| AGK size | Ball screw size $d_0 \times P$ (right) | Motor without/ with brake | Drive type | | Fixed bearing | Ball nut enclosure | Coverplate | Screw support | Floating bearing | | |
|----------|---|--|--------------------------|--------------------------|---|----------------------------|---|---------------|--------------------------|-------|-------------------------------------|
| | | | Type | Gear reduction | | | | | | | |
| 20 | 20x5 | MSM040B CB <input type="checkbox"/> MB <input type="checkbox"/> | OF | <input type="checkbox"/> | SEC-F <input checked="" type="checkbox"/> | MA01 | Steel <input type="checkbox"/> Polyurethane <input type="checkbox"/> | 0 SS | <input type="checkbox"/> | SEC-L | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | 20x20 | MKD041B MB <input type="checkbox"/> | MF | <input type="checkbox"/> | | MA02 | | 1 SS | | | |
| | 20x40 | | RV01 | $i_{RV}=1$ | | MA03 | | 2 SS | | | |
| | | | RV02 | <input type="checkbox"/> | | 3 SS | | | | | |
| 32 | 32x5 | MKD071B MB <input type="checkbox"/> | OF | <input type="checkbox"/> | SEC-F <input checked="" type="checkbox"/> | MA01 ($L_{max}=3.8$ m) | Steel <input type="checkbox"/> Polyurethane <input type="checkbox"/> | 0 SS | <input type="checkbox"/> | SEC-L | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | 32x10 | MKD090B MB <input type="checkbox"/> | MF | <input type="checkbox"/> | | MA02 | | 1 SS | | | |
| | 32x20 | | RV01 | $i_{RV}=1$ | | MA03 | | 2 SS | | | |
| | | | RV02 | $i_{RV}=2$ | | 3 SS | | | | | |
| 40 | 40x5 | MKD071B MB <input type="checkbox"/> | OF | <input type="checkbox"/> | SEC-F <input checked="" type="checkbox"/> | MA01 ($L_{max}=3.8$ m) | Steel <input type="checkbox"/> Polyurethane <input type="checkbox"/> | 0 SS | <input type="checkbox"/> | SEC-L | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | 40x10 | MKD090B MB <input type="checkbox"/> | MF | <input type="checkbox"/> | | MA02 | | 1 SS | | | |
| | 40x20 | | RV01 | $i_{RV}=1$ | | MA03 | | 2 SS | | | |
| | | | RV02 | $i_{RV}=2$ | | 3 SS | | | | | |
| 40x40 | | RV03 | <input type="checkbox"/> | | | | | | | | |
| | | | RV04 | <input type="checkbox"/> | | | | | | | |



| | |
|--|------------------------------------|
| Switches: Max. 3 switches and 1 socket selectable | |
| Reed sensor with 2m cable <input type="checkbox"/> | 10m cable <input type="checkbox"/> |
| Hall sensor - PNP NC with 2m cable <input type="checkbox"/> | 10m cable <input type="checkbox"/> |
| Reed sensor with 2m cable <input type="checkbox"/> | 10m cable <input type="checkbox"/> |
| Hall sensor - PNP NC with 2m cable <input type="checkbox"/> | 10m cable <input type="checkbox"/> |
| Reed sensor with 2m cable <input type="checkbox"/> | 10m cable <input type="checkbox"/> |
| Hall sensor - PNP NC with | |



A3-4 Formato para pedir el módulo AGK 1/2

| | | | | | | | | | | | |
|--|---|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|----------|----------|----------|
| Length (mm) to be specified by customer | | L_{AGK} <input type="text"/> | L_{nut} <input type="text"/> | L_{Hmax} <input type="text"/> | L_{bz} <input type="text"/> | L_{ov} <input type="text"/> | | | | | |
| Ball screw drive example | AGK | 40 x 20R x 6-3 | 1 | 3 | T5 | R | 82K203 | 31K200 | L_{ov} | 0 | 1 |
| Ball nut enclosure with cylindrical single nut | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| Size | Nominal diameter (mm) _____ Lead (mm) _____ Direction of lead R ... right _____ Ball diameter (mm) _____ Number of ball track turns in the nut _____ | | | | | | | | | | |
| Seal system | 0 ... none <input type="checkbox"/> 1 ... standard seal <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | |
| Preload | 0 ... standard backlash <input type="checkbox"/> 1 ... reduced backlash <input type="checkbox"/> 3 ... 2% (single nut) standard <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | |
| Precision | T5 <input type="checkbox"/> T7 <input type="checkbox"/> T9 <input type="checkbox"/> precision-rolled screw P3 <input type="checkbox"/> P5 <input type="checkbox"/> precision screw | | | | | | | | | | |
| Screw | R ... precision-rolled <input type="checkbox"/> F ... precision <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | |
| Left screw end | Form _____ Option --- K ... none _____ Version _____ | | | | | | | | | | |
| Right screw end | see left screw end | | | | | | | | | | |
| Overall length L_{ov} (mm) of the ball screw drive | | | | | | | | | | | |
| Documentation | 0 ... standard (acceptance test report) <input type="checkbox"/> 2 ... torque test report <input type="checkbox"/> - is always supplied <input type="checkbox"/> 3 ... lead and torque test report <input type="checkbox"/> 1 ... lead test report <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | |
| Lubrication | 0 ... preserved <input type="checkbox"/> 1 ... preserved and nut with basic greasing <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | |

