



---

---

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

## “DESARROLLO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA AUTOMATIZAR Y OPERAR DE MANERA REMOTA LA PRÁCTICA DE CUERPOS RÍGIDOS CONECTADOS CON MOVIMIENTO PLANO”

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTAN:

NAVARRO GUERRERO GERARDO

OLIVO HERNÁNDEZ MIGUEL ANTONIO

DIRECTOR: MI. ULISES M. PEÑUELAS RIVAS

CO-DIRECTOR : MI. YUKIHIRO MINAMI KOYAMA





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



ESTE TRABAJO FUE REALIZADO EN EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DENTRO DEL CENTRO DE DISEÑO Y MANUFACTURA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, BAJO LA DIRECCIÓN DEL M.I. ULISES MARTIN PEÑUELAS RIVAS Y EL M.I. YUKIHIRO MINAMI KOYAMA. ESTE PROYECTO FUE FINANCIADO POR EL PROGRAMA DE APOYO A PROYECTOS PARA LA INNOVACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA ENSEÑANZA (PAPIME).

AGRADECEMOS AL M.I. ULISES M. PEÑUELAS RIVAS Y AL M.I. YUKIHIRO MINAMI KOYAMA POR SU APOYO Y TIEMPO OTORGADO A LO LARGO DEL DESARROLLO DE ESTE PROYECTO, ASÍ COMO A NUESTROS SINODALES POR EL TIEMPO DEDICADO A LA REVISIÓN DE ESTE TRABAJO.







**A MIS PADRES Y HERMANO POR TODO  
SU APOYO, CARIÑO Y DEDICACIÓN QUE  
ME HAN DADO A LO LARGO DE TODOS  
ESTOS AÑOS.**

**¡ESTE LOGRO TAMBIÉN ES SUYO!**

**GERARDO NAVARRO GUERRERO**





ESTA TESIS ESTÁ DEDICADA A MIS PADRES, A QUIENES AGRADEZCO DE TODO CORAZÓN SU AMOR, CARIÑO, COMPRENSIÓN Y SOBRE TODO SU APOYO EN TODOS LOS SENTIDOS, YA QUE SIN ELLOS ESTO NO HUBIERA SIDO POSIBLE.

AGRADEZCO A MI HERMANA POR LA COMPAÑÍA Y EL APOYO QUE SIEMPRE ME HA BRINDADO.

AGRADEZCO A MI NOVIA POR SU AMOR INCONDICIONAL.

AGRADEZCO A MIS PROFESORES POR SU DISPOSICIÓN Y AYUDA.

MIGUEL ANTONIO OLIVO  
HERNÁNDEZ

## ÍNDICE

<b>I</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
I.1	GENERALIDADES	1
I.2	INTRODUCCIÓN	2
I.3	DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA	4
I.4	JUSTIFICACIÓN	5
I.5	OBJETIVOS, ALCANCES Y METAS DEL PROYECTO	5
I.6	REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO	6
<b>II</b>	<b>DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO</b>	
II.1	METODOLOGÍA A SEGUIR	7
II.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	8
II.3	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	8
II.4	PROPUESTAS DE LOS MECANISMOS, SENSORES Y ACTUADORES	
II.4.1	MECANISMOS PARA VARIAR EL ÁNGULO DE TRABAJO	9
II.4.2	MECANISMOS PARA RECARGAR AL MÓVIL	13
II.4.3	MECANISMOS PARA MANTENER EN SU POSICIÓN INICIAL Y LIBERAR AL MÓVIL	19
II.4.4	MECANISMOS PARA DETENER AL MÓVIL	21
II.4.5	SENSORES	23
II.4.6	ACTUADORES	31
II.5	SELECCIÓN DE LOS SUBSISTEMAS PARA EL PROTOTIPO	34
<b>III</b>	<b>DESARROLLO DEL PROTOTIPO</b>	
III.1	CONSIDERACIONES PREVIAS	39
III.2	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	39
III.2.1	PLATAFORMA DE DESLIZAMIENTO	42
III.2.2	TORNILLO SINFIN Y CILINDRO CON ROSCA PARA VARIAR EL ÁNGULO DE TRABAJO	47
III.2.3	MECANISMO PARA RECARGAR AL MÓVIL	48
III.2.4	MÓVIL	52
III.2.5	ENSAMBLE FINAL DEL PROTOTIPO	54
III.3	MANUFACTURA	56
<b>IV</b>	<b>REDISEÑO DEL PROTOTIPO</b>	
IV.1	MODIFICACIONES	63



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

<b>V</b>	<b>INSTRUMENTACIÓN, ELECTRÓNICA Y CONTROL</b>	
V.1	INSTRUMENTACIÓN	75
V.2	ELECTRÓNICA	76
V.3	CONTROL	79
V.4	INTERFAZ GRÁFICA	90
<b>VI</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>97</b>
<b>APÉNDICES</b>		
APÉNDICE 1	LISTA DE MATERIALES Y COMPONENTES ELECTRÓNICOS	103
APÉNDICE 2	PLANOS	105
APÉNDICE 3	DIAGRAMA ELECTRÓNICO	137
APÉNDICE 4	ESPECIFICACIONES DEL PIC16F877A	139
APÉNDICE 5	CÓDIGO DEL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR EN ENSAMBLADOR	145
APÉNDICE 6	CÓDIGO DEL PROGRAMA DE LA INTERFAZ GRÁFICA EN VISUALBASIC	151
<b>REFERENCIAS</b>		<b>155</b>

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al proponerse desarrollar un laboratorio remoto para la materia Cinemática y Dinámica, debemos estar conscientes de que implica colocar una piedra angular en el desarrollo de tecnología mexicana para la enseñanza en la Facultad, aplicada a esta asignatura.

Por ello, es importante establecer con claridad de dónde se parte y a dónde se quiere llegar con el desarrollo de este trabajo.

Asimismo, un claro planteamiento de este proyecto ayudará a entender con exactitud la magnitud de los alcances que se pueden obtener en función de los recursos disponibles.

### **I.1 GENERALIDADES**

Para el proyecto EN106204 “Creación de un laboratorio remoto accedido por internet para la asignatura de Cinemática y Dinámica”, que cuenta con el apoyo del PAPIME (Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza) de nuestra Universidad, se han diseñado seis prácticas de Cinemática y Dinámica de manera que cubran su contenido y que puedan realizarse de forma remota por medio de Internet, y para ello se ha abordado el diseño y la construcción de los mecanismos, sensores e interfaces electrónicas para las prácticas denominadas “Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado”, “Tiro parabólico y caída libre”, “Movimiento en medios fluidos”, “Trabajo y energía”, “Movimiento curvilíneo: el péndulo compuesto”, y



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

“Cuerpos rígidos conectados con movimiento plano”. Asimismo, se ha iniciado el desarrollo del software para la operación del sistema con una computadora personal a través de Internet, que corra en un servidor configurado para realizar esta tarea.

En el proyecto se ha involucrado tanto a profesores de varias Divisiones de la Facultad como a alumnos tesistas y de servicio social. Se conformaron grupos de trabajo multidisciplinarios para abordar cada una de las prácticas seleccionadas, los cuales han trabajado de forma coordinada.

## **I.2 INTRODUCCIÓN**

En el laboratorio tradicional, los recursos en personas y espacios son restringidos, debido al incremento de estudiantes y a problemas presupuestarios; se requiere la presencia física del estudiante y la supervisión del profesor. Una solución a estos problemas se ha encontrado en la aplicación de los avances tecnológicos a la docencia e investigación universitaria y, en concreto, el uso de laboratorios virtuales y remotos.

Los laboratorios virtuales [1] mediante una computadora conectada a Internet, proveen el acceso a un modelo simulado del equipo experimental y del entorno; siendo este modelo similar, tanto en funcionalidad, como en apariencia, al equipo y al entorno real. Al permitir la operación del equipo, así como la realización de pruebas iniciales y hasta de experimentos completos, este formato de laboratorio virtual tiene, como ventaja, proporcionar acceso ilimitado al laboratorio, sin riesgo alguno para el operador inexperto, ni para el equipo experimental. El laboratorio virtual acerca y facilita la realización de prácticas a un mayor número de alumnos, por medio de la simulación de fenómenos y modelos físicos, conceptos abstractos, casos hipotéticos, controlar la escala de tiempo, etc., ocultando el modelo matemático y mostrando el fenómeno simulado de forma interactiva, con el empleo de equipo de cómputo.

Los laboratorios remotos [2] otorgan el acceso remoto a un laboratorio real, mediante una computadora conectada a Internet, de manera que se pueda controlar y observar la operación del equipo experimental, así como el desarrollo de los experimentos. En estos laboratorios, el equipo experimental se opera desde una computadora ubicada en un sitio donde no radica físicamente dicho equipo. Éstos son sistemas basados en instrumentación real de laboratorio (no simulados), que permite al estudiante realizar actividades prácticas de forma local o remota, transfiriendo la información entre el proceso y el estudiante de manera bidireccional. El alumno utiliza y controla los recursos disponibles en el laboratorio, a través de estaciones de trabajo de una red local (Intranet) o bien a través de Internet.

En el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) [4] al igual que en la Universidad de Illinois[5] y en la Universidad de Pensilvania, se desarrolló el concepto *i-Labs* que



consiste en un laboratorio automatizado cuyo equipo está conectado al servidor de dicho laboratorio, y que puede ser operado en forma remota, a través de Internet, por los usuarios autorizados.

De esta manera se pretende incrementar sustancialmente el número de usuarios de los servicios del laboratorio en todo el mundo y a compartir los recursos de infraestructura de este tipo con otras universidades.

La Universidad Pontificia Bolivariana Medellín en Colombia cuenta con su Laboratorio de Automática vía Internet (LAVI) que permite realizar pruebas remotamente sobre una planta de control lineal[6].

La Escuela de Ingenierías Industrial e Informática en la Universidad de León (España) cuenta con su laboratorio remoto para la enseñanza de la automática, en España también se encuentra el Laboratorio de Control Remoto (RECOLAB, por sus siglas en inglés) diseñado en la Universidad Miguel Hernández en Alicante[7].

Otro ejemplo de esta tecnología la tenemos en La Universidad Tecnológica de Pereira donde se encuentra un laboratorio de circuitos eléctricos con acceso remoto[8].

La Universidad Nacional Autónoma de México no se queda atrás, su Instituto de Física tiene su Laboratorio Central de Microscopía que cuenta con un microscopio electrónico de alta resolución y analítico capaz de ser manipulado a distancia, lo que permite potenciar las capacidades de desarrollo en el ámbito científico y educativo en todo el país sin tener que desplazarse grandes distancias[9].

Actualmente se están desarrollando en muchas universidades del mundo proyectos para esta tecnología; los resultados obtenidos en proyectos anteriores han sido satisfactorios y las grandes ventajas que tienen los convierten como ya mencionamos en una realidad urgente para la educación.

Hoy en día las asignaturas Estática, Cinemática y Dinámica, que se imparten en la División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, cuentan con un laboratorio no curricular, con objeto de complementar y mejorar el aprendizaje logrado por los alumnos en sus clases teóricas. Una gran cantidad de alumnos se inscribe semestre a semestre a dichos laboratorios. Pero por falta de infraestructura física y de equipamiento, los grupos están sobresaturados, por lo que se requiere formar equipos de más de cinco alumnos, disminuyendo sustancialmente el aprendizaje y la reafirmación de conocimientos que puede generar esta actividad.

Por tal motivo se creó este proyecto, el cual pretende brindar una opción más para que los alumnos puedan realizar las prácticas de dicho laboratorio. Este proyecto tiene

contemplado desarrollar seis prácticas diferentes que podrán ser realizadas de manera remota.

Dicho proyecto consiste en el diseño y la construcción de un laboratorio automatizado cuyo equipo está conectado a un servidor, y que pueda ser operado en forma remota, a través de Internet, por alumnos que cursan la asignatura Cinemática y Dinámica.

### **I.3 DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA**

La parte del proyecto que compete a este trabajo es la realización de un sistema mecatrónico para la práctica de “Cuerpos rígidos conectados con movimiento plano”, en la cual se aborda la relación de movimiento entre dos cuerpos rígidos conectados, así como las fuerzas de fricción que se generan en dicho movimiento.

Los cuerpos que se emplearán son un rotor cilíndrico y una placa, unidos por un eslabón que se harán bajar por un plano inclinado, estará en uno de los extremos de un plano inclinado, sujetado por un trinquete, el cual al ser liberado descenderá hasta el otro extremo donde se encuentra un sonar que tomará los datos de posición, aquí será detenido por resortes, posteriormente el cuerpo regresará al extremo inicial para realizar nuevamente la práctica.

Los objetivos de dicha práctica se presentan a continuación:

- A partir de los datos obtenidos por sensores, obtener la gráfica que determina la posición del centro de masa de un rotor en función del tiempo.
- Determinar los modelos matemáticos de la rapidez y del módulo de la aceleración, en función del tiempo, del centro de masa de un rotor.
- A partir de la gráfica de la rapidez del centro de masa del rotor en función del tiempo, verificar mediante un proceso de integración, la longitud recorrida por el centro de masa del rotor.
- Determinar el momento de inercia centroidal del rotor, a partir de los datos anteriores.
- Obtener el coeficiente de fricción cinética entre las superficies en contacto de la barra que conecta al rotor, así como también el mínimo coeficiente de fricción estática entre el plano inclinado y el rotor, para que se dé el rodamiento sin deslizamiento del citado rotor.

## I.4 JUSTIFICACIÓN

Este laboratorio pretende ser una opción más para aquellos alumnos que deseen cursar el laboratorio de Cinemática y Dinámica, sin llegar a sustituir al actual. Al realizar este prototipo, se incrementará el equipo de laboratorio disponible, dando pauta a la realización de otros prototipos similares con los cuales se tendrá mayor capacidad de atención a los alumnos.

Se decide diseñar un prototipo nuevo, desde cero y solamente tomar como referencia el equipo existente en el laboratorio, ya que la adaptación de algún mecanismo o sistema que realice la práctica en forma automática supone la modificación permanente del equipo con el que se cuenta, además de complicaciones en el diseño y construcción de las partes adaptadas, lo que podría ocasionar un incremento de costo considerable.

## I.5 OBJETIVOS, ALCANCES Y METAS DEL PROYECTO

### Objetivo particular

**Diseñar, construir e implementar un sistema mecatrónico para automatizar y operar de forma remota la práctica “Cuerpos rígidos conectados con movimiento plano”.**

### Alcances

- Analizar el sistema con el cual se desarrolla actualmente la práctica.
- Proponer opciones de solución para el diseño del sistema mecatrónico.
- Realizar el diseño conceptual y de detalle del sistema mecatrónico.
- Fabricar el prototipo del sistema diseñado.
- Implementar el sistema de control para el sistema.
- Realizar pruebas al prototipo para analizar su desempeño.
- Definir mejoras y trabajo a futuro.

### Metas

- Diseño y construcción del prototipo.
- Implementación del sistema de control y monitoreo para el prototipo.
- Evaluación el desempeño del prototipo.
- Entrega al laboratorio de Cinemática y Dinámica, del sistema desarrollado.

## **I.6 REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO**

Para el desarrollo de este proyecto, los requerimientos fueron:

- El prototipo debe poseer una configuración que permita cumplir con los objetivos propuestos en la práctica.
- El sistema debe poseer características de montaje y tamaño tales que, permitan su instalación y operación dentro del laboratorio de Cinemática y Dinámica.
- La manufactura y ensamble del sistema debe ser tan sencillo como sea posible, en función de los recursos disponibles, buscando emplear procesos de manufactura y ensamble convencionales.

### **Recursos**

Este proyecto fue desarrollado en conjunto con el Departamento de Ingeniería Mecatrónica y la Coordinación de Ciencias Aplicadas de la División de Ciencias Básicas, y se contó con los siguientes recursos:

### **Infraestructura**

- Software de diseño asistido por computadora (SolidWorks, Labview)
- Máquinas de control numérico (torno y fresa)
- Máquinas herramienta convencionales
- Instrumentación electrónica (generador de funciones, fuente de poder, teslámetro, multímetro)
- Instrumental de medición geométrica
- Financiamiento del proyecto “EN106204 (PAPIME)”

# CAPÍTULO II

## DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO

### II.1 METODOLOGÍA A SEGUIR

Ya se ha mencionado a grandes rasgos el procedimiento de la práctica en cuestión; para su realización, se diseñó y construyó un prototipo automatizado. A continuación se presenta una metodología de diseño del producto, ajustándose a los materiales y equipo disponibles para su construcción. Los pasos que se siguieron fueron los siguientes:

- Definir el problema
- Identificar los puntos clave para el diseño del prototipo
- Establecer características y requerimientos del prototipo
- Idear posibles soluciones
- Seleccionar los elementos y dispositivos necesarios para su construcción
- Construir el prototipo.
- Evaluar posibles modificaciones
- Seleccionar los elementos eléctricos necesarios
- Conectar todos los sistemas.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## II.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para definir cómo abordar el diseño del prototipo, se hizo una revisión detallada de la práctica, definiendo puntos clave y variables que intervienen en ésta. La realización del experimento consta de los siguientes pasos:

- 1 Ajustar el riel de forma que quede horizontal.
- 2 Llevar el riel al ángulo de inclinación que se requiera.
- 3 Liberar al móvil el cual comienza su descenso, mientras tanto se recaba la información de velocidad y distancia del móvil, al llegar a la parte inferior el móvil se detendrá.
- 4 Llevar al móvil a su posición inicial para repetir el experimento.

## II.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Como se puede observar en el punto anterior, el prototipo debe considerar dos funciones esenciales: la colocación del riel con un ángulo determinado y la medición y adquisición de datos.

Para la colocación del ángulo de inclinación se deberá ubicar al riel completamente horizontal, esto con el fin de iniciar la medición del ángulo desde cero, y después llevarlo a su ángulo de trabajo. Para llevar a cabo esto de manera remota, será necesario mover al motor en ambos sentidos para dejarlo horizontal y posteriormente un sensor irá contando las vueltas para llevar el riel hasta el ángulo de trabajo.

Para la segunda función que es la de adquisición de datos, se deben realizar operaciones como liberar el móvil, tomar los datos y recuperar el móvil para comenzar un nuevo experimento. Para efectuar las operaciones antes descritas, se necesita un sistema de sujeción y liberación, un mecanismo para poner el móvil en su posición inicial y un sistema de medición, el cual registre las lecturas solicitadas.

De este modo las operaciones principales con la que debe cumplir el prototipo son:

- Nivelación del riel
- Colocación del riel en el ángulo deseado
- Sujeción y liberación del móvil
- Medición de la posición y tiempo del móvil
- Posicionamiento del móvil para el comienzo de un nuevo experimento.

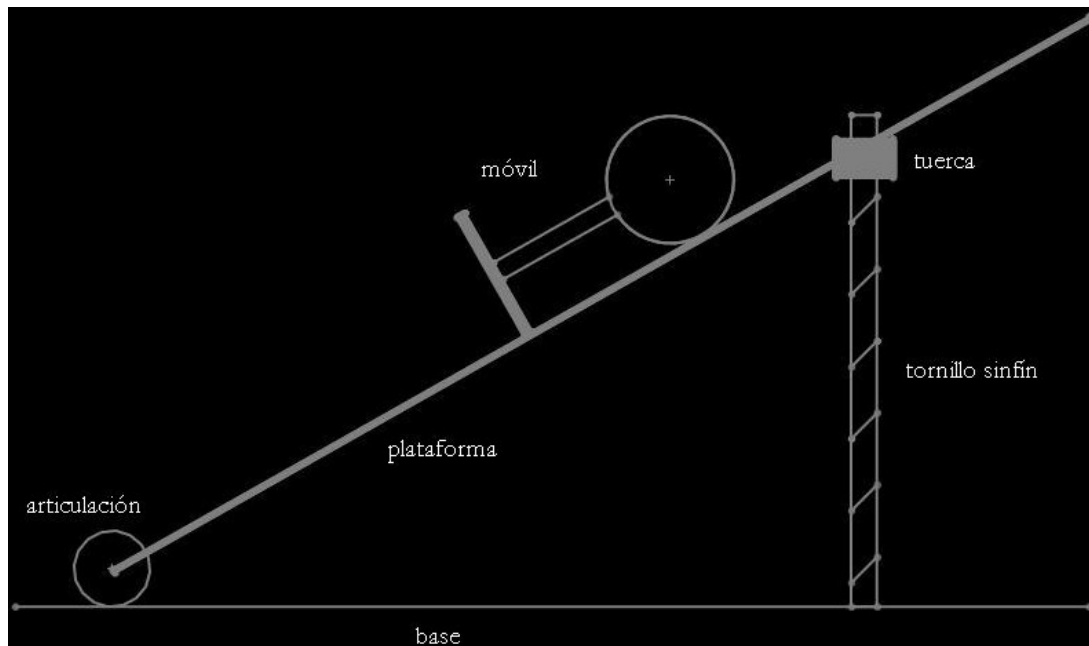
## II.4 PROPUESTAS DE LOS MECANISMOS, SENSORES Y ACTUADORES

En esta parte del trabajo se dividieron las acciones de la práctica en subsistemas; se propusieron mecanismos que son capaces de cumplir con las acciones requeridas por cada subsistema.

### II.4.1 MECANISMO PARA VARIAR EL ÁNGULO DE TRABAJO

A continuación se presentan varias propuestas que tienen la función de variar el ángulo de la plataforma con respecto a la horizontal, el cual se denomina ángulo de trabajo. El mecanismo para variar este ángulo de trabajo es el encargado de inclinar o en su defecto subir y bajar la plataforma del sistema permitiendo realizar mediciones con diferentes inclinaciones. El objetivo es tener una variación muy pequeña para tener una mejor precisión en el valor del ángulo.

#### Tornillo sinfín

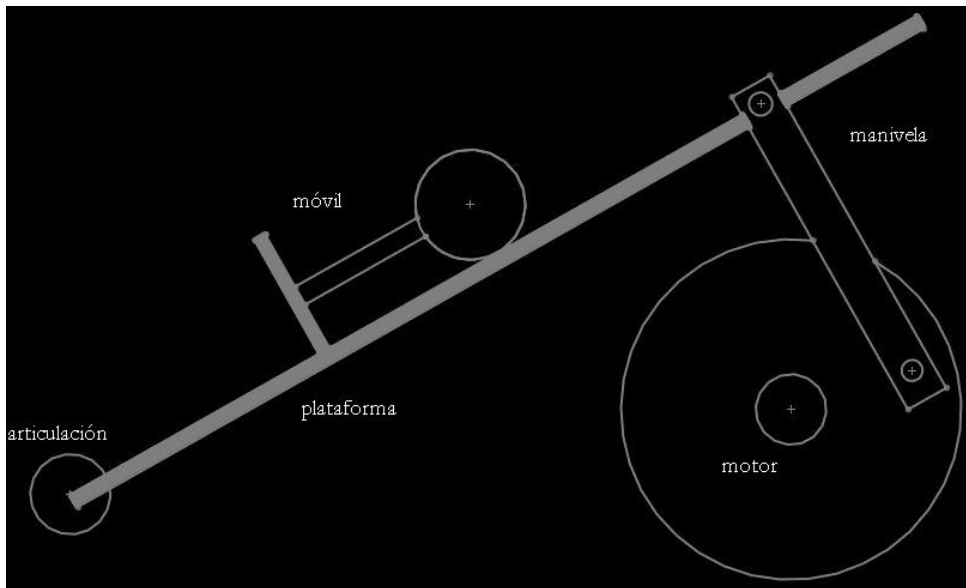


*Figura 1 Esquema del subsistema tornillo sinfín.*

El subsistema de la figura 1 consiste en una plataforma acoplada por un lado a una articulación, y por el otro a un tornillo el cual al ser accionado, desplaza una tuerca que sube y baja la plataforma.



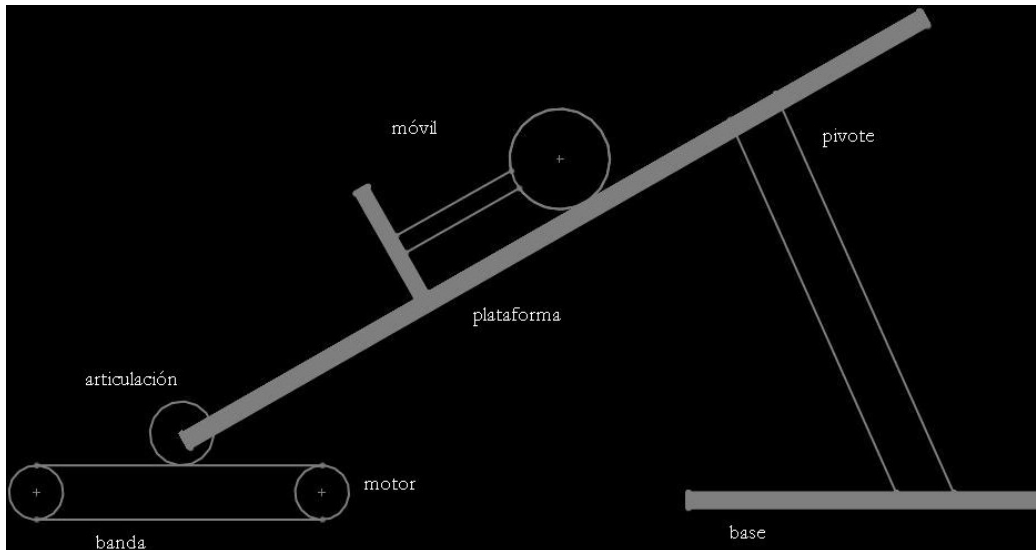
## Manivela



*Figura 2 Esquema del subsistema manivela.*

Este subsistema, como se muestra en la figura 2, consiste en una manivela que al ser accionada por el motor, sube y baja la plataforma gracias a la articulación; de esta manera se puede variar el ángulo de trabajo y al mismo tiempo llevar al móvil de un extremo a otro de la plataforma.

