



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

“DISEÑO DE CONFIGURACIÓN DE UN DISPOSITIVO
CONFORMADOR DE BOBINAS ELÉCTRICAS”

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:

ANTONIO MARTÍNEZ ILESCAS



TUTOR:
DR. MARCELO LÓPEZ PARRA

2005

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Vicente Borja Ramírez
Secretario: Dr. Adrián Espinosa Bautista
Vocal: Dr. Marcelo López Parra
1^{er}. Suplente: Dr. Alejandro Ramírez Reivich
2^{do}. Suplente: M.I. Leopoldo Adrián González González

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 ser bueno conmigo
A Toño por darme un buen ejemplo.
A Nieves por enseñarme a querer.
A Paty por cuidarme siempre.
A Luis por apoyarme y ser buen hermano.

A Nacho, Manuel, Mayra, Lin, Rodrigo, George, Martín, Pedro, Pau, Fer, Chavarín, Yaz, Edith, Ali, Chava, Alonso, Rosita de Olivo, Tino, mi Abue, Con, Juan Ma, Migue y Juan Pa porque el tiempo que comparten conmigo es excelente.

Al Dr. Marcelo López Parra por su apoyo e interés en mi desarrollo como ingeniero. A PAPIT Y A CONACYT por el apoyo para la realización de los estudios de maestría y la adquisición de equipo para el desarrollo de la tesis.

INDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN | I |
| INTRODUCCIÓN | II |
| 1 ANTECEDENTES. | 1 |
| 1.1 Introducción. | 1 |
| 1.2 Máquina Conformadora De Bobinas Eléctricas. | 1 |
| 1.3 Cabezales Que Componen La Máquina. | 2 |
| 1.4 Secuencia Del Proceso. | 3 |
| 1.5 Figuras de la Secuencia del Proceso | 4 |
| 2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA. | 5 |
| 2.1 Introducción | 5 |
| 2.2 Definición del problema de diseño del cabezal embobinador. | 5 |
| 2.3 Objetivo del presente trabajo. | 6 |
| 2.4 Alcance | 6 |
| 2.5 Especificaciones | 6 |
| 2.6 Matriz de Requerimientos y especificaciones. | 7 |
| 3 DISEÑO DE CONFIGURACIÓN. | 9 |
| 3.1 Consideraciones para realizar el Diseño de Configuración del Dispositivo Embobinador. | 9 |
| 3.1.1 Diseño Para Resistencia. | 9 |
| 3.1.2 Diseño Para La Deformación Controlada. | 9 |
| 3.1.3 Diseño Para La Estabilidad. | 9 |
| 3.1.4 Diseño Para Evitar Expansión Térmica. | 10 |
| 3.1.5 Diseño Para Evitar Corrosión o Para Evitar Partículas No Deseadas. | 10 |
| 3.1.6 Diseño Para Ergonomía Y Para Seguridad Del Usuario. | 10 |
| 3.1.7 Diseño Para La Estética. | 11 |
| 3.1.8 Diseño Para El Fácil Mantenimiento E Inspección. | 11 |
| 3.1.9 Diseño Para El Fácil Ensamble. | 11 |
| 3.1.10 Diseño Para Fácil Reciclaje. | 11 |
| 3.2 Arquitectura del Cabezal Embobinador. | 11 |
| 3.3 Configuración y cableado de los servomotores. | 14 |
| 3.4 Listado de componentes y Costos estimados por componente | 16 |
| 4 CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE COMPONENTES. | 17 |
| 4.1 Tornillo de bolas. | 17 |
| 4.2 Motor Eléctrico Impulsor del Tornillo de Bolas. | 20 |
| 4.3 Motor Eléctrico Conformador. | 21 |
| 4.3.1 Análisis Teórico. | 21 |
| 4.3.2 Análisis Práctico. | 21 |
| 4.4 Guías Lineales y Perfil de Aluminio como Elemento Estructural. | 23 |
| 4.5 Rodamiento. | 23 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.5.1 | Análisis Para Selección Del Rodamiento. | 23 |
| 4.6 | Coples Flexibles. | 26 |
| 5 | SISTEMA DE INSPECCIÓN Y CORRECCIÓN DE PROGRAMACIÓN | 27 |
| 5.1 | Inspección de la bobina. | 27 |
| 5.1.1 | Procedimiento de Inspección de la Bobina. | 28 |
| 5.1.2 | Calibración del Servomecanismo mediante la variación de los Parámetros en la Programación. | 29 |
| | CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO. | 32 |
| | Conclusiones. | 32 |
| | Trabajo a Futuro. | 33 |
| | ANEXO (FIGURAS). | 34 |
| | ANEXOS (PLANOS). | 41 |
| | REFERENCIAS. | 56 |

RESUMEN.

La presente tesis reporta el Diseño de Configuración de un Servomecanismo para Embobinar Automáticamente un alambre de sección rectangular y el diseño de un sistema de inspección para asegurar la calidad de las bobinas producidas, que se toma para presentar un artículo llamado "Servomecanismo Para El Conformado Preciso De Bobinas De Alambre" para SOMIM 2005. El Trabajo es continuación de un proyecto realizado en el Centro de Diseño y Manufactura de la Facultad de Ingeniería de la UNAM para el grupo Condumex. Dicho proyecto consistió en el Diseño Conceptual de la Máquina Conformadora de Bobinas Eléctricas. Fue presentado en el artículo "Diseño De Una Máquina Conformadora De Bobinas Eléctricas" para SOMIM 2004.

Se presentan las memorias de cálculo y justificación de la selección de: Tornillo de bolas, del Motor Impulsor del Tornillo de Bolas, del Motor Conformador, las Guías Lineales y Perfil de Aluminio como Elemento Estructural, los Rodamientos y los Coples Flexibles. La programación de los servomotores utilizados y la configuración del dispositivo.

Parte de las actividades en la tesis fue el modelado en 3D de los componentes con lo que se verificó que un hubiera interferencia en los componentes del dispositivo. La selección de componentes así como la cotización de equipo, búsqueda de información y visitas con clientes y proveedores.

Para el diseño se pensó en criterios como cantidad mínima de equipo, uso de servomecanismos para fácil programación y calibración del dispositivo, y componentes que minimizaran el espacio en planta.

Los resultados fueron el diseño original de equipo de producción para una empresa mexicana y la automatización de procesos para producciones altas en este caso 80 000 piezas mensuales.

INTRODUCCIÓN.

La calidad ha sido desde hace algunos años el tema central de las compañías que quieren ser competitivas y ganar nuevos negocios continuamente. Una parte central para poder alcanzar un nivel de calidad adecuado lo construye el proceso de fabricación. Hoy en día los procesos no nada más tienen que cumplir con una normatividad internacional sino que deben asegurar la producción de componentes o productos completos que son percibidos en el mercado como productos de “calidad mundial”.

Sabemos que si un proceso de manufactura se realiza manualmente entonces depende de la capacidad del operador para que el producto que es fabricado esté conforme a especificaciones. El cansancio, el humor, el entrenamiento son, entre otros factores, los que influyen a que el producto esté de acuerdo a especificaciones.

Los procesos automáticos diseñados y contruidos con componentes electro-neumáticos son de gran utilidad para alcanzar los estándares de calidad requeridos. Algunas variables de proceso que son fácil de controlar utilizando estos componentes son: repetibilidad y velocidad constante de producción. Es por eso que muchas empresas han optado por automatizar sus procesos para asegurar la calidad requerida.

La compañía Condumex solicitó al Centro de Diseño y Manufactura de la Facultad de Ingeniería de la UNAM que estudiara la posibilidad de mejorar el proceso de manufactura de una bobina eléctrica de alambre de cobre que en la actualidad se produce manualmente. El CDM integró un grupo de trabajo dedicado a proponer una alternativa de proceso. Una de las necesidades de la empresa era la de automatizar el proceso, por lo tanto se desarrolló un concepto de una máquina electro-neumática que definiera las diferentes geometrías de la bobina de manera progresiva. Después de diferentes propuestas, la configuración final de diferentes dispositivos que conforman el producto y que en conjunto forman la propuesta de máquina automática, fue presentada y analizada junto con los ingenieros de Condumex.

Una vez concluida la etapa de diseño conceptual se pasó al desarrollo de la etapa de diseño de configuración de la máquina. El presente trabajo reporta, principalmente, el diseño de configuración del mandril conformador de la espiral de alambre y la justificación de la selección de sus componentes. Por otra parte un sistema de Inspección Mecánico que ayuda a Mantener el Control de Calidad.

1 Antecedentes.

1.1 Introducción.

Para sustituir un proceso que se hace de forma manual para el conformado de una bobina eléctrica se ideó una Máquina Conformadora de Bobinas Eléctricas que trabaja de forma automática. Se ideó de forma que el proceso fuera continuo, de esa forma generar varias alternativas de configuración hasta llegar a un concepto de máquina integrado por once cabezales. La bobina eléctrica que será por la Máquina Conformadora se ilustra en los planos AP- 2, AP- 3 de las páginas 48 y49. La descripción de dicha Máquina se realizará a continuación.

1.2 Máquina Conformadora De Bobinas Eléctricas.

La Máquina Automática Conformadora de Bobinas Eléctricas fue pensada para hacer operaciones de manera progresiva y con una configuración lineal que, a diferencia de una configuración radial, permite realizar procesos de conformado en forma paralela aún cuando la pieza anterior no haya sido terminada, esto le da ventajas a esta configuración ya que se reduce el tiempo de ciclo del proceso.

La descripción de la máquina se presenta a continuación. Cabe señalar que esta configuración es el resultado de un proceso de diseño conceptual que no es parte del alcance de esta tesis.

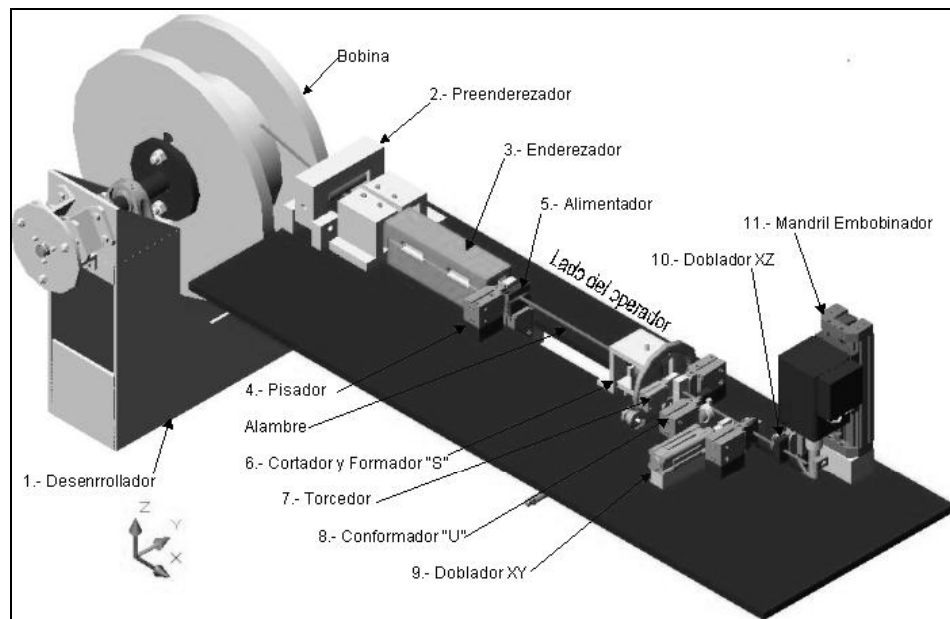


Figura 1-1. Configuración de la Máquina Automática.

1.3 *Cabezas Que Componen La Máquina.*

1. **Desenrollador:** Dispositivo que se encarga de alojar la bobina de alimentación, en el se encuentra un sistema de frenado que eliminará movimientos por inercia de la bobina al girar (Figura 1-2.Desenrollador).
2. **Preenderezador:** Disminuye la curvatura en el alambre producto del enrollado en la bobina(Figura 1-3. Preenderezador).
3. **Enderezador:** Elimina las curvaturas, provee a los procesos siguientes un alambre en línea recta. Los rodillos horizontales eliminan la curvatura en el plano XZ y los rodillos verticales en el plano XY (Figura 1-4. Enderezador.).
4. **Pisador:** Es un dispositivo auxiliar del alimentador que permite que el alambre permanezca en su posición cuando el alimentador lo libera (Figura 1-5. Pisador.).
5. **Alimentador:** Dispositivo encargado de desplazar el alambre en recorridos de distancias diferentes y en forma intermitente llevándolo a una posición específica para su conformado. Esta compuesto por dos actuadores el primero para desplazar, el segundo para aprisionar el alambre (Figura 1-6. Alimentador.).
6. **Cortador y Formado de "S":** En este punto el alambre ha atravesado su longitud completa por lo que se puede cortar y enseguida conformar la pieza en forma de "S" con dos dobleces a 45° (Figura 1-7. Cortador y Conformador en "S").
7. **Torcedor:** Se tuerce el alambre en un tramo de 10 mm, es un dispositivo que sujeta la pieza en dos extremos y enseguida gira con respecto al eje del alambre y de la máquina que en este caso es X (Figura 1-8. Torcedor).
8. **Conformador "U":** Realiza dos dobleces a 90° en el alambre de manera secuencial, el resultado de los dobleces parece una "U", de ahí el nombre (Figura 1-9.Conformador "U").
9. **Doblador XY:** Dobleces a 90° con un radio de 15 mm (Figura 1-10. Doblador XY y XZ).
10. **Doblador XZ:** Dobleces a 90° con un radio de 2 mm (Figura 1-10. Doblador XY y XZ).
11. **Mandril embobinador:** Este es el cabezal que realiza la espiral de la bobina y es el tema central de esta tesis. El funcionamiento de dicho cabezal depende de operaciones anteriores, por lo que se tiene que cuidar la compatibilidad con los otros dispositivos. La operación consiste en la combinación de un movimiento lineal con uno rotatorio lo que genera una hélice, estos movimientos tienen que

hacerse de forma síncrona y siguiendo el paso intermitente de alimentación del alambre

Cabe mencionar que el orden en que se han enlistado los cabezales no es el mismo orden en que trabajan durante el proceso. El orden se da conforme aparecen en la configuración en la dirección del eje X.

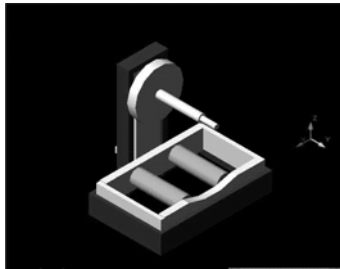


Figura 1-2.Desenrollador

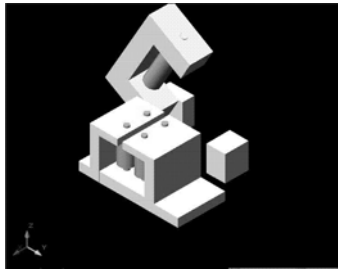


Figura 1-3. Preenderezador

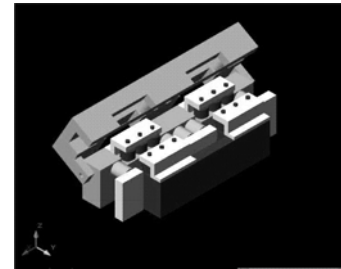


Figura 1-4. Enderezador.

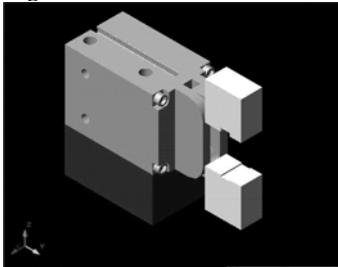


Figura 1-5. Pisador.

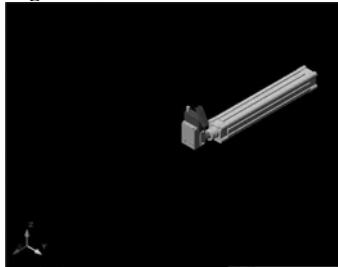


Figura 1-6. Alimentador.

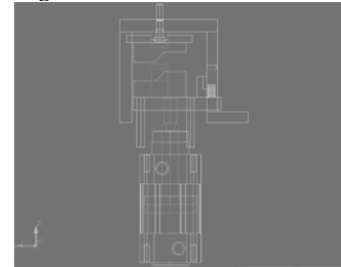


Figura 1-7. Cortador y Conformador en "S"

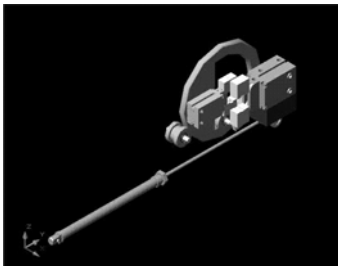


Figura 1-8. Torcedor

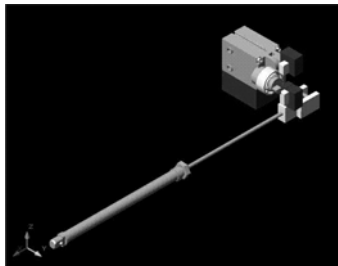


Figura 1-9.Conformador "U"

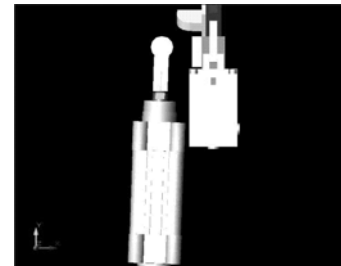


Figura 1-10. Doblador XY y XZ

1.4 *Secuencia Del Proceso.*

Se puede resumir el proceso de conformado de bobinas en 5 etapas principales:

1. Etapa 1.

Enderezado de alambre para eliminar la curvatura que le da el hecho de provenir de un rollo de alambre (Figura 1-3. Preenderezador, Figura 1-4. Enderezador., Figura 1-11. Etapa 1 Alimentación y enderezado de alambre).

2. Etapa 2.

Dos doblados sucesivos que constituirán una "U", una vez conformada la "U" se posiciona el alambre en el mandril conformador y se corta el trozo de alambre con el cual se continuará el resto del proceso (Figura 1-9. Conformador "U", Figura 1-13. Etapa 3 Conformado de S, torsión e inicio de conformado de espiral).

3. Etapa 3.

La "U" es afianzada por el mandril conformador de la espiral helicoidal e inicia el conformado de ésta, se tuerce el alambre a 90° y se conforma la "S" (Figura 1-7. Cortador y Conformador en "S", Figura 1-13. Etapa 3 Conformado de S, torsión e inicio de conformado de espiral).

4. Etapa 4.

Se continua con el conformado de la bobina, se hacen los dobleces a 90°, primero el de mayor radio y al final el de radio menor (Figura 1-10. Doblador XY y XZ, Figura 1-14. Etapa 4 Doblado de radio mayor y radio menor).

5. Etapa 500.

Se termina de conformar la espiral de la bobina en el cabezal que llamamos Mandril Conformador de Bobinas (Figura 1-15. Etapa 5 Terminación del conformado de la espiral.).

1.5 Figuras de la Secuencia del Proceso

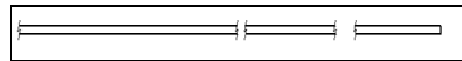


Figura 1-11. Etapa 1 Alimentación y enderezado de alambre

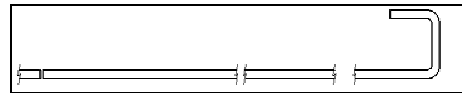


Figura 1-12. Etapa 2 Conformado de U y corte de alambre

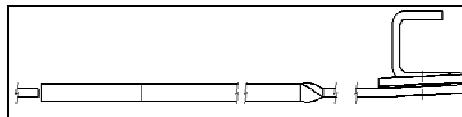


Figura 1-13. Etapa 3 Conformado de S, torsión e inicio de conformado de espiral



Figura 1-14. Etapa 4 Doblado de radio mayor y radio menor



Figura 1-15. Etapa 5 Terminación del conformado de la espiral.