Sender

| | |
|---------------|------------------|
| Company _____ | Name _____ |
| Address _____ | Department _____ |
| _____ | Telephone _____ |
| _____ | Fax _____ |
| | e-mail _____ |

A3-5 Formato para pedir modulo AGK Parte 2/2.

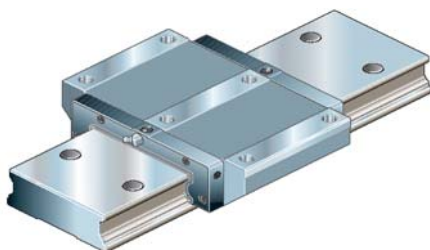
| | | |
|-------------------|------------|--|
| Part Number: | R036060000 | |
| Length: | 2000 | |
| Type: | MF01 | with ball screw and flange |
| Guide: | 01 | standard |
| Drive unit: | 04 | drive unit with journal, ball screw |
| Motor attachment: | 01 | motor mount and coupling |
| Motor: | 11-O | motor MKD 71B - Motor connector location: top |
| Carriage: | 07 | one carriage, without ball screw supports, with connection plate |
| Cover: | 02 | sealing strip |
| Switch 1: | 00 | without switch |
| Switch 2: | | |
| Switch 3: | | |
| Cable duct: | 00 | Without cable duct |
| Accessories: | 00 | without accessories |
| Documentation: | 01 | Standard report |

A3-6 Formato para pedir el módulo CKK 25-200.

You have configured a CKK 12-90 with the following option-coding:

| | | |
|-------------------|------------|---|
| Part Number: | R036030000 | |
| Length: | 350 | |
| Type: | MF01 | with ball screw and flange |
| Guide: | 01 | standard |
| Drive unit: | 02 | drive unit with journal, ball screw |
| Motor attachment: | 01 | motor mount and coupling |
| Motor: | 50-O | motor MKD 25B - Motor connector location: top |
| Carriage: | 41 | two carriages with connection plate (with lateral keyway) |
| Cover: | 02 | sealing strip |
| Switch 1: | 00 | without switch |
| Switch 2: | | |
| Switch 3: | | |
| Cable duct: | 00 | Without cable duct |
| Accessories: | 00 | without accessories |
| Documentation: | 01 | Standard report |

A3-7 Formato para pedir el módulo CKK 12-90.



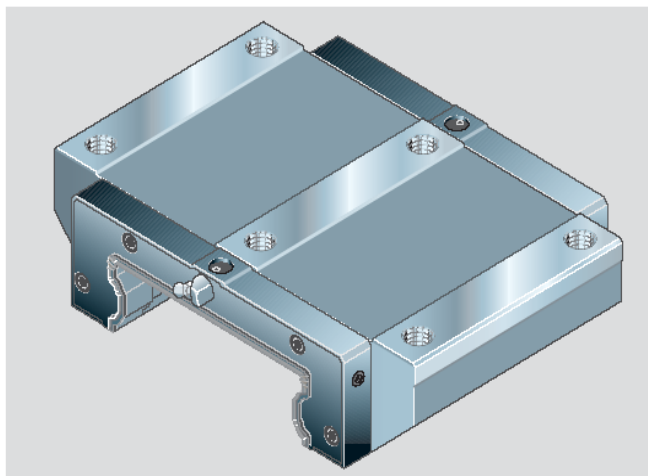
A3-8 Sistema de riel de bolas amplio.

**Runner Blocks BNN
R1671**

Wide Low Profile

Dynamic characteristics

Speed $v_{max} = 3 \text{ m/s}$
 Acceleration $a_{max} = 250 \text{ m/s}^2$



Part numbers

| Size | Accuracy class | Part numbers for preload class | |
|-------|----------------|--------------------------------|--------------|
| | | C0 | C1 |
| 20/40 | N | R1671 894 10 | R1671 814 10 |
| | H | R1671 893 10 | R1671 813 10 |
| | P | | R1671 812 10 |
| 25/70 | N | R1671 294 10 | R1671 214 10 |
| | H | R1671 293 10 | R1671 213 10 |
| | P | | R1671 212 10 |

A3-9 Carro del sistema de riel de bolas amplio.