## Banda-Pivote



*Figura 3 Esquema del subsistema banda-pivote.*

Plataforma acoplada por medio de una articulación a una banda, como se puede observar en la figura 3, que al ser accionada, la plataforma varía su ángulo.

### Cremallera-pivote

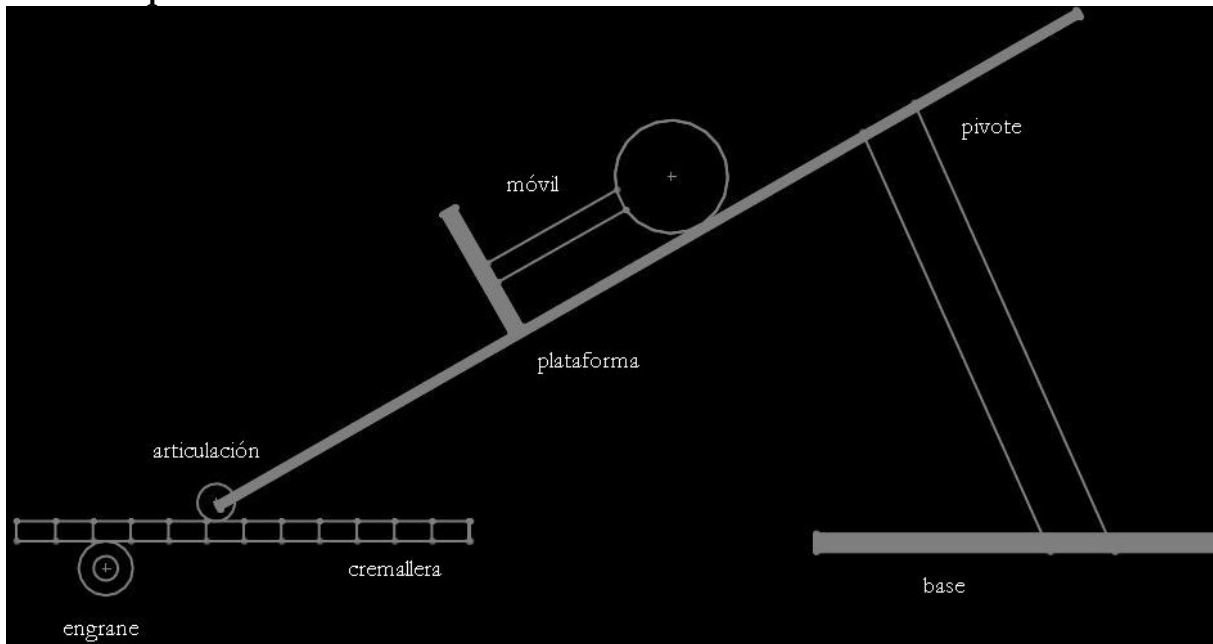


Figura 4 Esquema del subsistema cremallera-pivote.

En la figura 4 se muestra la plataforma acoplada por medio de una articulación a una cremallera, misma que al ser desplazada por medio de un engrane, varía el ángulo, de la multicitada plataforma.

### Gato

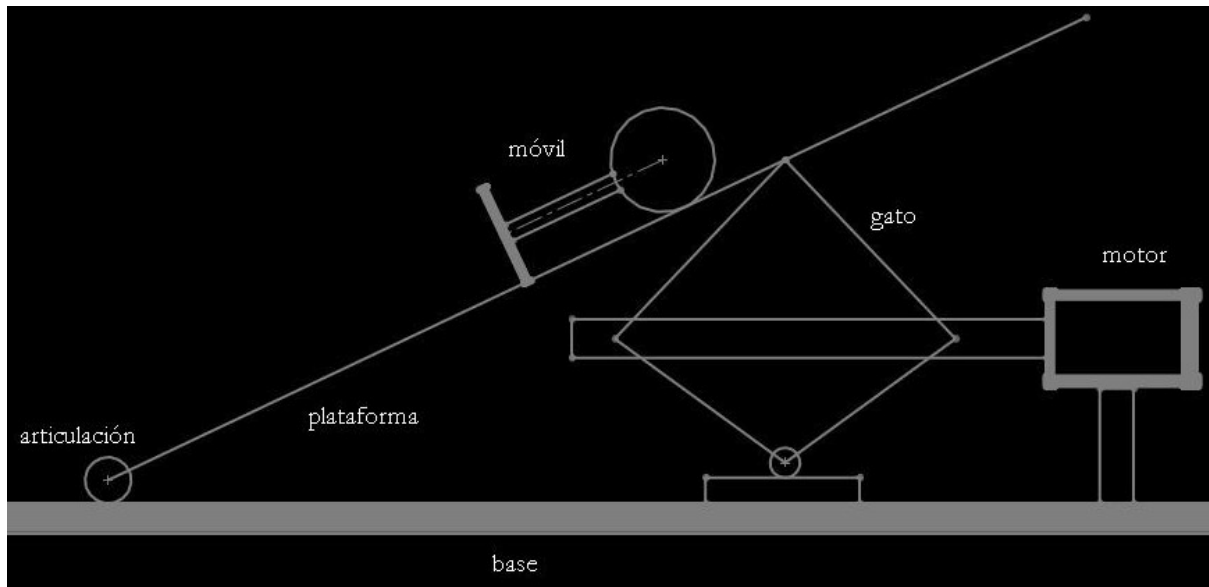
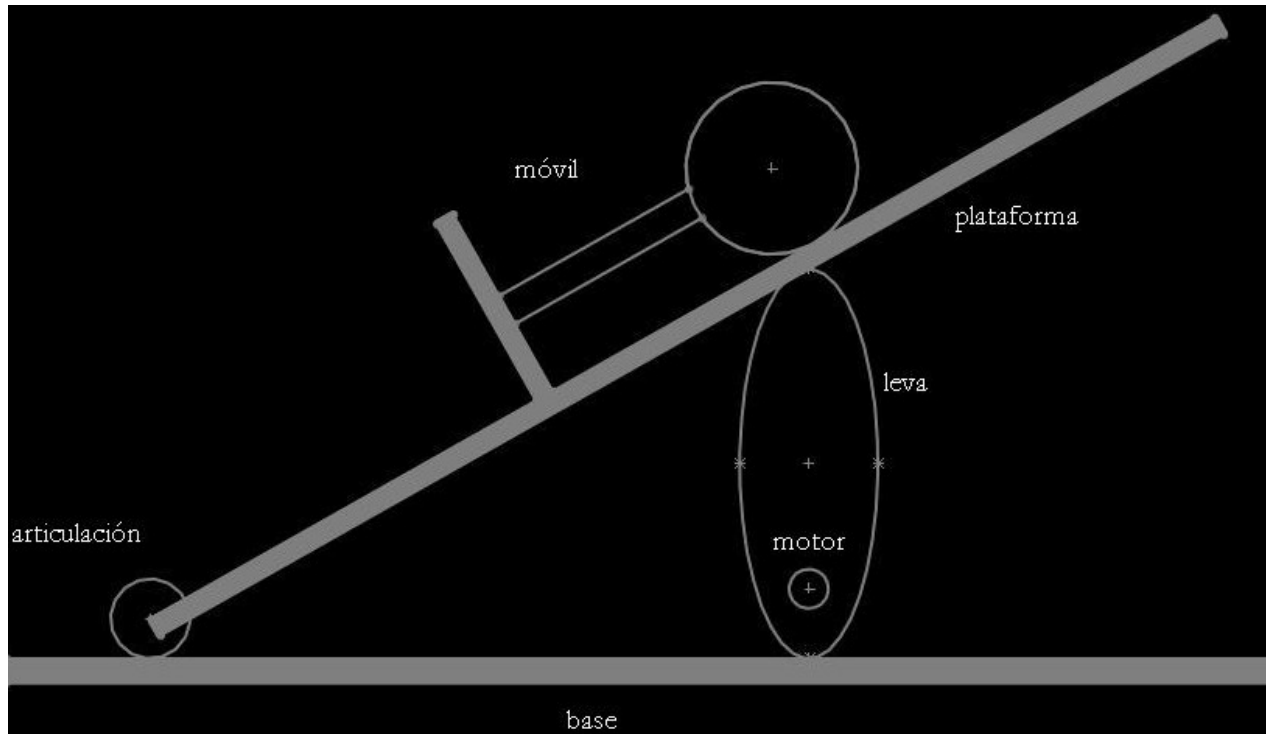


Figura 5 Esquema del subsistema gato.

Plataforma acoplada a un gato mecánico, como se muestra en la figura 5, al poner en marcha el motor el gato sube o baja, variando el ángulo de la plataforma.

## Leva



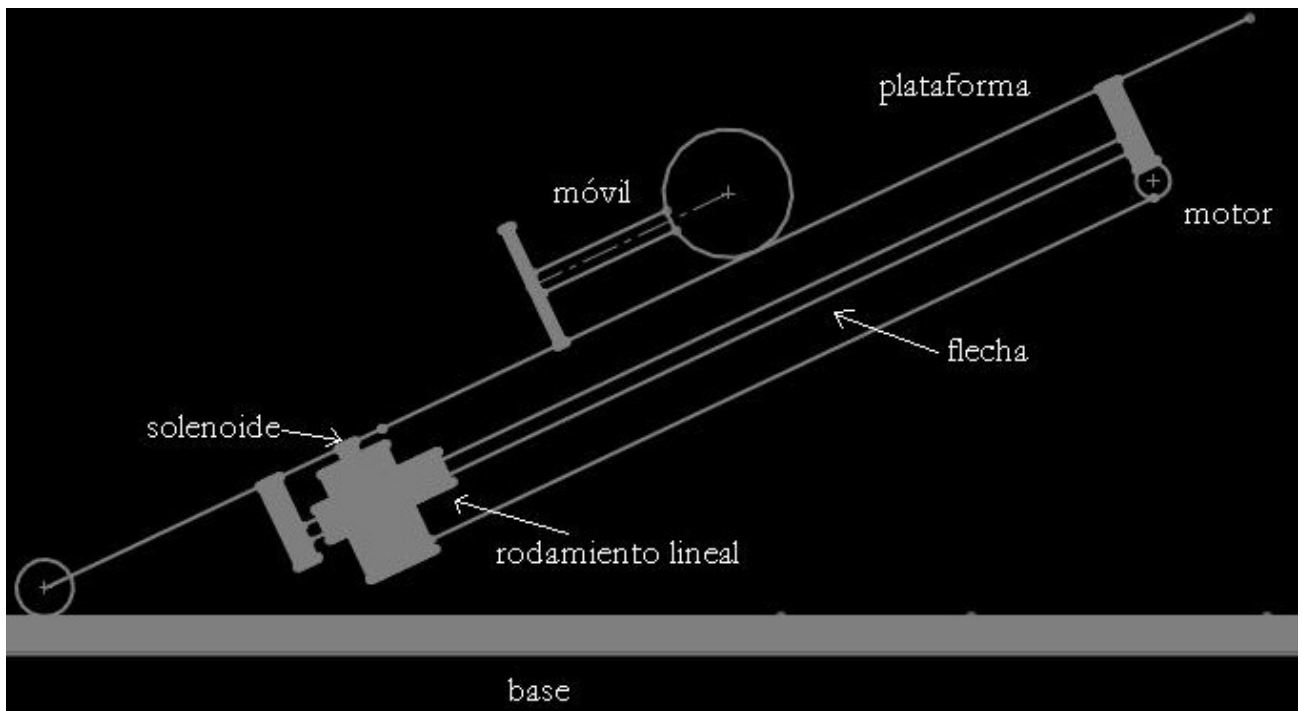
*Figura 6 Esquema del subsistema leva.*

Como se muestra en la figura 6, por medio de una leva acoplada a un motor, la plataforma varía su ángulo de trabajo.

## II.4.2 MECANISMOS PARA RECARGAR AL MÓVIL

A continuación se presentan algunas propuestas del subsistema que tendrá la función de llevar al móvil a la parte superior de la plataforma (posición inicial) esto permitirá que el móvil regrese en forma automática una vez que haya llegado a la parte inferior para poder realizar nuevamente la práctica.

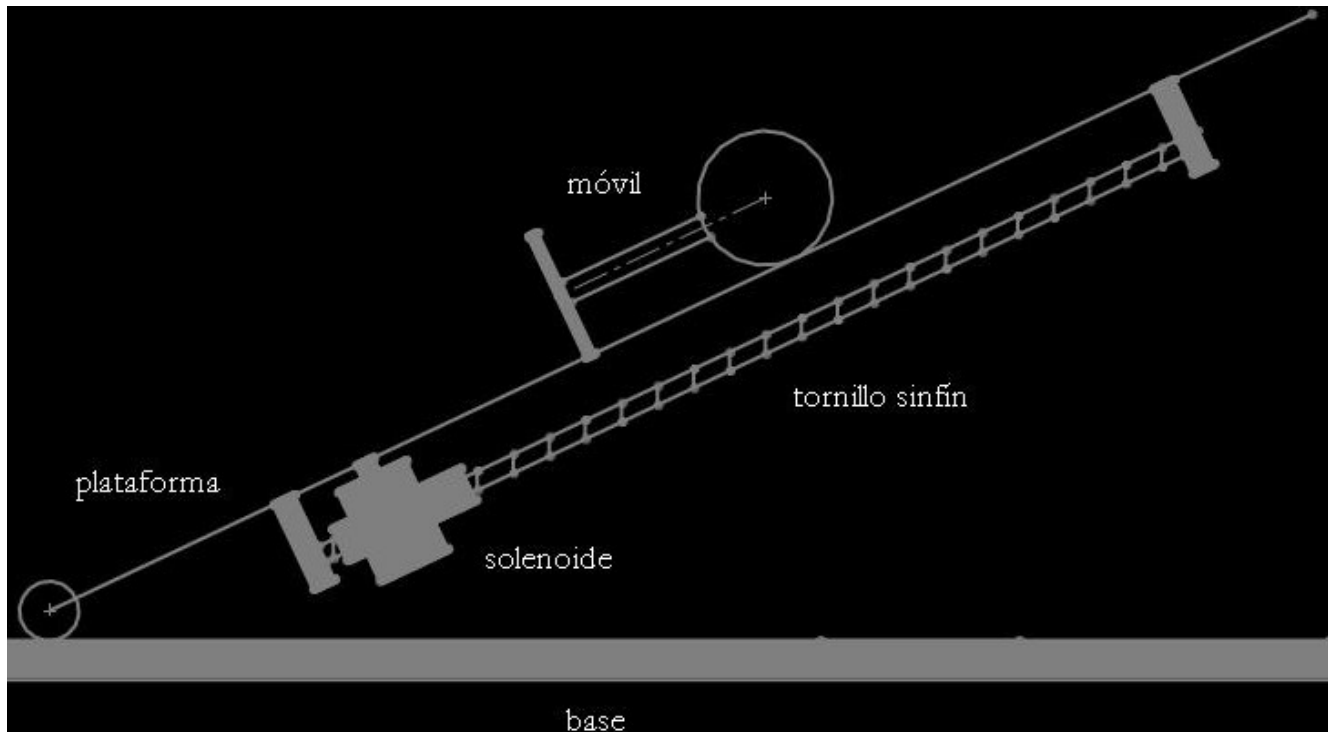
### Solenoide-rodamiento lineal



*Figura 7 Esquema del subsistema solenoide-rodamiento lineal.*

El mecanismo que se muestra en la figura 7, consta de un solenoide acoplado a un rodamiento lineal el cual se mueve mediante un cable acoplado a éste en un extremo y el otro extremo a un motor; para subir al móvil aprovechamos la parte metálica (material ferro magnético) del móvil la cual va a ser atraída al solenoide al ser activado, y así subir el solenoide junto con el móvil a la posición deseada.

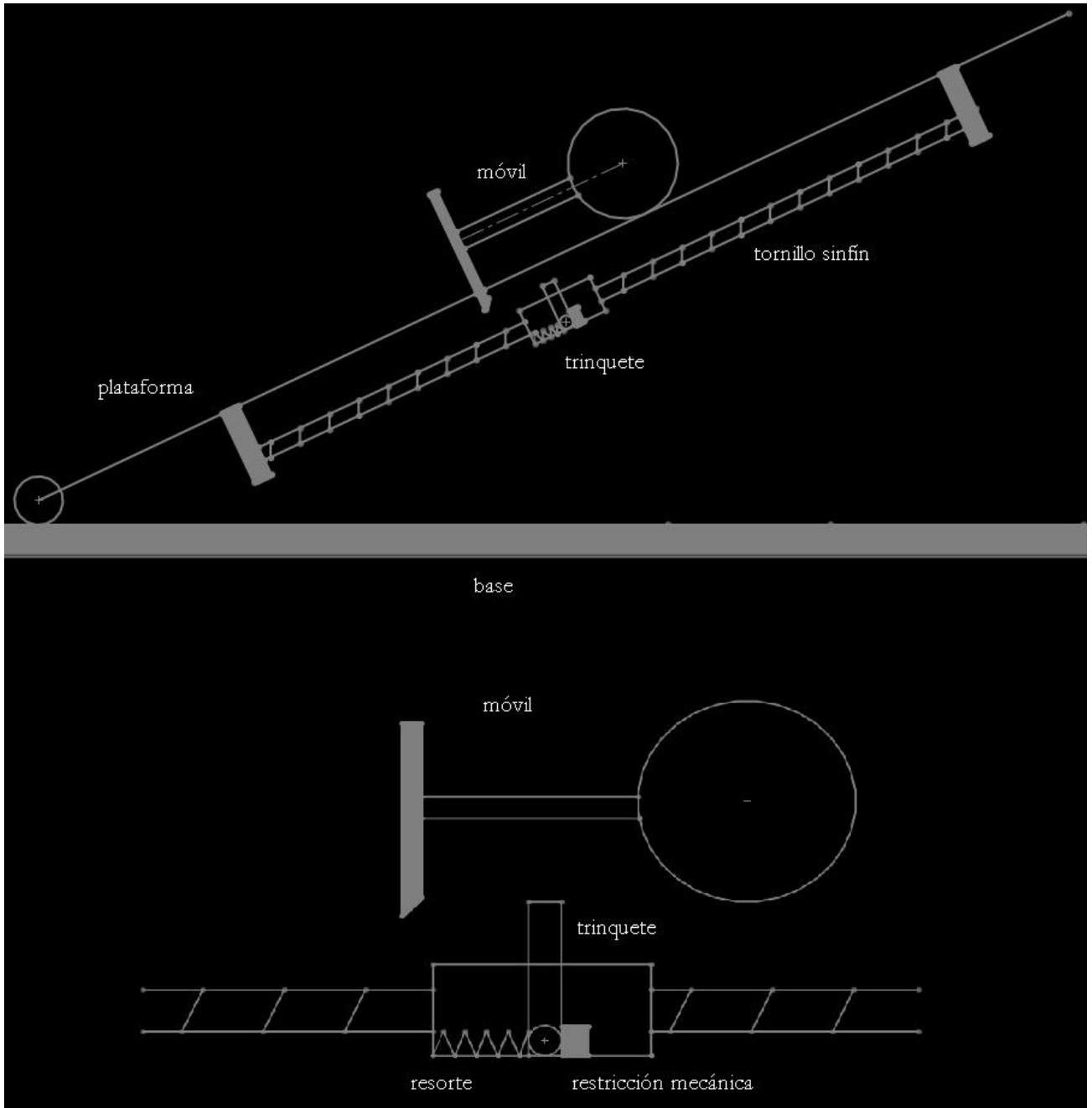
### Solenoide-tornillo sinfín



*Figura 8 Esquema del subsistema solenoide-tornillo sin fin.*

Este mecanismo, como se muestra en la figura 8, consta de un solenoide acoplado a una tuerca la cual se mueve mediante un tornillo sinfín, para subir el móvil se aprovecha la parte metálica (material ferro magnético) del móvil la cual va a ser atraída al solenoide al ser activado éste y así subir el solenoide junto con el móvil a la posición deseada.

## Trinquete



*Figura 9 Esquema del subsistema trinquete.*

Este mecanismo, tal como se muestra en la figura 9, consta de un trinquete el cual tiene una restricción mecánica la cual sólo le permite girar en un sólo sentido, y un resorte que lo lleva a su posición inicial, para subir el móvil se lleva el trinquete hacia el móvil hasta engancharlo y llevarlo a la posición deseada.

## Banda

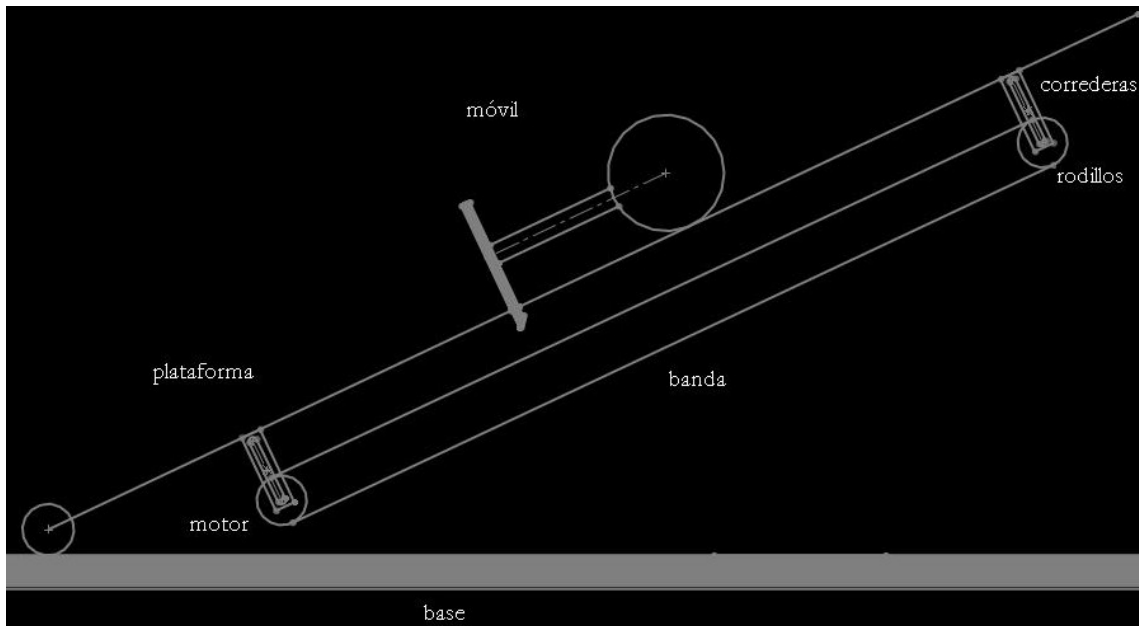


Figura 10 Esquema el subsistema banda.

El mecanismo de la figura 10, muestra dos correderas por la parte inferior de la plataforma y a cada uno de los extremos, dichas correderas contienen una rodillo que sube y baja por medio de motores y tienen la función de subir y bajar una banda lo suficientemente rugosa para que exista fricción entre ésta y el móvil, al estar en contacto la banda y el móvil, se acciona un motor que hace circular a la banda para que ésta suba al móvil a la posición deseada..