2 Definición del Problema.

2.1 Introducción

El diseño conceptual de la Máquina Conformadora de Bobinas Eléctricas es la base de la que se parte para idear la configuración del dispositivo embobinador. La configuración se muestra en el plano de “Vista de Elevación del Proceso”, ahí podemos ver que tenemos varios puntos que debemos respetar para diseñar el dispositivo.

- El cabezal es el último localizado sobre el eje X de la Máquina Conformadora de Bobinas Eléctricas.
- Existe una operación previa y dos intermedias a las cuales se tiene que apegar el diseño del cabezal.
- La herramienta de conformado debe sujetar el alambre conformado sin ayuda de dispositivos adicionales de sujeción.
- El extremo libre de la herramienta apuntar en dirección negativa del eje Z.
- La expulsión puede ser por gravedad o con auxilio de un sistema expulsor.
- La distancia entre el cabezal anterior y el eje de la herramienta es restricción.

2.2 Definición del problema de diseño del cabezal embobinador.

Como se mencionó; este trabajo se enfoca al Diseño del Mandril Embobinador (Figura 1-1). En este cabezal se recibe el alambre de sección rectangular con dos operaciones de conformado previas que se ilustran a continuación y el cual se considera que es el estado A del problema.



Figura 2-1. Estado A del problema. Entrada al Cabezal Embobinador.

La geometría en forma de “U” que tiene en el extremo el alambre será aprovechada para ser sujeta por el dispositivo de embobinado, enseguida existen dos operaciones de conformado intermedias antes de completar el embobinado de tal forma que el estado final de nuestra pieza después de la operación de embobinado será el estado final del proceso completo y es el siguiente.

Por lo tanto podemos definir como el estado B del problema a la bobina en la forma ilustrada.



Figura 2-2. Estado B del problema. Salida del Cabezal Embobinador.

2.3 *Objetivo del presente trabajo.*

Con base en lo explicado anteriormente se planteó como objetivo primario de esta tesis el desarrollar el diseño de configuración de un dispositivo que sea capaz de conformar una bobina de alambre de sección rectangular de acuerdo a las especificaciones, la operación deberá ser en forma intermitente y automática. Se entiende por el diseño de configuración la parte del proceso de diseño en la cual la estructura tecno-económica del problema analizado es conformada de manera clara y completa, empezando a partir de la solución principal escogida en el análisis hecho durante el diseño conceptual.

2.4 *Alcance*

Se propondrán la arquitectura y componentes del dispositivo como motores y sistemas de desplazamiento lineal. Se presentarán los cálculos y la selección de componentes. Se describirá la configuración del dispositivo y elementos estructurales, así como la herramienta, esto mediante modelos en 3D que aseguren la compatibilidad con la Máquina Conformadora de Bobinas Eléctricas.

2.5 *Especificaciones*

Las especificaciones de la pieza a ser fabricada son datos que la compañía proporcionó en planos. Algunos datos como el torque requerido para mover el tornillo de bolas o el motor para conformado son calculados en el capítulo 4. La geometría y los desplazamientos son datos que parten del diseño conceptual y del plano de la “Vista de Elevación del Proceso”. Las fuerzas de reacción también son calculadas en el capítulo 4.

Tabla 2-1. Especificaciones del Producto y del Dispositivo

| Especificaciones | Valor nominal | Unidades | Comentario |
|--|--------------------------|-----------------|-------------------|
| PRODUCTO | | | |
| Ancho | 3.5 | mm | |
| Altura | 7.3 | mm | |
| Largo | 620 | mm | |
| Geometría | | | Ver AP- 2 |
| Material | Aleación de cobre C11000 | - | Ver A1- 1 |
| Propiedades Mecánicas del Material | | | |
| Esfuerzo ultimo a la tensión | 300 | MPa | |
| Módulo de elasticidad | 117.097 | GPa | |
| Dureza | 87 Rockwell F | Rockwell | |
| Elongación (% en 2 in) | 10 | | |
| DISPOSITIVO | | | |
| Torque para mover el Tornillo de Bolas (Movimiento Lineal)* | 0.7110 | Nm | Sección 4.1 |
| Torque para conformado de la espiral (movimiento Rotatorio)* | 14.11 | Nm | Sección 4.3.1. |
| Geometría | | | |
| Distancia del centro de la máquina al dispositivo anterior* | 106 | mm | Ver AP- 1 |
| Fuerza de reacción del perfil* | 491.9 | N | Sección 4.5.1 |
| Movimiento Rotatorio Síncrono. | | | |
| Desplazamiento de la primera operación* | 1.9225 | Grados | |
| Desplazamiento de la segunda operación* | 0.7002 | Grados | |
| Desplazamiento de la tercera operación* | 1.0949 | Grados | |
| Velocidad de producción | 80 000 | Piezas/ mes | |

Los campos marcados con (*) son datos obtenidos durante el análisis del proceso que se describirán en los capítulos siguientes.

2.6 Matriz de Requerimientos y especificaciones.

Se presenta la Tabla 2-2 en donde se comparan los requerimientos contra las especificaciones para saber cuáles son los puntos que serán revisados una vez que se termine la configuración del dispositivo.

Tabla 2-2. Matriz de requerimientos-especificaciones.

| | PRODUCTO | Ancho | Altura | Largo | Geometría | Material | Resistencia última | DISPOSITIVO | Torque (movimiento rotatorio)* | Fuerza (movimiento lineal)* | Geometría | Distancia entre dispositivos | Movimiento rotatorio | Desplazamiento de la primera operación* | Desplazamiento de la segunda operación * | Desplazamiento de la tercera operación* |
|---|----------|-------|--------|-------|-----------|----------|--------------------|-------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------|------------------------------|----------------------|---|--|---|
| PRODUCTO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alambre, sección rectangular longitud dada | | | | | | | | | | | | | | | | |
| El material es cobre | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DISPOSITIVO EMBOBINADOR | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Combinación de movimiento lineal y rotatorio | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Torque constante y movimiento intermitente | | | | | | | | | | | | | | | | |
| El desplazamiento lineal debe estar en función del rotatorio de forma coordinada | | | | | | | | | | | | | | | | |
| La geometría del dispositivo debe ser compatible con la máquina general de manera que tiene que ser de dimensiones compactas. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alta velocidad de producción | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Debe ser seguro para el operador | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Repetibilidad en el producto | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mínimos defectos | | | | | | | | | | | | | | | | |

3 Diseño de Configuración.

3.1 *Consideraciones para realizar el Diseño de Configuración del Dispositivo Embobinador.*

En esta sección se presenta la configuración propuesta para realizar el embobinado del alambre de cobre. Hay un gran número de factores que deben tomarse en cuenta para configurar el cabezal embobinador, a continuación se describen algunos de éstos.

3.1.1 *Diseño Para Resistencia.*

Durante la selección de componentes comerciales para el dispositivo fue importante tomar en cuenta cuales serían los adecuados para que la durabilidad sea la mas larga posible. Puntos críticos fueron los siguientes.

- Uniones entre componentes como tornillería o acoplamientos.
- Selección del material de la herramienta y acomodo de los componentes como las distancias entre rodamientos y el motor.
- Selección de equipo comercial que garantiza su durabilidad bajo las condiciones adecuadas y la adecuación de nuestro dispositivo a dichas condiciones.

3.1.2 *Diseño Para La Deformación Controlada.*

Durante el diseño se pensó en las deformaciones o desplazamientos entre componentes del ensamble que pueden tener el dispositivo embobinador y las acciones preventivas para evitar mal funcionamiento. Estas se pueden dar en:

- La herramienta.
- La unión entre el tonillo de bolas y el carro guía.
- La unión entre las placas que soportan los rodamientos de la herramienta y el motor que se encarga de dar el movimiento rotatorio para el conformado.

3.1.3 *Diseño Para La Estabilidad.*

Se consideró que debido a la naturaleza del proceso que es intermitente en operaciones cortas las vibraciones son despreciables. La estabilidad, por otra parte, se considera adecuada ya que la mayor parte de los componentes son de tramos cortos y robustos, el único que pudiera ser analizado mas a fondo para asegurar un buen funcionamiento es la estructura compuesta entre las placas soporte del motor conformador y la que se une al carro guía y rodamientos.

3.1.4 *Diseño Para Evitar Expansión Térmica.*

Se prevé que en la herramienta puede haber expansión térmica. Es por eso que se propone el uso de dos rodamientos en el cuál uno tenga un ajuste con juego y el otro con ajuste fuerte, esto permite que la expansión no dañe el sistema y tenga un buen funcionamiento. Si la expansión se da, el sistema de inspección diseñado para la detección de errores en la pieza corregirá el error.

3.1.5 *Diseño Para Evitar Corrosión O Para Evitar Partículas No Deseadas.*

La corrosión prevista en el dispositivo que se pudiera dar más acentuadamente se daría en la herramienta. Esto es debido a que la herramienta entra en contacto con un material que al ser menos duro y estar sujeto a deformación desprende material y puede provocar que haya corrosión por adhesión de material. La propuesta de solución dada por Condumex y en la que se está de acuerdo es de limpiar con regularidad la herramienta y tener una superficie rectificada, esto es para no tener huellas notables de maquinado que desgastarían más la pieza y retendrían más material.

3.1.6 *Diseño Para Ergonomía Y Para Seguridad Del Usuario.*

Contemplada desde el diseño conceptual de la Máquina Conformadora de Bobinas Eléctricas, la Ergonomía se tomó en cuenta proponiendo una altura de la mesa y una distancia del borde de la mesa al centro del cabezal (Dispositivo Embobinador). Por parte de la seguridad del usuario sólo podría estar en riesgo si el operara la máquina con las manos cerca del cabezal mientras está trabajando. Esto no sucede y las operaciones como mantenimiento e Inspección se darán mientras el dispositivo esté en alto total.

3.1.7 *Diseño Para La Estética.*

Se seleccionaron componentes simples y comerciales. Un área de trabajo reducida, y algunos componentes escondidos debajo de la mesa son parte del trabajo de diseño para contar con un dispositivo estético.

3.1.8 *Diseño Para El Fácil Mantenimiento E Inspección.*

La mayoría de los componentes son libres de mantenimiento prácticamente. Esto debido a que los elementos móviles son lubricados y cerrados. La Tuerca del Tornillo de Bolas, Los Rodamientos del Carril Guía, y los Rodamientos que soportan a la herramienta. Por otra parte la herramienta tendrá que ser

supervisada para que el desgaste no modifique las dimensiones de la bobina terminada.

3.1.9 *Diseño Para El Fácil Ensamble.*

Se seleccionaron perfiles de Aluminio con sistemas que permiten el fácil ensamble para la estructura. Los Sistemas móviles como el Tornillo de Bolas, el Carro y Carril Guía son compatibles con el perfil por lo que el ensamble y desensamble es muy sencillo. Por otra parte al ensamblar el servomotor encargado de conformar la bobina y los rodamientos junto con la herramienta deberán ser alineados correctamente para el funcionamiento correcto del servomotor.

3.1.10 *Diseño Para Fácil Reciclaje.*

Una de las características más importantes que debía tener el Dispositivo Embobinador era ser Flexible. La programación sencilla y el posible cambio de herramienta del dispositivo hace que en él se puedan embobinar alambres con dimensiones diferentes, incluso con sección rectangular de geometría diferente.

3.2 *Arquitectura del Cabezal Embobinador.*

El cabezal embobinador que se presenta en la Figura 3-1 muestra la configuración del dispositivo que fue elegida entre otras propuestas por tener un número menor de componentes, menor área proyectada sobre la mesa de trabajo y gracias a los componentes como el perfil de aluminio y los elementos como el carril y carro guía que son de la misma serie se pudo hacer una configuración muy flexible fácil de ensamblar y desensamblar. En seguida se hace una descripción general de esta configuración.

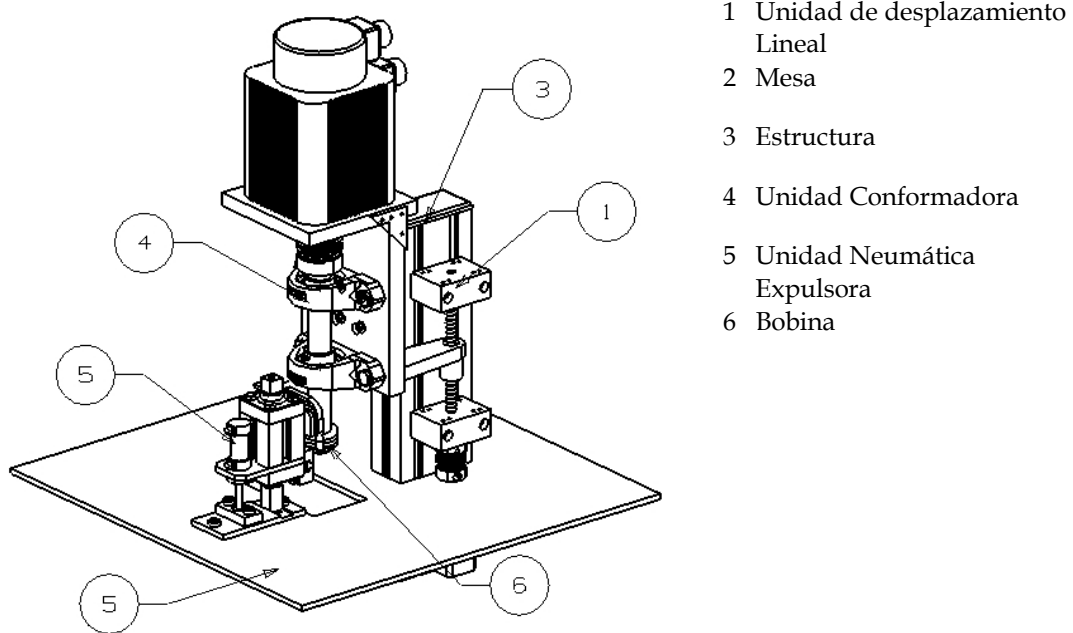


Figura 3-1. Configuración del Dispositivo.

El dispositivo conformador consta de dos servomecanismos cuya programación tiene un engranaje electrónico; esto es, que el movimiento de un motor depende del movimiento del segundo. Con esto se dice que tenemos un eje y medio en el dispositivo.

El primer servomecanismo se utiliza para el movimiento de un tornillo de bolas. Tiene la capacidad de mover, sobre el eje Z, al resto de los componentes que están soportados en un carro conectado a la tuerca de bolas. El carro se mueve sobre un par de guías lineales. El servomotor que se encarga de girar la herramienta para conformar la bobina se monta sobre el carro junto con la herramienta. Figura 3-2.

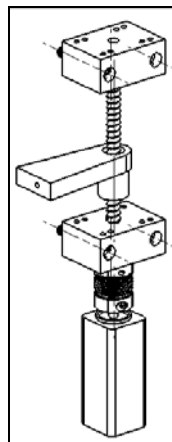


Figura 3-2. Unidad de Desplazamiento Lineal. Módulo 1 de la Figura 3-1

Para el caso de la Unidad de Conformado. El servomotor está conectado a la herramienta directamente, de esta forma se ahorra espacio en una transmisión. El uso de dos rodamientos permite este acoplamiento directo ya que los rodamientos soportan los momentos generados por las fuerzas radiales hablando del mandril embobinador. El cople flexible por otro lado permite cierto desalineamiento axial, radial y angular. Figura 3-3.

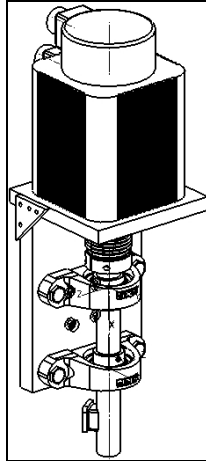


Figura 3-3. Unidad de Conformado de la Bobina. Módulo 4 de la Figura 3-1

Para asegurar que la bobina sea expulsada del mecanismo se diseñó una unidad expulsora que cumple con varias funciones, la primera es dar la fuerza de reacción mientras se está llevando a cabo el conformado de la bobina en la dirección del eje Y. La segunda es la de dar la fuerza de reacción en la dirección del eje z. Por otra parte sirve como auxiliar de frenado al regreso del tornillo de bolas si es que se llegara a desenergizar el motor impulsor de éste. Figura 3-4.

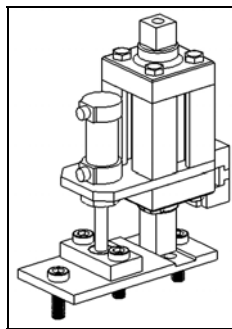


Figura 3-4. Unidad de Conformado de la Bobina. Módulo 5 de la Figura 3-1

El perfil de aluminio utilizado en la estructura del dispositivo tiene la gran ventaja que tiene rodamientos lineales y carriles guía que son compatibles y que son de fácil ensamble y desensamble. Es por eso que se decidió usar este tipo de estructura además de que el espacio que ocupan ya ha sido minimizado por el proveedor. Figura 3-5

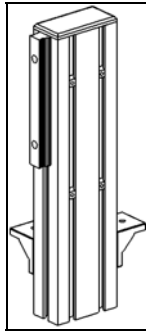


Figura 3-5. Unidad de Conformado de la Bobina. Módulo 3 de la Figura 3-1

3.3 Configuración y cableado de los servomotores.

Aprovechando el hecho de que los dos servomotores tienen que funcionar de manera sincronizada durante todas las operaciones de conformado, se seleccionó un sistema de dos servomotores con sus dos correspondientes amplificadores (servopacks) y un solo controlador. Esto significa que estamos hablando de un sistema de eje y medio lo cual es además de más simple que uno de 2 ejes, más económico. El cabezal fue diseñado para que pudiera ser usado un sistema como éste.

Enseguida se presenta el diagrama de conexión y cableado donde se muestra cómo la señal mandada del controlador MP940 al servo amplificador principal puede ser compartida para el servo amplificador secundario por medio de un cable de entradas y salidas (I/O Cable). Además se muestran los cables de alimentación y los de señales al Encoder, así como las conexiones de la computadora al controlador. Esta es la configuración usada para este cabezal.

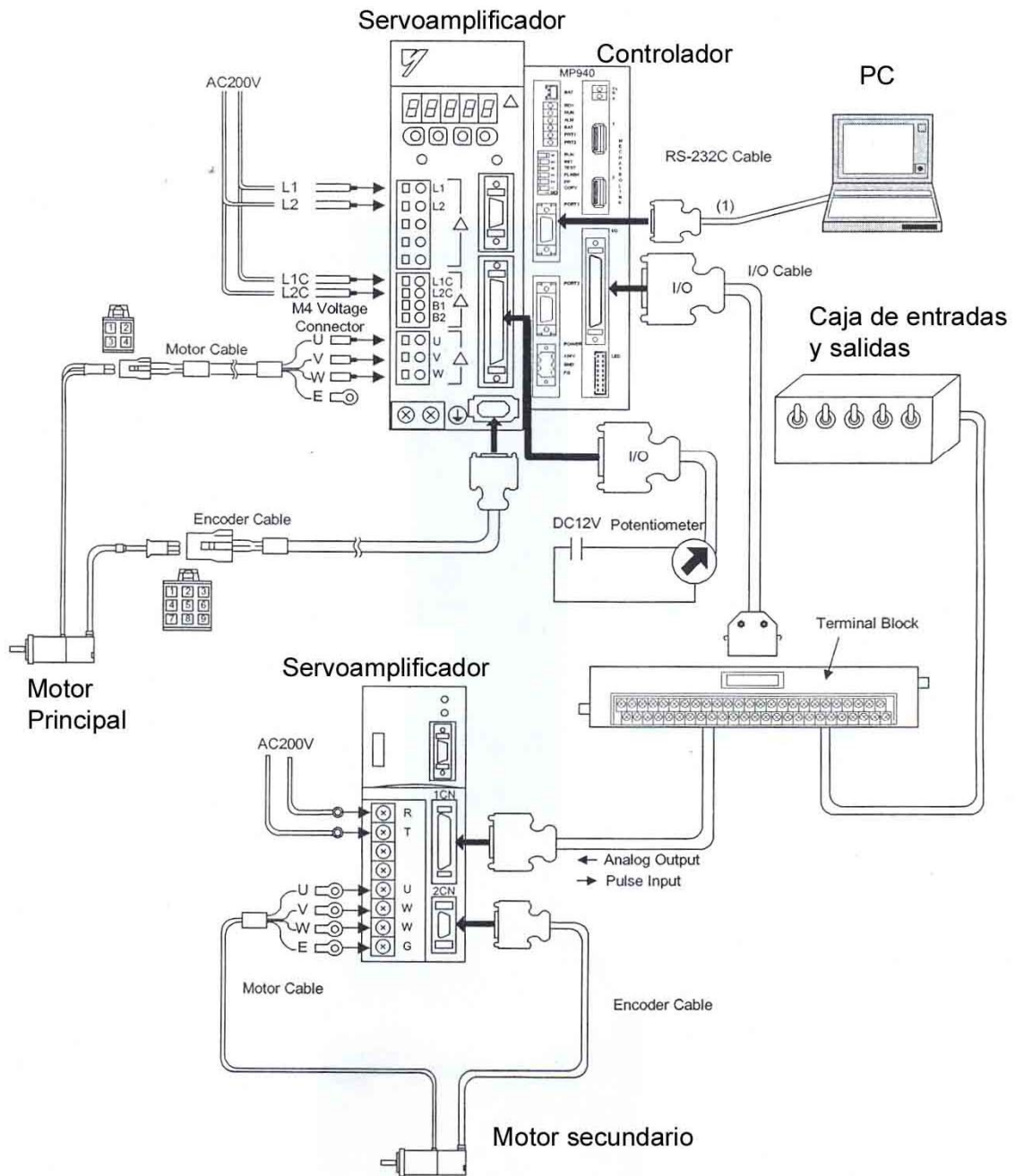


Figura 3-6. Diagrama de Conexión y Cableado con dos Servomotores y un Controlador.