Wide Guide Rails

Guide Rail R1675

Wide, for mounting from above

- Plastic mounting hole plugs are supplied along with the rail.
Reordering data: see table inset on right for part numbers.
- For special applications:
Guide rails for steel mounting hole plugs,
Part numbers: **R1676 .5. . .**
(Not for size 20/40)

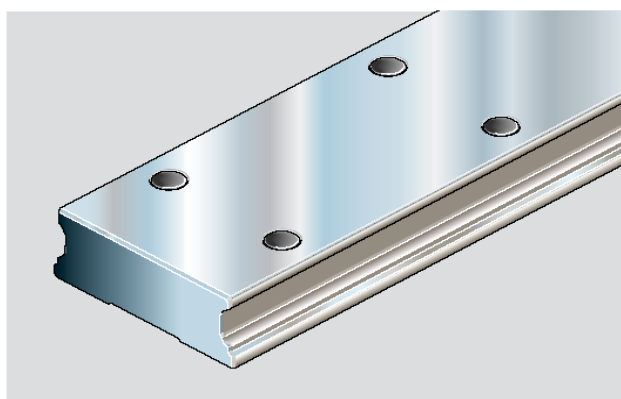
Steel mounting hole plugs to be ordered separately.

A mounting jig with instruction leaflet is available for mounting steel mounting hole plugs.

Special versions

Guide rails in accuracy class H are available as:

- Resist CR (matt silver)
Part number R1675 .02 .4



| Size | Part numbers Mounting jig |
|-------|---------------------------|
| 25/70 | R1619 210 40 |
| 35/90 | R1619 310 40 |

A3-10 Riel del sistema de riel de bolas amplio.

Anexo B (Planos del Banco de pruebas, y de la transmisión mecánica propuesta).

En este anexo se muestran los planos referentes al banco de pruebas (Figura A2.5), y del diseño de la transmisión mecánica propuesta para el robot cartesiano. La importancia de anexar los planos del banco de pruebas, se debe a que el diseño de dicho banco fue parte del trabajo de esta tesis.

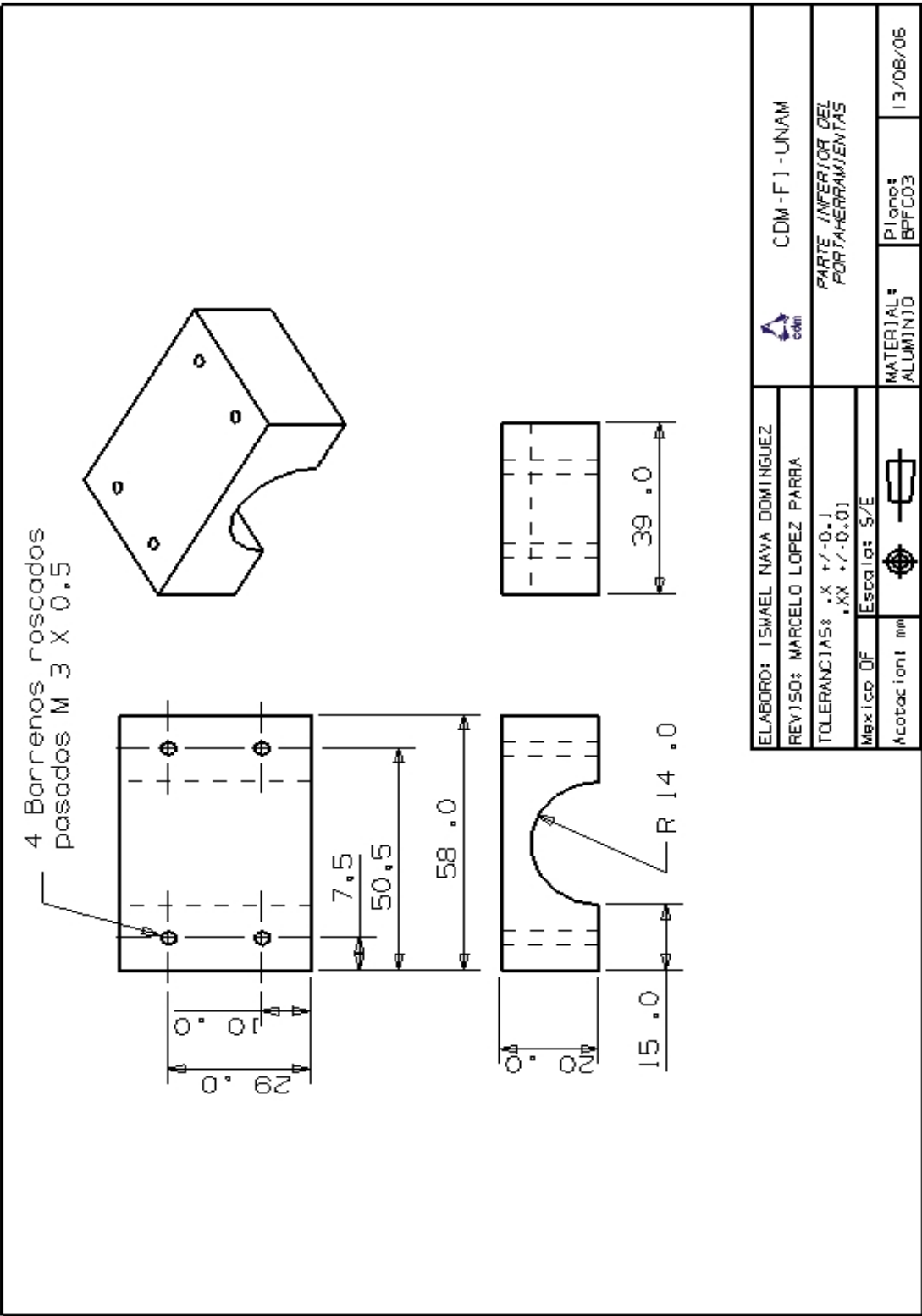
Tabla B1 Lista de planos.