## Acoplamiento

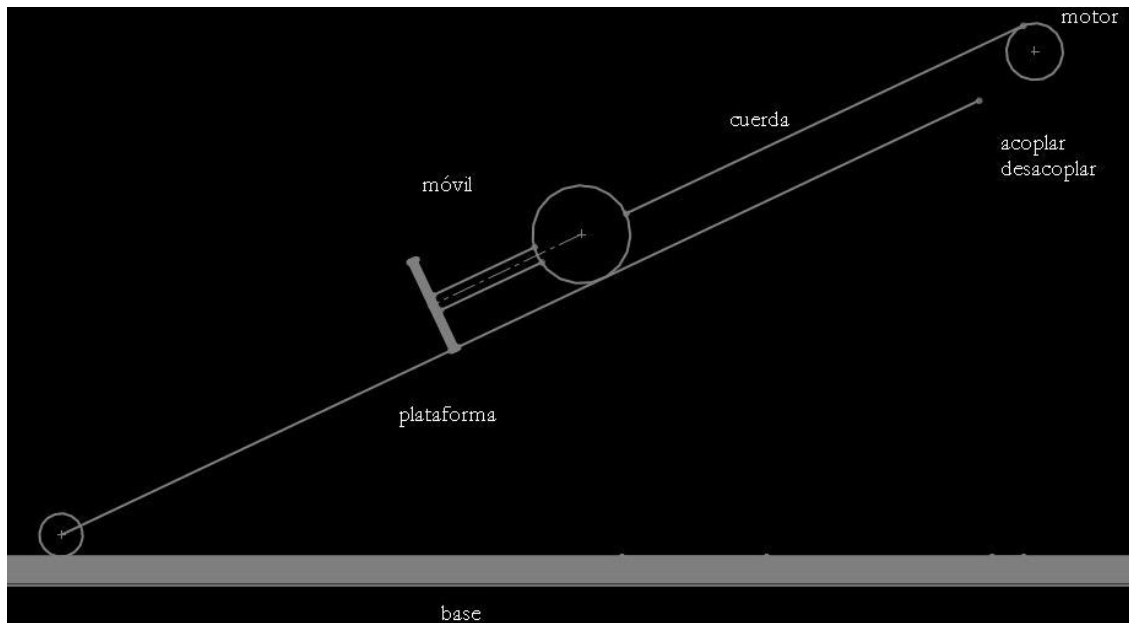
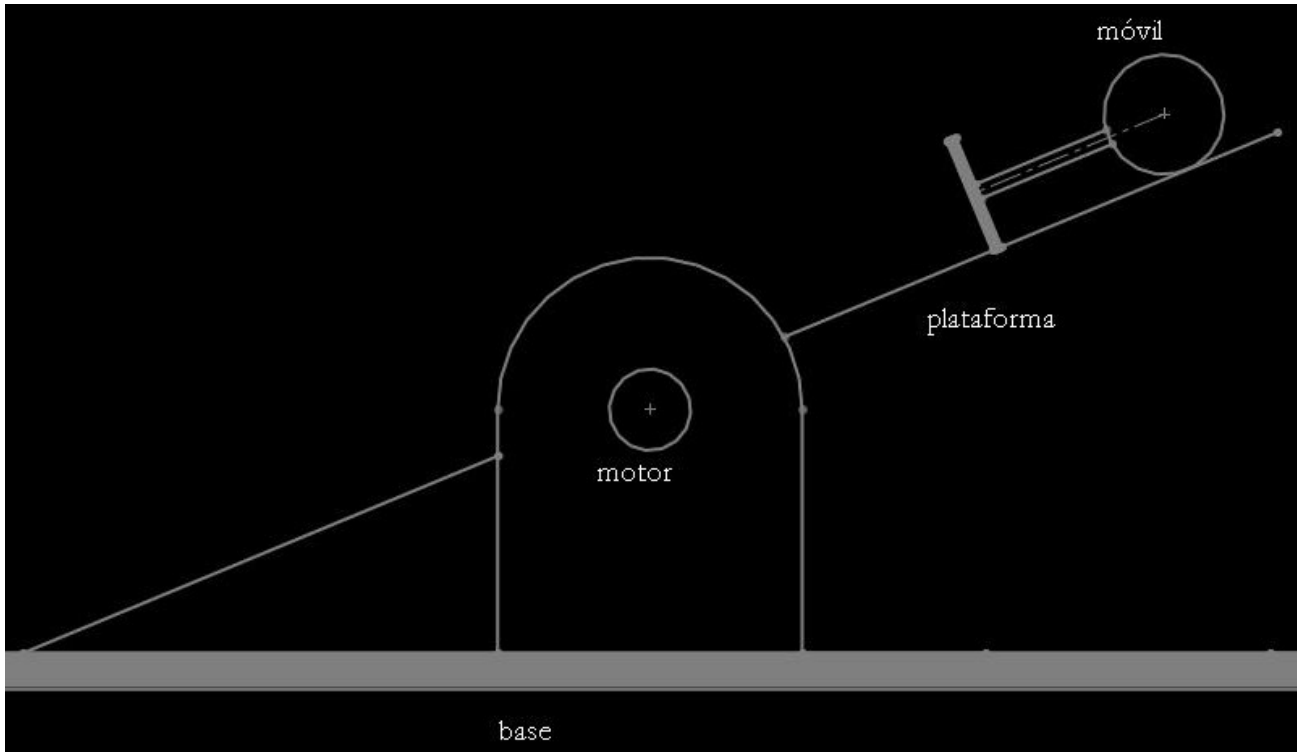


Figura 11 Esquema del subsistema acoplamiento.

El mecanismo mostrado en la figura 11, consta de un cable que está sujeto al móvil en un extremo, y en el otro a una polea que esta acoplada a la flecha de un motor (o a la caja reductora del motor), para subir el móvil sólo se acciona el motor hasta subirlo a la posición deseada.

### Motor en el centro

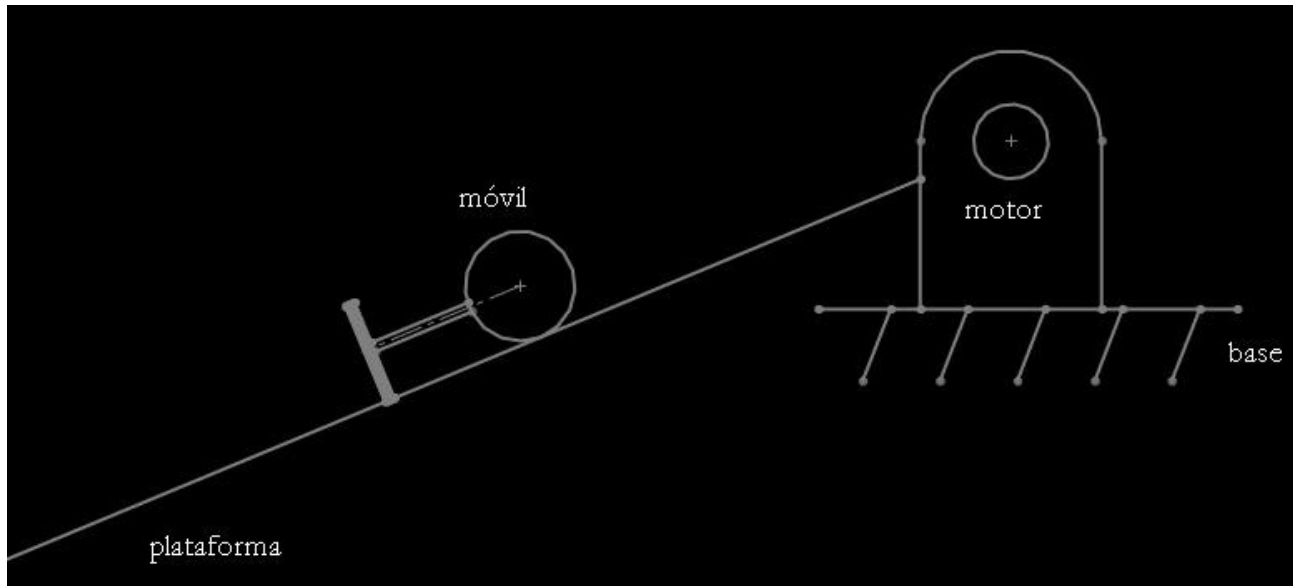


*Figura 12 Esquema del subsistema motor en el centro.*

Plataforma acoplada por el centro a un motor, como se muestra en la figura 12, el cual al ser puesto en marcha puede cambiar tanto el ángulo de la plataforma, así como la posición del móvil.



## Motor en el extremo



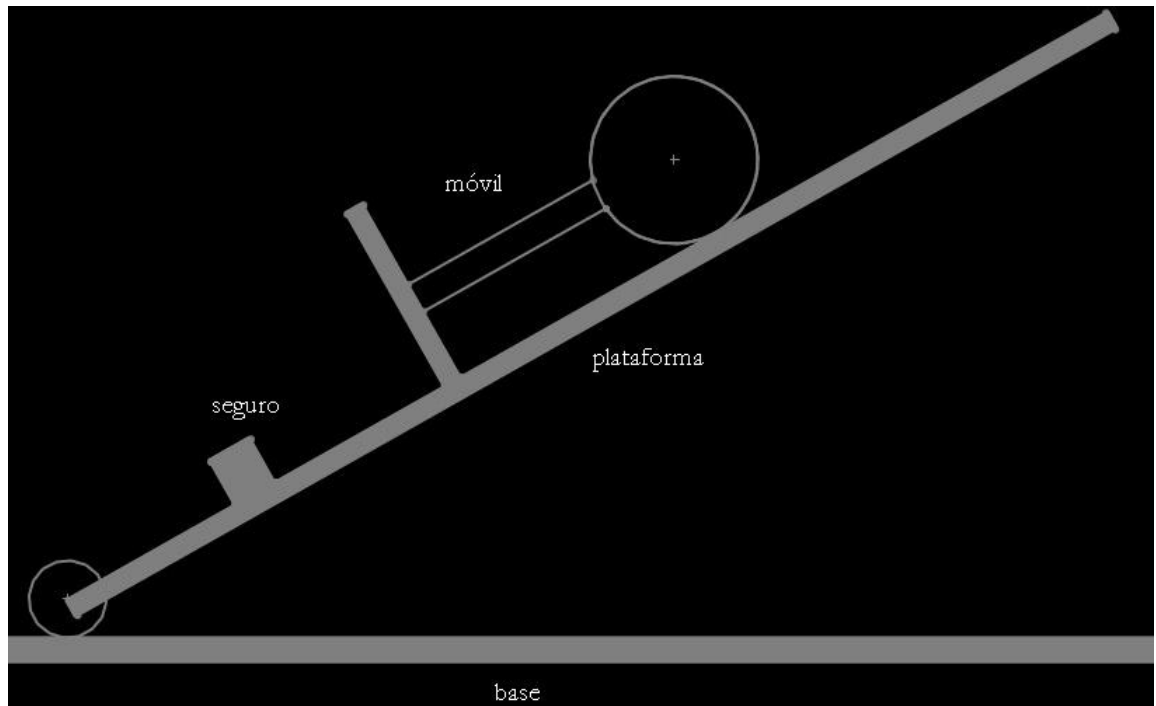
*Figura 13 Esquema del subsistema motor en el extremo.*

Plataforma acoplada por un extremo a un motor, tal como se observa en la figura 13, el cual puede variar tanto el ángulo de la plataforma y la posición del móvil. Cabe mencionar que este subsistema podría funcionar en caso de que tanto la plataforma como el móvil no sean muy grandes, de lo contrario no habría un motor con tanto par como para mover el sistema.

### II.4.3 MECANISMOS PARA MANTENER EN SU POSICIÓN INICIAL Y LIBERAR AL MÓVIL

Es necesario contar con algún dispositivo que mantenga al móvil en la parte superior para que al iniciar la práctica sea liberado y comience su descenso por lo que a continuación se presentan algunas propuestas para este subsistema que tendrá precisamente esa función, esperando a que el móvil sea liberado para comenzar su descenso.

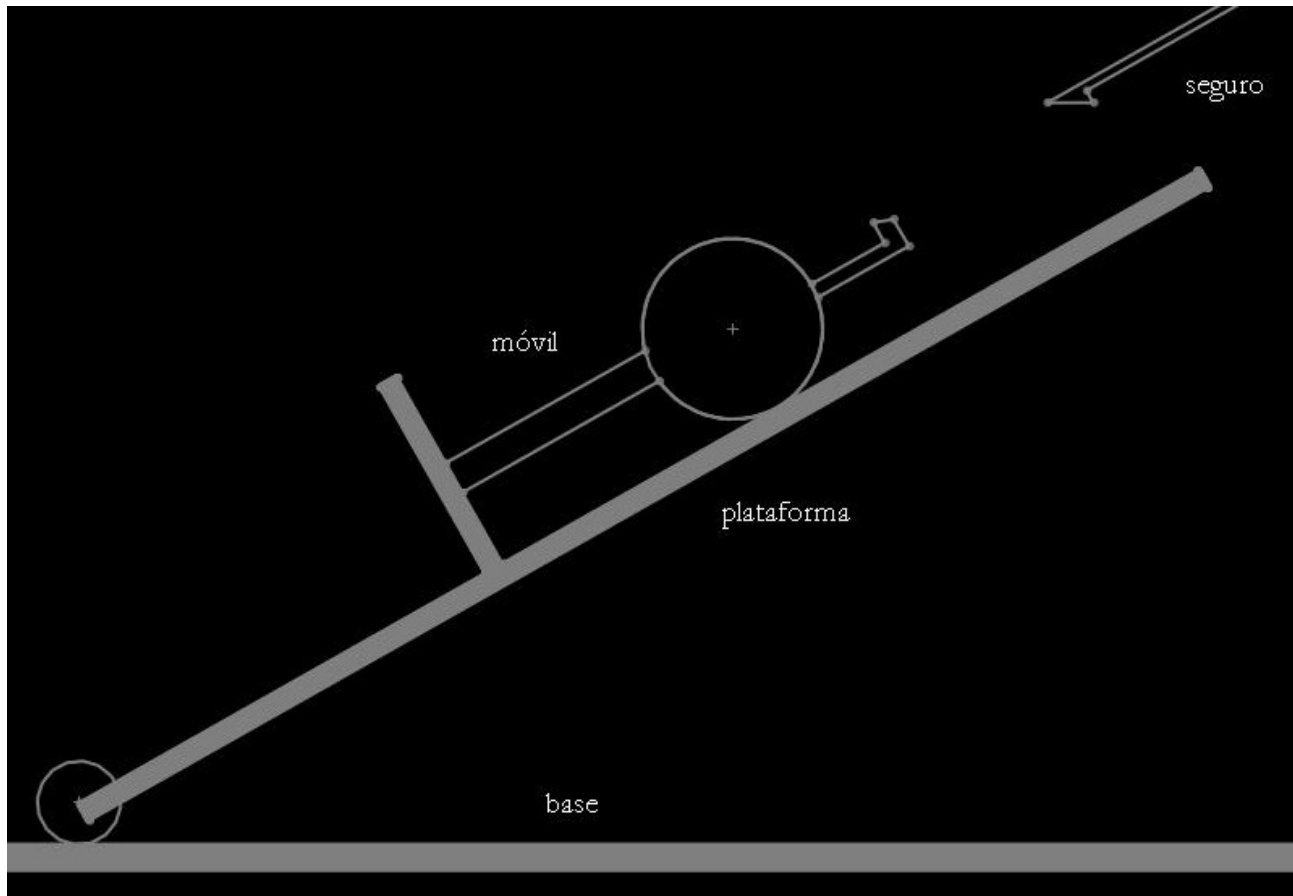
#### Seguro



*Figura 14 Esquema del subsistema seguro.*

El móvil es sostenido por medio de un seguro mecánico, como se muestra en la figura 14, el cual al ser liberado permite que el móvil comience su descenso.

## Gancho



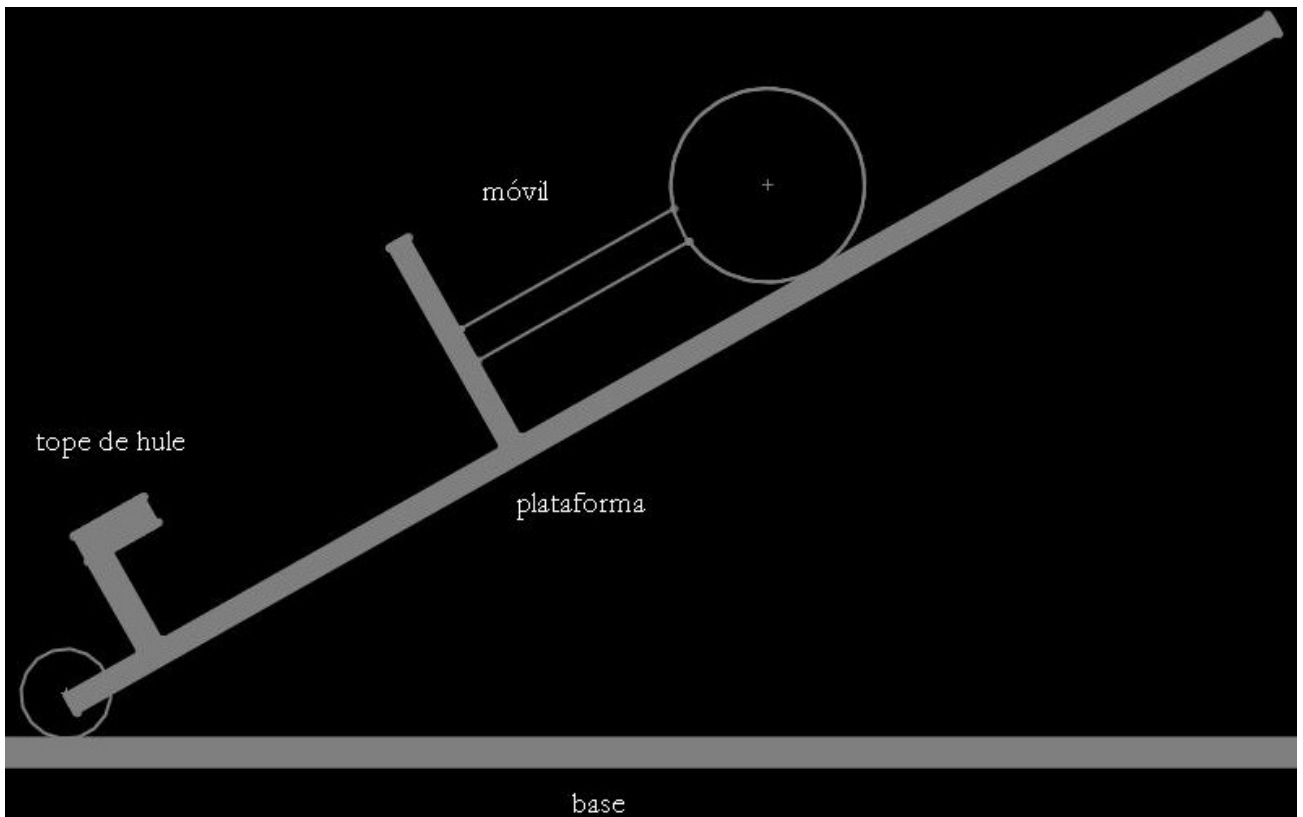
*Figura 15 Esquema del subsistema gancho.*

El móvil es sujetado por medio de un seguro en forma de gancho, como se muestra en la figura 15, al ser liberado el móvil comienza su descenso.

#### II.4.4 MECANISMOS PARA DETENER AL MÓVIL

Es necesario contar también con un elemento que permita detener al móvil una vez que llegó al final del recorrido para evitar que siga de largo, por lo que a continuación se presentan propuestas para este subsistema.

##### Tope



*Figura 16 Esquema del subsistema tope.*

Este subsistema consta de un tope de hule, como el que se muestra en la figura 16, con un perfil tal que el impacto entre éste y el móvil permita detener su movimiento, además es importante que el impacto sea en el centro de la placa del móvil para evitar deformaciones.

## Resorte

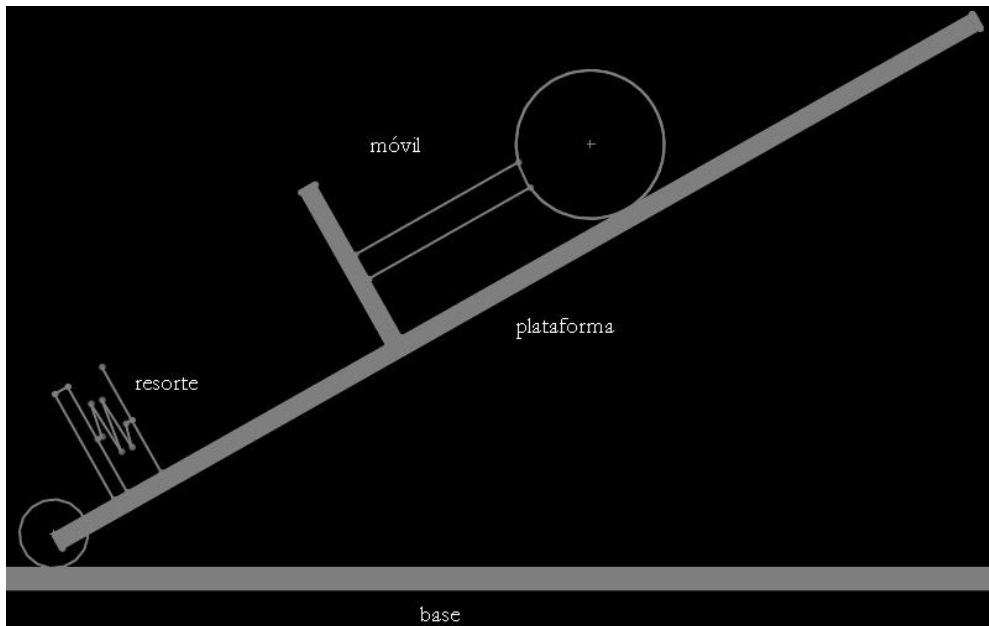


Figura 17 Esquema del subsistema resorte.

Este subsistema consta de un tope con un resorte, como se observa en la figura 17, el cual detiene al móvil con un impacto más suave, evitando deformaciones en la placa del móvil.

## Resorte-Amortiguador

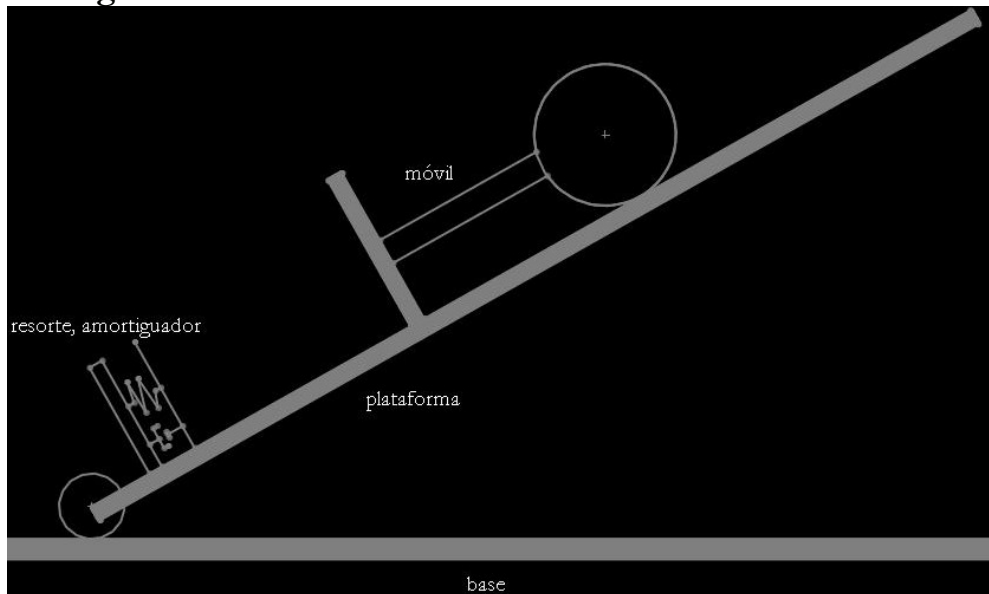


Figura 18 Esquema del subsistema resorte-amortiguador.

Este subsistema consta de un sistema resorte-amortiguador, como el de la figura 18, el cual detiene al móvil y amortigua el impacto evitando que haya deformaciones en la placa del móvil.

## II.4.5 SENSORES

En esta parte se muestran dos diferentes tipos de sensores, para medir desplazamiento y para medir posición angular; estos sensores son algunas versiones comerciales en las cuales se muestra su principio de funcionamiento y sus características más relevantes.

### Sensores para medir desplazamiento

Transductores magnetoresistivos

El sistema consta de dos partes, una cinta magnética y un cabezal, el cabezal se desplaza a una distancia de uno o dos milímetros de la cinta lo que permite una medida sin rozamiento.

Es como disponer de un encoder lineal, con la ventaja de contar con una cinta magnética de hasta 30 m de longitud de una sola pieza.

Como se puede observar en la figura 19, el cabezal recorre la cinta magnetizada generando señales muy parecidas a las generadas por un encoder por medio de dos canales; una referencia y un error.



*Figura 19 Transductor magnetoresistivo.*

Aplicaciones:

Medida de distancia y posición para todo tipo de maquinaria, especialmente las líneas de producción con largas distancias como, corte de perfiles, prensas, plataformas, sierras, pulidoras, posicionado de paneles solares, posicionado de compuertas, pasarelas de aeropuertos, ensayos de velocidad y distancia.

## Transductores magnetoestrictivos

La magnetoestricción es una característica de los materiales ferromagnéticos que los hace cambiar su forma cuando están sujetos a un campo magnético.

Todos los sensores integran una electrónica que emite pulsos a lo largo de un perfil, que dispone de diferentes rangos que van desde los 100 a los 5750 mm de longitud, estos pulsos se ven modificados por el campo magnético de un imán, el cual determina la posición. La electrónica mide la diferencia de tiempo entre la emisión y la recepción de los pulsos y lo convierte en distancia con una alta resolución.

La salida es proporcional al rango medido gracias a la electrónica integrada en el propio sensor.



*Figura 20 Transductor magneto-estrictivo.*

Aplicaciones:

Medida de distancia y posición para todo tipo de maquinaria, como prensas, compactadores, plataformas, sierras, pulidoras, servo-cilindros, entre otros.

## Potenciómetros lineales

Los potenciómetros lineales, como los mostrados en la figura 21, son transductores de distancia y posición con contacto y rozamiento. La medida se obtiene mediante el deslizamiento de unas escobillas sobre una pista plástica resistiva, que en función del punto donde se encuentre, dará un valor proporcional en resistencia.



Figura 21 Potenciómetro lineal.

Aplicaciones:

Medida de distancia y posición en general de maquinaria para diferentes industrias, como el de la madera, la cerámica o el mármol, en las que no existen grandes distancias y se busca una automatización sencilla.

### Reglas digitales

También conocidas como encoder lineales, figura 22, miden desplazamiento lineal con mucha resolución y sin rozamiento por tratarse de tecnología óptica, permitiendo así millones de operaciones con una alta resolución.

El sistema consta de un perfil lineal debidamente escalado con huecos opacos y transparentes de forma intercalada, además de un fotodiodo y un fotodetector; los segmentos opacos interrumpen el haz de luz emitido del fotodiodo al fotodetector, lo que genera una señal a la salida.

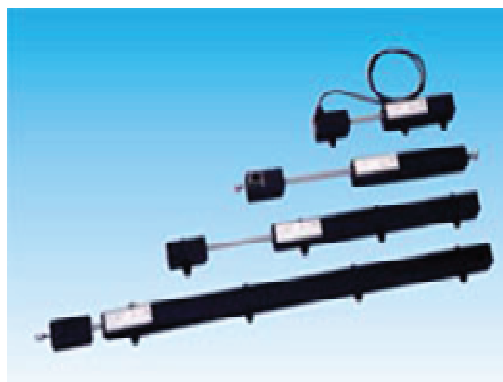


Figura 22 Encoder lineal.