3.4 *Listado de componentes y Costos estimados por componente*

Tabla 3-1. Costos en dólares estimados por componente y cantidad.

| Plano | Descripción | Cantidad | Costo aproximado |
|---|---|----------|------------------|
| SEUC1 SEUC2 | Servomotor Marca Yaskawa Modelo: SGMGH-13ACA61, Tensión: 200VCA, Potencia: 1.3kW, Par Nominal: 74lb-in, Par Máximo: 207lb-in, Velocidad Nominal: 1500RPM, Velocidad Máxima: 3000RPM, Resolución del Encoder: 32768PPR, 17Bits, Tipo de Encoder: Incremental. | 1 | \$ 1,305.40 |
| | Servopack Marca Yaskawa Modelo: SGDH-13AE Tensión: 200 VCA, Potencia: 1.3 kW, Modo de Control: DIG/ANAL | 1 | \$1753.29 |
| | Cableado | NA | \$165.99 |
| | Conectores | NA | |
| SEDL1 SEDL2 | Servomotor 0.1 kW Marca Yaskawa. Modelo: SGMAH-01AAF41 Tensión: 200VCA, Potencia: 0.1kW, Par Nominal: 2.82lb-In, Par Máximo: 8.44lb-In, Velocidad Nominal: 3000 RPM, Velocidad Máxima: 5000 RPM, Resolución del Encoder: 2048PPR, 13Bits, Tipo de Encoder: Incremental. | 1 | \$450.20 |
| | Servopack Marca Yaskawa Modelo: SGDH-01AE Tensión: 200 VCA, Potencia: 0.1kW, Modo de Control: DIG/ANAL | 1 | \$ 857.00 |
| | Controlador MP940 Marca Yaskawa Modelo JEPMC-MC400 | 1 | \$1096.10 |
| | Software Motion Works | 1 | \$2000.00 |
| SEDL1 SEDL2 | Tornillo de Bolas Marca Thomson - Tornillo 7832772-P5 x 60mm de longitud, con maquinados en los extremos para bloques de montaje y una extensión para motor. - Tuerca 7832774 - Bloques soporte | 1 | \$1,215.00 |
| SEUC1 SEES1 | Sistemas de guías lineales basadas en perfiles MK, soportes para guías lineales MK, Perfil MK | 2 | \$400.00 |
| SEUC1 | Rodamientos de bolas de 25 mm | 2 | \$60.00 |
| SEUN1 | Unidad Neumática Expulsora | 1 | \$250.00 |
| SEUC1 | Placa de aluminio maquinada | 2 | \$120.00 |
| Total estimado con base en cotizaciones realizadas durante la realización del proyecto. | | | \$10,118.99 |

Para ver los planos consultar la lista de planos al principio del Anexo (Planos) y revisar con la referencia mencionada en la lista.

4 Cálculos y Selección de Componentes.

4.1 Tornillo de bolas.

En esta sección se presenta la selección y cálculo de Tornillo de Bolas Recirculantes utilizado en SEDL1 (ver lista de planos en Anexo).

Los tornillos de bolas tienen una capacidad de carga muy elevada, mas elevada que un tornillo convencional del mismo diámetro, y no sufren las características de adhesión y deslizamiento de las uniones deslizantes.

La baja fricción de los tornillos de bolas hace que puedan ser impulsados hacia ambas direcciones y, por lo tanto, no son autobloqueantes (se refiere a las situación en la cuál el tornillo no podrá ser girado por la aplicación de cualquier magnitud de fuerza que se aplique axialmente). Por lo tanto para sujetar una carga impulsada por un tornillo de bolas deberá utilizarse un freno o un motor que pueda proveer el torque necesario para sujetar dicha carga.

La selección del tornillo de Bolas se hace simultáneamente con la selección del motor impulsor y se hace de la siguiente manera:

| Nomenclatura | |
|-------------------|--|
| T_B | - Tornillo de bolas |
| V_m | - Velocidad máxima, |
| V_a | - Velocidad Promedio, |
| t_a | - tiempo de ascenso, |
| P | - paso |
| μ | - coeficiente de fricción dinámica, |
| M | - masa, |
| a_g | - aceleración debida a la gravedad, |
| e | - eficiencia del tornillo de bolas, |
| R | - radio del tornillo de bolas, |
| ρ | - densidad del tornillo de bolas, |
| T_{Total} | - Torque total para mover el TB, |
| $T_{Fricción}$ | - Torque debido a la fricción, |
| $T_{Aceleración}$ | - Torque debido a la aceleración |
| T_f | - Torque perdido por fricción en el rodamiento lineal |
| T_c | - Torque debido a la fricción en componentes rotacionales. |
| F | - Carga. |
| J_{Carga} | - Momento de inercia debido a la carga |
| J_{TB} | - Momento de inercia debido al TB |
| J_{Motor} | - Momento de inercia debido al Motor |
| ω | - velocidad angular |
| T_g | - Torque debido a la acción de la gravedad |

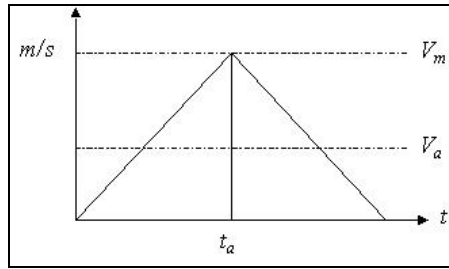


Figura 4-1. Diagrama de movimiento lineal de la tuerca del tornillo de bolas.

En este diagrama tiempo contra velocidad del tornillo suponemos una aceleración constante y debido al tiempo tan corto de la operación en cuanto llega a su velocidad máxima comienza a descender hasta llegar a cero.

Datos.

| | | | |
|-------|-----------------------|--------|-----------------------|
| p | =5mm/ rev (propuesto) | e | =0.9 |
| μ | =0.004 | R | =0.0125 m (propuesto) |
| M | =50kg | ρ | =7750.36 kg/m |
| ag | =9.81m/s ² | | |

Formulario.

$$V_a = L/t$$

$$\text{Ec. 1} \quad V_m = 2V_a \quad \text{Ec. 2}$$

$$t_a = t/2 = 1/2 = 0.5s$$

$$\text{Ec. 3} \quad T_{\text{Total}} = T_{\text{Fricción}} + T_{\text{Aceleración}} \quad \text{Ec. 4}$$

$$T_{\text{Fricción}} = T_f + T_c$$

$$\text{Ec. 5} \quad T_f = \frac{Fp}{2 \cdot \pi \cdot e} \quad \text{Ec. 6}$$

$$F = \mu M a_g$$

$$\text{Ec. 7} \quad T_{\text{Aceleración}} = \left[\frac{J_{\text{Carga}}}{e} + J_{\text{Tornillo de Bolas}} + J_{\text{Motor}} \right] \frac{\omega}{t_a} \quad \text{Ec. 8}$$

$$J_{\text{Carga}} = \frac{Mp^2}{(2\pi)^2}$$

$$\text{Ec. 9} \quad J_{\text{Tornillo de Bolas}} = \frac{\pi L \rho R^4}{2} \quad \text{Ec. 10}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{p}$$

$$\text{Ec. 11}$$

Anexo A1- 3

Operaciones.

| | |
|----|---------------------|
| Va | =0.06m/1s=0.06m/s |
| Vm | =2(0.06m/s)=0.12m/s |
| Ta | =1s/2=0.5s |

$$F = \mu M a_g = 0.004 \cdot 50 \cdot 9.81 = 1,962 \text{ N}$$

$$T_f = \frac{Fp}{2 \cdot \pi \cdot e} = \frac{18.62 \cdot 0.005}{2 \cdot 3.1416 \cdot 0.9} = 1,7347 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_c = 4.52 \times 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m} \text{ (Ref. 3)}$$

$$T_{\text{Fricción}} = T_f + T_c = 1,7347 + 4,52 \times 10^{-2} = 4,69 \times 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$J_{\text{Carga}} = \frac{M p^2}{(2\pi)^2} = \frac{50 \cdot 0.005^2}{(2 \cdot 3.1416)^2} = 3.16 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{\text{Tornillo de Bolas}} = \frac{3.14 \cdot 0.060 \cdot 7750.36 \cdot 0.006^4}{2} = 9 \times 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{\text{Motor}} = 20.5 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \text{ (Ref. 2)}$$

$$\omega = \frac{2\pi V_m}{p} = \frac{2 \cdot 3.1416 \cdot 0.06}{0.005} = 75.3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$T_{\text{Aceleración}} = \left[\frac{3.16 \times 10^{-5}}{0.9} + 9 \times 10^{-7} + 20.5 \times 10^{-4} \right] \frac{75.3}{0.5} = 0.31415 \text{ Nm}$$

$$T_g = 0.143 \cdot 50 \cdot 9.81 \cdot 0.005 = 0.350 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{total}} = 4.69 \times 10^{-2} + 0.31415 \pm 0.350 =$$

$$T_{\text{total1}} = 0.71105 \text{ Nm} \quad \text{(Movimiento hacia arriba)}$$

$$T_{\text{total2}} = 0.01105$$

$$\text{Nm} \quad \text{(Movimiento hacia abajo)}$$

Selección.

El proceso de selección de un tornillo de bolas es iterativo. En este se debe suponer un diámetro de tornillo y un paso, se analizaron otras alternativas sin embargo algunas opciones requerían de un torque mas alto, lo que suponía la selección de un motor de mas potencia, mas caro y con mayor volumen, otras alternativas simplemente no eran factibles. De acuerdo a las suposiciones hechas en los cálculos anteriores el tornillo de bolas tiene 12 mm de diámetro y un paso de 5 mm/rev. La longitud necesaria es de 60 mm. El ensamble consta de un tornillo, una tuerca y dos bloques soporte que se mencionan a continuación, Plano SEDL1 (ver lista de planos en Anexo)

BSPRM012L05M (referencia [4]), A1- 6, A1- 7)

Ensamble que consta de:

- Tornillo 7832772-P5 x 60mm de longitud, con maquinados en los extremos para bloques de montaje y una extensión para motor.
- Tuerca 7832774
- Bloques soporte

4.2 Motor Eléctrico Impulsor del Tornillo de Bolas.

Debido que la selección del Motor Impulsor se hace simultáneamente a la del Tornillo de Bolas en este momento se puede decidir la potencia necesaria para las necesidades de movimiento de la operación de embobinado, plano SEDL1 (ver lista de planos en Anexo).

Los servomotores son capaces de aportar velocidades variables y debido a que funcionan bajo un sistema de lazo cerrado la confiabilidad es bastante alta cuando son utilizados. Como el Tornillo de Bolas no es autobloqueante, es necesario que el motor impulsor sea capaz de soportar el Torque debido a la gravedad T_g , que genera la carga del tonillo. El servomotor es capaz de mantener una velocidad igual a cero mientras aplica el torque. Es por eso que se torna necesario usar un servomotor. El T_{total1} (torque total requerido) es 0.71105 Nm, mientras que el torque T_g (torque debido a la gravedad) es de 0.350 Nm. El T_{total1} se aplica prácticamente instantáneamente, mientras que habrá momentos durante la operación en que se requiera mantener la carga en una posición determinada por más de 3 segundos (tiempo en que se aplica el torque máximo para un motor). El espacio reducido y mínimos componentes es lo que se buscaba en el diseño por eso se decide no usar reductores o embragues. El proveedor expuso también que el motor mientras esté energizado es capaz de soportar las sollicitaciones del tornillo y las cargas. En el caso de una falta de energía el dispositivo llamado Unidad Neumática de Expulsión detendrá las cargas a las que está sometido tornillo hasta que se reestablezca la energía.

Gracias a esos criterios podemos decir que el siguiente motor es el adecuado para la realización del movimiento requerido.

Selección.

Motor marca Yaskawa SGMAH-04, para mas detalles Apéndice A1- 8

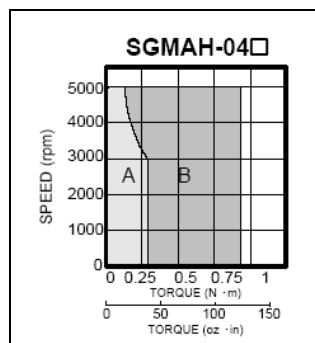


Figura 4-2. Diagrama Torque - Velocidad (SGMAH-04).

4.3 Motor Eléctrico Conformador.

El proceso de conformado de la bobina requiere que mediante una herramienta se doble el alambre de sección rectangular sobre el borde mas pequeño. Para lograrlo se realiza el análisis siguiente con la finalidad de conocer el torque necesario para doblar o conformar la espiral de la bobina. Una vez determinado dicho torque se decidirá si es necesario utilizar una transmisión o si es posible conectar directamente el motor a la herramienta conformadora (mandril). Plano SEUC1 (ver lista de planos en Anexo).

4.3.1 Análisis Teórico.

Para el cálculo de par (deformaciones plásticas y esfuerzo de cedencia para secciones transversales rectangulares) requerido para el conformado de la espiral de la bobina se recurrió a la expresión que se muestra a continuación (referencia [6]). Figura 4.4.

$$M_p = \frac{1}{4} \sigma_y w h^2 \quad (10)$$

Nomenclatura.

| | | | |
|------------|---|-----|-----------------------------------|
| M_p | - Momento flexionante req. (kgf m) | w | - Ancho de la pieza a doblar (mm) |
| σ_y | - Esfuerzo de cedencia (kgf/mm ²) | h | - Alto de la pieza a doblar (mm) |

Datos.

| | |
|----------------------|-------------------------------------|
| $h = 7.3 \text{ mm}$ | $\sigma_y = 30.92 \text{ kgf/mm}^2$ |
| $w = 3.5 \text{ mm}$ | |

Cálculos.

$$M_p = \frac{1}{4} \left(30.92 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \right) (3.5 \text{ mm})(7.3 \text{ mm})^2$$

Resultados.

$$M_p = 14.11 \text{ Nm}$$

4.3.2 Análisis Práctico.

Se realizó una medición con base en un dispositivo con las dimensiones necesarias para conformar un alambre según las especificaciones. Se montó un cilindro en un

torno convencional y al ser girado, el alambre lo envuelve para formar la curvatura requerida. El giro se hizo usando un torquímetro. Se hizo una medición sin carga la cual se resto al torque medido. Con esto calculamos el torque necesario para formar la curvatura de diámetro 25 mm. Las mediciones se muestran en la Tabla 4-1.

Los dos análisis concuerdan. Las mediciones llevan a pensar que el Torque necesario para conformar la Bobina puede ser proporcionado por un Servomotor directamente acoplado a la herramienta o mandril. Si se quisiera usar un Motor de menor Potencia con una transmisión que la aumentara, se tendría que utilizar mas espacio en el mecanismo. Esto no es conveniente para la aplicación que se desea.

Tabla 4-1. Mediciones del torque requerido para conformado.

| Torque a vencer | | |
|-----------------|---------------------|------------------------|
| | a | 19.6 N m |
| Num. Probeta | Torque medido (N m) | Torque requerido (N m) |
| 1 | 34.3 | 14.7 |
| 2 | 39.2 | 19.6 |
| 3 | 32.3 | 12.7 |
| 4 | 37.2 | 17.6 |
| 5 | 29.4 | 9.8 |
| 6 | 29.4 | 9.8 |
| 7 | 31.4 | 11.8 |
| 8 | 33.3 | 13.7 |
| 9 | 38.2 | 18.6 |
| 10 | 32.3 | 12.7 |
| Promedio | 33.9 | 14.1 |
| Teórico | | 14.11 |

Selección.

Motor Yaskawa SGMGH - 13, para mas detalles Apéndice A1- 10

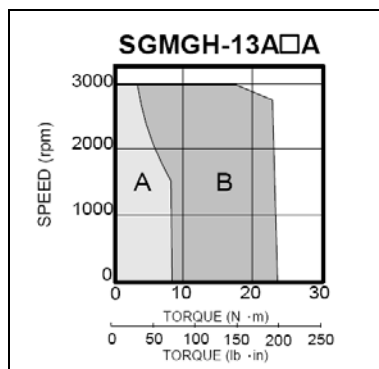


Figura 4-3. Diagrama Torque - Velocidad (SGMAH-04).

4.4 Guías Lineales y Perfil de Aluminio como Elemento Estructural.

A este momento se ha seleccionado parte de un sistema que puede proporcionar un alto nivel de exactitud. La carga debe ser guiada de una forma que también asegure un posicionamiento preciso. Las guías de movimiento lineal basadas en perfiles de aluminio ofrecen posicionamiento con precisión suficiente para la aplicación del servomecanismo. El perfil de aluminio, además de ser base del uso de las guías de movimiento lineal, servirá como elemento estructural que dará soporte al Tornillo de Bolas y al Motor Impulsor de éste. Plano SEES1 (ver lista de planos en Anexo).

Selección.

Perfil mk 51.04.600 (Anexo A1- 11)

Carril Guía KU 25.10 con elementos de Fijación B51.05.404 (Anexo A1- 12)

Carro Guía KU 25.13 A1- 12

4.5 Rodamiento.

Los rodamientos generalmente consisten de dos anillos, elementos de rodadura y una jaula, y están clasificados en rodamientos radiales y rodamientos de empuje dependiendo de la dirección de la carga principal. Adicionalmente, y dependiendo de los elementos de rodadura, están clasificados en rodamientos de bolas o de rodillos, estando éstos a su vez divididos por diferencia de diseño o aplicación específica. Plano SEUC1 (ver lista de planos en Anexo).

4.5.1 Análisis Para Selección Del Rodamiento.

1.- $T = 14.1 \text{ Nm}$

2.- La fuerza tangencial sobre la herramienta se determina a partir del par de torsión y de su radio.

$F_x = T/r = 14.1 \text{ N-m} / 0.0125 \text{ m} = 1128 \text{ N}$

La fuerza normal a la herramienta se determinó utilizando un experimento en la máquina Instron. De la siguiente manera por inversión de movimiento.