| ANEXO | Nombre del plano. | Número del plano | Página. |
|---|---|------------------|---------|
| B1 Banco de pruebas BPRC07 | Ensamble general del banco de pruebas. | BPFC01 | 43 |
| | Parte superior del porta-herramienta. | BPFC02 | 44 |
| | Parte inferior del porta-herramienta. | BPFC03 | 45 |
| | Base del banco de pruebas. | BPFC04 | 46 |
| B2 Transmisión mecánica del robot para corte de cuero. | Ensamble general. | TMRC01 | 47 |
| | Ensamble general. | TMRC02 | 48 |
| | Carrera del eje Z Módulo AGK. | TMRC03 | 49 |
| | Carrera del eje X Módulo CKK 25-200. | TMRC04 | 50 |
| | Carrera del eje Y Módulo CKK 12-90. | TMRC05 | 51 |

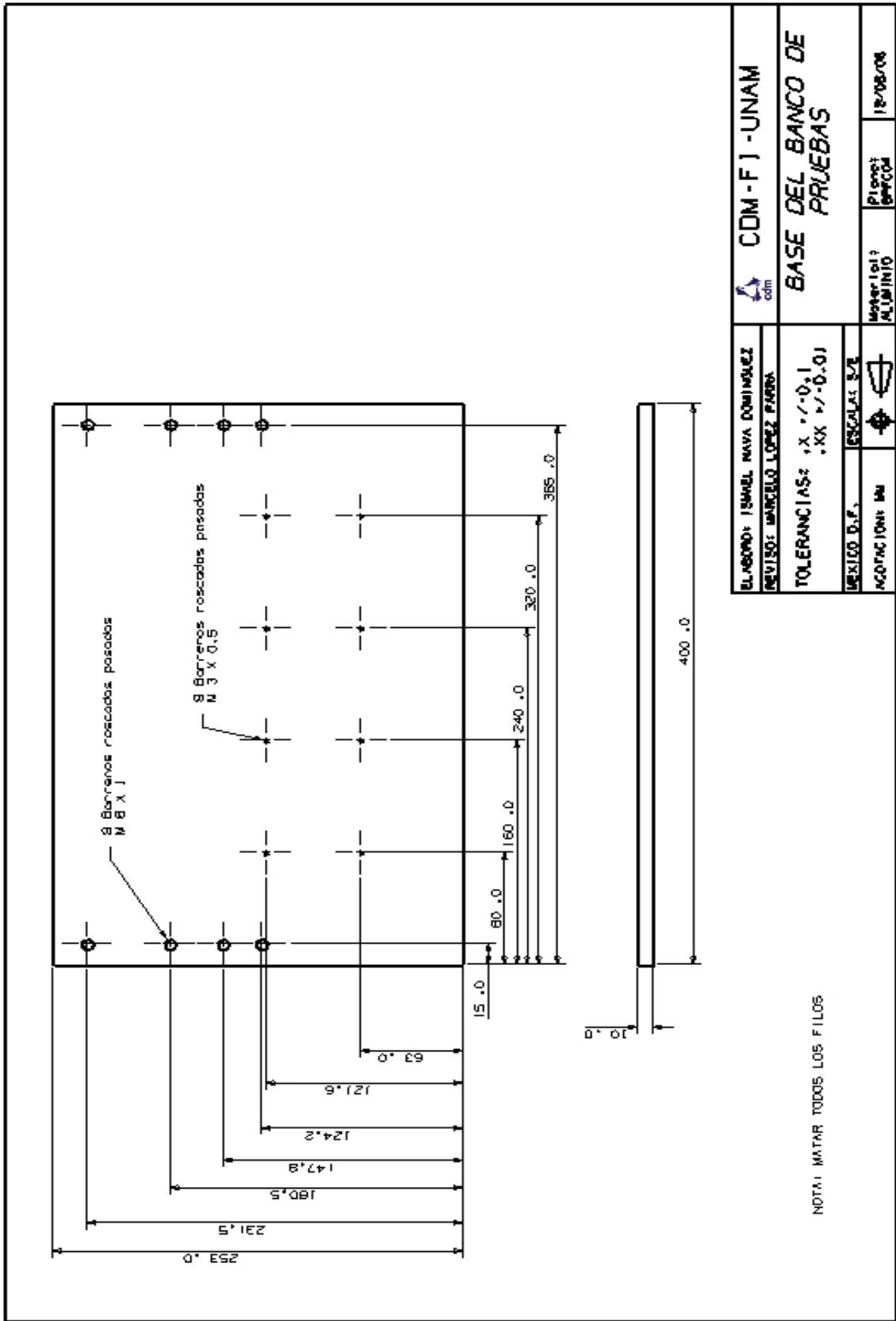
Anexo B1 Banco de pruebas BPRC07.