## Láser de Triangulación

Los láseres de triangulación, figura 23, proyectan un haz de luz que oscila formando una cortina 2D, el cual incide sobre la superficie a medir, este haz es reflejado desde la superficie hacia el fotodetector del aparato con un cierto ángulo de inclinación, que variará en función de la distancia medida.



Figura 23 Láser de triangulación.

Aplicaciones:

Medida de espesor, vibraciones, holgura, nivel, control de calidad, detección de presencia, posicionamiento de pequeños objetos.

## Transductores de distancia por cable

Son elementos que transforman un movimiento lineal en un movimiento angular, algunos ejemplos se pueden observar en la figura 24. Este movimiento angular es recogido por un potenciómetro, para salidas analógicas, o por un encoder, para salidas digitales.

Los sensores disponen de tres partes mecánicas fundamentales, cable, muelle y tambor.

El cable recorre la distancia a medir. El muelle se encarga de mantenerlo tenso en el punto de medida. Finalmente el cable se recoge de nuevo con gran precisión en el tambor gracias a la fuerza de retorno que ejerce el muelle.

Este conjunto compone una mecánica de gran precisión y repetitividad.



*Figura 24 Transductores de distancia por cable.*

Aplicaciones:

Medida de distancia y posición para todo tipo de maquinaria, como prensas, grúas, plataformas, sierras, pulidoras, posicionado de compuertas hidráulicas, pasarelas de aeropuertos y ensayos de fatiga.

### **Sensor ultrasónico**

Para este sensor, figura 25, se toma en cuenta que el medio a través del cual viaja el sonido es el aire. Otro material diferente al aire se toma como un objeto (se incluyen sólidos, líquidos y gases). Todos los objetos reflejan y absorben una porción de la onda.

Una parte de la onda que llega a la superficie del material es reflejada, mientras una parte de la onda penetra en el material y es eventualmente reflejada por cualquier límite de superficie encontrado mientras viaja dentro del material, por lo que también se recibe una señal proveniente del interior del material.

La amplitud de la onda reflejada es directamente proporcional a la superficie disponible del objeto reflejante. El tamaño de la superficie, forma y orientación son también factor que modifica la energía de la señal reflejada.



*Figura 25 Sensor Ultrasónico de la serie Herian Proffer modelo HE-US23.*

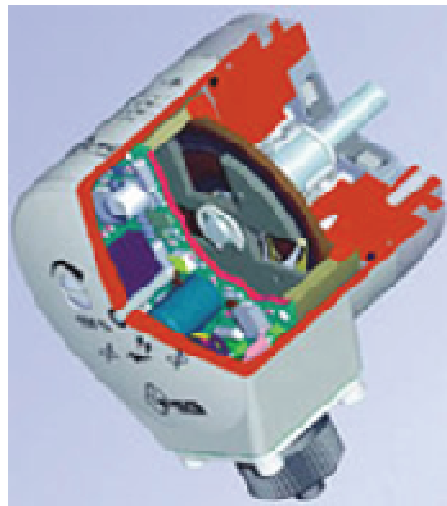
Aplicaciones:

Detección de vidrio en la industria automotriz, verificación de presencia/ausencia de pernos, medición de nivel de fluido hidráulico en una prensa.

### **Sensores para medir posición angular**

#### **Potenciómetros rotativos**

Estos potenciómetros, como el que se observa en la figura 26, tienen un elemento semi-circular, de un material resistente, como el grafito. Cuentan con tres terminales, cada extremo del contacto está conectado a una terminal, y se aplica un voltaje a través de éstas terminales. El eje está conectado a un contacto que se mueve por la superficie del grafito, y este contacto está conectado a la tercera terminal. La tensión en ésta terminal de salida depende de la posición del eje. En funcionamiento son muy similares a los potenciómetros lineales, vistos anteriormente, la diferencia es que en este caso se controlan girando su eje, una de las ventajas que presentan este tipo de potenciómetros es que ocupan poco espacio.



*Figura 26 Potenciómetro rotativo.*

Aplicaciones:

Control de posicionado en veletas o compuertas y también de aspas de hélices graduables la posición de timones, control de movimientos pendulares en grúas, ajuste de electroválvulas.

## Encoder rotativo

Son elementos cuyo funcionamiento es prácticamente igual al de las reglas digitales, la diferencia radica en que este tipo de es circular, como se puede observar en la figura 27, cuenta con un perfil circular dividido en espacios opacos y transparentes alternados y equidistantes.



*Figura 27 Encoders.*

Aplicaciones:

Las aplicaciones para los encoders rotatorios son innumerables, principalmente se centran en el posicionamiento angular y la traducción de movimientos lineales en angulares. Algunas de ellas son el control de giro en plataformas y bancadas, posicionamiento de brazos robotizados, control lineal mediante giro de engranajes, entre otros.

## **RVDT**

El Rotary Variable Differential Transformer (RVDT por sus siglas en ingles), como el de la figura 28, es un transductor electromecánico que provee una corriente alterna a la salida la cual es directamente proporcional al desplazamiento angular, son de vida casi ilimitada, debido a que no hay rozamiento.

El montaje del mismo es muy fácil, y permite rotar su eje ilimitadamente, ya que no tiene tope.

Funciona básicamente al excitarlo con una tensión de  $2.2 \text{ V}$  con una frecuencia en el rango de 15 a 400 kHz



*Figura 28 RVDT.*

Aplicaciones:

Se encuentran en sistemas de metrología, posición de válvulas, en actuadores hidráulicos, entre otros.

### **Giroscopios**

Es un cuerpo en rotación que presenta dos propiedades fundamentales: la inercia giroscópica o 'rigidez en el espacio' y la precesión, que es la inclinación del eje en ángulo recto ante cualquier fuerza que tienda a cambiar el plano de rotación. Estas propiedades son inherentes a todos los cuerpos en rotación, incluida la Tierra. El término giróscopo se aplica generalmente a objetos esféricos o en forma de disco montados sobre un soporte, de forma que puedan girar libremente en cualquier dirección. A veces se denomina girostato a un giróscopo que sólo puede moverse en torno a un eje de giro. En casi todas sus aplicaciones prácticas, los giróscopos están restringidos o controlados de esta forma. El Giroscopio incorpora tres acelerómetros, tres giroscopios y tres magnetómetros, lo que permite solucionar muchos problemas sencillos de navegación, estabilización y medida. En la figura 29 se puede observar un ejemplo de estos sistemas.

Aplicaciones:

Los giróscopos constituyen una parte importante de los sistemas de navegación automática o guiado inercial en aviones, naves espaciales, misiles teledirigidos, cohetes, barcos y submarinos



*Figura 29 Giróscopio.*

## II.4.6 ACTUADORES

### Motores eléctricos

Es un dispositivo que convierte energía eléctrica en energía mecánica, el movimiento se genera en un rotor debido a un campo electromagnético que se genera al hacer pasar una corriente alterna o directa en las bobinas que conforman a un estator. Para aquéllos que funcionan con corriente directa existen varios tipos, de entre ellos destacan los que se presentan a continuación.

### Motores de pulsos (*Stepping motors*)

Los motores de pulsos son ideales para la construcción de mecanismos en los que se requieren movimientos muy precisos.

Se constituyen por un rotor sobre el cual se disponen imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras en su estator. La excitación de las bobinas debe ser manejada por un controlador.

La característica principal de estos motores, como el observado en la figura 30, es el hecho de lograr moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde  $90^\circ$  hasta pequeños movimientos de tan solo  $1.8^\circ$ , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso y 200 para el segundo caso, para completar un giro completo de  $360^\circ$ .

Estos motores poseen la característica de quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor quedará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.



Figura 30 Motor de pulsos.

## Motores de CD de rotación continúa

Los motores de CD de rotación continua se clasifican de acuerdo al tipo de embobinado del campo como motores serie, *shunt* o compuesto. Sin embargo; algunos de ellos pueden ser autoexcitados, con excitación separada o pueden tener campos de imán permanente. Muestran curvas muy diferentes de torque-velocidad y se conectan en diferentes configuraciones para diferentes aplicaciones.

Algunos motores de CD utilizan un imán permanente como campo principal, especialmente los de baja potencia.

Los motores de imán permanente tienen la ventaja de no requerir una fuente de energía para el campo, pero tienen la desventaja de ser susceptibles a la desmagnetización por cargas de choque eléctricas o mecánicas. Los campos de imán permanente no se pueden ajustar a una aplicación en específico, algo que si se puede hacer en los de campo bobinado.

### Motor serie

En un motor serie, el flujo del campo es una función de la corriente de la carga y de la curva de saturación del motor. A medida que la corriente de la carga disminuye desde plena carga, el flujo disminuye y la velocidad aumenta. La tasa de incremento de velocidad es pequeña al principio pero aumenta a medida que la corriente se reduce. Para cada motor serie, hay una mínima carga segura determinada por la máxima velocidad de operación segura.

### Motor shunt

El motor shunt, como el de la figura 31, suministra energía eléctrica a una tensión casi constante, cualquiera que sea la carga. Cuando el circuito está abierto, la máquina tiene excitación máxima porque toda la corriente producida se destina a la alimentación del circuito de excitación. Cuando el circuito está en cortocircuito, casi toda la corriente producida pasa por el circuito del inducido y la excitación es mínima, la tensión disminuye rápidamente y la carga se anula. Por lo tanto, un cortocircuito en la línea no daña la máquina, que se desexcita automáticamente, dejando de producir corriente.

Los motores shunt presentan el inconveniente de que no pueden excitarse si no están en movimiento, ya que la excitación procede de la misma máquina.

El circuito de excitación no lleva fusibles por las razones ya indicadas; en este circuito no es necesario un interruptor porque para excitar la máquina simplemente hay que ponerla en marcha y para desexcitarla no hay más que pararla.

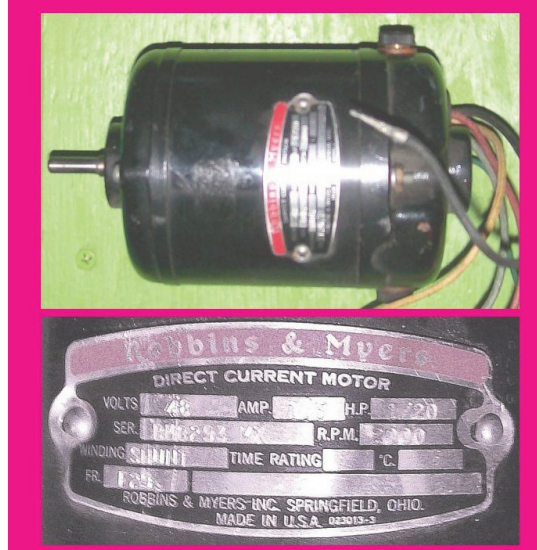


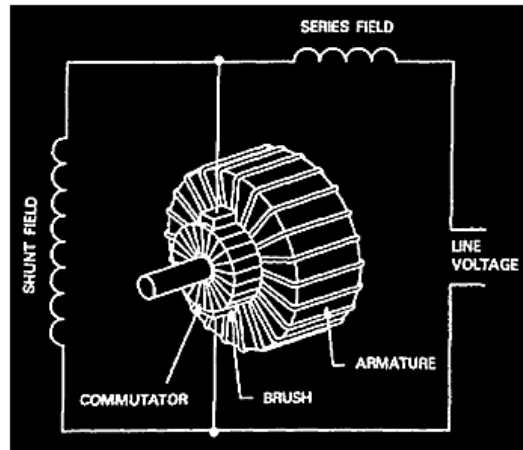
Figura 31 Motor shunt.

### Motor Compuesto (*compound*)

Los motores compuestos, mostrados en la figura 32, tienen un campo serie sobre el tope del embobinado del campo *shunt*. El flujo del campo serie varía directamente a medida que la corriente de armadura varía, y es directamente proporcional a la carga. El campo serie se conecta de manera tal que su flujo se añade al flujo del campo principal *shunt*. Los motores compuestos se conectan normalmente de esta manera y se denominan como motor compuesto acumulativo.

Esto provee una característica de velocidad la cual no es tan “dura” o plana como la del motor *shunt*, y no tan “suave” como un motor serie. Un motor compuesto tiene un limitado rango de debilitamiento de campo, la debilitación del campo puede resultar en exceder la máxima velocidad segura del motor sin carga. Los motores de CD compuestos son algunas veces utilizados donde se requiera una respuesta estable de torque constante a través de un amplio rango de velocidad.





*Figura 32 Motor compuesto.*

## Solenoides

El solenoide es un alambre aislado enrollado en forma de hélice (bobina) con un paso acorde a las necesidades, por el que circula una corriente eléctrica. Cuando esto sucede, se genera un campo magnético dentro del solenoide. El solenoide con un núcleo apropiado se convierte en un imán (en realidad electroimán).

Este tipo de bobinas o solenoides es utilizado para accionar un tipo de válvula, llamada válvula solenoide, que responde a pulsos eléctricos respecto de su apertura y cierre. Eventualmente controlable por programa, su aplicación más recurrente en la actualidad, tiene relación con sistemas de regulación hidráulica y neumática.

## II.5 SELECCIÓN DEL SISTEMA

Para realizar la selección del sistema, se evaluó cada mecanismo según las especificaciones de la Tabla 1, cada especificación tuvo una ponderación según su importancia para el desarrollo del proyecto, la evaluación la hicieron personas con experiencia en este campo, una vez obtenida la evaluación se realizaron combinaciones con los diferentes mecanismos para seleccionar el sistema más eficiente y viable para realizar la práctica.

**Tabla 1** *Tabla utilizada para la calificación de las propuestas y ponderación asignada a cada especificación.*

Especificación	Tiempo de Manufactura	Facilidad de fabricación	Facilidad de Control	Precisión	Tiempo de vida	Bajo Costo	Mantenimiento
Ponderación	0.25	0.2	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1

En la ponderación asignada a cada especificación se tomaron en cuenta las circunstancias, tiempo disponible, recursos y herramientas con lo que se contaba para la fabricación del sistema. Como resultado se decidió dar las ponderaciones mostradas en la Tabla 1. Las calificaciones dadas a las propuestas van desde el 0 al 5, donde 0 es muy malo y 5 es excelente. El valor mostrado en cada una de las especificaciones, mostradas en la Tabla 1.1, es la suma de todos los evaluadores para cada uno de los campos.

**Tabla 1.1** *Calificaciones obtenidas en la evaluación de las propuestas de los mecanismos para el sistema*

	Tiempo de manufactura	Facilidad de fabricación	Facilidad de control	Precisión	Tiempo de vida	Bajo costo	Mantenimiento
Tornillo sinfín	26	27	28	27	28	26	25
Manivela	20	17	21	22	21	19	20
Banda-Pivote	16	18	18	18	20	19	21
Cremallera-Pivote	19	17	20	21	20	20	21
Gato	23	21	22	22	26	24	25
Leva	20	16	23	23	21	23	24
Seguro	25	27	27	26	27	25	32
Gancho	25	24	22	22	25	24	25
Tope	28	28	0	0	25	25	28
Resorte	30	29	0	0	25	25	27
Resorte-amortiguador	20	20	0	0	23	23	23
Electroimán-rodamiento lineal	21	25	23	24	23	20	21
Solenoide-tornillo sinfín	24	24	25	26	23	24	23
Trinquete	20	21	24	23	22	25	22
Banda	18	19	22	20	21	20	21
Acoplamiento	15	18	19	18	20	19	23
Motor en el centro	20	16	25	20	24	15	21

Tras haber realizado la encuesta y obtener las calificaciones sobre los mecanismos mencionados, mostradas en la Tabla 1.1, y después de haber hecho las ponderaciones y promedios necesarios a estos, se obtuvieron las siguientes calificaciones para cada subsistema.

*Tabla 2 Calificación de las propuestas para variar el ángulo de trabajo.*

<b>Mecanismo</b>	<b>Calificación</b>
Tornillo sinfín	4.4495
Manivela	3.1095
Banda-Pivote	2.8615
Cremallera-Pivote	3.339
Gato	3.707
Leva	3.131

*Tabla 3 Calificaciones para las propuestas para subir al móvil.*

<b>Mecanismo</b>	<b>Calificación</b>
Electroimán-rodamiento lineal	4.385714
Solenoide-tornillo sinfín	4.542857
Trinquete	3.357143
Banda	3.814286
Acoplamiento	4.142857
Motor en el centro	3.685714

*Tabla 4 Calificación de las propuestas para mantener al móvil en la posición inicial y liberarlo.*

<b>Mecanismo</b>	<b>Calificación</b>
Seguro	4.1215
Gancho	4.0785

*Tabla 5 Calificaciones de las propuestas para detener al móvil.*

<b>Mecanismo</b>	<b>Calificación</b>
Tope	4.608
<b>Resorte</b>	<b>4.664</b>
Resorte-amortiguador	3.854

Con base en estas tablas, se seleccionaron los subsistemas con mayor calificación para empezar a desarrollar la configuración final que será:

*Tabla 6 Configuración del sistema*

<b>Mecanismo</b>	<b>Tarea</b>
Tornillo sinfín	Variar el ángulo de trabajo
Seguro	Mantener al móvil en la posición inicial
Resorte	Detener al móvil
Solenoido-tornillo sinfín	Subir al móvil

En cuanto a los sensores, existen tres variables que se tienen que medir: una es el ángulo de inclinación de la plataforma, y las otras dos son la distancia y el tiempo del móvil. Para medir la primera variable (ángulo de inclinación) se escogió un encoder de un solo diente (debido a que no se necesita mucha precisión) para medir el ángulo mediante software directamente en la interfaz, y en cuanto a las otras dos variables, en el departamento se cuenta con un sensor ultrasónico (sonar) el cual se emplea en esta práctica.

En el caso de los actuadores se necesitan dos motores, uno para mover el mecanismo de un espárrago, que se encarga de subir al móvil a su posición inicial, y otro para cambiar la inclinación de la plataforma, ya se cuenta con un motor de rotación continua a 24 V que se usará para el mecanismo del espárrago y otro motor de rotación continua a 24 V con caja reductora con una relación 13:1 a 120 rpm que se usa para cambiar el ángulo de inclinación de la plataforma.



# CAPÍTULO III

## DESARROLLO DEL PROTOTIPO

### III.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Al ser un proyecto que se realiza desde cero, se tiene abierta la posibilidad de elegir los materiales, manufactura, actuadores y sensores que se necesiten y se adapten mejor a los mecanismos seleccionados para el diseño y construcción del sistema.

Con lo primero que se empezó a trabajar fue con los subsistemas que se escogieron, los cuales se muestran en la Tabla 6 del capítulo anterior, a partir de ahí se empieza a diseñar la mejor manera de conjuntar todos estos subsistemas para que la práctica se realice según sus especificaciones.

### III.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Al comenzar con el desarrollo del prototipo primero se realizaron algunos bocetos como los de la figura 33, para ver de qué manera se ensamblarían todos los subsistemas.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

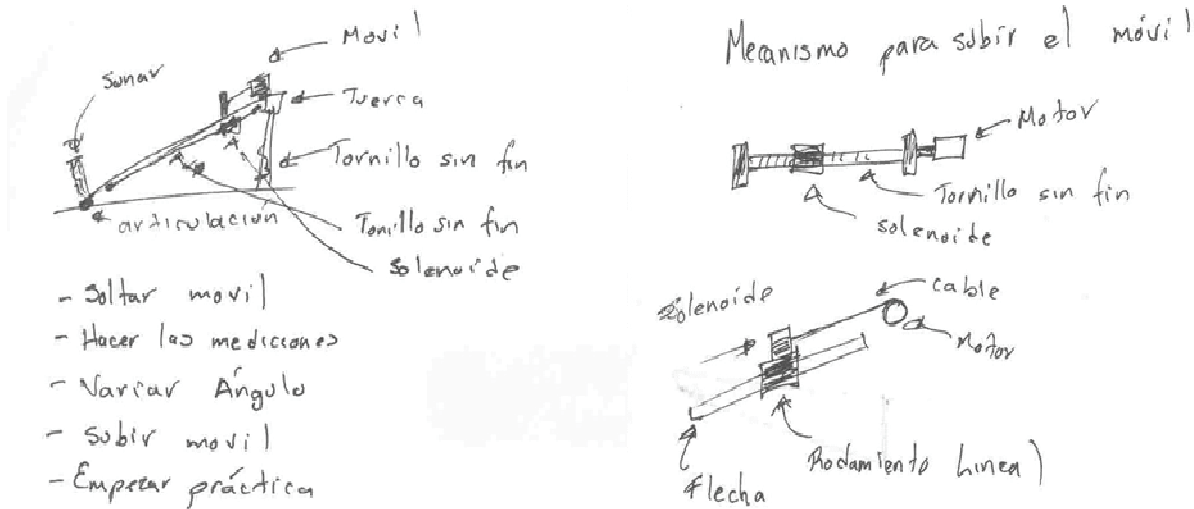


Figura 33 Bocetos realizados.

Una vez realizados los bocetos, para tener una idea más clara del sistema se realizó una primera aproximación del prototipo en CAD (SolidWorks), en este modelo observado en la figura 34, se muestran todos los subsistemas ensamblados, con medidas, materiales y actuadores todavía no definidos.



Figura 34 Primera aproximación del prototipo realizado en CAD.

Al analizar esta primera configuración de los subsistemas se encontraron varios detalles los cuales no funcionaron como se esperaba; el problema fundamental de esta configuración es que el móvil se guía a través de la plataforma gracias a los largueros que están en los extremos de aquélla, y existe fricción entre éstos y los aumentos del móvil, la cual no estaba contemplada en el desarrollo de la práctica y por lo mismo afectaría los



resultados de dicha práctica. Es por esto que se decidió proponer otra configuración para el prototipo

Se recibieron varias sugerencias, como las de la figura 35, para el diseño de la plataforma, las cuales ayudaron a hacer un buen diseño de ésta.

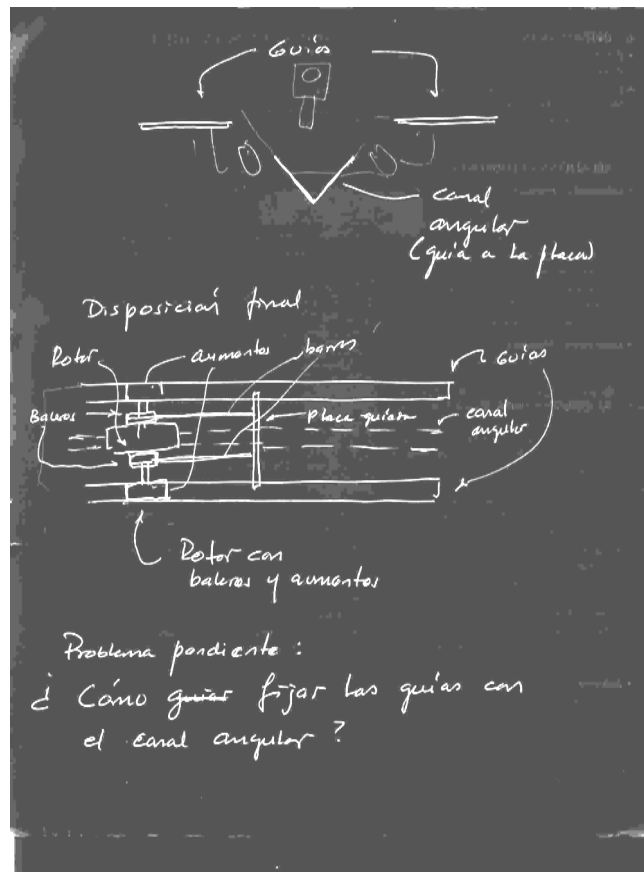
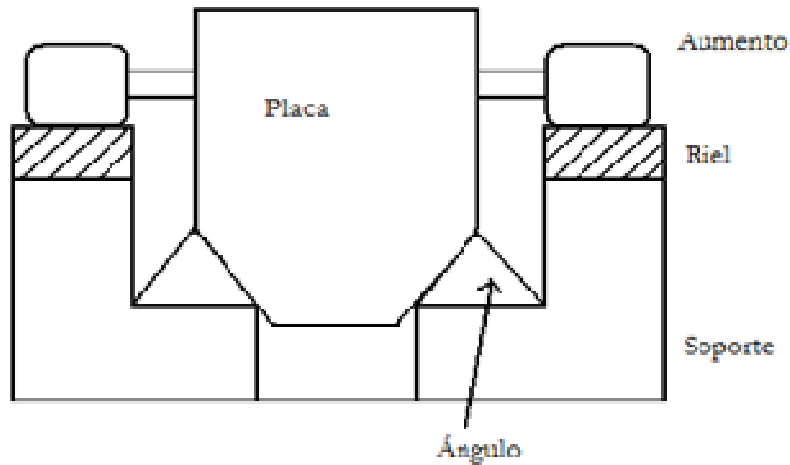


Figura 35 Bocetos de sugerencias.

Después de estudiar las opciones y sugerencias se optó por construir la plataforma de cuatro piezas con dos rieles rectangulares por donde corrieran libremente unos aumentos circulares que funcionarían como ruedas, y dos ángulos paralelos que sirvieran como rieles para la placa y así asegurar la trayectoria del móvil, tal como se puede observar en la figura 36.



*Figura 36 Esquema de la configuración final de la plataforma.*

Para mantener unidas estas cuatro piezas de la plataforma, se diseñó un soporte en forma de “L” en el cual descansaran las cuatro piezas para formar la plataforma.

Teniendo esta parte resuelta, se pasó al diseño del prototipo en CAD.