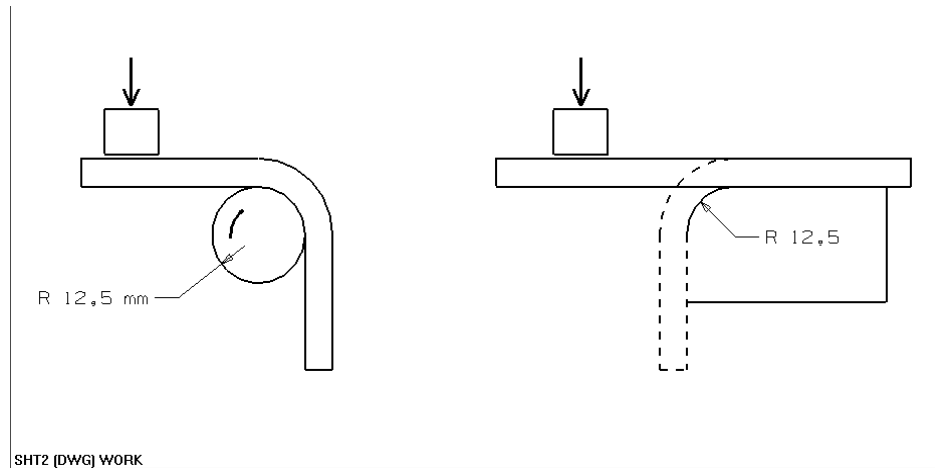


Figura 4-4. Ilustración de la Inversión de Movimiento.

El resultado obtenido fue de una fuerza en la dirección del eje Z con un valor de 491.9 N.

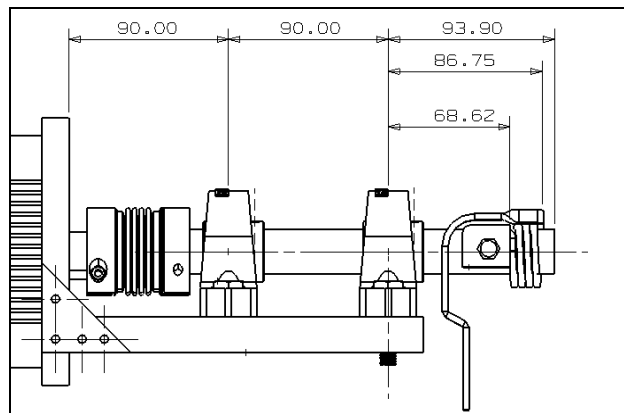


Figura 4-5. Diagrama de la disposición de la herramienta y los rodamientos.

De aquí se parte para definir los diagramas de cuerpo libre y el análisis estático de fuerzas y momentos flexionantes mostrados en la figura 4-6.

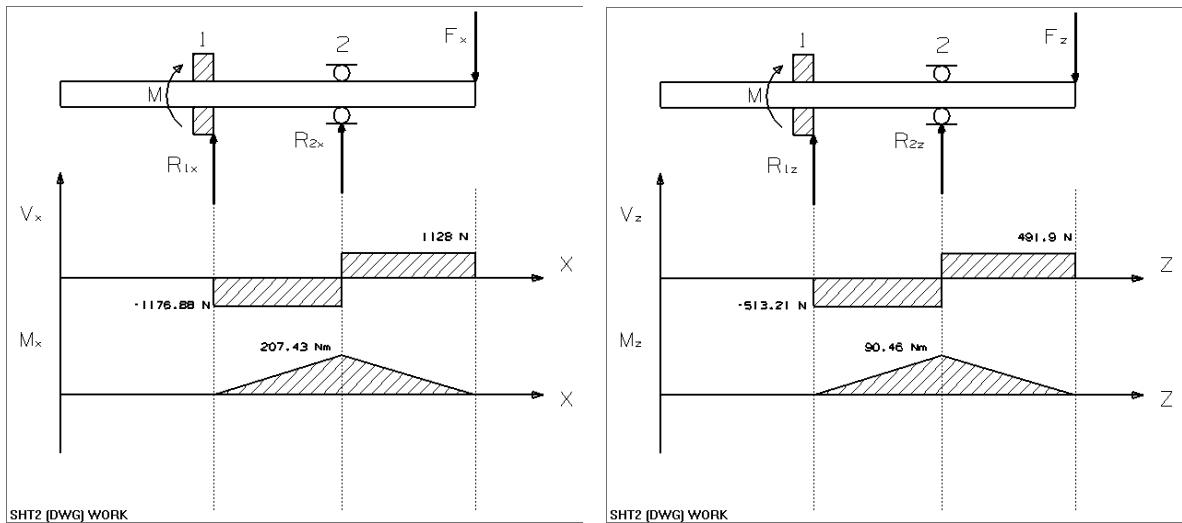


Figura 4-6. Diagramas de cortante y momento para el análisis de fuerzas de la herramienta.

3.-

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_{1x} + R_{2x} - 1128 = 0$$

$$R_{1x} = 1128 - 2304.88 = -1176.88$$

$$\Sigma M_1 = 0$$

$$R_{2x}(90) - 1128(90 + 93.9) = 0$$

$$R_{2x} = 2304.88$$

$$\Sigma M_2 = 0$$

$$M + 1176.88(90) - 1128(93.9) = 0$$

$$M = 0$$

$$\Sigma F_z = 0$$

$$R_{1z} + R_{2z} - 491.9 = 0$$

$$R_{1z} = 491.9 - 1005.11 = -513.21$$

$$\Sigma M_1 = 0$$

$$R_{2z}(90) - 491.9(90 + 93.9) = 0$$

$$R_{2z} = 1005.1156$$

$$\Sigma M_2 = 0$$

$$M + 513.21(90) - 491.9(93.9) = 0$$

$$M = 0$$

La Fuerza por Cortante Máxima V_m y el Momento de Flexión Máximo se puede calcular de la siguiente forma.

$$V_m = ((V_{mx})^2 + (V_{mz})^2)^{1/2} = ((-1176.88)^2 + (-513.21)^2)^{1/2} = 1283.91 \text{ N}$$

$$M_m = ((M_{mx})^2 + (M_{mz})^2)^{1/2} = ((207.43)^2 + (90.46)^2)^{1/2} = 226.29 \text{ Nm}$$

Selección

El diámetro interior de la bobina es de 25 mm por lo que la herramienta debe tener el mismo diámetro. Por lo tanto los diámetros del rodamiento deben ser de 25 mm en este caso se escogen dos rodamientos del tipo:

SKF

Según podemos apreciar en la tabla (Apéndice A1- 14) el rodamiento soporta fácilmente los sometimientos del análisis anterior.

En cuanto a la instalación es preciso mencionar que uno de los rodamientos será ajustado a la flecha, el otro quedará libre permitiendo así el desplazamiento lineal de la flecha.

4.6 *Coples Flexibles.*

El uso de coples flexibles es adecuado cuando se conectan servomotores directamente a una flecha o a un tornillo de bolas, esto debido a que permiten cierto desalineamiento axial, radial y angular. Los coples flexibles utilizados se seleccionaron basados en dos criterios, la geometría y el torque que transmiten.

1. El Cople BKL 0004 fue seleccionado para transmitir movimiento del servomotor al tornillo de bolas seleccionado.

El diámetro de la flecha del motor es de 8 mm y el del tornillo de bolas es de 9.7 mm el cople se ajusta fácilmente.

El torque requerido de transmisión es de 0.71 Nm de acuerdo a la tabla A1- 15.

2. El cople BKL 0015 fue seleccionado para transmitir movimiento del servomotor a la herramienta de una forma directa.

El diámetro de la flecha del motor es de 22 mm y el de la herramienta es de 25 por lo que el cople se puede ajustar a esos diámetros. La distancia entre ejes también se ajusta para que el cople pueda funcionar de manera adecuada.

El torque requerido es de 14.1 Nm de acuerdo a la tabla de A1- 15.

5 Sistema de Inspección y Corrección de Programación

El proceso que tiene la Máquina Conformadora es susceptible de proveer piezas con variaciones en sus dimensiones debido a varios factores como el hecho de que el material puede no tener las mismas propiedades mecánicas en cada lote, el desgaste de la herramienta o la calibración de la máquina después de varios turnos.

Las máquinas, por lo regular, son operadas por personas cuyas habilidades son manuales propiamente. Pensando en esto, no se puede exigir operadores que tengan la capacitación necesaria para calibrar la máquina de manera directa, por ejemplo, alterando el programa que controla el sistema de servomotores. Debido a esto el servomecanismo está diseñado de tal forma que de acuerdo a las variaciones dimensionales en una pieza conformada (bobina) en la máquina, se puedan cambiar parámetros de una manera muy simple. A continuación se presentan los criterios considerados para el logro de un servomecanismo flexible de fácil ajuste para cambios en las dimensiones del producto.

5.1 *Inspección de la bobina.*

El uso de servomotores permite una gran facilidad para calibrar el dispositivo en un tiempo mínimo lo cual es de gran interés cuando se maneja una tasa de producción de 80000 piezas al mes. Si contamos con que se produce una pieza en 25 segundos aproximadamente, no podemos afirmar que el proceso será repetible y estable durante todo el periodo productivo de la máquina. Factores como el deterioro de las herramientas, la variación en las propiedades del material en cada uno de los lotes pueden alterar las dimensiones finales de la pieza fabricada. Pensando en esto y enfocando la atención a la supervisión del proceso de embobinado, se ha decidido hacer uso de un patrón que permita hacer una revisión frecuente de las dimensiones de la pieza con lo que se podrán detectar las variaciones en las cotas a controlar. El operador puede modificar de manera directa en una pantalla de la línea de producción los parámetros del servomecanismo si es que así fuera necesario. Para poder definir si existe alguna diferencia entre las dimensiones finales del producto y las especificaciones dadas en el plano del producto debemos de hacer una inspección en las cotas que se tienen que controlar. Es por eso que se desarrolló un patrón para revisar las dimensiones del producto. Una vez que se ha revisado la bobina se puede entonces definir si existe un error en el producto. En el dado caso que exista éste, se describen las acciones necesarias a tomar para que se corrija inmediatamente.

5.1.1 *Procedimiento de Inspección de la Bobina.*

1. Colocar la pieza de acuerdo a la Figura 5-1

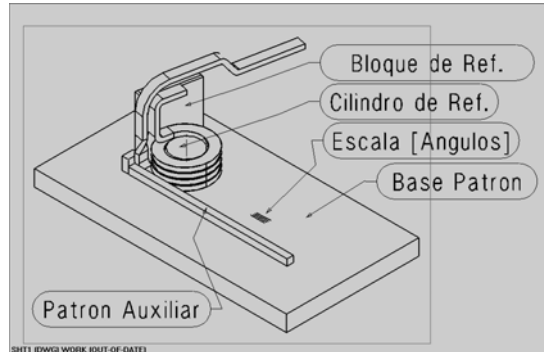


Figura 5-1. Posición de la pieza en el patrón

2. Realizar la medición entre espiras. El resultado debe ser de $0.75 \text{ mm } +/-0.15$ Y está es la cota 1, [Figura 5-2].

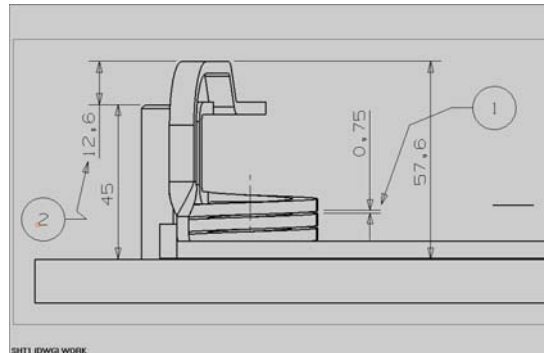


Figura 5-2. Medición de Cotas 1 y 2

3. Medir de canto con el calibrador la cota 2, [Figura 5-2].

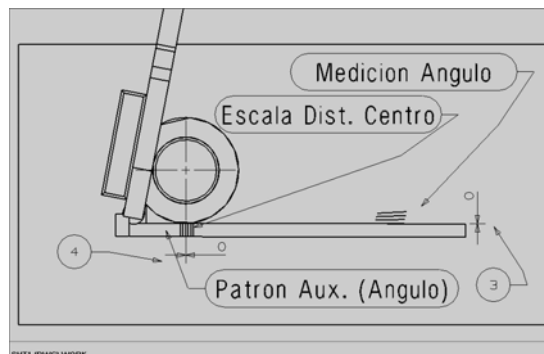


Figura 5-3. Medición de Cota 3y 4

4. Colocar el patrón auxiliar y tomar la lectura del ángulo obtenido. Cota 3.[Figura 5-3]

5. Tomar la lectura de la distancia de la cota 4 [Figura 5-3]
6. Reportar variaciones si es que existen.

Si se encuentra alguna variación indica que el proceso se ha alterado. En este caso debemos de tomar las acciones correctivas detalladas en la siguiente parte.

Tabla 5-1. *Captura de datos en tabla de cotas críticas*

| Pieza No. | Cota 1 | Cota 2 | Cota 3 | Cota 4 |
|-----------|--------------------------|--------------------------|----------|-------------------------|
| | 0.75 +/- 0.15 [mm] | 12.6 +/- 0.15 [mm] | 0° +/-2° | 0.0 +/- 0.15 [mm] |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

5.1.2 *Calibración del Servomecanismo mediante la variación de los Parámetros en la Programación.*

En esta sección se describe cómo el operador de la línea modifica los parámetros del servomecanismo de acuerdo a las cotas capturadas. El programa que se ha realizado para llevar a cabo la secuencia de los motores es el mismo para los dos ya que uno funciona como esclavo y el otro como maestro. Mediante un engranaje electrónico se podrán mover los dos motores con un solo controlador. Este programa se puede modificar si se modifican sus parámetros y en caso de que haya una variación en el proceso

El procedimiento para modificación de los parámetros se realizará modificando los íconos siguientes A1, A2 y A3 que son los encargados de realizar el ascenso del dispositivo.

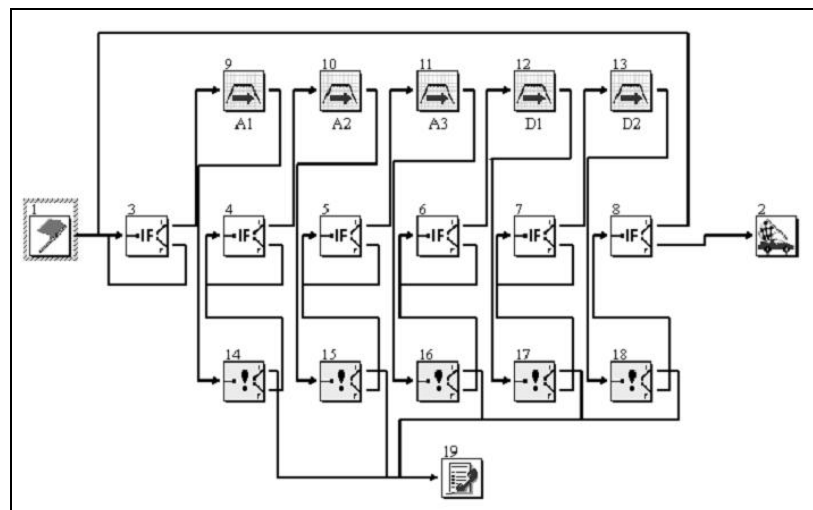


Figura 5-4. Programación de los Servomotores en Motion Works.

El procedimiento para modificación de los parámetros se realizará modificando los íconos A1, A2 y A3 de la figura 5-4 que son los encargados de realizar el ascenso del dispositivo.

a) Para A1 el número de revoluciones que indica el proceso son 1.9225 que es el dato que se usa para la programación. Esto equivale a un recorrido de 151 mm. Si llegará a estar mal calibrado se tendrá que hacer la corrección

b) Para A2 el número de revoluciones que indica el proceso son 0.7002. Equivale a 55 mm de recorrido.

c) Para A3 el número de revoluciones que indica el proceso son 1.0949. Equivale a 86 mm de recorrido.

En este caso las mediciones se hacen en milímetros y es la lectura que el operador obtendrá de la medición con el patrón, por lo tanto el error en mm se convertirá en número de revoluciones mediante la siguiente formula

$$n_x = \frac{mm}{\pi \cdot 25}$$

Donde,

n_x es el número de revoluciones a compensar.

mm es la distancia de variación a las medidas originales. Se deben de seguir los siguientes pasos.

1. Detectar las variables fuera de especificaciones.
2. Abrir el programa usado para programar los movimientos del servomecanismo en cuál estará en línea con el controlador.
3. Si los valores de la variación son mayores a los del rango de la Tabla 5-2, se procede dar aviso al departamento de ingeniería de la planta para revisar el problema.
4. Si la variación está dentro del rango de la tabla correspondiente a cada cota se corrige de acuerdo a los valores dados en dicha tabla. Dando doble clic sobre el Icono aparece una ventana de dialogo y dependiendo la variación se procederá de la siguiente manera:
 - a) Si el error está en la cota 1 se tiene que cambiar la relación de engranaje electrónico según la Tabla 5-2.
 - b) Si el error está en la cota 2 se modifica el icono 1 según la Tabla 5-2.
 - c) Si el error está en la cota 3 se modifica el icono 3 según la Tabla 5-2.
 - d) Si el error está en la cota 4 se modifica el icono 2 según la Tabla 5-2.

La modificación se hará en un cuadro de diálogo que se encuentra en la pantalla que el operador tendrá en la línea de conformado y es como el de la figura

| Properties - 001 | |
|-------------------|----------|
| 9 (Move Axis) | |
| (ID) | 9 |
| Label | |
| Type | Absolute |
| Acceleration | 0.006 |
| Deceleration | 0.006 |
| Velocity | 0.006 |
| Position | 1.9225 |
| WaitForCompletion | True |

Figura 5-5. Ventana que muestra los parámetros modificables.

Tabla 5-2. Lecturas y correcciones para las cotas críticas.

| Cota 1 | Lectura | Corrección | Cota 2 | Lectura | Corrección | Cota 3 | Lectura | Corrección | Cota 4 | Lectura | Corrección |
|--------|---------|------------|--------|---------|------------|--------|---------|------------|--------|---------|------------|
| | [mm] | [rev] | | [mm] | [rev] | | [°] | [rev] | | [mm] | [rev] |
| | 0.55 | 0.04000 | | 12.1 | -0.06366 | | 5 | 0.08727 | | -5 | -0.06366 |
| | 0.59 | 0.03200 | | 12.2 | -0.05093 | | 4 | 0.06981 | | -4 | -0.05093 |
| | 0.63 | 0.02400 | | 12.3 | -0.03820 | | 3 | 0.05236 | | -3 | -0.03820 |
| | 0.67 | 0.01600 | | 12.4 | -0.02546 | | 2 | 0.03491 | | -2 | -0.02546 |
| | 0.71 | 0.00800 | | 12.5 | -0.01273 | | 1 | 0.01745 | | -1 | -0.01273 |
| | 0.75 | 0.00000 | | 12.6 | 0.00000 | | 0 | 0.00000 | | 0 | 0.00000 |
| | 0.79 | -0.00800 | | 12.7 | 0.01273 | | -1 | -0.01745 | | 1 | 0.01273 |
| | 0.83 | -0.01600 | | 12.8 | 0.02546 | | -2 | -0.03491 | | 2 | 0.02546 |
| | 0.87 | -0.02400 | | 12.9 | 0.03820 | | -3 | -0.05236 | | 3 | 0.03820 |
| | 0.91 | -0.03200 | | 13.0 | 0.05093 | | -4 | -0.06981 | | 4 | 0.05093 |
| | 0.95 | -0.04000 | | 13.1 | 0.06366 | | -5 | -0.08727 | | 5 | 0.06366 |

La corrección no se resta o suma, simplemente se escribe tal cuál según haya habido una variación.

CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO.

5.2 *Conclusiones.*

Se configuró un cabezal embobinador (Plano EG1 Pág 45) el cuál fue presentado a los ingenieros responsables del proyecto en la empresa. Debido a que actualmente el equipo de trabajo se encuentra todavía en la etapa de construcción del cabezal es posible concluir lo siguiente.