| NO. | DESCRIPCION | CANTIDAD |
|-----|----------------------------------|----------|
| 9 | CUCHILLA | 1 |
| 8 | BOLSA | 1 |
| 7 | BLOQUE | 1 |
| 6 | BASE DEL BANCO DE PRUEBAS | 1 |
| 5 | SUJETADOR DE CUCHILLA | 1 |
| 4 | PORTE INFERIOR DEL PORTAMONTAJE | 1 |
| 3 | BLOQUE-SOPORTE DE BOLSA | 1 |
| 2 | PORTE SUPERIOR DEL PORTA-MONTAJE | 1 |
| 1 | TORNILLO DE BLOQUE | 1 |

| | | |
|-------------------------------------|-------------|------------------------|
| ELABORO: ISABEL NAVA DOMINGUEZ | | COM-FI-UNMI |
| REVISOR: MARCELO LOPEZ PEREA | | |
| TOLERANCIAS: X +/-0,1 XX +/-0,01 | | |
| DESIGNO D.F. | ESCALA: 3/4 | Material: |
| ACOTACION: MM | | |
| | | Fecha: 12/08/06 |



CHT1 000001 W000K

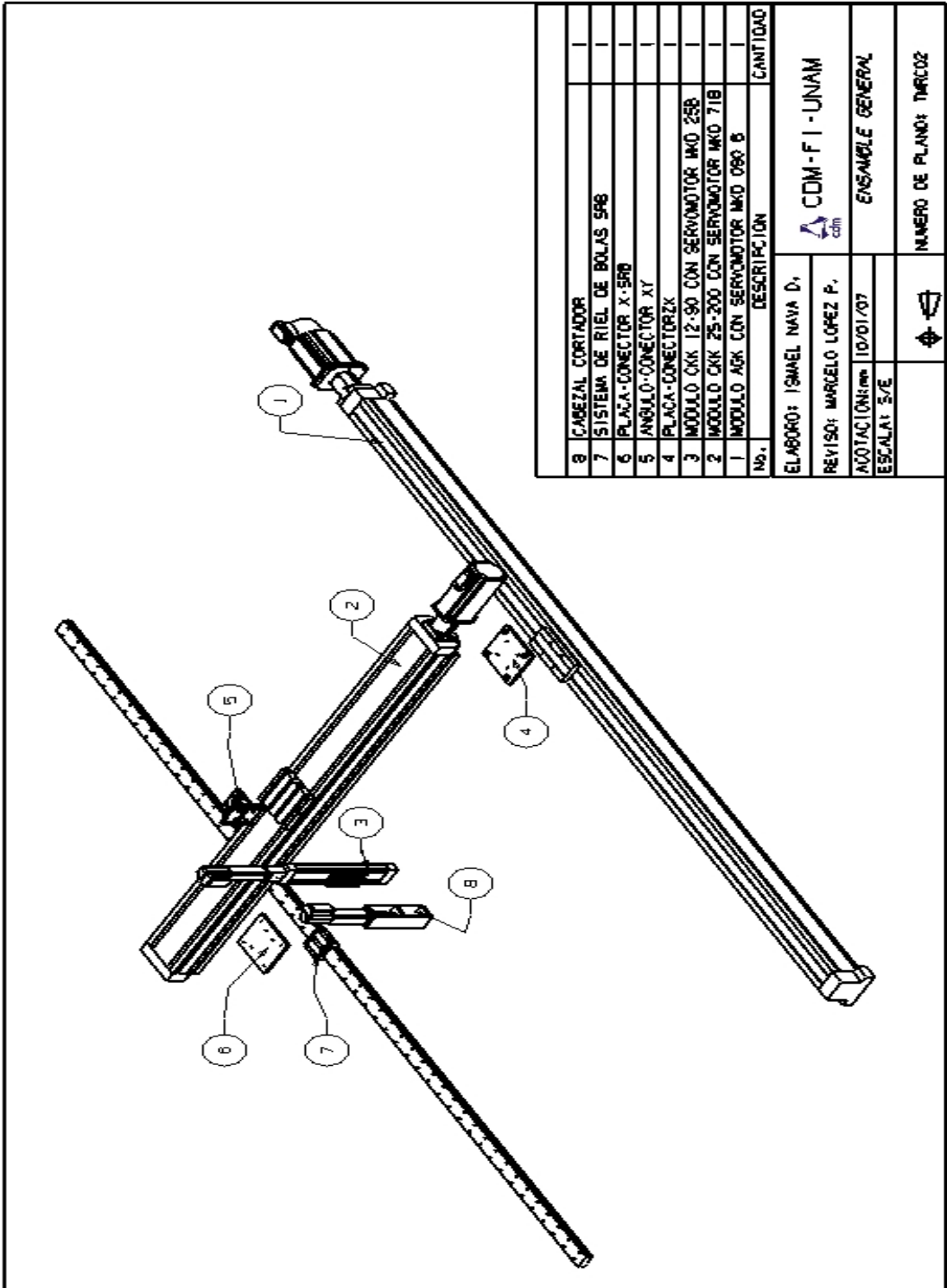




Anexo B2 Transmisión mecánica propuesta.

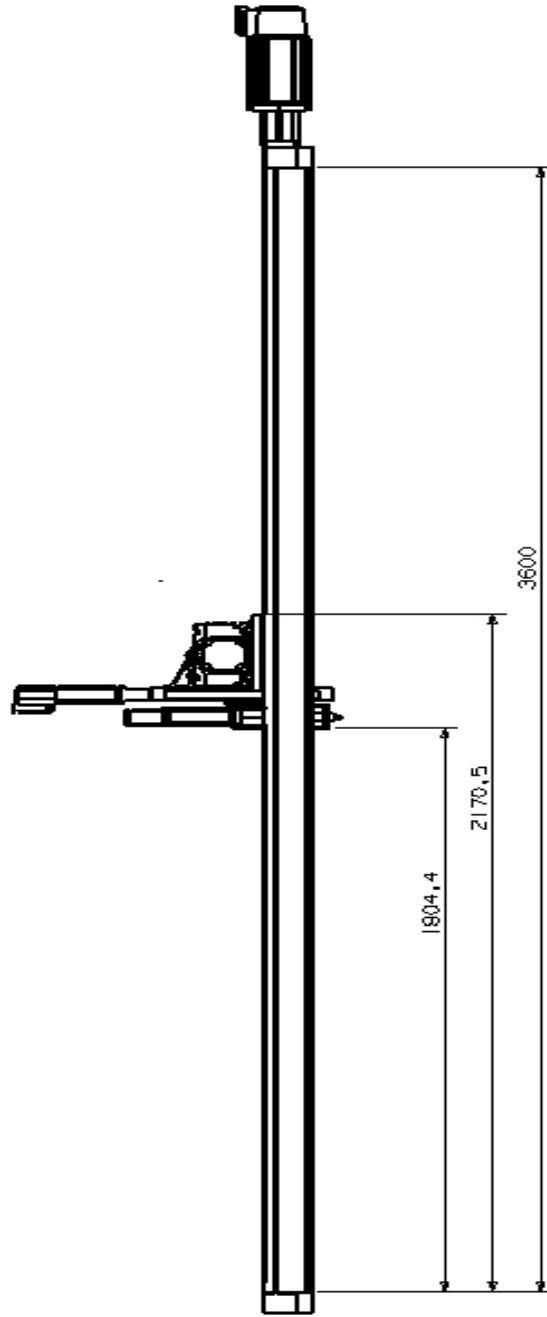
| | | |
|-----|---|----------|
| 8 | CABEZAL CORTADOR | 1 |
| 7 | SISTEMA DE RIEL DE BOLAS SFB | 1 |
| 6 | PLACA-CONECTOR X-SRB | 1 |
| 5 | ANGULO-CONECTOR XY | 1 |
| 4 | PLACA-CONECTORZX | 1 |
| 3 | MODULO CXX 12-90 CON SERVO MOTOR MKD 258 | 1 |
| 2 | MODULO CXX 25-200 CON SERVO MOTOR MKD 716 | 1 |
| 1 | MODULO AGX CON SERVO MOTOR MKD 090 B | 1 |
| Nº. | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |