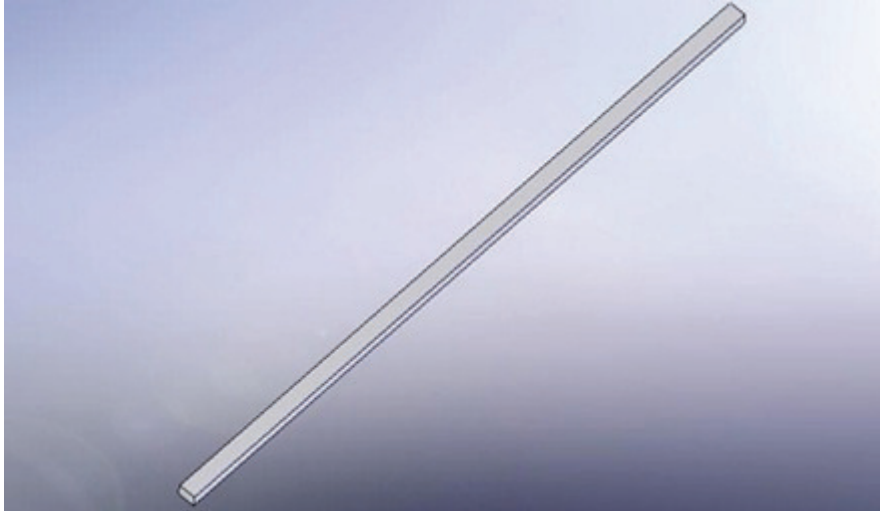
### **III.2.1 PLATAFORMA DE DESLIZAMIENTO**

La plataforma tiene la función de guiar al móvil a lo largo de su trayectoria así como de servir de soporte al mecanismo que va a subir al móvil, y al estar articulada en uno de sus extremos, ayuda a variar el ángulo de trabajo para poder realizar la práctica a diferentes ángulos.

A continuación se explicará cada una de las piezas de la plataforma y su función dentro del sistema:

### Riel

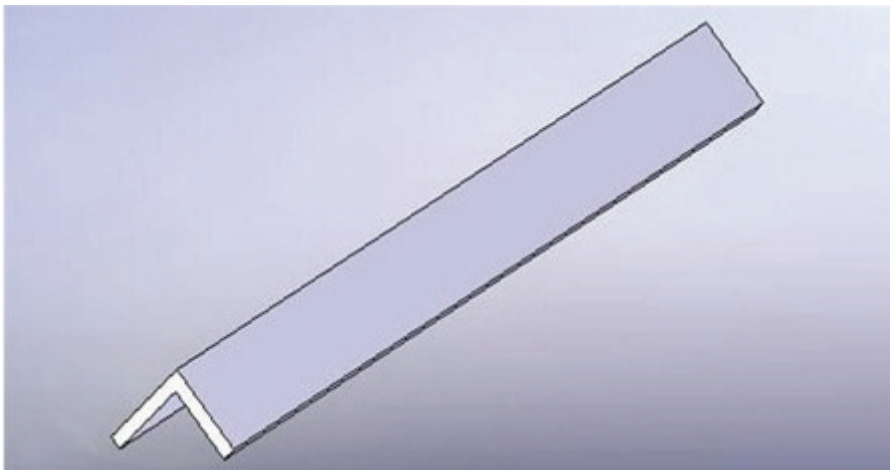
En la figura 37, se observa el riel que tiene la función de dar soporte al móvil.



*Figura 37 Riel.*

### Ángulo

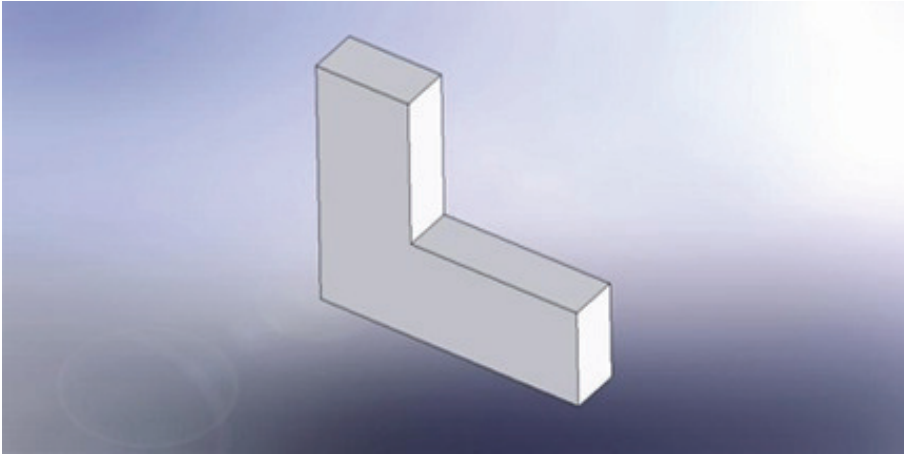
El ángulo observado en la figura 38, sirve para mantener al móvil en su trayectoria a lo largo de la plataforma.



*Figura 38 Ángulo.*

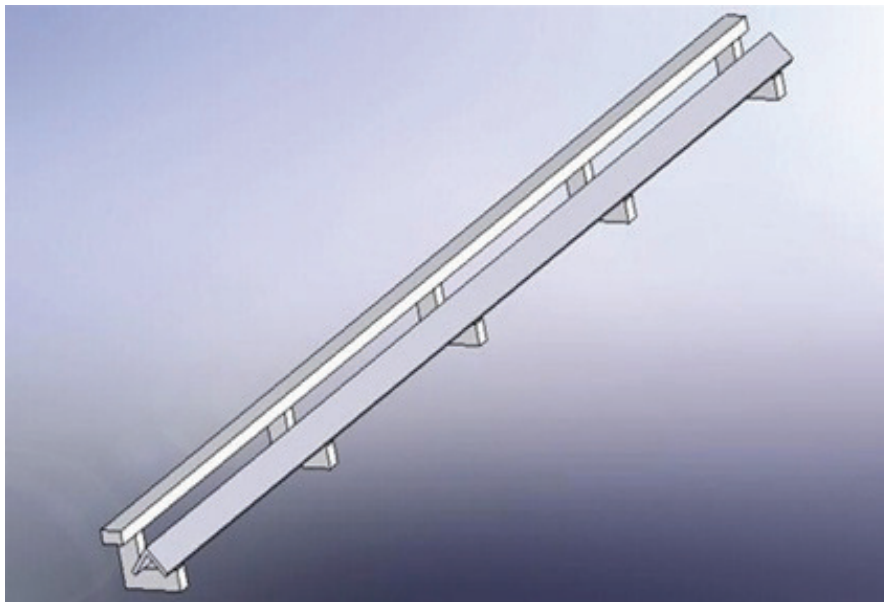
## Soporte

Este soporte, figura 39, tiene la función de acoplar al riel con el ángulo.



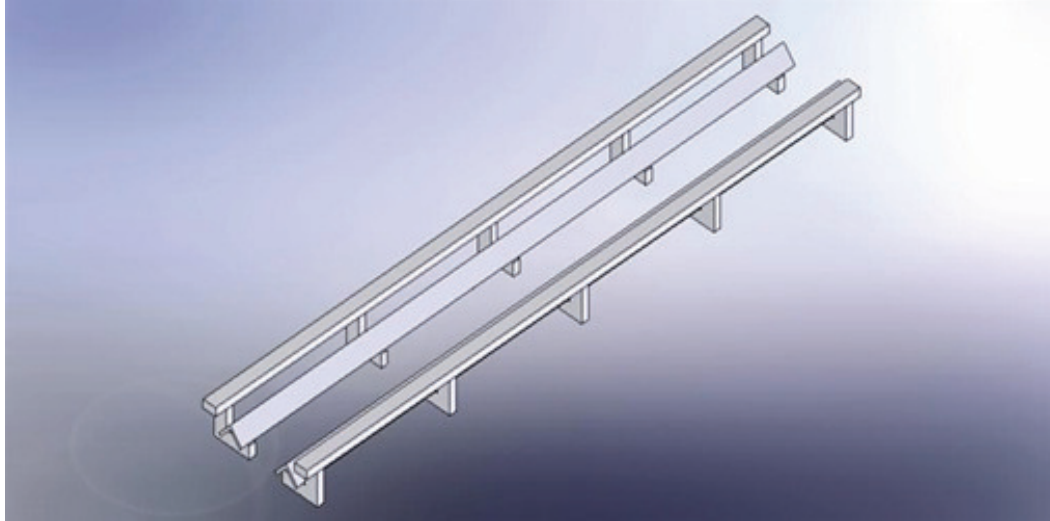
*Figura 39 Soporte.*

Ensamblados el riel, el ángulo y el soporte, el conjunto quedó como se muestra en la Figura 40. Cabe señalar que es necesario poner varios soportes a lo largo del riel y del ángulo para asegurar la rigidez de la estructura.



*Figura 40 Ensamble de riel, ángulo y soportes.*

Las 4 piezas de la plataforma ensambladas quedaron como se muestra en la figura 41.

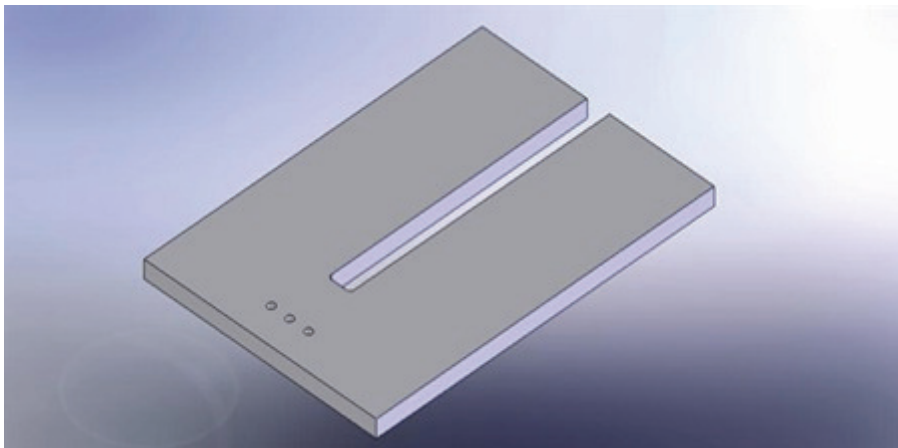


*Figura 41 Ensamble de los dos rieles.*

Para mantener unidos los dos ensambles anteriores y terminar con el diseño de la plataforma, se diseñaron dos piezas adicionales a las cuales se les dio el nombre de extremos.

### **Extremo superior**

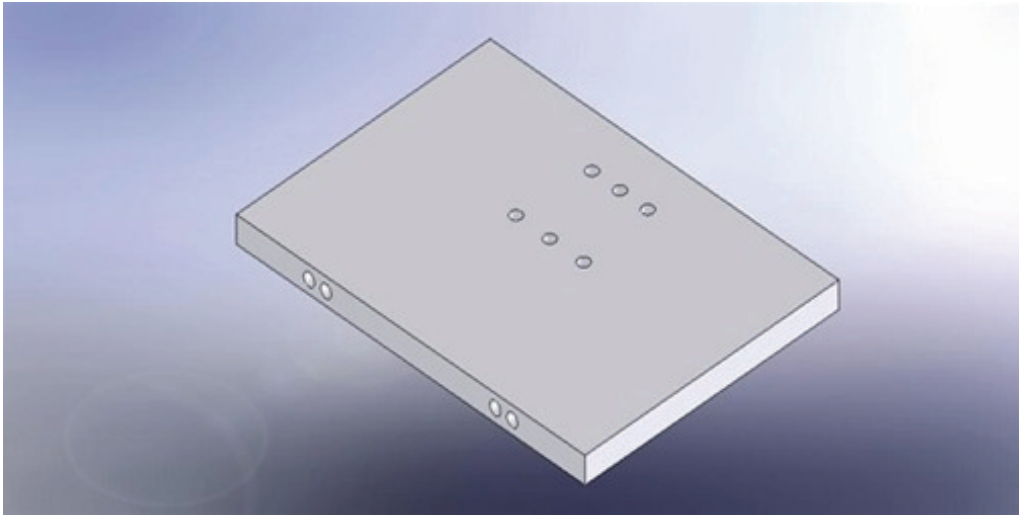
Esta pieza, figura 42, mantiene unidos los dos rieles por un extremo, tiene una ranura central por donde pasa el tonillo sinfín y cuenta también con tres barrenos que ayudan a ensamblar otra pieza del mecanismo para subir al móvil.



*Figura 42 Extremo superior.*

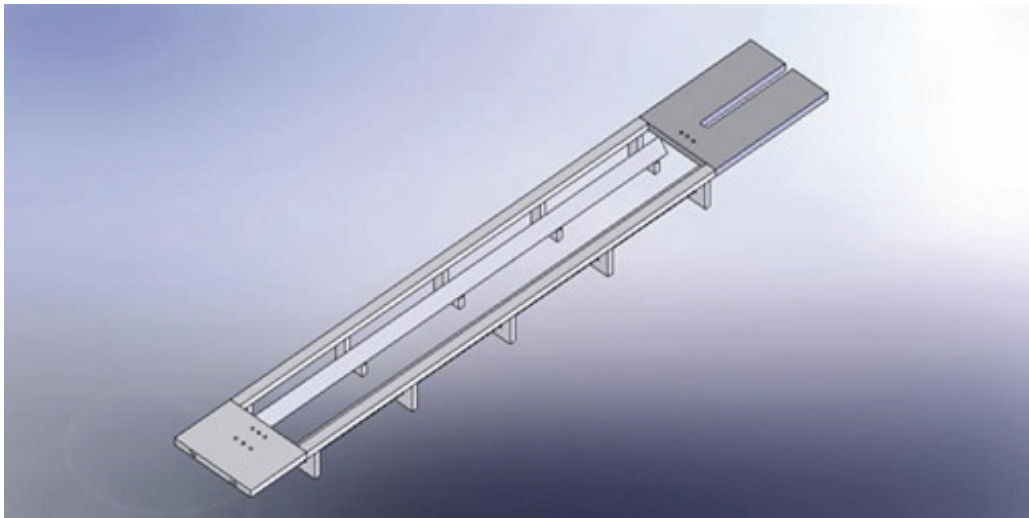
### Extremo Inferior

Esta pieza, figura 43, une a los rieles en el otro extremo, a su vez cuenta con una serie de barrenos los cuales ayudarán a soportar al mecanismo para llevar al móvil a su posición inicial.



*Figura 43 Extremo inferior.*

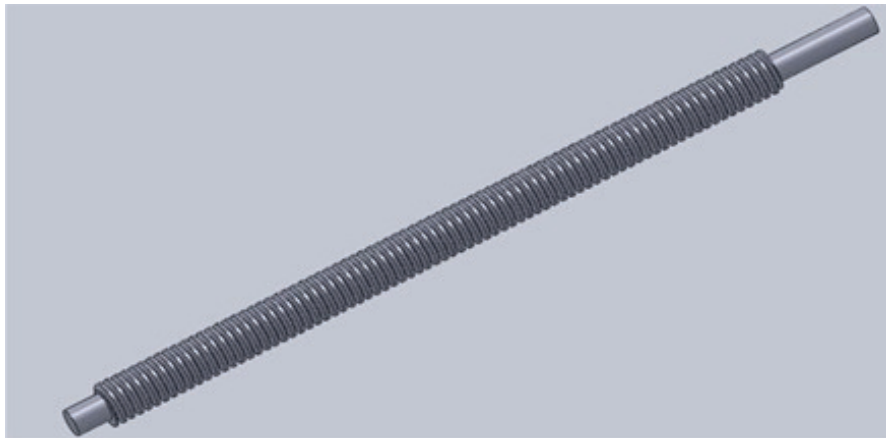
Una vez ensambladas las piezas diseñadas, la plataforma queda como se muestra en la figura 44.



*Figura 44 Plataforma.*

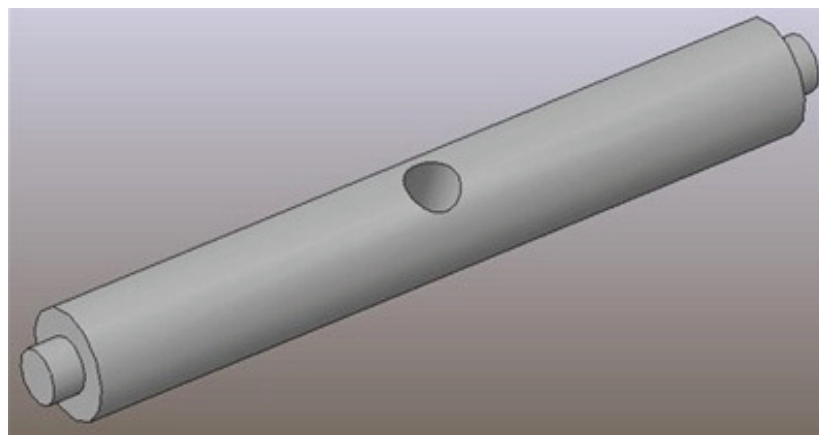
### III.2.2 TORNILLO SIN FÍN Y CILINDRO CON ROSCA PARA VARIAR EL ÁNGULO DE TRABAJO

Para la variación del ángulo se pensó en un tornillo sinfín, figura 45, debido a que es mucha la potencia que se necesita para levantar y mover toda la plataforma, y la principal característica de los tornillos sinfín es la gran cantidad de potencia mecánica que pueden entregar.

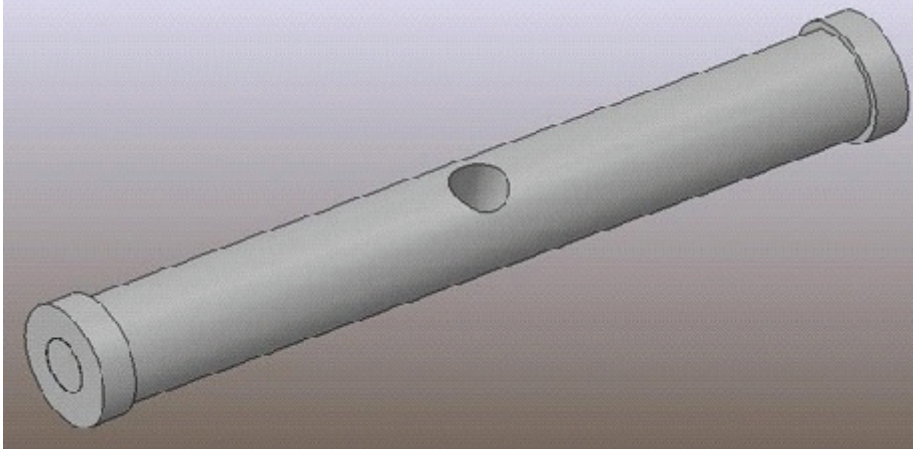


*Figura 45 Tornillo sin fin.*

El cilindro con rosca para tornillo sinfín, como la mostrada en la figura 46, es un cilindro que abarca el ancho de la plataforma de deslizamiento para que el desplazamiento sea más uniforme, tiene la rosca por la parte central para que el tornillos sinfín pase por ésta, y cuenta con unas reducciones en los extremos donde se colocan unos rodamientos, tal como se observa en la figura 47, los cuales hacen la función de unas pequeñas ruedas para hacer el recorrido más suave, evitando al mismo tiempo la fricción y el desgaste entre el cilindro y la placa.



*Figura 46 Cilindro con rosca para el tornillo sin fin.*

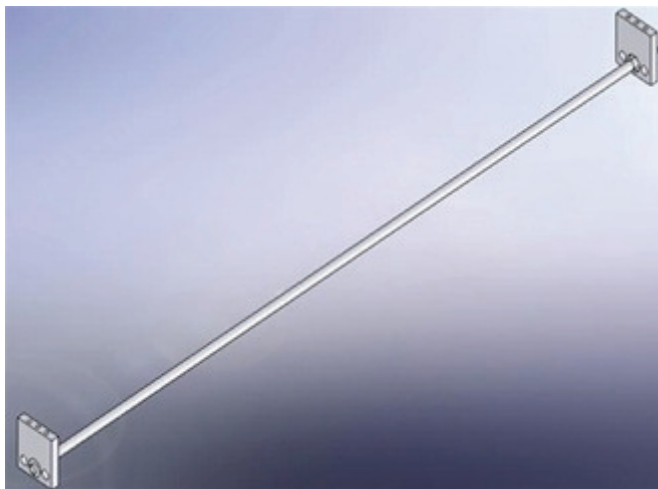


*Figura 47 Cilindro con rosca para el tornillo sinfín con rodamientos en los extremos.*

### **III.2.3 MECANISMO PARA RECARGAR AL MÓVIL**

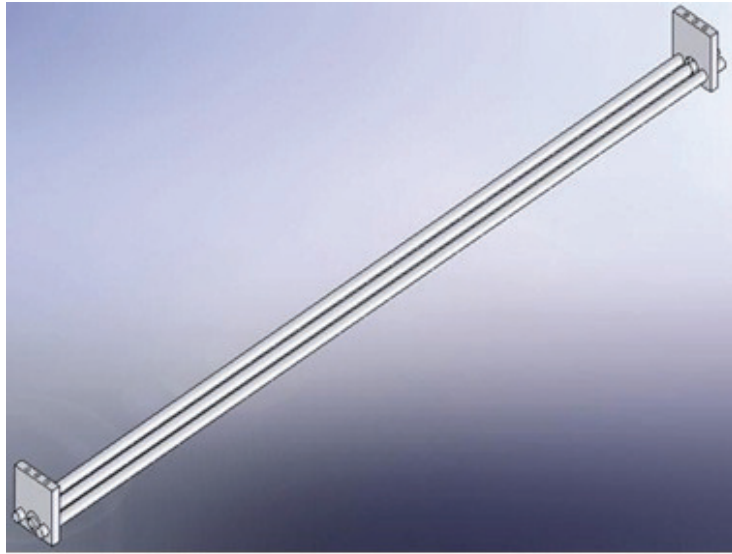
Este subsistema, mostrado en la figura 48, está formado por el espárrago y los soportes. En primer lugar se consideró utilizar un espárrago en lugar de un tornillo sinfín debido al alto costo que representaría manufacturar un tornillo tan largo.

Junto al espárrago se encuentran dos correderas lineales, como se observa en la figura 49, una a cada lado, que sirven para dar mayor rigidez al sistema y evitar que la tuerca gire mientras el espárrago está en rotación.



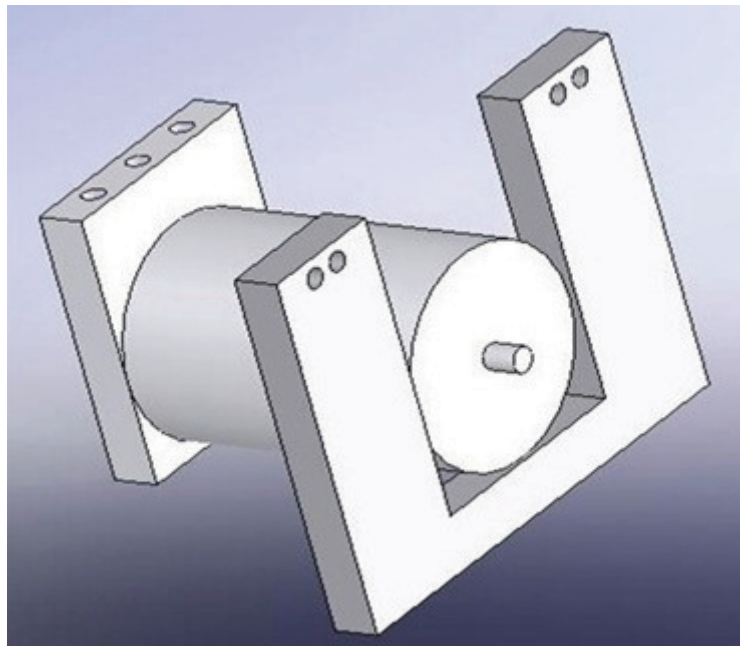
*Figura 48 Espárrago con soportes.*





*Figura 49 Espárrago, guías lineales y soportes.*

El motor que accionará el espárrago es un motor de rotación continua con el que ya se contaba, para el cual se diseñaron unos soportes, tal como se muestra en la figura 50, para mantenerlo fijo en la plataforma.