- La utilización de un par de servomotores para el movimiento lineal del eje Z y rotatorio en el mismo eje, permite simplificar el diseño del resto de los cabezales de la máquina conformadora ya que es posible deformar y enrollar el alambre de una forma progresiva y controlada. El doblar de las espiras con un ángulo preciso, deteniendo el proceso de enrollado cuando es conveniente permite producir bobinas con tolerancias dimensionales cerradas. La desventaja en el uso de los servomotores es el costo. Aunque es preciso señalar que cuando se presentó la configuración al Cliente le pareció una buena opción aún sabiendo un costo estimado hasta ese momento.

- La utilización de un tornillo de bolas era necesario ya que junto con el servomotor que lo hace girar para realizar el desplazamiento forman una unidad de desplazamiento lineal que da al mecanismo una precisión adecuada. El montaje y su manejo son delicados. El costo también es alto en este caso.

- La arquitectura final que se presenta en esta tesis está proyectada sobre un área estrecha sobre la mesa. El motor conformador está acoplado directamente a la herramienta para evitar el uso de una transmisión y así simplificar el mecanismo y ahorrar espacio. El motor impulsor del tornillo de bolas recirculantes se encuentra oculto lo que le da mejor estética. El perfil de aluminio que se usa como parte de la estructura es de fácil ensamble así como el carro y carril guía que son componentes compatibles a éste.

- La desventaja de esta configuración es que el motor se encuentra en una altura sobre la mesa mayor a la del resto de los componentes de la Máquina Conformadora de Bobinas Eléctricas. La otra desventaja es que se tiene que perforar la mesa a una distancia específica de cada componente, así que si se quisiera modificar la Máquina Conformadora de Bobinas Eléctricas para otro producto diferente, se tendría que adquirir una nueva mesa.

Los componentes escogidos para la automatización del proceso como los servomotores y su control, el tornillo de bolas y los elementos estructurales de aluminio son de vanguardia facilitando así la labor del diseñador, permitiendo que el mecanismo mantenga una versatilidad y flexibilidad para desarrollar otros procesos similares.

El flujo del material en el proceso completo de la Máquina Conformadora de Bobinas Eléctricas de manera progresiva es el ideal para acortar tiempos ya que se puede iniciar un ciclo sin haber terminado el anterior, el Servomecanismo Embobinador es de gran utilidad para este propósito.

5.3 *Trabajo a Futuro*

Se tiene que crear un sistema de inspección que pueda ser de fácil operación y en poco tiempo, de esta manera se asegura que la máquina esté funcionando en óptimas condiciones toda la jornada laboral.

Se propone diseñar un componente para el cambio rápido de la herramienta para cambiar de un proceso a otro en un tiempo menor al actual, dicho tiempo no es mencionado en la tesis porque no es parte del alcance.

ANEXO (Figuras).

| | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Material de Fabricación | Aleación de cobre C11000 | |
| | Composición química | 99.9% Cobre 0.04% Oxígeno |
| Propiedades mecánicas del material: | Esfuerzo último a la tensión: | 26-38 Ksi |
| | Módulo de elasticidad | 17x10 ⁶ Psi |
| | Dureza: | 87 Rockwell F |
| | Elongación (% en 2 in) | 10 |

A1- 1. Propiedades del material del alambre.

| Values of T _c † | | |
|-------------------------------|---|--------------------------|
| Ball Screw Dia. x Lead | System | T _c (oz.-in.) |
| 12 mm x 5 mm .500" x .200" | 2AB08, 2AC08, 2CB08, 2CC08, 2DB12, 2DC12, 2EB08, 2EC08, BSA08 | 6.4 |
| 20 mm x 5 mm .750" x .200" | 2AB12, 2AC12, 2CB16, 2CC16, 2DB16, 2DC16, 2EB12, 2EC12, BSA12 | 9.6 |
| 16 mm x 5 mm .500" x .500" | 2CB12, 2CC12 | 8.5 |
| 20 mm x 20 mm 1" x 1" | 2BA08, 2AC08, 2EB08, 2EC08, BSA08 | 7.2 |
| 1" x 1" | 2AB12, 2AC12, 2EB12, 2EC12 | 10.0 |
| 1" x 1" | 2AB16, 2AC16, 2EB16, 2EC16, BSA16 | 12.8 |
| 1½" x 1" | 2AB24, 2AC24, 2EB24, 2EC24, BSA24 | 19.2 |

A1- 2. Valores del Torque requerido para el tornillo de bolas.

Vertical Application

Need to determine if enough motor torque is available for each move in each direction.

Downward Move:

$$T_{\text{Total}} = T_{\text{Friction}} + T_{\text{Acceleration}} - T_g \dots \dots \dots (\text{oz-in})$$

Upward Move:

$$T_{\text{Total}} = T_{\text{Friction}} + T_{\text{Acceleration}} + T_g \dots \dots \dots (\text{oz-in})$$

$$T_{\text{Friction}} = T_f + T_c \dots \dots \dots (\text{oz-in})$$

$$T_f = \frac{FP}{2\pi e} \dots \dots \dots (\text{oz-in})$$

$$F = \mu Ma_g \dots \dots \dots (\text{oz})$$

$$T_{\text{Acceleration}} = \left[\frac{J_{\text{Load}}}{e} + J_{\text{Ball Screw}} + J_{\text{Motor}} \right] \omega \ddot{t}_a \dots \dots \dots (\text{oz-in})$$

$$J_{\text{Load}} = \frac{Mp^2}{(2\pi)^2} \dots \dots \dots (\text{oz}\cdot\text{in}\cdot\text{s}^2)$$

$$J_{\text{Ball Screw}} = \frac{\pi L \rho R^4}{2} \dots \dots \dots (\text{oz}\cdot\text{in}\cdot\text{s}^2)$$

$$J_{\text{Motor}} \text{ (see page 91)} \dots \dots \dots (\text{oz}\cdot\text{in}\cdot\text{s}^2)$$

$$\omega = \frac{2\pi V_m}{p} \dots \dots \dots (\text{rad/s})$$

$$T_g = .143Ma_gp \dots \dots \dots (\text{oz-in})$$

† Values of T_c are provided for calculation purposes. Measured values of T_c will vary with radical bearing and ball nut preload.

A1- 3. Fórmulas para calcular el torque requerido para el tornillo de bolas.

| Nominal Dia. (mm) | Lead (mm) | Direction | Screw Part Number | Root Diameter (mm) | Maximum Lengths Available (mm) | Use with these ball nuts | | Weight (kg/m) | Use with these Mounting Blocks | |
|----------------------|--------------|-----------|----------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------|------------------|-----------------------------------|---------|
| | | | | | | ZG | FS | | | |
| 12 | 4 | RH | 7832770-T5 | 9.7 | 3000 | 7832771 | | 0.7 | 7829546 | |
| 12 | 5 | RH | 7832772-T5 | 9.0 | 3000 | 7832774 | 7832775 | 0.7 | 7829546 | |
| 16 | 5 | RH | 7832776-T5 | 12.7 | 3000 | 7832778 | | 1.2 | 7829547 | |
| 20 | 5 | RH | 7832779-T5 | 16.7 | 4000 | 7832781 | 7832782 | 2.0 | 7829548 | |
| 20 | 20 | RH | 7832783-T5 | 16.7 | 4000 | | 7832786 | 1.9 | 7829548 | |
| 32 | | | | | | | | | | |
| Nominal Dia. (mm) | Lead (mm) | Direction | Screw Part Number | Root Diameter (mm) | Maximum Lengths Available (mm) | Use with these ball nuts | | Weight (kg/m) | Use with these Mounting Blocks | |
| | | | | | | ZG | FS | | | |
| 12 | 4 | RH | 7832770-T5 | 9.7 | 3000 | 7832771 | | 0.7 | 7829546 | |
| 40 | 12 | 5 | RH | 7832772-T5 | 9.0 | 3000 | 7832774 | 7832775 | 0.7 | 7829546 |
| 10 | | RH | 7832808-T5 | 34.0 | 6000 | 7832810 | | 8.3 | 7829551 | |
| 20 | | RH | 7832811-T5 | 35.2 | 6000 | | 7832813 | 7.6 | 7829551 | |
| 40 | | RH | 7832814-T5 | 34.0 | 6000 | | 7832816 | 8.4 | 7829551 | |
| 50 | 10 | RH | 7832817-T5 | 43.0 | 6000 | 7832819 | | 13.5 | 7829552 | |
| | 20 | RH | 7832820-T5 | 44.6 | 6000 | | | 13.6 | 7829552 | |
| 63 | 10 | RH | 7832822-T7* | 56.9 | 6000 | 7832824 | | 22.0 | 7829553 | |
| | 20 | RH | 7832828-T7* | 56.9 | 6000 | | | 22.0 | 7829553 | |
| 80 | 10 | RH | 7832827-T7* | 73.9 | 6000 | 7832829 | | 36.4 | | |

* Note: Customer to verify bearings are sufficient for application
Alternate lengths available on request (consult factory)
1 T-7 Accuracy only

A1- 4. Datos para la selección del tornillo de bolas 1.

| Dimensional Specifications for Ball Screw nuts with Threaded Ball Nuts | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|---------------------|-------------|----------|-----------|---------|----------|----------|----------|------------|---------|-------------|
| Nom. Diam. | Lead | Nut Type | Nut Dimensions (mm) | | | | | | | | | | |
| d_0 | P_{ho} | | D_1 | D_{11} | D_{12} | D_{13} | L | L_{11} | L_{12} | L_{13} | Nut Weight | | Ball Ø (Dw) |
| [mm] | [mm] | | h_{12} | | | ± 0.1 | ± 1 | -0.5 | ± 2 | ± 2 | [kg/m] | [lb/ft] | [mm] |
| 12 | 4 | ZG | 25.5 | M 20 x 1.0 | 3.2 | - | 34 | 10 | 12.0 | - | 0.1 | 0.22 | 1.984 |
| 12 | 5 | ZG | 25.5 | M 20 x 1.0 | 3.2 | - | 34 | 10 | 12.0 | - | 0.1 | 0.22 | 1.984 |
| 16 | 5 | ZG | 32 | M 30 x 1.5 | M 6 x 1 | 4 | 57.5 | 16.5 | 10.5 | 22.0 | 0.22 | 0.49 | 3.500 |
| 20 | 5 | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 5 | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 10 | | | | | | | | | | | | |
| 32 | 5 | | | | | | | | | | | | |
| 32 | 10 | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 5 | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 10 | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 10 | | | | | | | | | | | | |
| 63 | 10 | | | | | | | | | | | | |
| 80 | 10 | ZG | 120 | M 110 x 2.0 | M 8 x 1 | 8 | 126 | 34 | 15.5 | 53.0 | 4.9 | 10.8 | 7.144 |

A1- 5. Datos para la selección del tornillo de bolas 2.

| Part No. | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | M | N | P | R | Locknut |
|----------|-------|------|-----|-------|-----|-----|-------|-------|-------|----------------|---|--|-------|-----|-----------|-----------|
| 7829546 | 25.5 | 35 | 70 | 14.25 | — | 31 | 35 | 25.4 | 35 | 25.4 | 51 4 Holes | 5.08 Dia. Ø12.5 C-Bore x 14 DP 2 Holes | Ø 8 | — | 17.53 | M8 x 1.25 |
| 7829547 | 28.5 | 38 | 76 | 17 | — | 34 | 41 | 28.58 | 39 | 25.4 | 46 | 7.14 Dia. Ø13.5 C-Bore x 14 DP 2 Holes | Ø10.3 | 5 | 15.88 | M8 x 1.25 |
| 7829550 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 7829551 | 60.25 | 82.5 | 165 | 28 | — | 52 | 58 | 60.33 | 51 | 47.63 | 92 4 Holes | 16.66 Ø 25 C-Bore x 10 DP 2 Holes | Ø 23 | 1.0 | 25.4 | M8 x 1.25 |
| 7829552 | 74.5 | 96 | 192 | 41.5 | 80 | 96 | 74.60 | 76 | 57.15 | 108 4 Holes | 16.66 Ø 25 C-Bore x 10 DP 2 Holes | Ø 23 | 1.2 | 38 | M8 x 1.25 | |
| 7829553 | 90.5 | 115 | 230 | 53.5 | 113 | 130 | 90.56 | 92 | 71.45 | 140 6 Holes | 15.24 Ø 41 C-Bore x 9 | Ø 26 | 2.5 | 46 | M8 x 1.25 | |

A1- 6. Datos para la selección de los soportes del tornillo de bolas.

| System Voltage | MOTORS SGMAH- | Moment of Inertia | | | | Holding Brake (at 20°C) | | | | Allowable Load Inertia |
|--------------------|---------------|---|---|---|---|-------------------------|--------|-----------------|---------------|------------------------|
| | | Motor without Brake | | Motor with Brake | | Capacity | Torque | Coil Resistance | Rated Current | |
| | | oz • in • s ² × 10 ⁻³ | kg _f • m ² × 10 ⁻⁴ | oz • in • s ² × 10 ⁻³ | kg _f • m ² × 10 ⁻⁴ | W | N • m | Ω | A | |
| 100V _{ac} | A3□ | 0.235 | 0.0166 | 0.355 | 0.251 | 6 | 2.0 | 96 | 0.25 | 0.63 |
| | A5□ | 0.312 | 0.0220 | 0.432 | 0.0305 | 6 | 2.0 | 96 | 0.25 | 0.78 |
| | 01□ | 0.515 | 0.0364 | 0.635 | 0.0449 | 6 | 3.5 | 96 | 0.25 | 1.20 |
| | 02□ | 1.50 | 0.106 | 2.321 | 0.164 | 6.5 | 15 | 89 | 0.27 | 3.69 |
| 200V _{ac} | A3□ | 0.235 | 0.0166 | 0.355 | 0.0251 | 6 | 2.0 | 96 | 0.25 | 0.63 |
| | A5□ | 0.312 | 0.0220 | 0.432 | 0.0305 | 6 | 2.0 | 96 | 0.25 | 0.78 |
| | 01□ | 0.515 | 0.0364 | 0.635 | 0.0449 | 6 | 3.5 | 96 | 0.25 | 1.20 |
| | 02□ | 1.50 | 0.106 | 2.321 | 0.164 | 6.5 | 15 | 89 | 0.27 | 3.69 |
| | 04□ | 2.45 | 0.173 | 3.271 | 0.231 | 6.5 | 15 | 89 | 0.27 | 3.82 |
| | 08□ | 9.52 | 0.671 | 11.5 | 0.811 | 6 | 25 | 96 | 0.25 | 13.4 |

- * Values apply to motors without brake.
- J_L (allowable load inertia) shows the range requiring no exterior regenerative unit. When these values are exceeded, application may be restricted or a regenerative unit may be required.

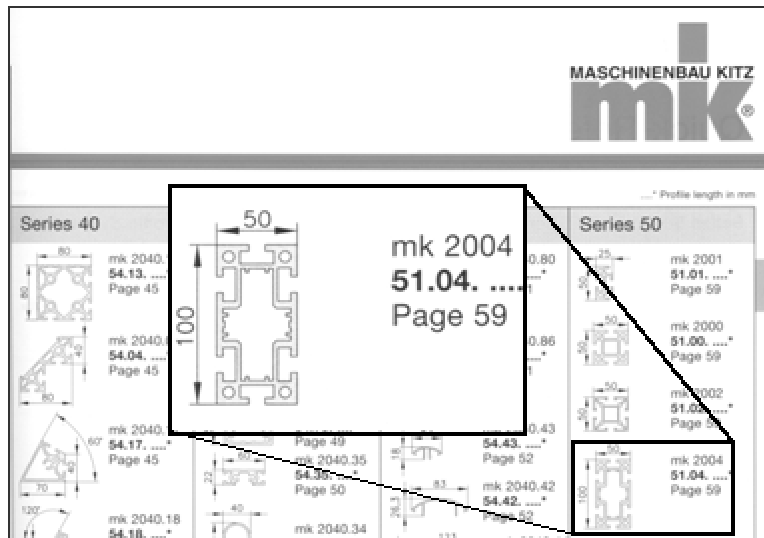
A1- 7. Tabla para la selección de servomotores de la serie SGMAH de la marca Yaskwa.

| MOTORS: SGMGH- | Rated Output* | Rated Torque* | | Instantaneous Peak Torque* | | Rated Current* | Instantaneous Maximum Current* |
|-------------------|---------------|---------------|---|----------------------------|---|------------------|--------------------------------|
| | kW (hp) | N·m | lb _f ·in (kg _f ·cm) | N·m | lb _f ·in (kg _f ·cm) | A _{rms} | A _{ms} |
| 05A□A | 0.45 (0.6) | 2.84 | 25 (29) | 8.92 | 79 (91) | 3.8 | 11 |
| 09A□A | 0.85 (1.1) | 5.39 | 48 (55) | 13.8 | 122 (141) | 7.1 | 17 |
| 13A□A | 1.3 (1.7) | 8.34 | 74 (85) | 23.3 | 207 (238) | 10.7 | 28 |

A1- 8. Tabla para la selección de servomotores de la serie SGMAH de la marca Yaskwa.

| MOTORS SGMGH- | Torque Constant $\frac{lb_f \cdot in}{A_{rms}}$ $\left(\frac{N \cdot m}{A_{rms}}\right)$ | Moment of inertia $lb \cdot in \cdot s^2$ $\times 10^{-3}$ $kg \cdot m^2$ $\times 10^{-4}$ | | Holding Brake (at 20°C) | | | | | Allowable Load Inertia $kg \cdot m^2$ $\times 10^{-4}$ | Rated Power Rate ^a kW/s | Rated Angular Acceleration ^a rad/s ² | Inertia Time Constant ms | Inductive Time Constant ms |
|------------------|--|---|------|-------------------------|--------|-----------------|---------------|-----------------------------------|--|---------------------------------------|---|-----------------------------|-------------------------------|
| | | | | Capacity | Torque | Coil Resistance | Rated Current | Additional Inertia | | | | | |
| | | | | W | N·m | W | A | g _r ·cm·s ² | | | | | |
| 05A□A | 7.3 (0.82) | 6.41 | 7.24 | 9.85 | 4.41 | 58.5 | 0.41 | 1.85 | 36.2 | 11.2 | 3930 | 5.0 | 5.1 |
| 09A□A | 7.3 (0.83) | 12.3 | 13.9 | | 12.7 | | | | 69.5 | 20.9 | 3880 | 3.1 | 5.3 |
| 13A□A | 7.4 (0.84) | 18.2 | 20.5 | | 103 | | | | 33.8 | 4060 | 2.8 | 6.3 | |

A1- 9. Tabla para la selección de servomotores de la serie SGMAH de la marca Yaskwa.



A1- 10. Tabla para la selección de perfiles de aluminio marca mk.

Unidades de bolas recirculantes

Guía de bolas recirculantes KU 25.10

El carril-guía KU 25.10 se puede combinar con el carro-guía KU 25.11 y el KU 25.13 para formar una unidad. Pero se deben pedir por separado.

El carril-guía KU 25.10 es especialmente adecuado para las Series 40 y 50, debido a su superficie de apoyo demasiado reducida, no es adecuado para la ranura de 1 mm de la Serie 60.

Carril-guía KU 25.10
K116041025

Carril-guía KU 25.10 con elementos de fijación B51.04.404

Valores de distancias de taladros:
Carril sustentador L hasta 1980 mm de una pieza
Campo de aplicación para A: 20 ≤ A < 50

$$N = \frac{L - (2 \times A)}{60} + 1 \text{ (+1 por cada punto de corte)}$$

L = Longitud del carril sustentador
A = Distancia del primer taladro al borde del perfil (simétrico)
N = Cantidad de tornillos

Carril-guía KU 25.10 con elementos de fijación B51.04.404

A1- 11. Tabla para la selección del carril guía de la serie mk.