ELABORÓ: ISMAEL NAVA D.
 REVISÓ: MARCELO LOPEZ P.
 ACOTACIONES: 10/01/07
 ESCALA: S/E

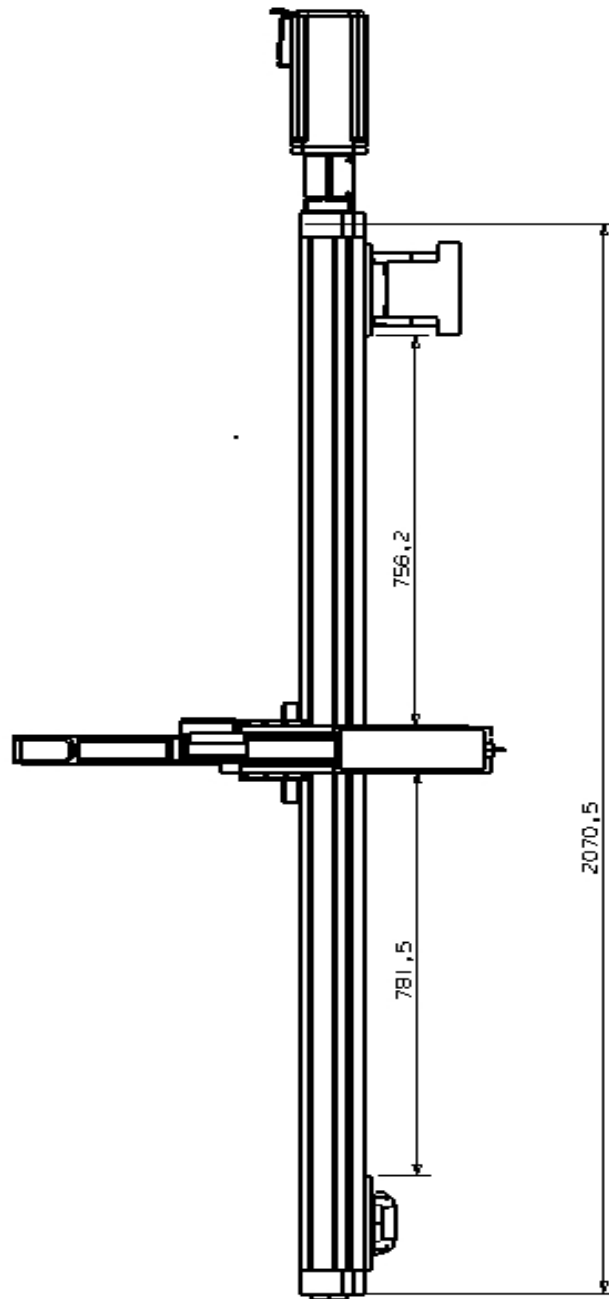
CDM-F) - UNAM
 ENSAMBLE GENERAL
 NUMERO DE PLANO: TURCOI



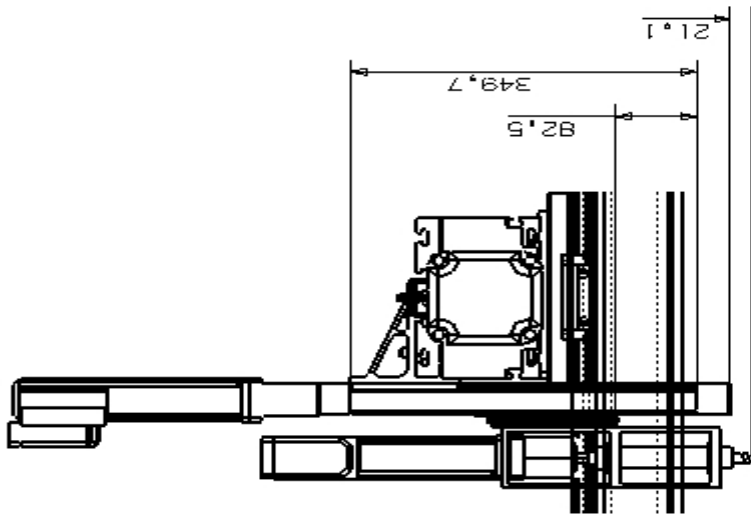
| | | |
|--|---|------------------------|
| 8 | CABEZAL CORTADOR | 1 |
| 7 | SISTEMA DE RIEL DE BOLAS 598 | 1 |
| 6 | PLACA-CONECTOR X-598 | 1 |
| 5 | ANULLO-CONECTOR XY | 1 |
| 4 | PLACA-CONECTORZK | 1 |
| 3 | MODULO CKK 12-90 CON SERVO MOTOR MKO 25B | 1 |
| 2 | MODULO CKK 25-300 CON SERVO MOTOR MKO 71B | 1 |
| 1 | MODULO AGK CON SERVO MOTOR MKO 090 6 | 1 |
| Nº. | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
| ELABORO: ISMAEL NAVA D, | | |
|  CDM-FI-UNAM | | |
| REVISO: MARCELO LOPEZ P. | | |
| ACOTACIONES: 10/01/07 | | |
| ESCALA: 5/E | | |
|  | | NÚMERO DE PLANO: TMR02 |