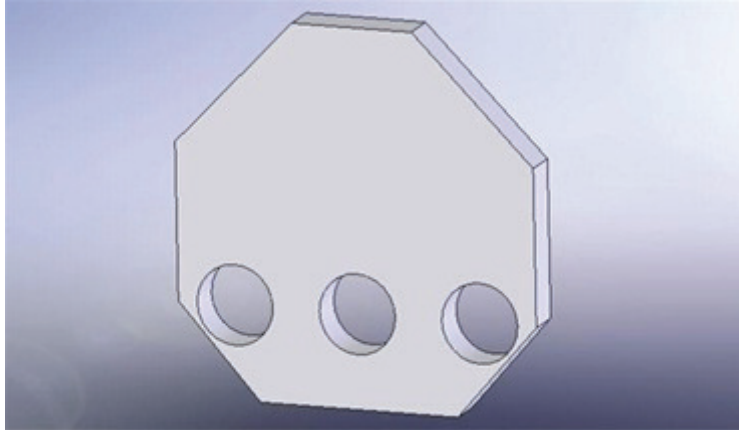


*Figura 50 Motor con soportes.*

Para la tuerca del trinquete se hizo una modificación, ya que se observó que sería muy complicado acoplar un trinquete a una tuerca, por lo que ésta se diseñó de forma que al mismo tiempo que se desplazaba retuviera al móvil, y al llegar a la parte superior, el móvil

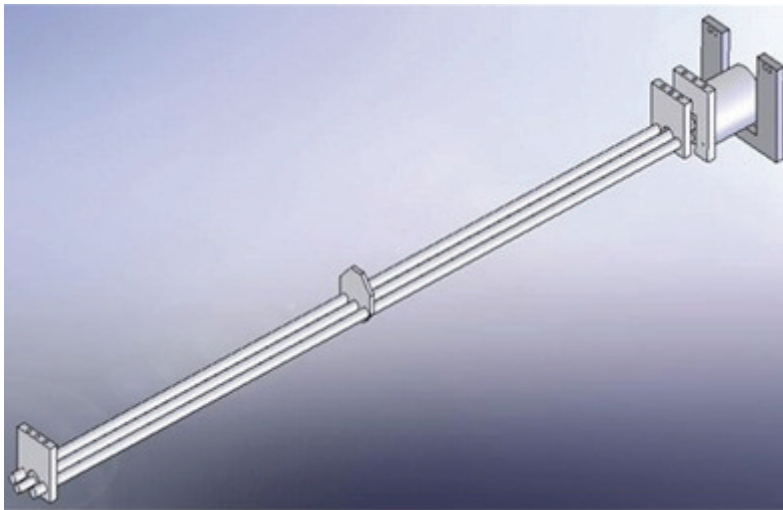
fuera sujetado por un seguro, permitiendo que la tuerca regresara a la parte inferior de la plataforma.

La tuerca, mostrada en la figura 51, también cuenta con dos barrenos a cada lado de la cuerda que se encuentra en el centro, por donde pasaran unas guías lineales para evitar que la tuerca gire mientras el tornillo está en movimiento.



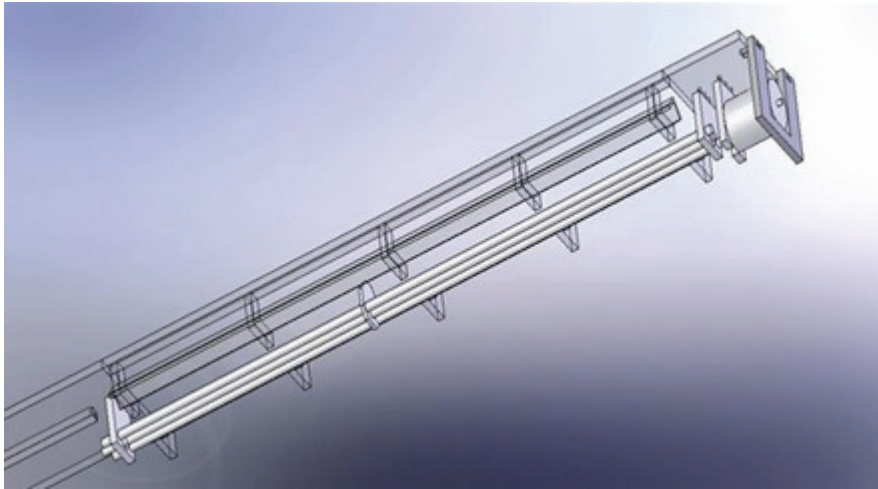
*Figura 51 Tuerca para subir al móvil.*

En la figura 52 se puede observar al esparrago ya acoplado al motor por medio de un cople, en esta parte se debe tener mucho cuidado ya que el esparrago y la flecha del motor deben estar perfectamente alineados, en caso contrario, el esparrago no funcionará de la manera adecuada y la flecha del motor se puede dañar, por lo que la tolerancia de concentricidad y coaxialidad debe ser de  $\pm 0.1$  mm.



*Figura 52 Subsistema completo para regresar al móvil a su posición inicial.*

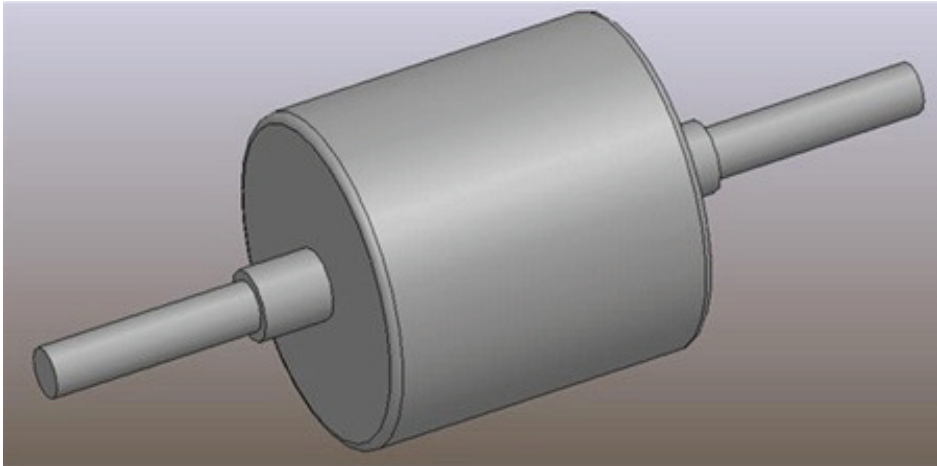
En la figura 53 se muestra el subsistema completo acoplado a la plataforma por medio de tornillos.



*Figura 53 Subsistema completo del esparrago acoplado a la plataforma.*

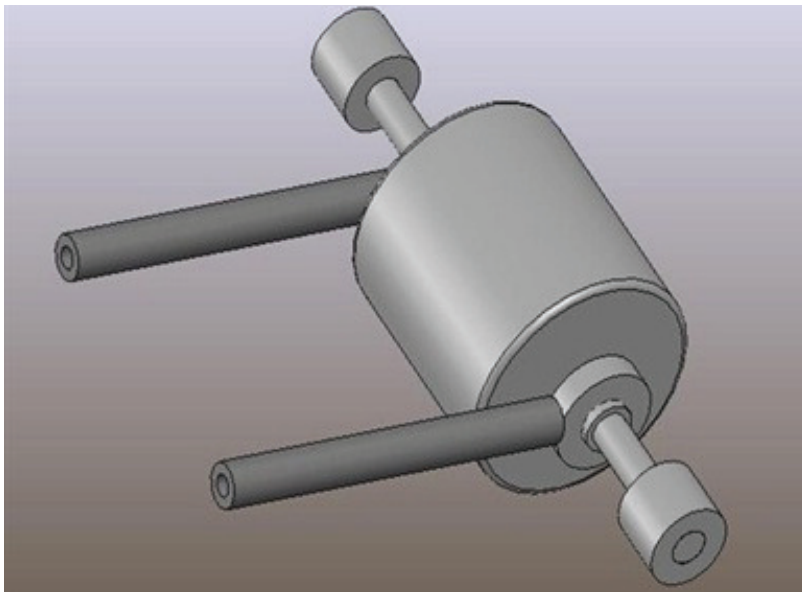
### III.2.4 MÓVIL

El móvil está formado por un rotor de motor, mostrado en la figura 54, con el que se contaba en el laboratorio, a éste se le colocó un aumento en cada extremo, necesarios para que el móvil se pudiera desplazar adecuadamente sobre los rieles.



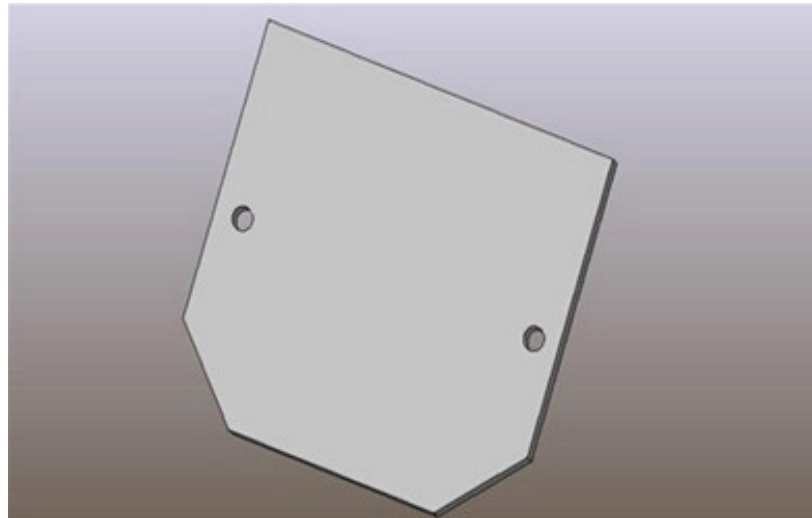
*Figura 54 Rotor de motor.*

Al rotor también se le colocó un rodamiento soldado a una barra de acero, a cada lado de la parte más grande del rotor, mostrados en la figura 55, que tiene la función de unir al rotor con la placa que irá al frente y permitir que éste gire libremente.



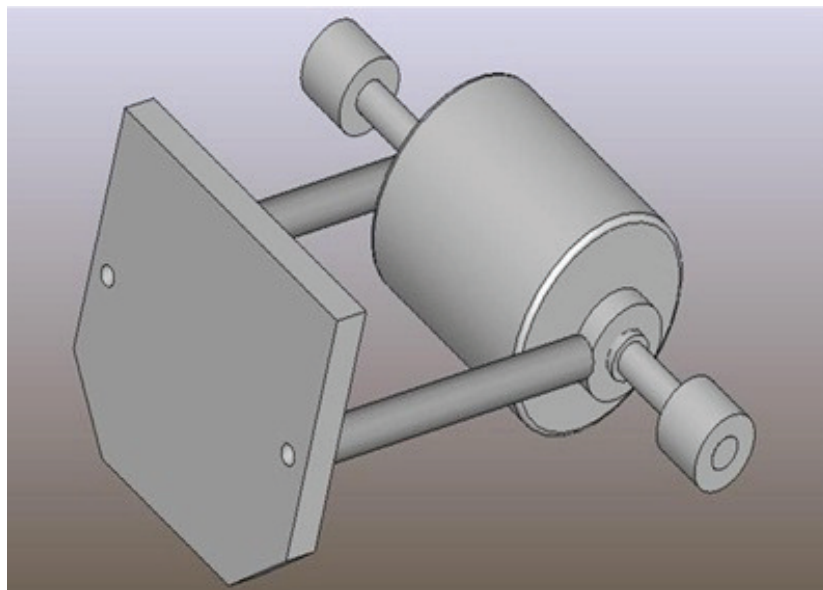
*Figura 55 Rotor con aumentos y rodamientos.*

Por último el diseño de la placa, tal como se muestra en la figura 56, tiene la forma que se necesita para que se logre desplazar sobre los ángulos de la plataforma de desplazamiento; se le hicieron dos barrenos para ensamblarlo con las barras de acero. Esta placa será la encargada de reflejar las señales que envía el sonar (del cual se hablara más adelante).



*Figura 56 Placa del móvil.*

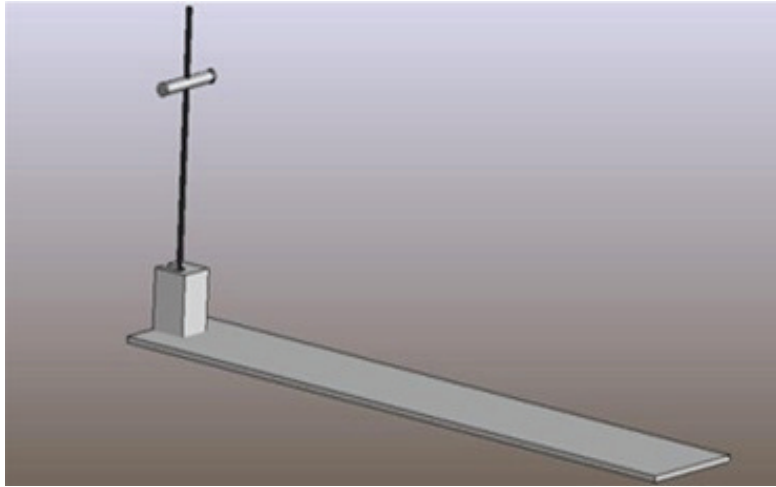
Así, el móvil completo se puede observar en la figura 57.



*Figura 57 Móvil completo.*

### III.2.5 ENSAMBLE FINAL DEL PROTOTIPO

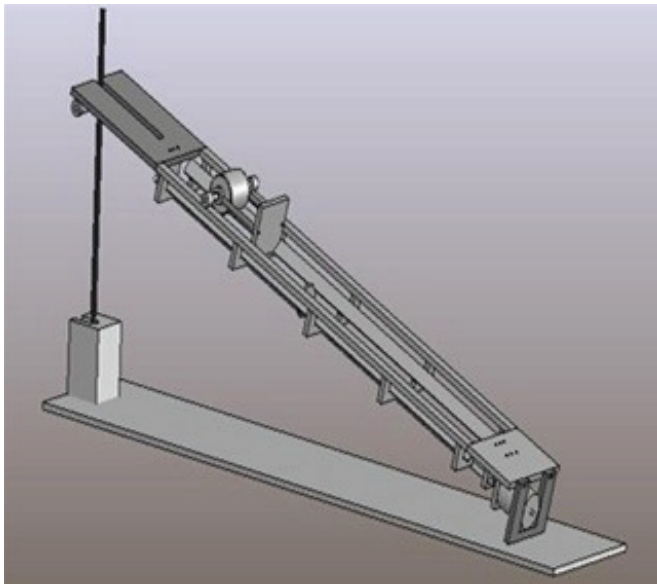
Se diseñó una base para el prototipo la cual se muestra en la figura 58, y en ésta se puede apreciar que tiene una caja en un extremo para albergar al motor que accionará el tornillo sinfín (el cual varía el ángulo de inclinación de la plataforma).



*Figura 58 Base del prototipo.*

La plataforma está articulada por uno de los soportes del motor del espárrago con la base del sistema.

En la figura 59 se muestra el prototipo completo.



*Figura 59 Prototipo.*

El material que se seleccionó para la plataforma fue básicamente aluminio, debido a las dimensiones del prototipo, las cuales se calcularon tomando como referencia las dimensiones del rotor (con el cual se construyó el móvil), y la necesidad de tener una plataforma ligera y suficientemente rígida para soportar todos los esfuerzos generados al realizar la práctica.

Para las tuercas se seleccionó bronce, debido a que en la configuración tornillo-tuerca es preferible que el desgaste se dé en la tuerca, por lo que la tuerca se fabrica de un material menos resistente al desgaste que el tornillo, ya que es más fácil y es menos costosa la fabricación de dicha tuerca.

Para la base se seleccionó madera debido a que sólo tiene la tarea de soportar el prototipo y no requiere ninguna propiedad mecánica en especial, además que es mucho menos costoso hacerla de madera que de algún metal.

Materiales seleccionados.

- Placa de aluminio de  $\frac{1}{2}$ " para las placas, los rieles y todos los soportes
- Barras de acero de  $\frac{1}{2}$ " para el tornillo sinfín, el espárrago y las correderas lineales
- Barra de bronce de 1" para el cilindro con rosca del tornillo sinfín
- Solera de bronce de  $\frac{1}{4}$ " para la tuerca del espárrago
- Ángulo de aluminio de  $\frac{1}{4}$ " x 1" para la estructura de la plataforma
- Ángulo de aluminio de  $\frac{1}{8}$ " x  $\frac{3}{4}$ " para la estructura de la plataforma
- Madera de pino de  $\frac{3}{4}$ " para la base

Las dimensiones que tiene el prototipo son las siguientes:

- Longitud total: 1.65 *m*
- Ancho total: 0.20 *m*
- Longitud total del riel: 1.2 *m*
- Carrera del móvil: 0.9 *m*

### III.3 MANUFACTURA

Todas las piezas se mandaron a maquinar según las especificaciones y dimensiones de los planos, que se incluyen en el Apéndice A, del diseño en CAD que se realizó.

Para la unión de las partes de la plataforma se decidió soldar las piezas, debido a que es necesario que la plataforma fuera lo más rígida posible y sin partes móviles que pudieran afectar el desarrollo de la práctica. Por lo anterior se tuvo que buscar un taller especializado para soldar aluminio y así tener una plataforma de una sola pieza.

El ensamble de todos los subsistemas se realizó mediante tornillos.

En la figura 60 se observa cómo se apoya la plataforma en el cilindro con rosca del tornillo sin fin, y los rodamientos que se colocaron a la tuerca.



*Figura 60 Cilindro con rosca del tornillo sin fin.*



En la figura 61 se observa la tuerca del espárrago y las correderas lineales que tiene en los costados, para evitar que esta tuerca gire.



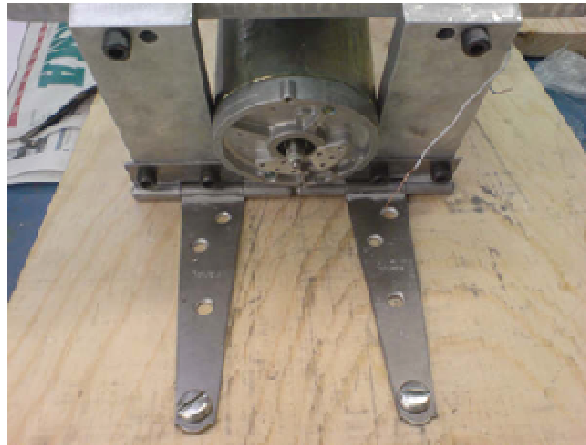
*Figura 61 Espárrago.*

En la figura 62 se muestra cómo la plataforma está sujeta por un extremo a la base, por medio de unas bisagras, y el otro extremo está apoyado sobre la tuerca del tornillo sinfín.



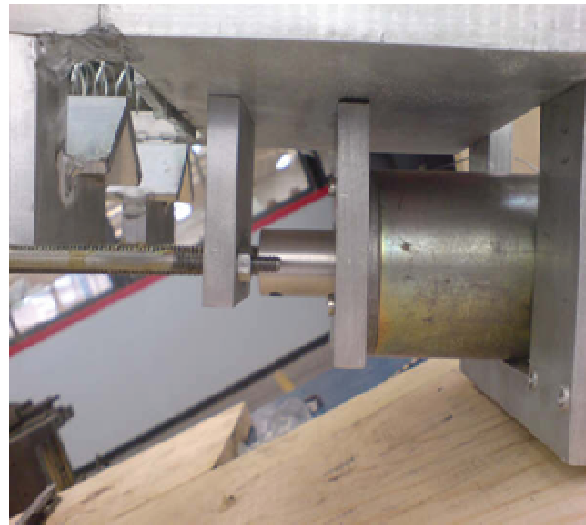
*Figura 62 Prototipo terminado.*

En la figura 63 se pueden observar las bisagras que unen al prototipo con la base del sistema.



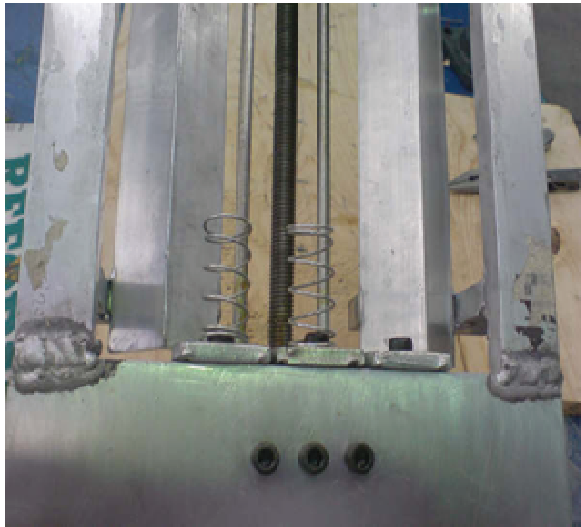
*Figura 63 Bisagras.*

Así mismo, en la figura 64 se muestra el cople que tiene la función de unir al espárrago con el motor.



*Figura 64 Cople.*

El sistema de resortes que se utiliza para detener al móvil de una manera más suave, se muestra en la figura 65.



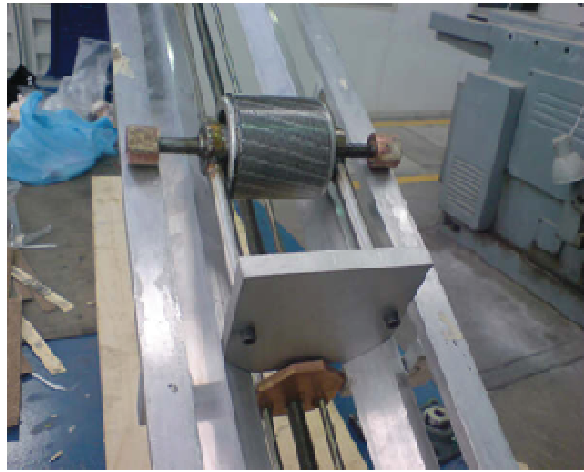
*Figura 65 Resortes.*

En la figura 66 se puede apreciar la carrera total del espárrago que va desde la parte más alta de la plataforma hasta la más baja de la misma.



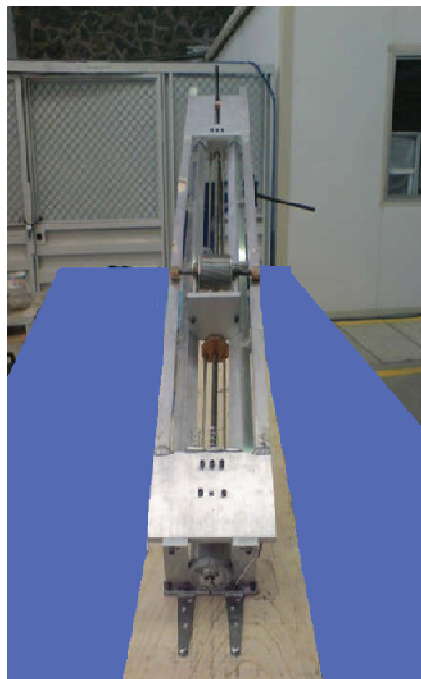
*Figura 66 Carrera del espárrago.*

Se muestra la configuración del móvil, los aumentos que se desplazan en los rieles, los rodamientos soldados a las barras de acero inoxidable y la placa encargada de dar dirección a todo el móvil, en la figura 67.



*Figura 67 Móvil.*

Finalmente, en la figura 68 se puede observar el prototipo completo visto de frente, en posición para soltar al móvil.



*Figura 68 Prototipo completo.*

Una vez terminado el ensamble de todo el sistema, se procedió a realizar las pruebas para verificar que su funcionamiento fuera el adecuado, pero se encontraron algunos problemas, los cuales se detallan a continuación:

- a) La tuerca del tornillo sinfín giraba junto con el tornillo y se atoraba en los ángulos de aluminio, por lo que el ángulo de trabajo no se podía variar.
- b) El tonillo sinfín se inclinaba, ya que no tenía soporte en la parte superior.
- c) El móvil presentaba mucha fricción en los rodamientos y estos no giraban por lo que no permitían que el móvil descendiera; también existía fricción entre los aumentos y el riel.
- d) El motor del espárrago no tenía la suficiente potencia para regresar al móvil a la parte superior.

Teniendo todos estos resultados en las pruebas del prototipo, se procedió a elaborar el rediseño del sistema, y se dieron algunas posibles soluciones que se presentan en el siguiente capítulo.



# CAPÍTULO IV

## REDISEÑO DEL PROTOTIPO

Para resolver los problemas mencionados en el capítulo anterior se hicieron las siguientes modificaciones:

### IV.1 MODIFICACIONES

Primero se propuso ponerle unas correderas lineales a la tuerca para evitar el giro de esta, las cuales se colocaron a cada lado del tornillo sinfín.

En la figura 69 se muestra los nuevos barrenos que tiene el cilindro, para que se deslice por las guías lineales.



*Figura 69 Cilindro del tornillo sinfín modificado.*



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

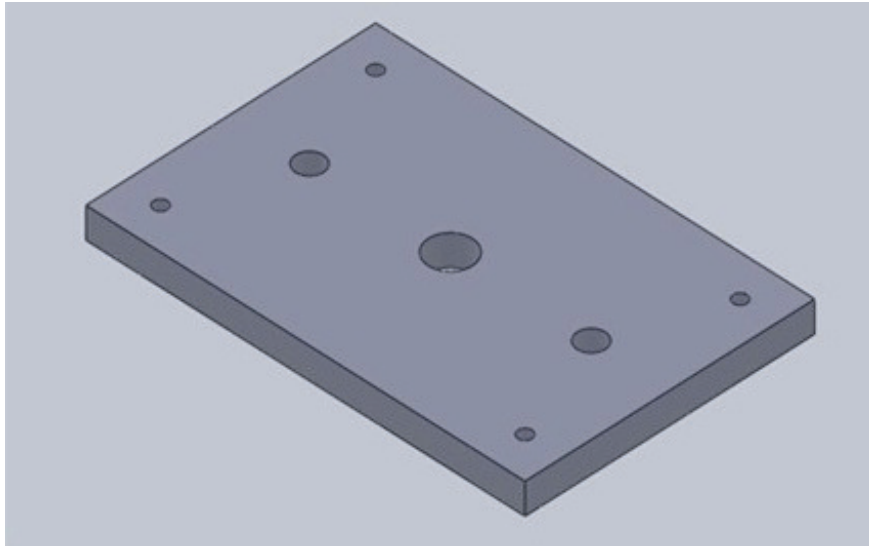
**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



Se decidió colocar el tornillo sinfín y las guías lineales en una camisa de aluminio, mostrada en la figura 70, donde descasarán las tres piezas por la parte inferior, y por la parte superior se colocará una chumacera con un rodamiento para que el tornillo pueda girar libremente y esta chumacera estará atornillada a otra camisa de aluminio. Esto ayudará a que el tornillo sinfín no se incline y se rompa.