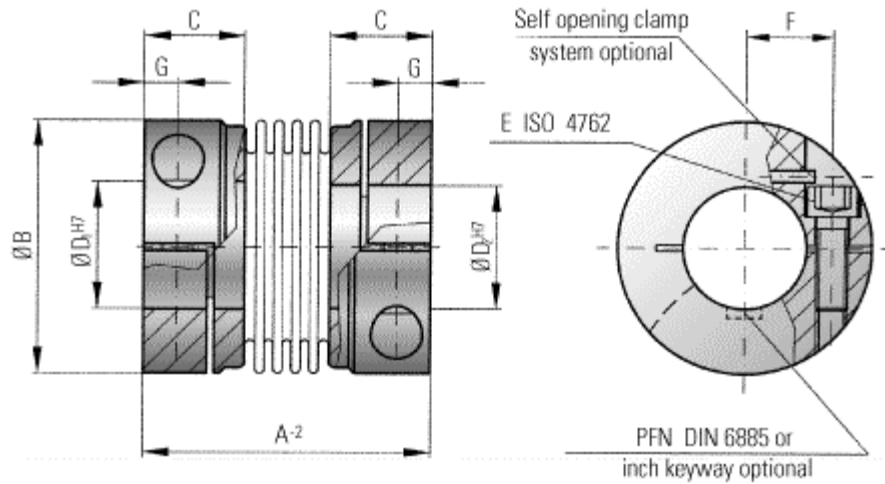
Soportes de pie con rodamientos Y, soporte de fundición, prisionero

| Dimensiones | | | | | Capacidades de carga | | Velocidad límite | Masa | Designaciones | | |
|-------------|----|------|----------------|-----|----------------------|----------------|--------------------------|------|----------------------|----------|-------------|
| d | A | H | H ₁ | L | C | C ₀ | con eje de tolerancia h6 | kg | Unidad de rodamiento | Soporte | Rodamiento |
| mm | | | | | kN | | rpm | | - | | |
| 25 | 36 | 70,5 | 36,5 | 130 | 14 | 7,8 | 4300 | 0,72 | SY 25 TR | SY 505 M | YAR 205-2RF |

Tapa
Par de apriete recomendado, Nm
Tamaño de la llave hexagonal, mm

FCY 205
4
3

A1- 12. Especificaciones del rodamiento SKF de diámetro interior 25mm.



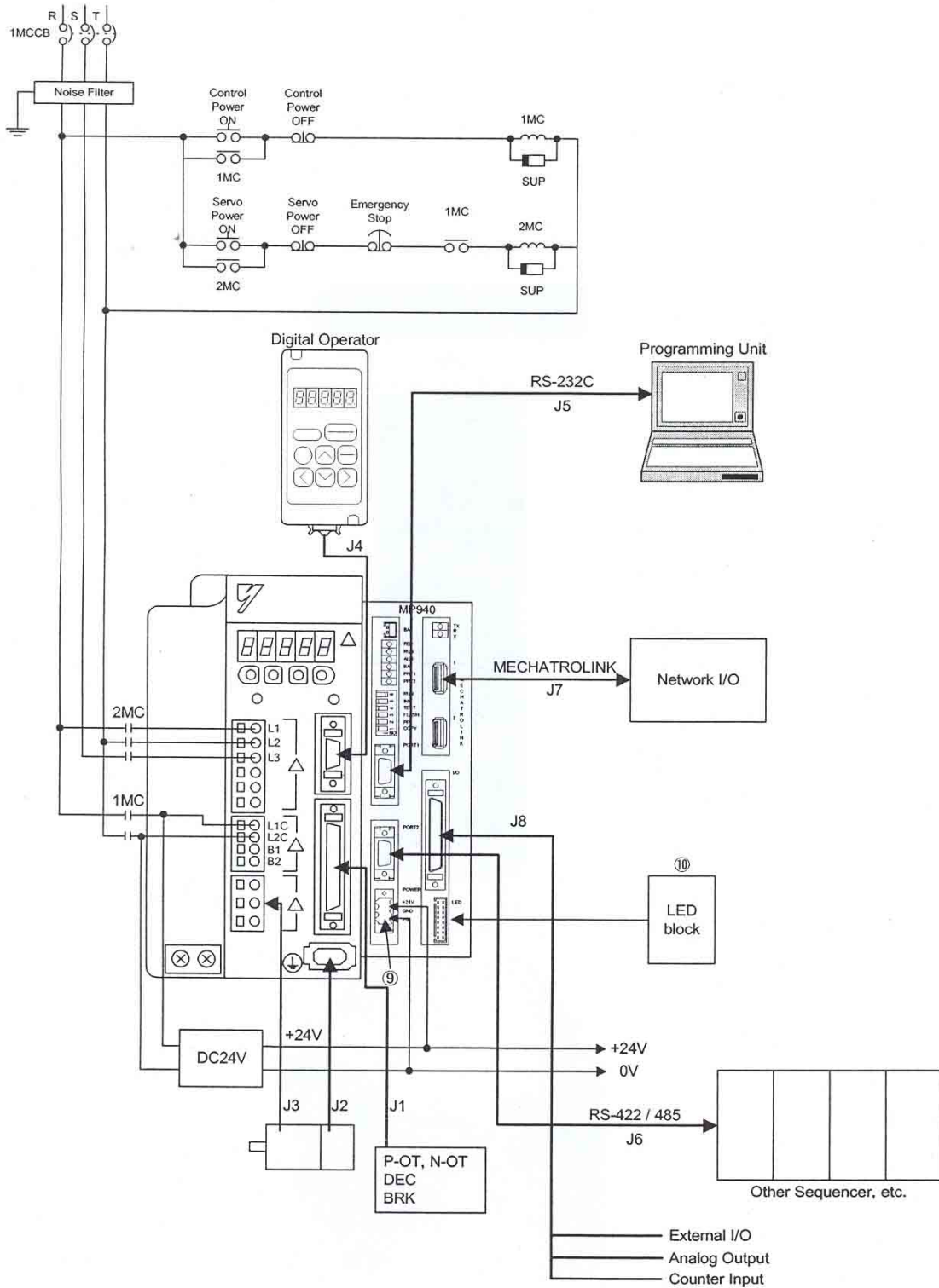
A1- 13. Diagrama de un cople flexible marca R + W.

Data table and Downloads Bellows Coupling BKL Series 2 - 500 Nm

| Model BKL | | Series | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|--------|------|------|------|-------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-----|------|
| | | 2 | 4.5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 80 | 150 | 300 | 500 | | | |
| Rated torque (Nm) | T_{KN} | 2 | 4.5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 80 | 150 | 300 | 500 | | | |
| Overall length (mm) | A | 30 | 40 | 44 | 58 | 68 | 79 | 92 | 92 | 109 | 114 | | | |
| Outside diameter (mm) | B | 25 | 32 | 40 | 49 | 56 | 66 | 82 | 82 | 110 | 123 | | | |
| Fit length (mm) | C | 10.5 | 13 | 13 | 21.5 | 26 | 28 | 32.5 | 32.5 | 41 | 42.5 | | | |
| Inner diameter possible from \varnothing to \varnothing H7 (mm) | $D_{1/2}$ | 4-13 | 6-16 | 6-24 | 8-28 | 12-32 | 14-35 | 16-42 | 19-42 | 24-60 | 35-62 | | | |
| Screw ISO 4762 | E | M3 | M4 | M4 | M5 | M6 | M8 | M10 | M10 | M12 | M16 | | | |
| Tighting torque of the Screw (Nm) | E | 2.3 | 4 | 4.5 | 8 | 15 | 40 | 70 | 85 | 120 | 200 | | | |
| Distance between centers (mm) | F | 8 | 11 | 14 | 17 | 20 | 23 | 27 | 27 | 39 | 41 | | | |
| Distance (mm) | G | 4 | 5 | 5 | 6.5 | 7.5 | 9.5 | 11 | 11 | 13 | 17 | | | |
| Moment of inertia (10^{-9} kgm ²) | J_{total} | 0.002 | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.09 | 0.18 | 0.54 | 1.8 | 0.65 | 7.5 | 2.68 | 9.0 | 4.85 |
| Hub material | | AL | AL | AL | AL | AL | AL | AL | Steel optional AL | Steel optional AL | Steel optional AL | | | |
| approx. weight (kg) | | 0.02 | 0.05 | 0.08 | 0.13 | 0.3 | 0.4 | 0.7 | 1.6 | 0.8 | 3.8 | 1.7 | 4.8 | 2.2 |
| Torsional stiffness (10^9 Nm/rad) | C_T | 1.5 | 7 | 9 | 23 | 31 | 72 | 80 | 141 | 157 | 290 | | | |
| axial (mm) | max. values | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.5 | 2 | 2 | 2 | 2.5 | | | |
| lateral (mm) | | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.20 | | | |
| axial spring stiffness (N/mm) | C_a | 8 | 35 | 30 | 30 | 50 | 67 | 44 | 77 | 124 | 35 | | | |
| lateral spring stiffness (N/mm) | C_r | 50 | 350 | 320 | 315 | 366 | 679 | 590 | 960 | 2940 | 1450 | | | |

A1- 14. Tabla de propiedades de los coples flexibles R + W.

Three-phase Power Specifications

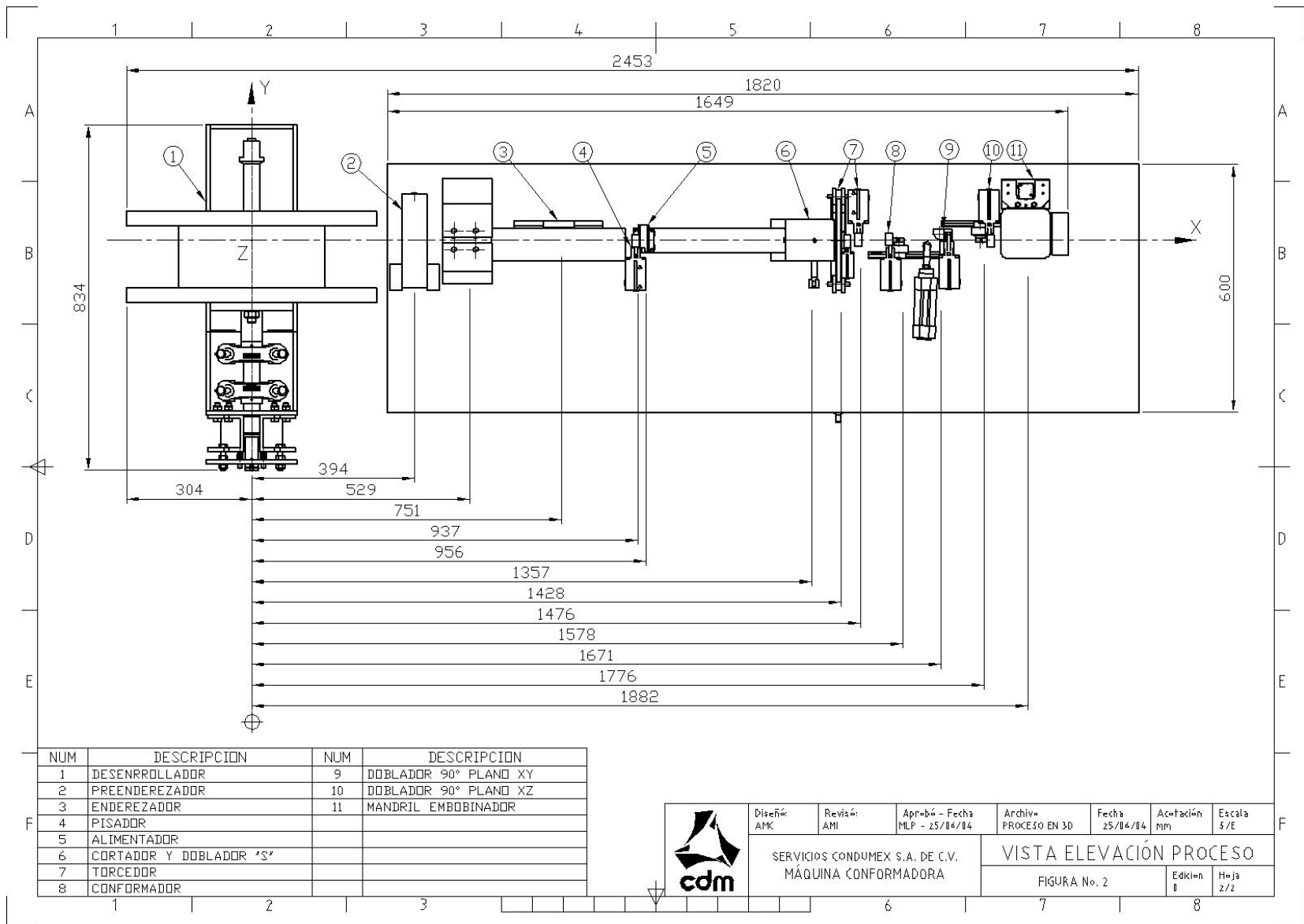


A1- 15. Diagrama de conexión de un sistema de servomotores a la energía eléctrica en tres fases.

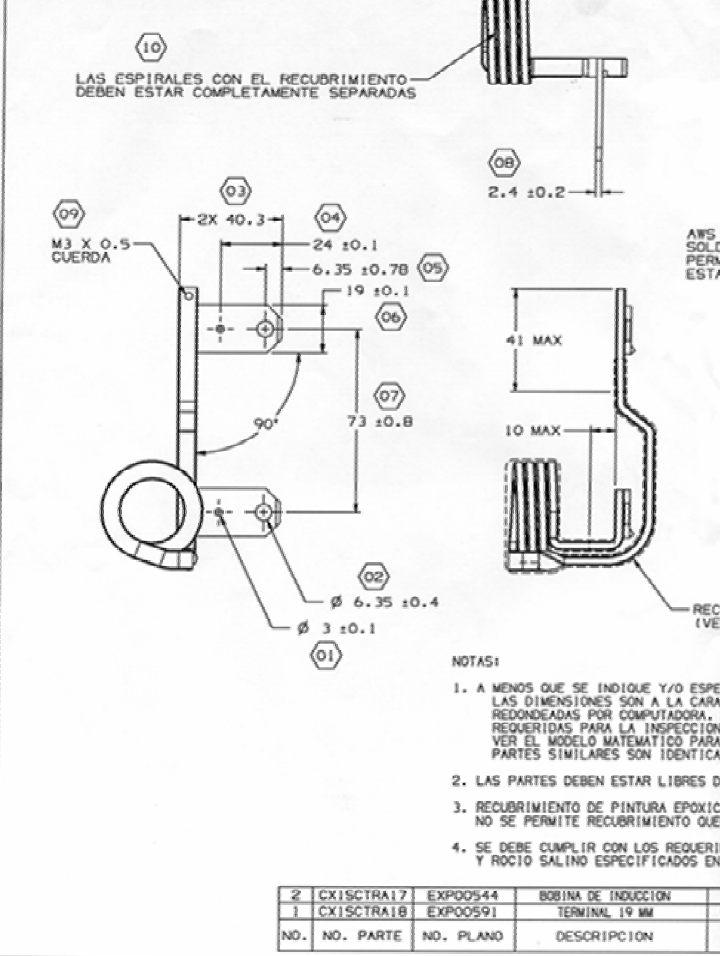
ANEXOS (Planos).

Lista de Planos

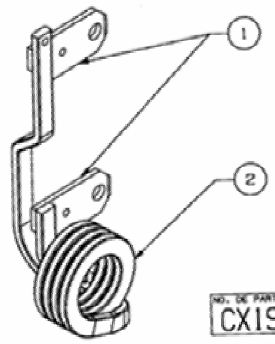
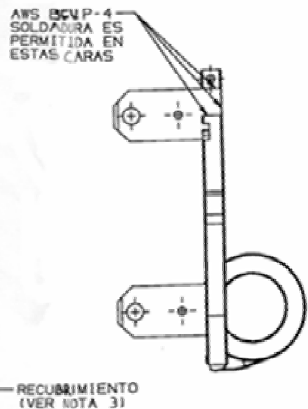
| Nombre del Plano | Número del Plano | Pág. |
|-------------------------------------|------------------|------|
| Vista Elevación del Proceso | - | 42 |
| Bobina de Inducción. | - | 43 |
| Bobina de Corriente (Gruesa) | - | 44 |
| Configuración del Ensamble General. | EG1 | 45 |
| Configuración del Ensamble General. | EG2 | 46 |
| Configuración del Ensamble General. | EG3 | 47 |
| Unidad Neumática Expulsora. | SEUN1 | 48 |
| Unidad Neumática Expulsora. | SEUN2 | 49 |
| Unidad Conformadora. | SEUC1 | 50 |
| Unidad Conformadora. | SEUC2 | 51 |
| Estructura. | SEES1 | 52 |
| Estructura. | SEES2 | 53 |
| Unidad de Desplazamiento Lineal | SEDL1 | 54 |
| Unidad de Desplazamiento Lineal | SEDL2 | 55 |



ESTE DIBUJO Y/O LOS ARCHIVOS ELECTRONICOS Y EL DISEÑO SON PROPIEDAD DEL CENTRO TECNICO DE QUERETARO - CONQUAMEX Y NO PUEDE SER CUA, LICHO O REPRODUCCION EXCEPTO PARA PRODUCTOS Y SERVICIOS DE CONQUAMEX.



| ESTATUS DE DIBUJO | | | | ZONA | HISTORIAL DE CAMBIOS | AUT | DIB | OK | APP |
|-------------------|--------|-----|-----|------|--|-------|-----|-----|-----|
| FECHA | ETAPA | REV | IMP | IMP | | | | | |
| 18.A.02 | EXP001 | - | - | - | CREACION DE DIBUJO DE DETALLE | 01231 | JTY | PYP | SMP |
| 17.00 | EXP002 | - | - | - | REVISION DEL EXP00544 | 01412 | PYP | PYP | SMP |
| 13.FE01 | EXP003 | - | - | - | REVISION DEL NOMBRE | 01545 | PYP | PYP | SMP |
| 05.MY01 | EXP004 | - | - | - | SE AGREGO EL CODIGO CONQUAMEX | 01696 | PYP | PYP | SMP |
| 2.MY03 | EXP005 | - | - | - | SE REVISO EL NUMERO DE PARTE | 01890 | PYP | PYP | SMP |
| 1.3000 | EXP006 | - | - | - | SE AGREGARON DIMENSIONES DE INSPECCION | 02111 | PYP | PYP | SMP |



NO. DE PARTE
CX1SCTRA02

00 10 DIMENSIONES PARA INSPECCION

- NOTAS:
- A MENOS QUE SE INDIQUE Y/O ESPECIQUE LO CONTRARIO: LAS DIMENSIONES SON A LA CARA DE LA VISTA MOSTRADA Y AUTOMATICAMENTE REDONDEADAS POR COMPUTADORA. PIVILAS DIMENSIONES NO MOSTRADAS REQUERIDAS PARA LA INSPECCION CONSTRUCCION DEL HERRAMENTAL, VER EL MODELO MATEMATICO PARA MAS EXACTITUD. PARTES SIMILARES SON IDENTICAS.
 - LAS PARTES DEBEN ESTAR LIBRES DE RAYADURAS, DEFORMACIONES Y REBADAS.
 - RECUBRIMIENTO DE PINTURA EPOXICA CON CARGA DE CAULIN 40% COLUH GR15 NO SE PERMITE RECUBRIMIENTO QUEBRADO.
 - SE DEBE CUMPLIR CON LOS REQUERIMIENTOS, PRUEBAS DE INTEMPERISMO Y ROCIO SALINO ESPECIFICADOS EN LA NORMA MEXICANA (NOM-044-SCFI-1999)

| NO. | NO. PARTE | NO. PLANO | DESCRIPCION | MATERIAL | CANT. |
|-----|------------|-----------|---------------------|--|-------|
| 2 | CX1SCTRA17 | EXP00544 | BOBINA DE INDUCCION | COBRE ELECTROLITICO C11000 | 1 |
| 1 | CX1SCTRA18 | EXP00591 | TERMINAL 19 MM | COBRE ELECTROLITICO C11000 - NIQUELADO | 2 |