| | | |
|--------------------------|---|-------------------------|
| ELABORO: ISMAEL NAVA D. |  CDM - F - UNAM <small>cdm</small> | |
| REVISO: MARCELO LOPEZ P. | | |
| ACOTACIONES: 10/01/07 | CARRERA DEL EJE | |
| ESCALA: 5/1 | Z-MODULO AGK | |
| |  | NUMERO DE PLANO: TMR003 |



| | | |
|--------------------------|---|---|
| ELABORO: ISMAEL NAVA D. | |  CDM-F - UNAM |
| REVISO: MARCELO LOPEZ P. | | |
| ACOTACIONES: 10/01/07 | CARRERA DEL EJE X - MODULO | |
| ESCALA: 3/4E | CRK 25 200 | |
| |  | NUMERO DE PLANO: TMR004 |



| | | | |
|--------------------------|--|---|--|
| ELABORO: ISMAEL NAVAD. | |  CDM-F1-UNAM | |
| REVISO: MARCELO LOPEZ P. | | CARRERA DEL EJE Y-MODULO CXX 12-90 | |
| ACOTACION: mm 10/01/07 | |   | |
| ESCALA: 5/2E | | | |
| | | NUMERO DE PLANO: TMR05 | |

REFERENCIAS.

- [1] Robert Resnick. **Física Parte I**, Editorial Continental, 1982.
- [2] NSK Motion and control (technical journal). **Technical Description of Ball Screws**, 1999.
- [3] Rafael Aviles. **Curso de robótica**, Editorial Paraninfo, 1989.
- [4] Daniel Audí Piera. **Como y cuando aplicar un robot industrial**, Marcombo Boixareo Editores, 1988.
- [5] Kevin Otto and Kristin Wood. **Product Design**, Editorial Prentice Hall, 2000.
- [6] Angulo Usategui. **Robótica Practica**, Editorial Paraninfo, 1986.
- [7] McCloy. **Robotics An Introduction**, Open. University Press, 1990.
- [8] V. Dobrovolski. **Elementos de máquinas**, Editorial Mir. Moscu, 1980.
- [9] Rexroth Bosch Group. **Drive Units with Ball Screw Drives (R310EN 3304)**. 2005
- [10] Groover Mikell P. **Industrial Robotics**, Editorial Mc Graw Hill, 1990.
- [11] Boschrexroth: http://www.boschrexroth.com/business_units/brl/en/produkte/mehrachssysteme/camoLINE/elektromechanische/index.jsp
- [12] Rexroth mannesmann. **STAR-Compact Modules (RE 82 601/04.99)**. 1999
- [13] Rexroth Bosch Group. **Compact Modules CKK 25-200 (RE 82 616/2003 01)**.2003.
- [14] Rexroth Bosch Group.**Ball Rail Systems (R310 EN 2202)**. 2004.
- [15] Rexroth Bosch Group. **Controllers, Motors, Electrical Accessories (RE 82 710)**. 2003.
- [16] Rexroth Bosch Group. **Uncompromisingly Flexible: The High-Performance Aluminum Profile System from Rexroth. (3842536827)**. 2006.

Referencias electrónicas del Benchmarking.

- [1w] <http://machines.manufacturers.com.tw/7016/Laser-Cutting-Machines.html>
- [2w] http://cn-wonderful.en.alibaba.com/product/50145863/50673642/Cutting_Machines/Flat_Bed_Computer_Cutting_Machine/showimg.html
- [3w] <http://www.globalsources.com/gsol/I/Engraving-marking/p/2000000003844/3000000149681/sm/1001265473.htm>
- [4w] <http://www.made-in-china.com/china-products/productviewkiInjgmbgQCZ/SXSL-Series-High-Pressure-Water-Jet-Cutting-Machine-SXSL2015-SXSL1212-.html>
- [5w] <http://www.allproducts.com/tami/yicheen/04-yc506x.html>
- [6w] <http://www.allproducts.com/tami/yicheen/06-yc708.html>
- [7w] <http://www.allproducts.com/tami/yicheen/05-yc717.html>
- [8w] <http://www.viacad.com/LaserEmb400.html>
- [9w] <http://cgi.ebay.com/Old-Bedard-Leather-Cutting-Machine->
- [10w] http://www.mfgsup.com/dieless_cutting_systems/knife_cutting_equipment/flashcut_15155.html
- [11w] http://www.mfgsup.com/dieless_cutting_systems/knife_cutting_equipment/flashcut_30155.html
- [12w] http://www.mfgsup.com/dieless_cutting_systems/knife_cutting_equipment/index.html
- [13w] <http://www.viacad.com/LaserEmb400.html>
- [14w] <http://www.zund.com/>

[15w] <http://www.eurolaser.com/>

[16w] <http://www.elitron.com/?lang=es&tab=tec&p=1>