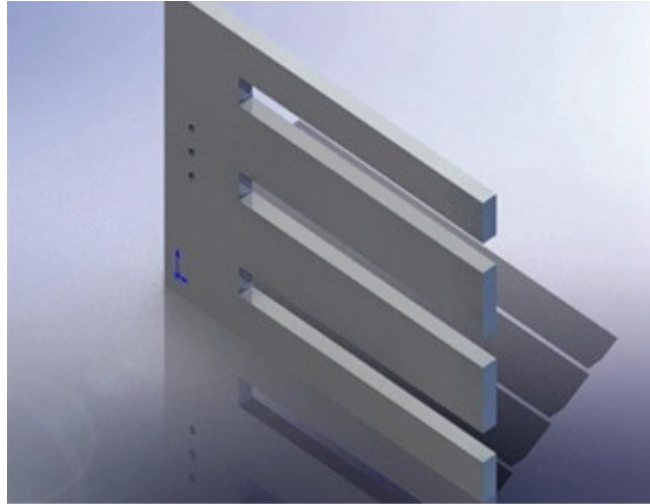
*Figura 70 Camisa inferior.*

En la figura 71 se observa el diseño de un soporte en “U” inversa, donde se colocó la camisa superior con la chumacera.



*Figura 71 Soporte para camisa superior.*

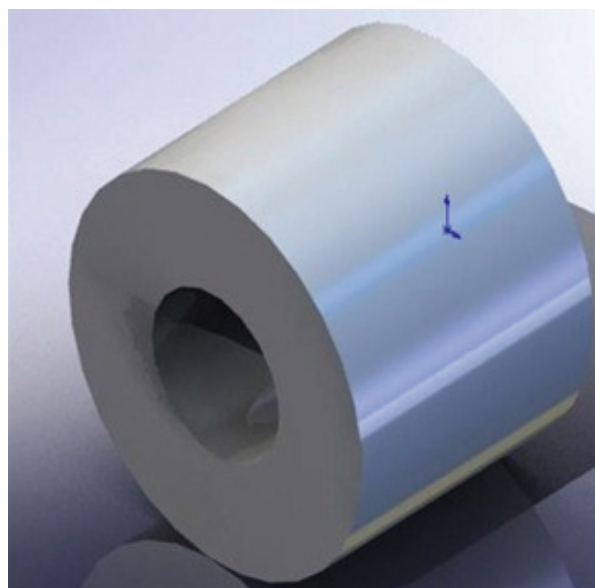
El extremo superior de la plataforma de deslizamiento también se tuvo que modificar debido a las guías lineales: si el tornillo sinfín pasa por la parte central, las guías también lo tienen que hacer, por lo que se le hicieron unas ranuras como se muestra en la figura 72.



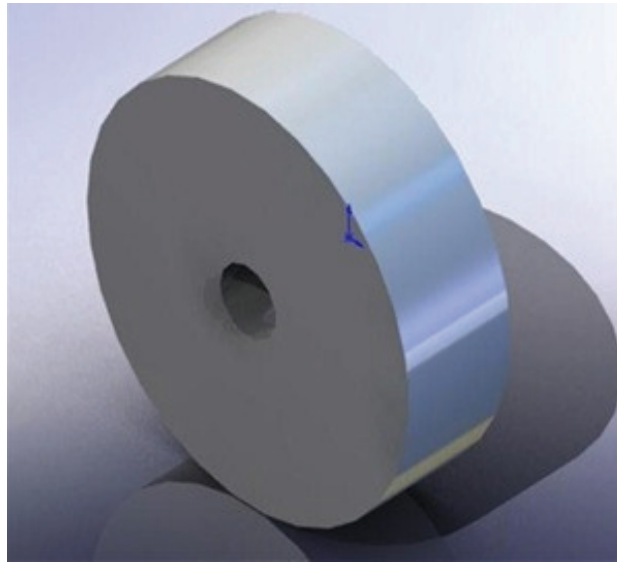
*Figura 72 Extremo superior modificado.*

El móvil se tuvo que modificar casi por completo:

En primer lugar los aumentos eran muy pequeños, mostrados en la figura 73, para que se desplazara adecuadamente, por lo que estos se rediseñaron con un diámetro mayor, como se muestra en la figura 74, con lo cual cambia la dinámica de movimiento del móvil.

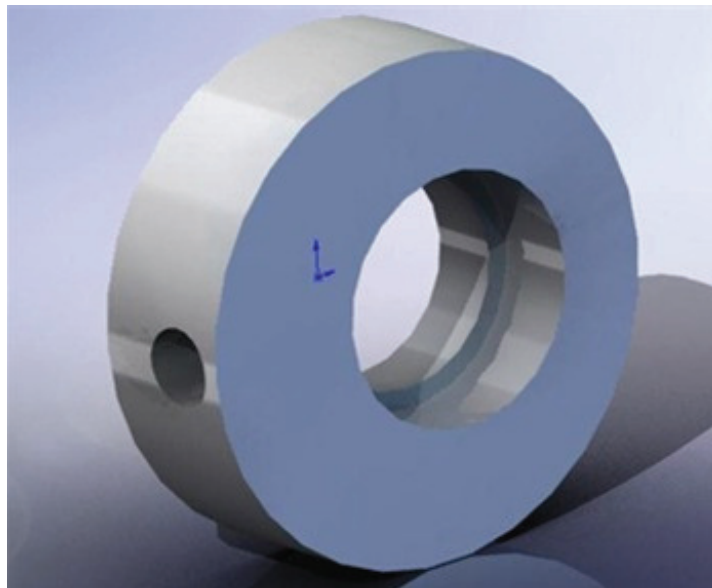


*Figura 73 Primer aumento.*



*Figura 74 Segundo aumento.*

En segundo lugar, los rodamientos también presentaban demasiada fricción, por lo que se diseñaron unos soportes como los de la figura 75, en los cuales se instaló el rodamiento por la parte central, y con un barreno por un costado para introducir la barra de acero.

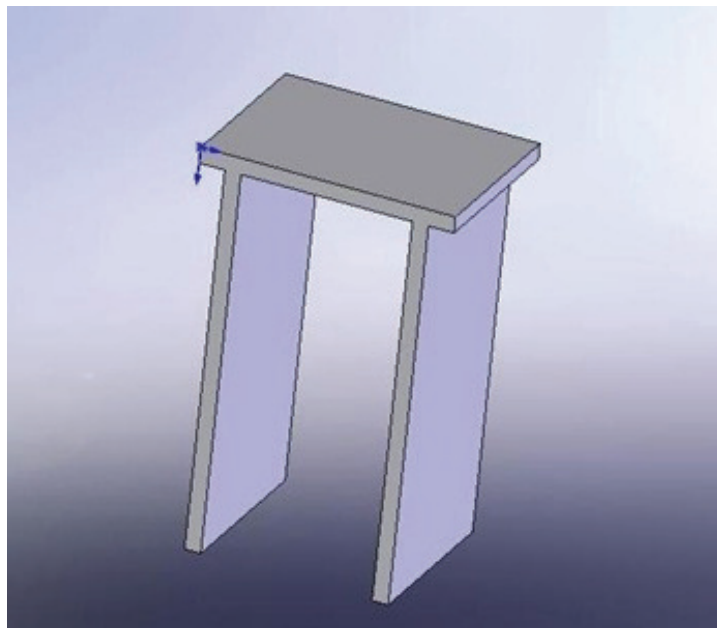


*Figura 75 Soporte para rodamientos.*

Otra modificación que se hizo fue colocar un material que disminuyera la fricción entre la placa del móvil y la plataforma de deslizamiento, por lo que se colocó una cinta de melamina (cubrecanto) en los ángulos de la plataforma.

En cuanto al mecanismo del espárrago que tenía la función de regresar al móvil a su posición inicial, fue descartado debido a que producía demasiada vibración al prototipo y el tiempo de ejecución de la tarea era muy largo.

Se implementó otra solución para esta tarea, para la cual se concibió la idea de tener un ángulo negativo en la plataforma, y de esta manera el móvil podría regresar a su posición inicial por gravedad, para lograrlo, se tuvo que elevar el punto de articulación de la plataforma y para esto se diseñó un soporte, tal como el que se observa en la figura 76, en el cual se atornillaron las bisagras de la plataforma.

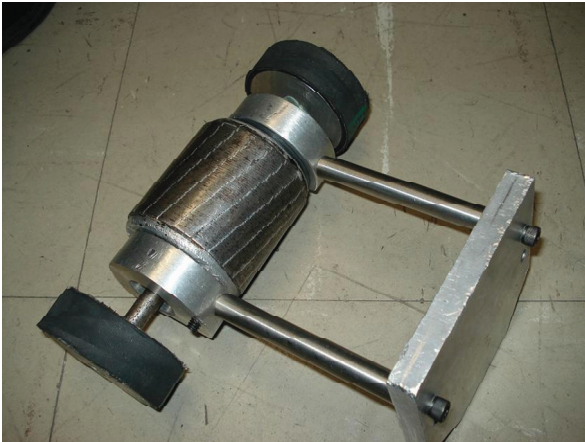


*Figura 76 Soporte para bisagras.*

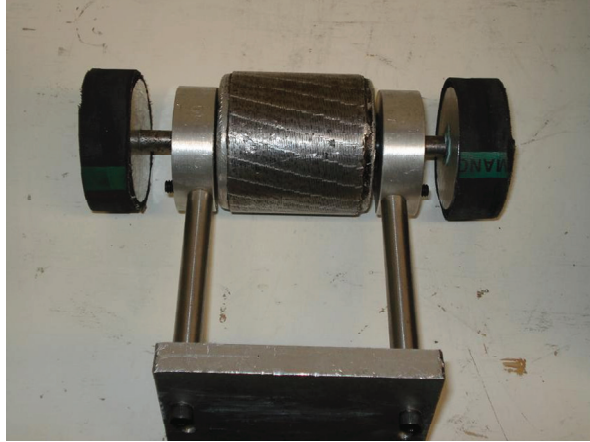
Para asegurar al móvil en la posición inicial, se diseñó un trinquete el cual está acoplado al actuador de un solenoide comercial de 120V de corriente alterna.

El móvil terminado se muestra en las figura 77 con todas las modificaciones hechas, el incremento de diámetro de los aumentos y los soportes de los baleros, las barras que van unidas a la placa mediante un tornillo y con un prisionero en el soporte; además de estas modificaciones al diseño, se cubrieron los aumentos con plástico (básicamente unas secciones de manguera de 2" de diámetro), debido a que los aumentos están hechos de aluminio al igual que los rieles por donde corren, y al ser del mismo material existe un alto coeficiente de fricción entre estos, por lo que existe un mayor desgaste y evita que el

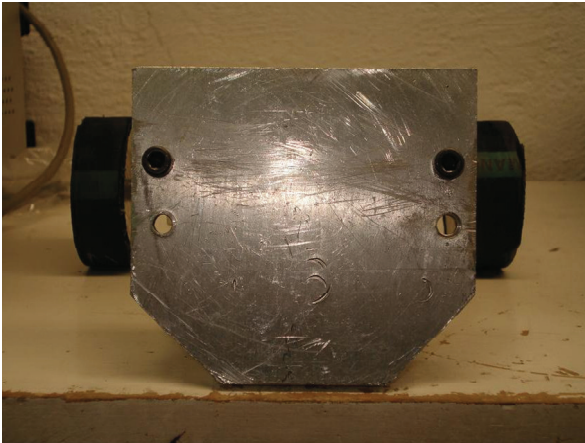
rotor gire libremente; al poner este plástico sobre los aumentos hacen la misma función que una llanta en un automóvil por lo que el rotor puede tener rotación pura, sin deslizamiento.



(a)



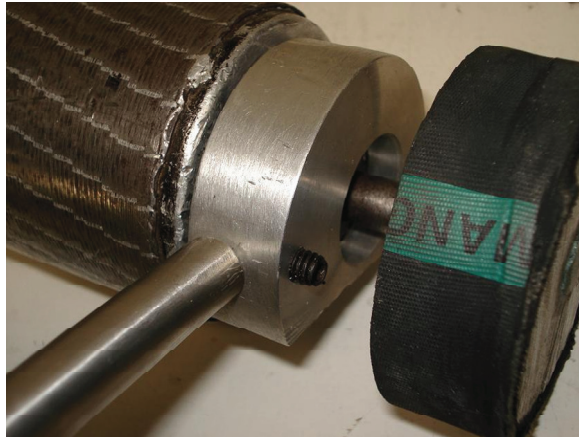
(b)



(c)



(d)



(e)

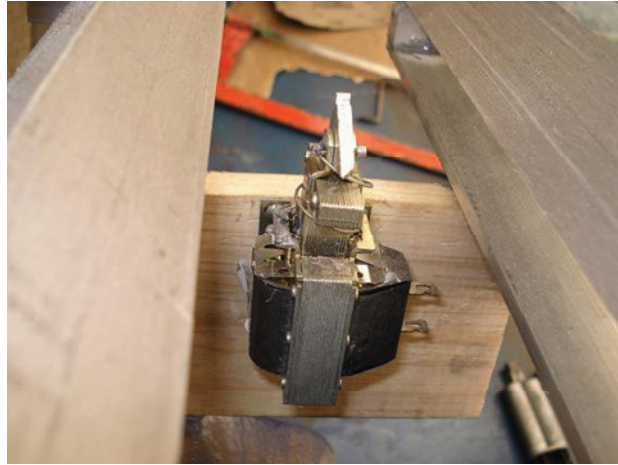
*Figura 77 Móvil, (a) Prototipo, (b) vista superior, (c) vista frontal, (d) vista lateral, (e) soportes y aumentos*

El trinquete se realizó con un resorte, como el mostrado en la figura 78, que se colocó en el actuador del solenoide el cual hace que éste tenga normalmente su longitud máxima y al activar el solenoide se retrae y regresa a su posición inicial; la parte que engancha al móvil se realizó con un trozo de solera de aluminio, tal como se puede observar, y se cortó en forma de triángulo con una pequeña ranura la cual retiene la placa del móvil evitando que éste se deslice, y se articuló al actuador del solenoide gracias a una perforación que tiene éste y con la ayuda de un perno guía.

Todo este mecanismo se montó sobre un soporte rectangular de madera, el cual se muestra en la figura 79, y se acopló a la plataforma por la parte inferior con tornillos.



*Figura 78 Trinquete.*



*Figura 79 Solenoide-trinquete.*

Una vez terminadas las modificaciones y ensamblando se pintaron las partes hechas con madera únicamente por motivos estéticos. En la figura 80 se muestra una vista frontal del prototipo terminado.



*Figura 80 Prototipo, vista frontal.*

En la figura 81 se muestra la máxima inclinación que puede alcanzar el prototipo, aproximadamente  $15^\circ$  sobre la horizontal.



*Figura 81 Inclinación máxima.*

En la figura 82 se observa la articulación de la plataforma; las bisagras están atornilladas al soporte que eleva el punto de articulación y ayuda a que la plataforma pueda tener un ángulo negativo.



*Figura 82 Articulación.*

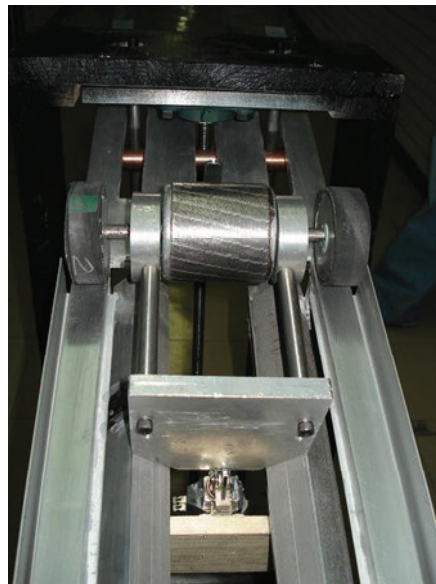
La figura 83 muestra el máximo ángulo negativo que ayuda a que el móvil regrese por gravedad a la posición inicial sin necesidad de un mecanismo que lo haga.





*Figura 83 Ángulo negativo.*

La figura 84 muestra la forma en que el trinquete detiene al móvil, evitando que se deslice mientras se mueve la plataforma.



*Figura 84 Móvil y trinquete.*

La figura 85 muestra la vista posterior del prototipo, en la que se puede observar la configuración del mecanismo que varía el ángulo de la plataforma.



*Figura 85 Prototipo, vista.*

En esta figura 86 se observa la parte posterior del prototipo; se puede ver la disposición completa del mecanismo que varía el ángulo de la plataforma, tornillo sinfín, tuerca, correderas, camisas y motor.



*Figura 86 Tornillo sinfín y correderas.*

Con esto, se concluyó el diseño y manufactura de la parte mecánica del prototipo, y se procedió a realizar el diseño de la parte electrónica y de control.



# CAPÍTULO V

## INSTRUMENTACIÓN, ELECTRÓNICA Y CONTROL

### V.1 INSTRUMENTACIÓN

Una vez diseñado y construido el prototipo, es necesario instrumentarlo para obtener toda la información necesaria para realizar el control y automatización del mecanismo.

En este caso lo que se requirió conocer del mecanismo es:

- Saber que el móvil se encuentra en su posición inicial
- Fin de carrera del móvil
- El límite superior de la plataforma
- El límite inferior de la plataforma

Se necesitan señales de encendido/apagado (*ON/OFF*) que digan cuándo está o no el mecanismo en esa posición y para esto se utilizaron dos tipos de sensores: interruptores mecánicos, como los de la figura 87 [12], para la posición del móvil y fotointerruptores, similares a los que se muestran en la figura 88 [12], para los límites de la plataforma. Se escogieron este tipo de sensores por su facilidad de implementación y bajo costo.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

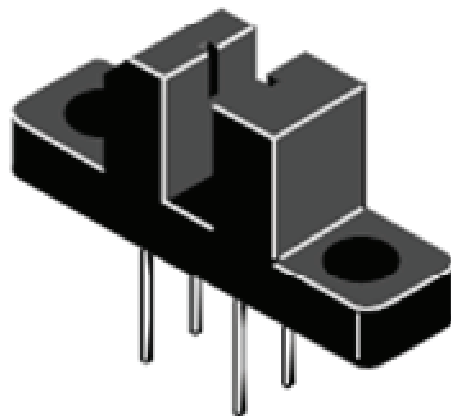
**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



*Figura 87 Interruptores mecánicos*



*Figura 88. Fotointerruptor*

Para medir el ángulo de inclinación de la plataforma, se utilizó un encoder de un diente, tal como se mencionó en el apartado II.5, que se montó en la base del tonillo sinfín.

En total se tienen seis señales *ON/OFF* y un tren de pulsos dado por el encoder; ésta es toda la instrumentación necesaria para realizar el control del mecanismo.

## **V.2 ELECTRÓNICA**

En esta parte se explica la parte electrónica del sistema de control. En la figura 89 se muestra un diagrama de dicha configuración:

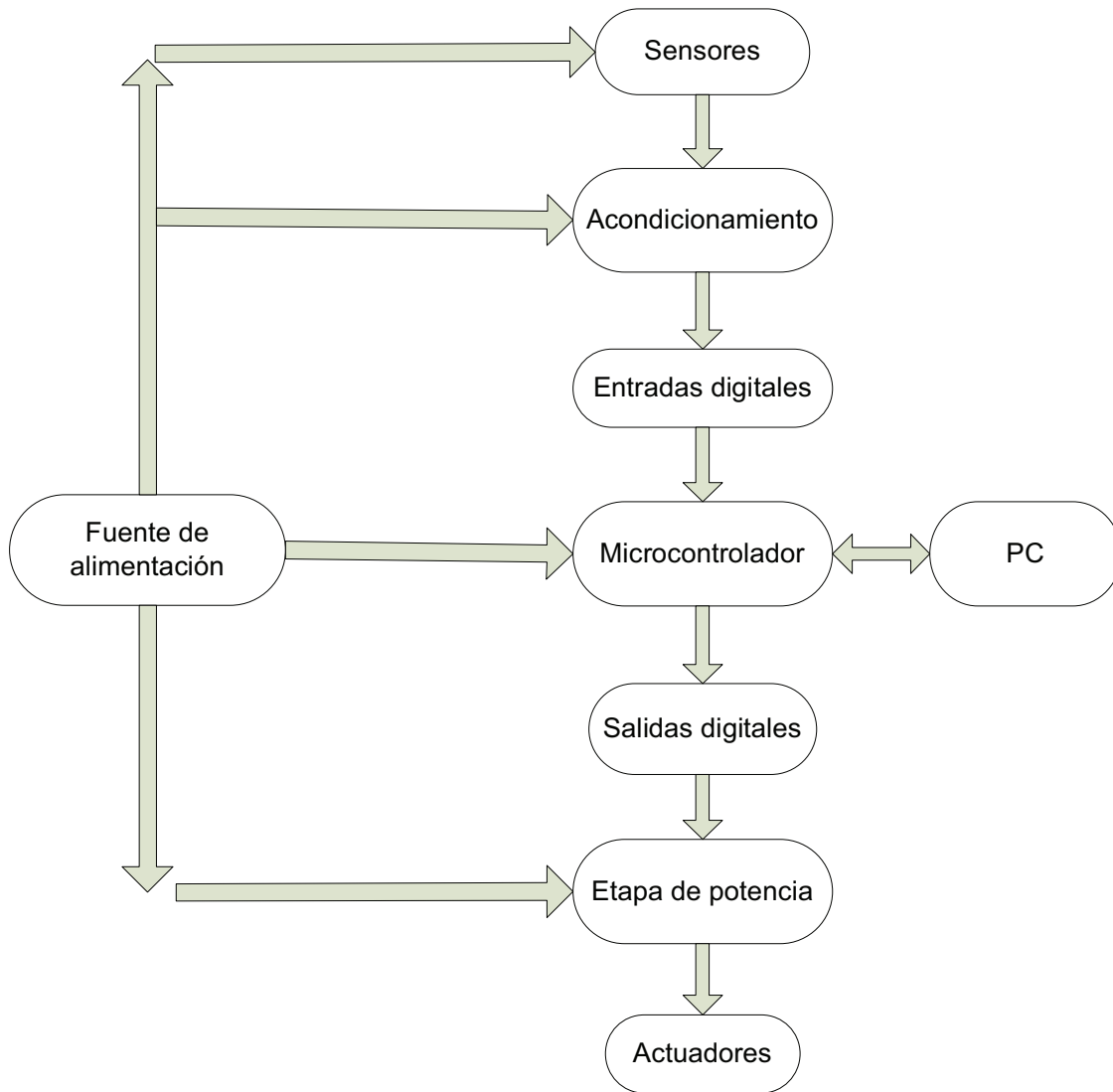


Figura 89 Diagrama de bloques de la configuración electrónica.

**Entradas y salidas digitales.** Las señales digitales utilizadas son señales TTL (lógica transistor-transistor) que manejan voltajes de 0 y 5 V para representar lo que es un 0 y un 1 lógicos, respectivamente. Las entradas digitales son usadas para las señales generadas por los sensores y las salidas para activar los actuadores.

**Fuente de alimentación.** El sistema necesita de un dispositivo que le proporcione la energía eléctrica necesaria para funcionar. En este caso todos los sensores, la parte de acondicionamiento y el microcontrolador se energizan con de 5 V de corriente directa con una corriente máxima de 0.7 A, el motor que mueve la plataforma se alimenta con 24 V de corriente directa con una corriente máxima de 3.2 A y el solenoide que sujeta y libera al móvil se alimenta con 120 V de corriente alterna.

**Acondicionamiento.** Un sensor por sí solo, en muchos casos no proporciona la salida requerida para procesar la señal; en ocasiones es necesario acondicionar esta señal con otros componentes electrónicos, como resistores, capacitores, transistores y compuertas. En este caso sólo fue necesario conectar un arreglo de resistencias de  $47\text{ K}\Omega$  y de  $2.2\text{ K}\Omega$  para los fotointerruptores y otro arreglo resistencias de  $1\text{ K}\Omega$  para los interruptores mecánicos.

Para lograr controlar el solenoide (que se alimenta de corriente alterna) se construyó un circuito con un optoacoplador circuito integrado que en su interior cuenta con un diodo LED y un fototransistor), el cual se muestra en la figura 90 (que permite cerrar el circuito alimentado con corriente alterna, con una señal digital proveniente del microcontrolador, y además aísla el circuito alimentado con CD del que está alimentado con CA debido a que no existe conexión física entre ellos).

**Etapas de potencia.** Para los actuadores fue necesario construir un circuito adicional que le proporcione la energía necesaria para funcionar, debido a que las salidas del microcontrolador manejan voltajes TTL y poca corriente.

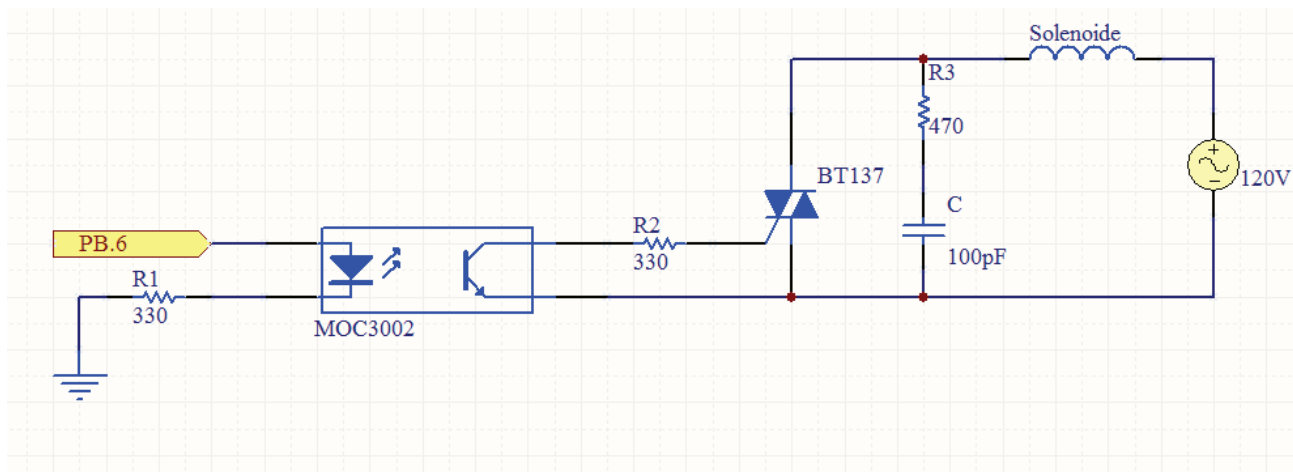


Figura 90 Etapa de potencia para el solenoide, basado en un optoacoplador y un triac.