NUMERO DE PLANO
EXP00553

TIPO DE DIBUJO
DIBUJO DE DETALLE

OTROS DIBUJOS DISPONIBLES

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO

UTIGRAPHICS II

ESCALA 1:1

DISEÑO J.LUIS TAPIA 18-JUL-02

DIBUJO J.LUIS TAPIA 18-JUL-02

REVISO PEDRO YABUR 18-JUL-02

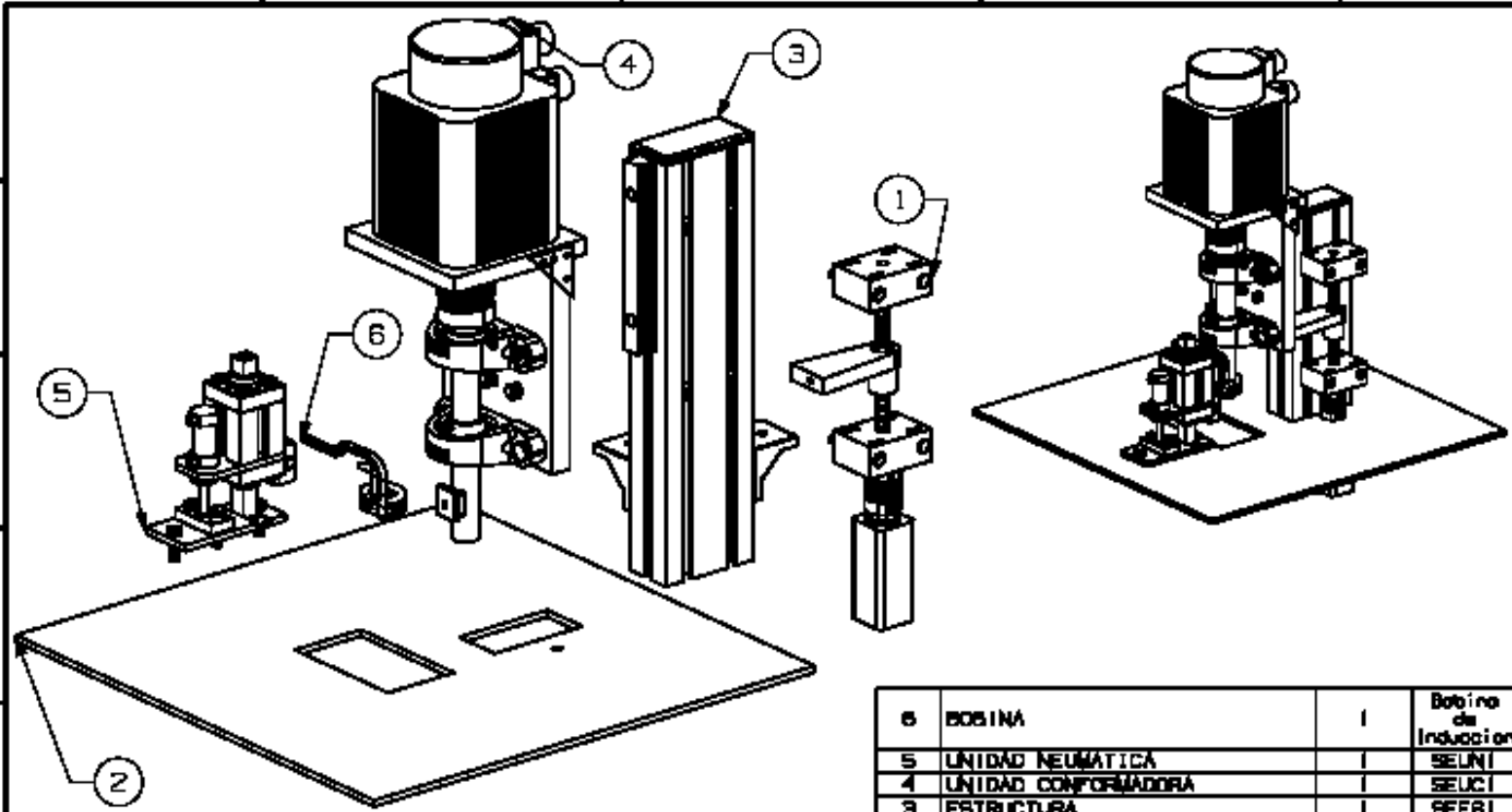
ESPECIFICACION DE MATERIAL VER DIBUJOS

TITULO
BOBINA DE CORRIENTE (GRUESA)

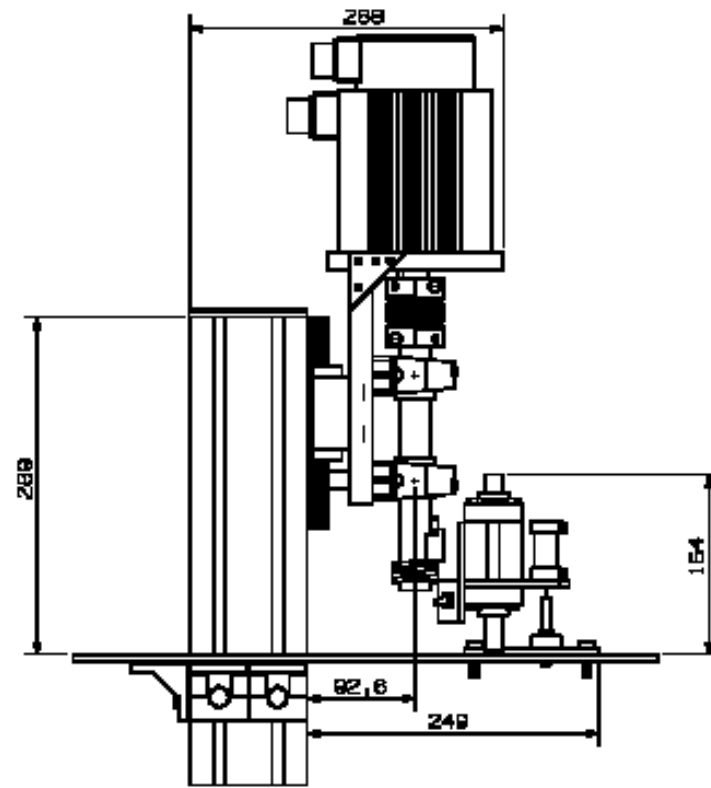
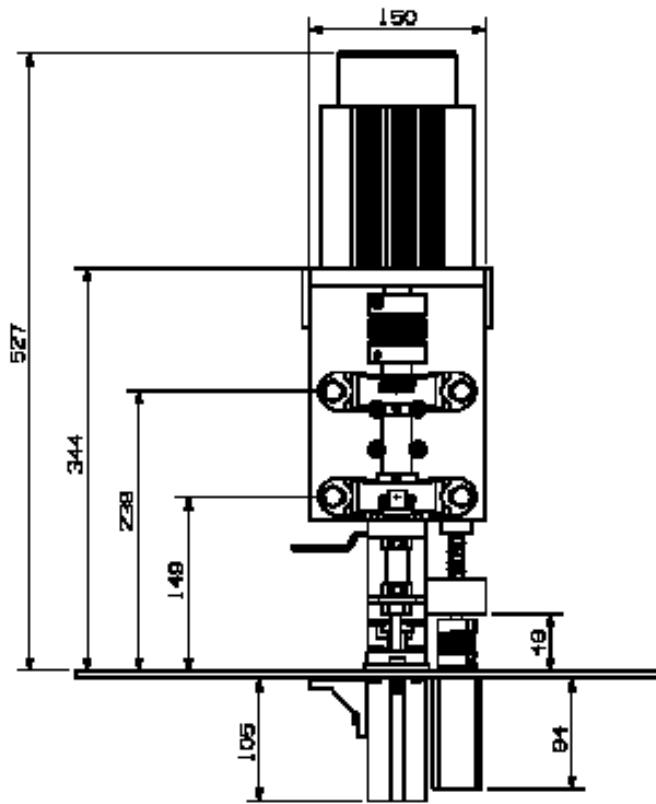
NUMERO DE PARTE
CX1SCTRA02

ESTATUS DE DIBUJO
ETAPA REVISION IMP
E 006 - A2

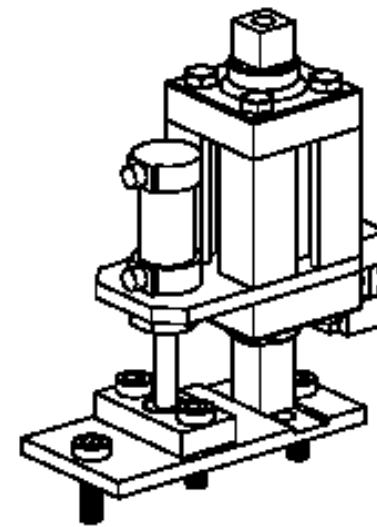
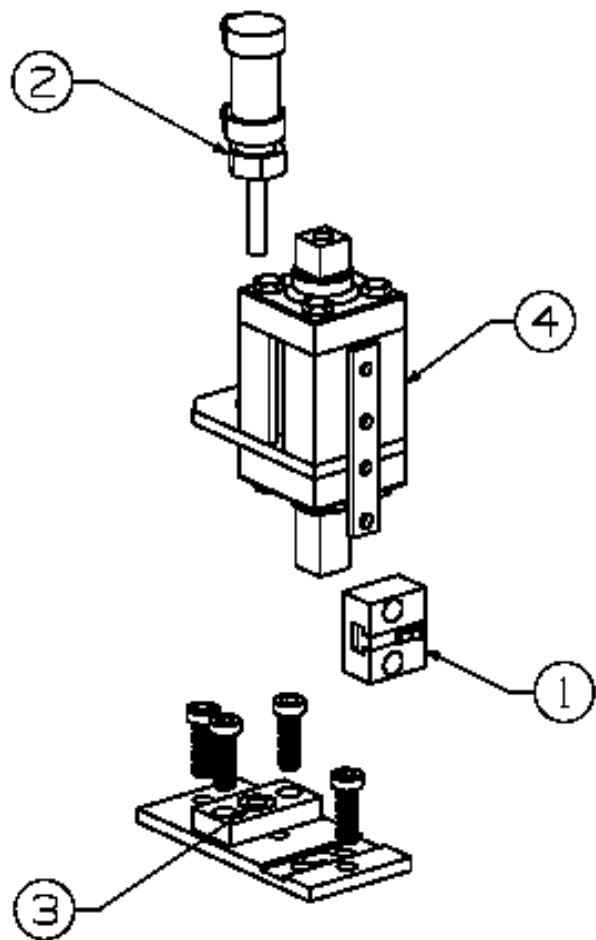
CENTRO TECNICO DE QUERETARO
MEXICO, QUERETARO, QUERETARO, QUERETARO





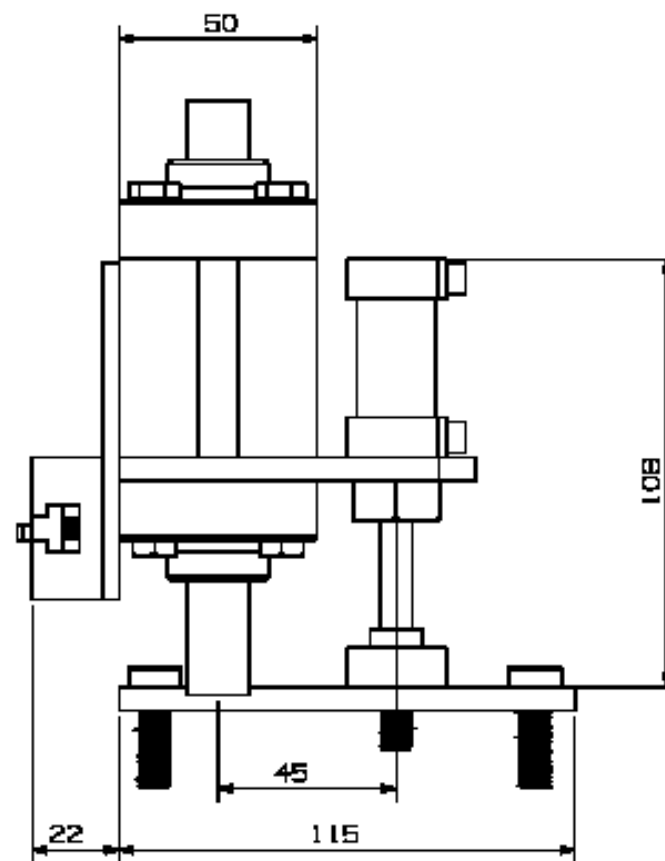
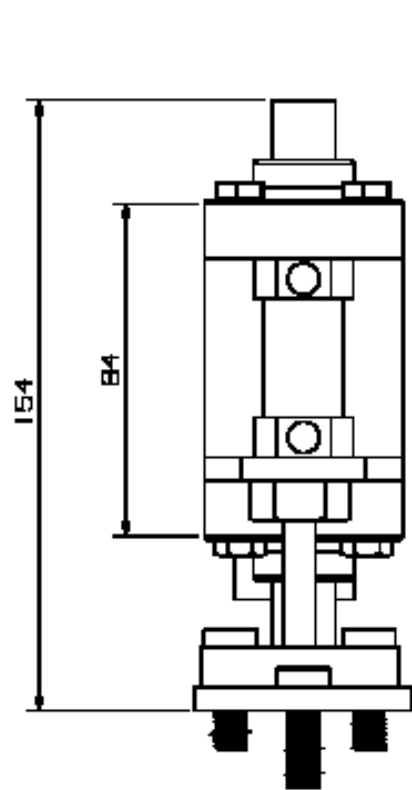
| 6 | BOBINA | 1 | Bobina de Inducción |
|------------------------------------|------------------------------|-------------------------|---|
| 5 | UNIDAD NEUMÁTICA | 1 | SEUN1 |
| 4 | UNIDAD CONFORMADORA | 1 | SEUC1 |
| 3 | ESTRUCTURA | 1 | SEEB1 |
| 2 | MESA | 1 | |
| 1 | UNIDAD DESPLAZAMIENTO LINEAL | 1 | SEDL1 |
| No. | Descripcion | Cantidad | Ref. |
| DISEÑO: MIGUEL MARTÍNEZ | | CDM-F1-UNAM | CONFIGURACION DEL ENSAMBLE GENERAL |
| REVISOR: MARCELO LOPEZ | | | |
| TELÉFONO NO ESPECIFICADO | | PLANO NÚMERO E81 | |
| LARGITUD = 98 ANCHOS = 1" | | | |
| MÉTODO DE REPRESENTACIÓN DEL BOCAL | | HDM: 1 DE 2 | |
| MUTACION EN MIL. ESCALA EN | | | |
| | | DI. D1 | |



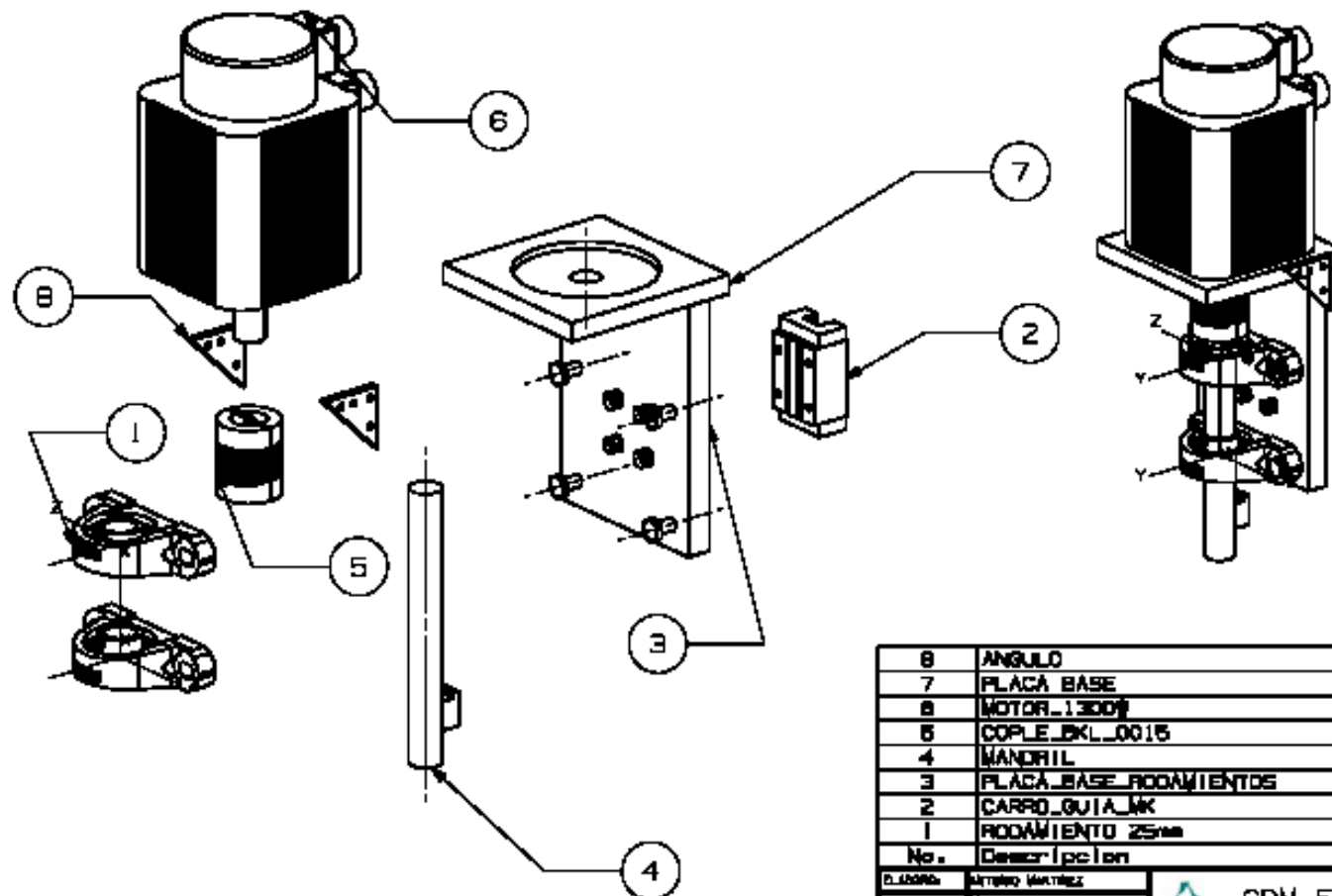
| | | |
|---|---|--|
| DISEÑO | MATEO MARTÍNEZ |  CDM-FI-UNAM |
| REVISIÓN | JUAN CARLOS LOPEZ | |
| TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS LONGITUD = 0.1 ANGULO = 1° | | CONFIGURACION DEL ENSAMBLE GENERAL |
| MODELO BY | Equivalente del E308 | |
| NOTACION EN mm. |  | PLANO NÚMERO E1E |
| ESCALA 1:1 | | |



| 4 | PERFIL NK | 1 |
|---|--------------------|--|
| 3 | PLACA BASE | 1 |
| 2 | CILINDRO NEUMATICO | 1 |
| 1 | SOLFRIERA | 1 |
| No. | Descripcion | Cantidad |
| D. APROB. <i>Armando Martinez</i> | |  CDM-F I -UNAM |
| REVISOR <i>Armando Lopez</i> | | |
| TEL. DISEÑO NO ESPECIFICADO | | UNIDAD NEUMATICA EXPULSORA |
| LONGITUD = 75 ANCHURA = 1" | | |
| DISEÑO DE <i>Armando del ROSO</i> | | PLANO NUMERO 0001 Hoja: 1 DE 2 ED. 01 |
| AUTORIZA EN NOMBRE DE  | | |



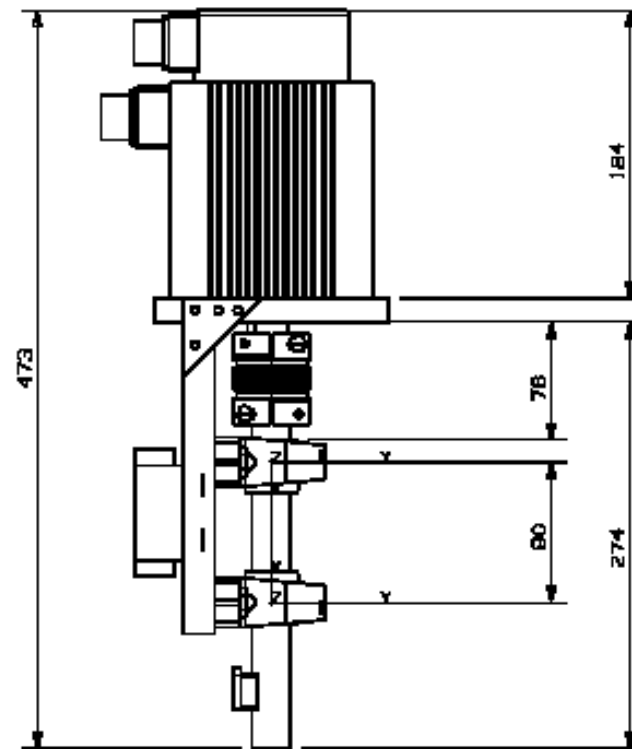
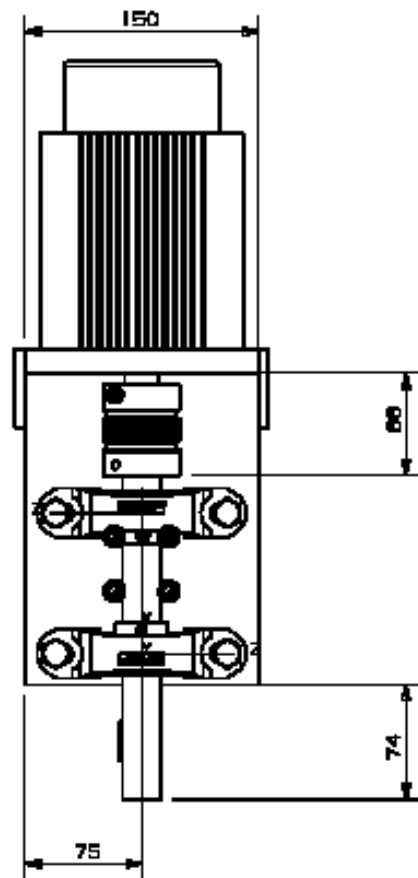
| | | |
|---|---|---|
| PLANO: | ANTONIO MARTÍNEZ |  CDM-F I - UNAM |
| REVISOR: | MARCELO LOPEZ | |
| TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS LONGITUD: ± 0.1 ANGULO: ± 1° | | UNIDAD NEUMÁTICA EXPULSORA |
| MODO DE: | Normalizado del 2009 | |
| NOTACIÓN EN 3D: |  | PLANO FÁBRICA BELNE H.M.: 2 DE 2 ED. 01 |
| BOCINA 3D: |  | |



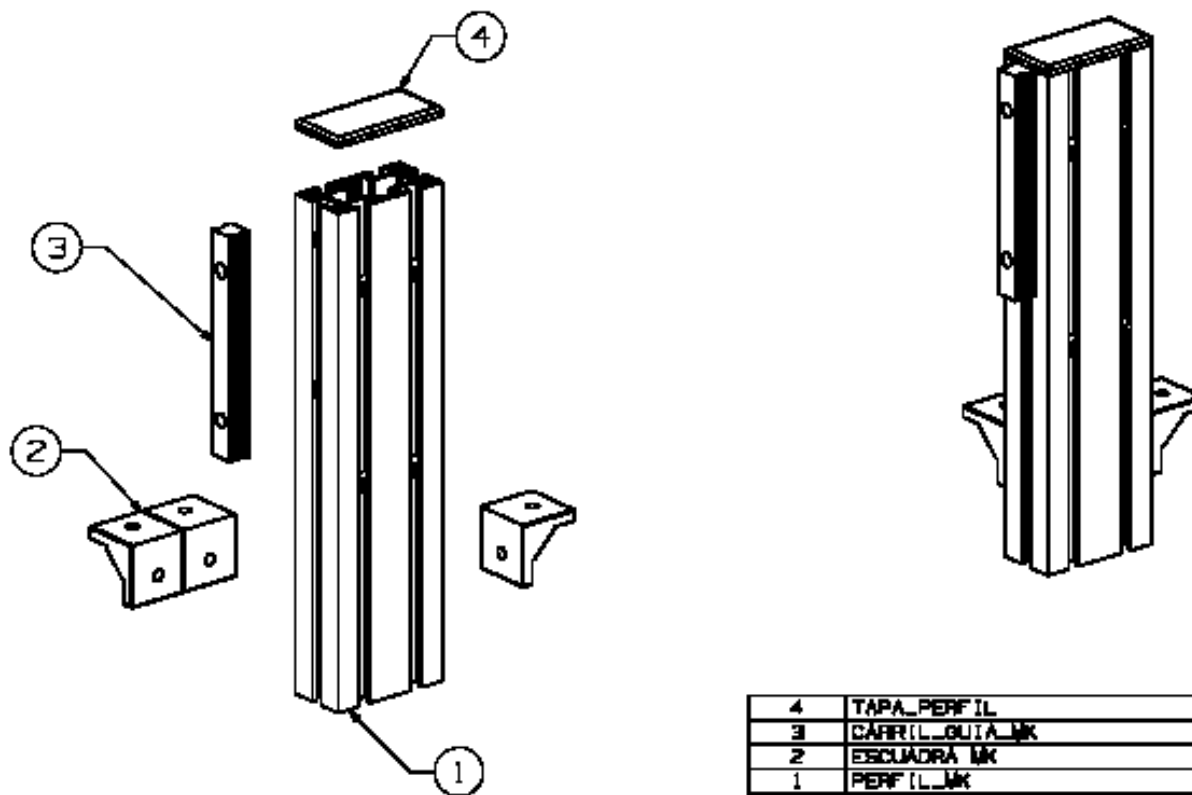
| No. | Descripción | Cant. / Usd. |
|-----|------------------------|--------------|
| 8 | ANGULO | 2 |
| 7 | PLACA BASE | 1 |
| 6 | MOTOR_1300W | 1 |
| 6 | COPLER_KL_0015 | 1 |
| 4 | MANDRIL | 1 |
| 3 | PLACA BASE RODAMIENTOS | 1 |
| 2 | CARRIL GUÍA_MK | 1 |
| 1 | RODAMIENTO 25mm | 2 |

| | |
|----------------------------|--------------------|
| DISEÑO | ANTONIO MARTÍNEZ |
| REVISIÓN | MANUEL LOPEZ |
| TELÉRUMOS NO ESPECIFICADAS | |
| LONGITUD: 1" ± 0.1 | ANILLOS: 1" |
| MODELO BY | WYLERMANN S&B 2005 |
| INDICACIÓN EN mm. | |
| ESCALA 1:1 | |

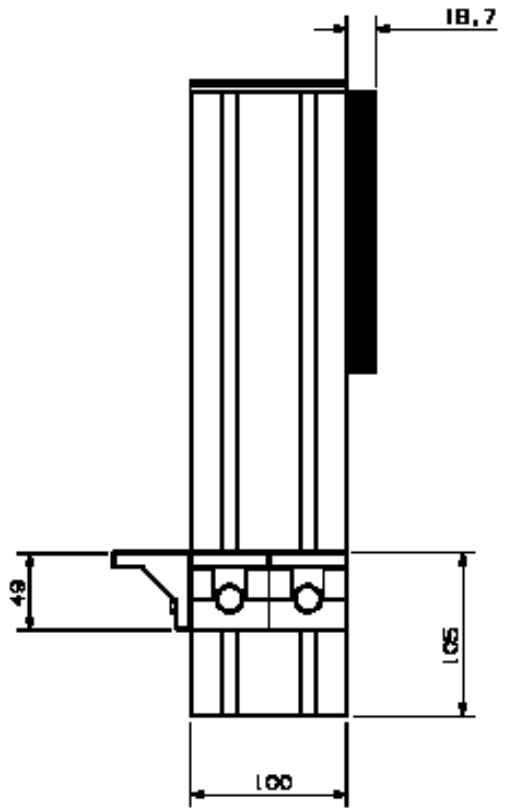
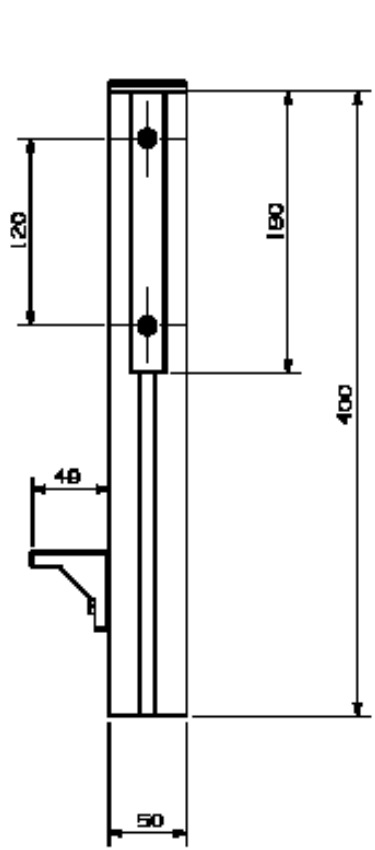
| | |
|------------------------|--------------|
| | CDM-FI-UNAM |
| UNIDAD CONFORMADORA | |
| PLANO PLÁSTICO BELUCI | HOJA: 1 DE 2 |
| | ED. 01 |





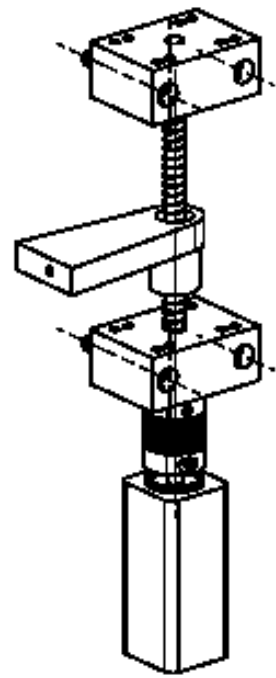
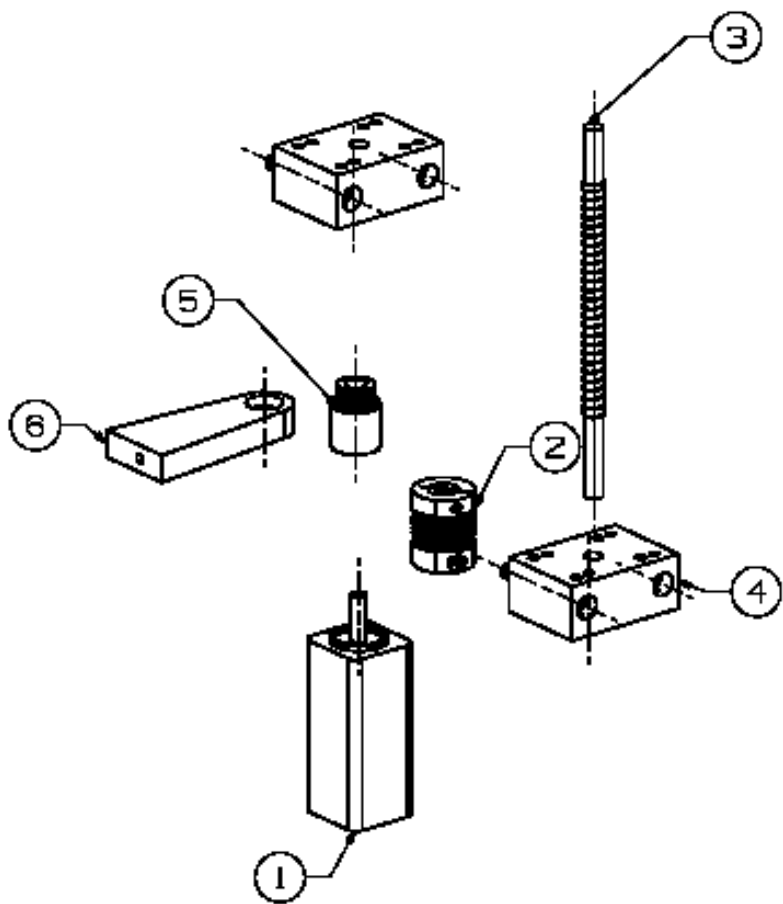
| | | |
|---|---|--|
| DISEÑO: | ANTONIO MARTÍNEZ |  CDM-F1-UNAM |
| REVISÓ: | ANDRÉS LÓPEZ | |
| TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS LONGITUD: ± 0.1 ANGULO: ± 1° | | UNIDAD CONFORMADORA |
| HECHO EN: | México D.F. | |
| PROYECTADO EN: |   | PLANO NÚMERO: 0002 HOJA: 2 DE 2 ED. 01 |





| | | |
|--------------------------|----------------------|----------|
| 4 | TAPA_PERFIL | 1 |
| 3 | CARRIL_GUIA_MK | 1 |
| 2 | ESCUADRA MK | 2 |
| 1 | PERFIL_MK | 1 |
| No. | Descripcion | Cantidad |
| DISEÑO | ANTONIO MARTINEZ | |
| REVISÓ | MANUEL LOPEZ | |
| TELÉFONO NO ESPECIFICADO | | |
| LARGITUD = 28 | ANCHURAS = 1" | |
| MODELO BY | Replicatura Del ESOA | |
| ACTUACIÓN EN MIL. | | |
| ESCALA 1:1 | | |
| CDM-FI-UNAM | | |
| ESTRUCTURA | | |
| PLANO NÚMERO 02301 | HAB: 1 DE 2 | ED. 01 |

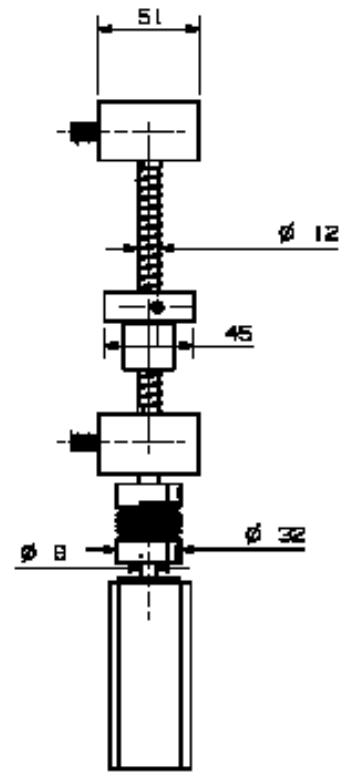
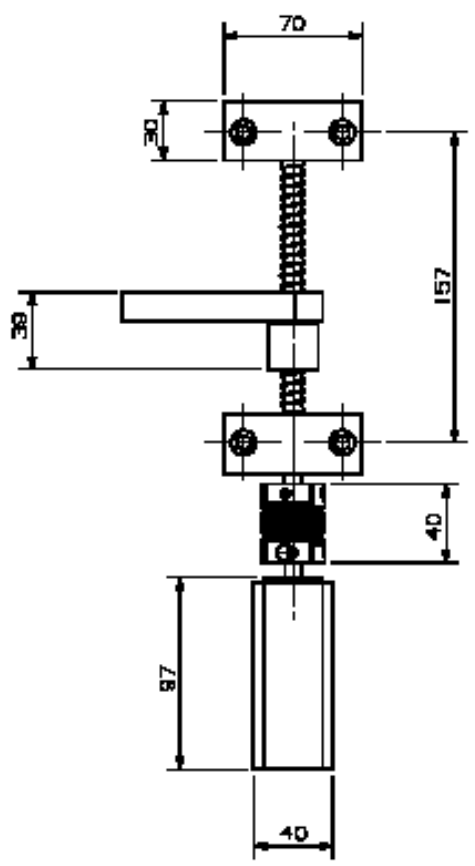



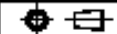
| | | |
|--|---|---|
| DISEÑO | Miguel Martínez |  CDM-F I - UNAM |
| REVISÓ | Miguel López | |
| TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS LONGITUD = 0.05 ANGULO = 1° | | ESTRUCTURA |
| METODO DE | Reglamento del ESOA | |
| AUTOCORR. EN MIL. ESCALA: 1/8" |  | PLANO NÚMERO: 0001 HALL: 2 DE 2 Eje: 01 |



| | | |
|-----|-----------------|----------|
| 5 | UNION TB PLACA | 1 |
| 5 | T_TUERCA | 1 |
| 4 | T_SOPORTE | 2 |
| 3 | T_TORNILLO | 1 |
| 2 | COPLER BKL_0004 | 1 |
| 1 | MOTOR_100W | 1 |
| No. | Description | Cantidad |

| | | |
|---|---|--|
| ELABORÓ: | ANTONIO MARTÍNEZ |  CDM-FI-UNAM |
| REVISÓ: | ARIBERTO LOPEZ | |
| TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS LONGITUD = 25 ANILLOS = 1" | | UNIDAD DE DESPLAZAMIENTO LINEAL |
| MODELO DE: | Modelo del 2005 | |
| NOTACIÓN EN MILÍMETROS: |  | PLANO NÚMERO 002.1 HOJA: 1 DE 2 Ed. 01 |
| ESCALA: | 1:1 | |



| | | |
|---|---|--|
| D. DISEÑO: | ANTONIO MARTÍNEZ |  CDM-FI-UNAM |
| REVISIÓN: | MANUEL LOPEZ | |
| TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS LONGITUD: ± 0.1 ANGULO: ± 1° | | UNIDAD DE DESPLAZAMIENTO LINEAL |
| MODELO BY: | Modelo del 2008 | |
| MONTADO EN UN ESCALA 1:1 |  | PLANO NÚMERO: 0022 HABIL: 2 DE 2 ED: 01 |

REFERENCIAS.

- [1] THOMSON Industries, Inc. *Advanced Linear Motion Systems Catalogue*. USA, 1992.
- [2] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. Mischke. *Diseño en Ingeniería Mecánica*. Mc Graw Hill, 5ta ed. USA, 1990.
- [3] NORTON, Robert L. *Diseño de Máquinas*. Prentice Hall, México, 1999.
- [4] THOMSON, *Ball & Lead Screws Catalogue*, USA, 2004.
- [5] YASKAWA Electric America, *Motion Control Products Catalogue, Rotary and Linear Servo Systems.*, USA, 2002.
- [6] Callister Jr., W. D. *Materials Science and Engineering – An Introduction*, 6th ed. New York: Wiley, Sections 6.1–6.12, 8.1–8.4, 2003.
- [7] SKF: <http://www.skf.com>
- [8] R+W: <http://www.rwcouplings.com/index.html>
- [9] Pahl, G. y Beitz, W., *Engineering Design: A Systematic Approach*, Springer, 1998.
- [10] YASKAWA Electric America, *Motion Suite MP940 Machine Controller Reference Manual*, USA, July 2000.
- [11] KONECNY, Anthony R., *Principios Fundamentales para el Diseño de Herramientas*, Compañía Editorial Continental, Séptima Impresión, México, D.F. 1984.
- [12] YASKAWA Electric America, *Motion Suite MP940 Machine Controller Reference Manual*, USA, July 2000.
- [13] Boothroyd, G. Dewhurst, P. y Knight, W., *Product Design for Manufacture and Assembly*, Second Edition, Marcel Dekker Inc., 2002.
- [14] LOPEZ, Marcelo, Alonso Madera, Antonio Martínez, “*Diseño de una Máquina Conformadora de Bobinas Eléctricas*”, Memorias del IX Congreso de las Sociedad Mexicana de Ingenieros Mecánicos, SOMIM, 2004.
- [15] MARTÍNEZ. Antonio, Marcelo López, Alonso Madera, “*Servomecanismo para el Conformado Preciso de Bobinas de Alambre*”, Memorias del X Congreso de las Sociedad Mexicana de Ingenieros Mecánicos, SOMIM y V Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica, 2005.