En la figura 91 se muestra la etapa de potencia usada para el motor que sube la plataforma, en un principio se utilizaron circuitos integrados L293 y L298 para controlar la potencia y sentido de giro del motor, pero el motor demanda más corriente de la que estos circuitos pueden soportar, por lo que se optó por construir un puente H con transistores tipo Darlington (esta configuración contiene dos transistores en un solo



circuito integrado, por lo que el dispositivo es capaz de proporcionar una gran ganancia de corriente y ocupar menos espacio dentro el circuito) TIP120 y TIP125; este arreglo trabaja con cargas que requieran una corriente mayor a  $1\text{ A}$  pero menores a  $5\text{ A}$ . También se utilizó un relevador para activar y desactivar la alimentación de  $24\text{ V}$  del circuito de encendido del motor.

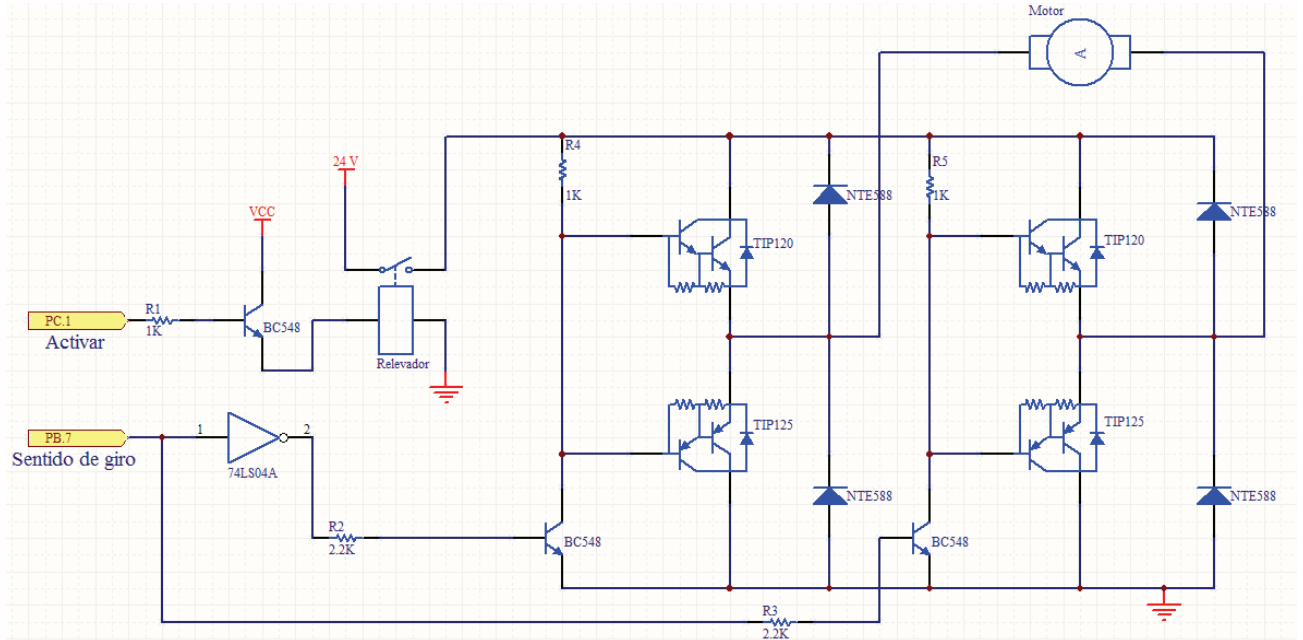


Figura 91 Etapa de potencia para el motor.

En el Apéndice 3 se proporciona el diagrama esquemático del circuito electrónico de control.

### V.3 CONTROL

Para el diseño del controlador es necesario definir los parámetros que ayudan a seleccionar el tipo de control a utilizar. Estos parámetros son los siguientes:

**Entradas.** El sistema de control debe ser capaz de leer entradas digitales (señales *ON/OFF*). Se deben leer y procesar cinco entradas digitales, dos de ellas provenientes de los interruptores mecánicos que se utilizan para detectar la presencia del móvil, dos provenientes de los fotointerruptores de los límites superior e inferior de la plataforma, y otra que proviene del encoder.

- **Salidas.** Todos los actuadores deberán recibir señales *ON/OFF* provenientes de salidas digitales proporcionadas por el controlador.
- **Módulo de comunicación.** De acuerdo a las especificaciones de este proyecto, se necesita que exista comunicación entre el control del mecanismo y una computadora la cual tendrá la interfaz gráfica para realizar la práctica.
- **Herramientas de desarrollo y documentación disponible.**
- **Costo.**

Teniendo en cuenta estos parámetros se procedió a diseñar el controlador para el sistema, siguiendo la misma metodología que se aplicó para la selección del sistema.

Existen varios dispositivos con los cuales se puede implementar el control del sistema, entre los más comunes se encuentran los que se presentan a continuación.

**Microcontroladores.** Un microcontrolador, similar al mostrado en la figura 92, dispone normalmente de los siguientes componentes. Procesador o CPU (Unidad Central de Proceso), memoria RAM (Memoria de acceso aleatorio) para Contener los datos, memoria para el programa tipo EPROM (Memoria de sólo lectura programable y borrrable), líneas de Entrada/Salida (I/O) para comunicarse con el exterior. Diversos módulos para el control de periféricos como PWM (Modulación de ancho de pulsos), temporizadores, convertidores analógico/digitales, convertidores digital/analógico, entre otros.

Los productos que para su control incorporan un microcontrolador disponen de las siguientes ventajas:

- Aumento de prestaciones: un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable.
- Aumento de la fiabilidad: al reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos, disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.
- Reducción del tamaño en el producto acabado: la integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra y la cantidad de dispositivos.
- Mayor flexibilidad: las características de control están programadas por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.

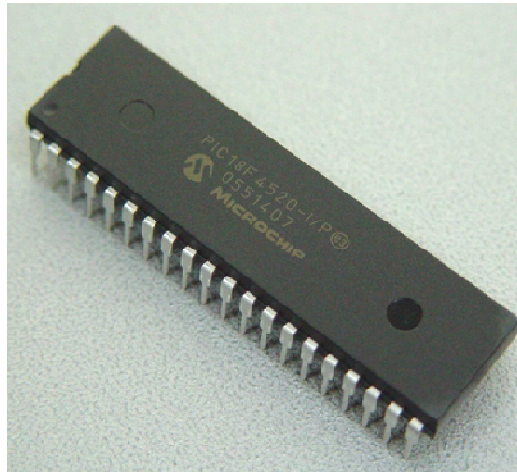


Figura 92 Microcontrolador PIC.

**PLC:** el PLC (*Programmable Logic Controller*, por las siglas en inglés de Controlador Lógico Programable) son dispositivos electrónicos muy usados en automatización industrial.

Los PLC, similares a los mostrados en la figura 93, no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, y manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como el proporcional integral derivativo (PID).

Los PLC actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido.



Figura 93 PLC.

**Tarjetas de adquisición de datos:** la adquisición de datos, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de variables físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora u otro dispositivo. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital, una PC y un software adecuado para la manipulación de las señales adquiridas, y así poder generar las señales de control que serán enviadas de regreso a la tarjeta . El dispositivo que realiza este proceso es el módulo o tarjeta de adquisición de datos, un ejemplo de éste se muestra en la figura 94, o DAQ, por sus siglas en inglés (Data Acquisition).



*Figura 94 Tarjeta DAQ de National Instruments.*

## **Implementación**

Para el diseño del controlador se necesita un dispositivo con el cual leer y procesar entradas y salidas digitales, y que cuente con un protocolo de comunicación. Debido a estos requisitos no se necesita ningún dispositivo con grandes prestaciones como el PLC o las tarjetas de adquisición de datos; es más viable utilizar un microcontrolador que cuenta con todo lo que se necesita.

Existe una gran variedad de microcontroladores: cada fabricante cuenta con modelos con diversas prestaciones y sistemas de desarrollo para poder implementarlos.

En este caso se utilizó un microcontrolador PIC (Controlador de Interfaz Periférica, PIC por sus siglas en inglés) de la familia Microchip, específicamente el modelo PIC16F877A.

Cabe mencionar que en el Departamento de Mecatrónica de la Facultad se diseñó una tarjeta) para el microcontrolador, la cual contiene todos los elementos necesarios para el funcionamiento y fácil implementación de éste, así como los componentes para implementar la comunicación serial del módulo USART (Transmisor y Receptor Síncrono/Asíncrono Universal, USART por su siglas en inglés) del microcontrolador con una computadora personal, o PC.

### Características del PIC16F877A

En la siguiente tabla se pueden observar las características más relevantes del dispositivo.

Tabla 7 Características del PIC16F877A<sup>14</sup>

CARACTERÍSTICAS	PIC16F877A
Frecuencia máxima	20 MHz
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8 kB
RAM de datos	368 bytes
EEPROM de datos	256 bytes
Puertos de I/O	A,B,C,D,E
Número de terminales	40
Interrupciones	15
Temporizadores	3
Módulos CCP	2
Comunicaciones Seriales	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSP
Líneas de entrada de ADC de 10 bits	8
Juego de instrucciones	35 instrucciones
Longitud de la instrucción	14 bits
Arquitectura	Harvard
CPU	RISC
Canales PWM	2

Definido el dispositivo con el cual se implementará el control, se definió la secuencia de eventos que se tuvieron que programar para realizar la práctica; dicha secuencia es la siguiente.

- Realizar la conexión entre el microcontrolador y la interfaz gráfica, llevar a *HOME* (posición inicial) la plataforma.
- Calibrar el mecanismo; con esto se obtiene la posición horizontal, a partir de la cual se mide el ángulo de inclinación.
- Llevar la plataforma a la inclinación deseada, la cual el usuario introducirá en la interfaz.
- Iniciar la práctica, liberando al móvil de su posición inicial.
- Una vez que el móvil recorrió la plataforma, llevar la plataforma a su posición de *HOME*.
- Realizar un nuevo evento o desconectar el sistema.

En la Tabla 8 se describen las señales que entran al microcontrolador , se muestra el dispositivo que generan la señal, en el caso de las entradas, y los actuadores, en el caso de las salidas, así como el puesto y bit al que están conectados, tipo de entrada ( analógica o digital) y el alias que se le da al bit para manipularlo dentro del software de programación.

Tabla 8 Entradas y salidas

DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN	TIPO	ALIAS
FOTOINTERRUPTOR INFERIOR	PB.1	ENTRADA DIGITAL	FI
FOTOINTERRUPTOR SUPERIOR	PB.2	ENTRADA DIGITAL	FS
INTERRUPTOR DE POSICIÓN INICIAL DEL MÓVIL	PB.4	ENTRADA DIGITAL	SPI
INTERRUPTOR DE FIN DE CARRERA DEL MÓVIL	PB.5	ENTRADA DIGITAL	SFC
ACTIVACIÓN DEL SOLENOIDE	PB.6	SALIDA DIGITAL	SOLENOIDE
SENTIDO DE GIRO DEL MOTOR	PB.7	SALIDA DIGITAL	SENTIDO
ENCODER	PC.0	ENTRADA DIGITAL	ENCODER
ACTIVAR MOTOR	PC.1	SALIDA DIGITAL	MOTOR

En la Tabla 9 se muestra el protocolo de comunicación entre la PC y el microcontrolador, se describe la acción que se realiza y las cadenas que envía cada dispositivo para comunicarse entre si.

Tabla 9. Protocolo de comunicación entre PC y microcontrolador

ACCIÓN	CADENAS	
	PC	MICROCONTROLADOR
CONECTAR	“O “	“K”
CALIBRANDO	“D”,”U”,”Y”	
SISTEMA CALIBRADO	“C”	“Z”
DESCONECTAR	“F”	“F”
POSICIONANDO PLATAFORMA	“R”,”M”	VALOR DEL TIMER 1
INICIAR PRÁCTICA	“S”	

En las siguientes figuras 95, 96 y 97 se muestran los diagramas de flujo que se siguieron para la programación del microcontrolador.

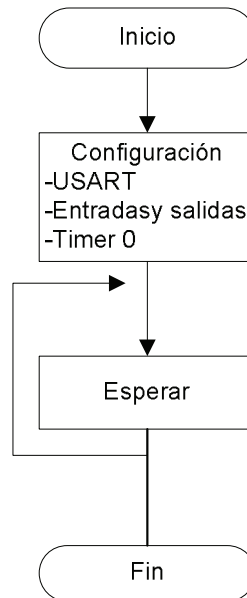


Figura 95 Diagrama de flujo principal del programa del microcontrolador.

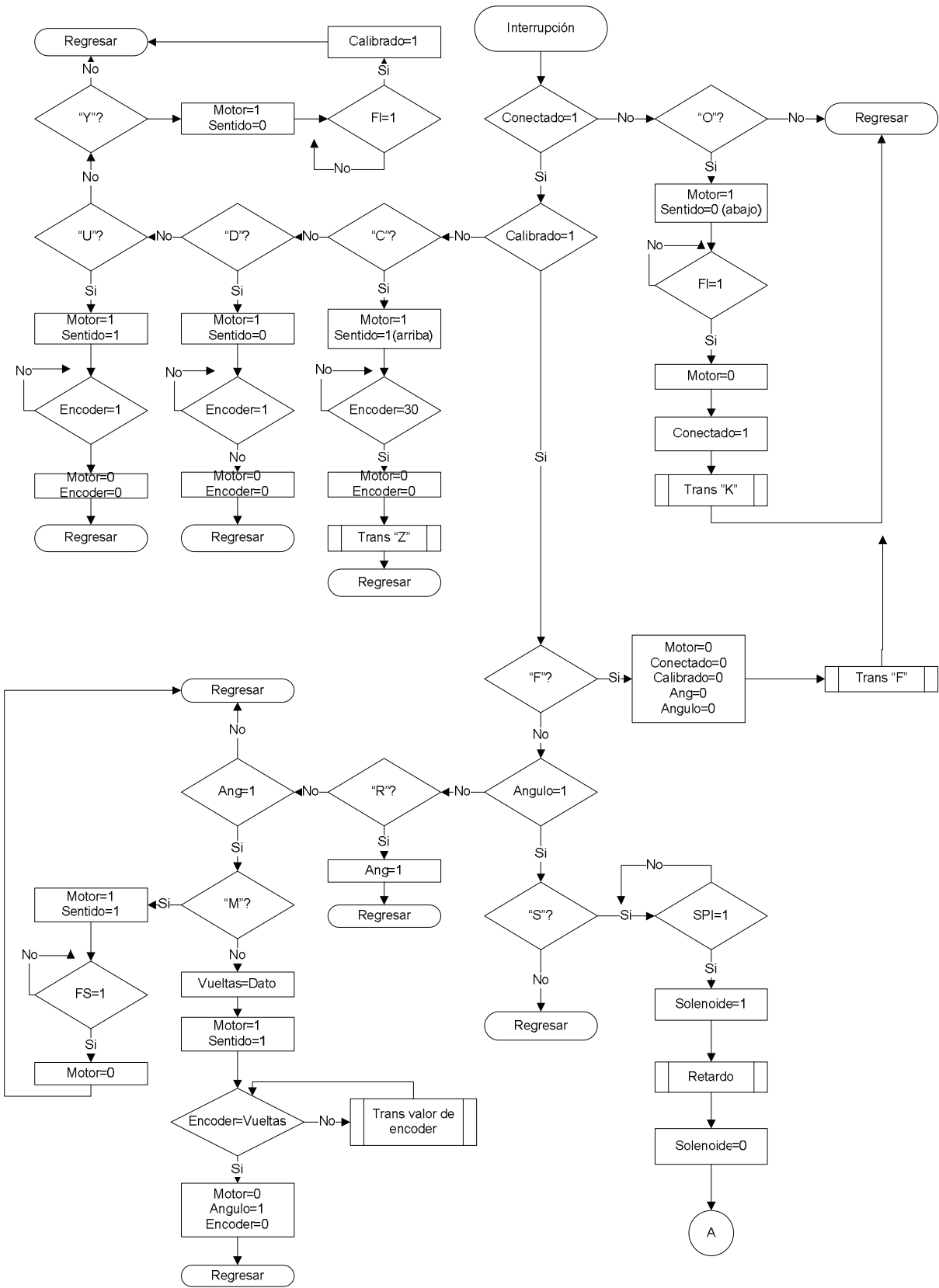


Figura 96 Diagrama de flujo de la interrupción del programa del microcontrolador.



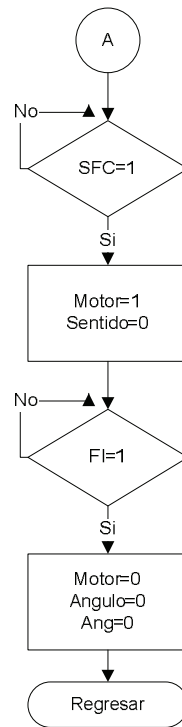


Figura 97 Diagrama de flujo de la interrupción del programa del microcontrolador (continuación).

A continuación se describe el funcionamiento del programa del microcontrolador:

Al iniciar el programa se configuran los periféricos del microcontrolador como entradas y salidas, temporizadores, contadores y el tipo de comunicación, en este caso comunicación serial asíncrona.

Después el programa entra en un lazo infinito en donde espera a que llegue un dato, en este caso de la interfaz grafica en la PC, activando la interrupción por recepción de datos.

Al entrar en la interrupción por recepción de datos, lo primero que hace es verificar que dato llego, en este caso se usaron letras del alfabeto para las diferentes funciones en el programa, también usamos banderas, que son bits de algún registro de uso general a los cuales activamos o desactivamos según sea la función a realizar o que ya fue realizada.

Al iniciar la interrupción lo primero que se pregunta es que si la bandera “Conectado” esta activada, si no está activada pregunta que si el dato recibido es una “O”, si no llego ese dato entonces sale de la interrupción, si llego una “O” entonces activa el motor de la plataforma y la lleva a la posición de Home, hasta que el interruptor inferior de la

plataforma es activado, entonces se detiene el motor, activa la bandera “Conectado” y transmite una “K” hacia la PC y sale de la interrupción.

Al llegar un nuevo dato siguiendo el mismo proceso la bandera “Conectado” ya está activa por lo que ahora pregunta si la bandera “Calibrado” esta activa, en caso de que no esté activada el programa entra en el proceso de calibración de la plataforma, en este proceso el programa espera 4 diferentes datos para concluir con el proceso, el primer dato es una “C”, al llegar este dato el motor se pone en marcha y sube la plataforma 30 pulsos del encoder con lo cual está llega a una posición casi horizontal lo que disminuye el tiempo de calibración, el siguiente dato es una “D”, al recibir este dato la plataforma baja un pulso de encoder, el siguiente dato es una “U” que sube la plataforma un pulso de encoder, estos dos datos son los usados para subir y bajar la plataforma en el proceso de calibración, al tener calibrado el sistema el siguiente dato que se espera es una “Y”, al recibirla activa el motor y lleva a la plataforma a su posición de Home y activa la bandera “Calibrado” y sale de la interrupción.

En este punto ya se estableció la comunicación del microcontrolador con la PC activando la bandera “Conectado” y ya se tiene la plataforma calibrada por lo que la bandera “Calibrado” ya está activada, el programa ya está listo para inicial la secuencia de la práctica, ahora al llegar un nuevo dato pregunta si llego una “F”, en caso de recibir este dato apaga el motor en caso de que este en movimiento, desactiva todas las banderas, transmite una “F” hacia la PC y sale de la interrupción, con este proceso se termina la comunicación con la PC.

En caso de que el dato recibido no sea una “F”, entonces pregunta si la bandera “Angulo” esta activada, en caso de no estar activada entramos en el proceso de posicionamiento de la plataforma, lo siguiente que se espera es una “R” con la cual se activa la bandera “Ang”, este es un paso intermedio de tal manera de que el programa sepa que el siguiente dato que llegue es el dato de cuantos pulsos debe contar el encoder para llegar al ángulo deseado.

Al estar activa la bandera “Ang” pregunta si el dato recibido es una “M”, en caso de no serlo el dato recibido se almacena en el registro “vueltas” e inicia el proceso de posicionamiento, este dato se que almacena en “vueltas”, tiene los pulsos contados en el proceso de calibración más los necesarios para llegar al ángulo deseado, los cuales se obtienen con la interfaz grafica, al llegar al ángulo deseado se apaga el motor y se activa la bandera “Angulo” y sale de la interrupción.

En caso de que el dato recibido sea una “M”, esto quiere decir que se desea usar el ángulo máximo que puede dar el sistema, por lo que se activa el motor y sube la

plataforma hasta que se activa el interruptor superior, entonces se apaga el motor, se activa la bandera “Angulo” y sale de la interrupción.

En este momento ya están activadas las banderas “Conectado”, “Calibrado” y “Angulo”, por lo que ya se hizo la comunicación entre el microcontrolador y la PC, el sistema ya está calibrado y la plataforma ya tiene el ángulo deseado para iniciar la práctica.

Ahora el programa pregunta si el dato recibido es una “S”, en caso de no serlo sale de la interrupción, en caso contrario se da inicio a la práctica, primero se pregunta si el sensor de posición inicial del móvil está activado, en caso de no estar, no se inicia la práctica hasta que este activado, al cumplir con esto se manda la señal para activar el solenoide y deje libre al móvil, después viene una pequeña subrutina de retardo y se apaga el solenoide, al concluir este proceso se pregunta si el sensor de fin de carrera del móvil está activo, en caso de no estar activo se mantiene en un lazo hasta que este se activa, lo cual significa que el móvil recorrió toda la plataforma, al activarse este sensor la plataforma se mueve a su posición de Home, para que el móvil regrese a su posición inicial y la plataforma esté lista para volver a realizar la práctica, al llegar a Home la plataforma se apaga el motor y se limpian las banderas “Ang” y “Angulo”, y el programa sale de la interrupción, listo para volver a realizar otro evento con el mismo ángulo u otro diferente.

**Comunicación serial** . El protocolo RS-232 es una norma o estándar mundial que rige los parámetros de uno de los modos de comunicación serial. Por medio de este protocolo se estandarizan las velocidades de transferencia de datos, la forma de control que utiliza dicha transferencia, los niveles de voltajes utilizados, el tipo de cable permitido, las distancias entre equipos y los conectores empleados.

Además de las líneas de transmisión (Tx) y recepción (Rx), las comunicaciones seriales poseen otras líneas de control de flujo (*handshake*), donde su uso es opcional dependiendo del dispositivo a conectar.

A nivel de software, la configuración principal que se debe dar a una conexión a través de puertos seriales RS-232 es básicamente la selección de la velocidad en baudios (1200, 2400, 4800), la verificación de datos o paridad (paridad par, paridad impar o sin paridad), los bits de parada luego de cada dato (1 ó 2), y la cantidad de bits por dato (7 u 8), que se utiliza para cada símbolo o carácter enviado.

El módulo USART del PIC16F877A es capaz de soportar una comunicación serial síncrona y asíncrona, de la cual la asíncrona es la más utilizada, y es la implementada en este proyecto.

El USART en modo asíncrono realiza la transferencia de información a través de dos líneas TX (transmisión) y RX (recepción), haciendo la transferencia de datos a una velocidad dada por el generador de baudios, se debe efectuar en un valor normalizado (330, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, etc.). Para generar esta frecuencia, el USART dispone de un generador de frecuencia en baudios, cuyo valor es controlado por el contenido grabado en el registro SPBRG del microcontrolador.

El dato que se debe transmitir por el USART se deposita en el registro TXREG del microcontrolador y a continuación se traspaasa al registro TSR, el cual que va sacando los bits secuencialmente y a la frecuencia establecida.

Los datos se reciben en serie, bit a bit, por la terminal RC7/RX y se van introduciendo secuencialmente en el registro RSR, el cual funciona 16 veces más rápido que el registro de trabajo (W).

La forma de controlar la secuencia del sistema es enviando tramas de datos, en este caso se utilizaron letras que tienen un cierto valor en código ASCII.

## **V.4 INTERFAZ GRÁFICA**

La interfaz gráfica con la cual se podrá realizar la práctica fue programada en Visual Basic 6.0, que es un lenguaje de programación desarrollado por Microsoft con un ambiente de desarrollo totalmente grafico, es un lenguaje guiado por eventos, y centrado en un motor de formularios que facilita el rápido desarrollo de aplicaciones gráficas. Su sintaxis, derivada del antiguo BASIC, ha sido ampliada con el tiempo al agregarse las características típicas de los lenguajes estructurados modernos.

Cabe mencionar que esta interfaz programada es provisional, desarrollada únicamente para observar el funcionamiento de todo el sistema; se está desarrollando una interfaz en otro trabajo de tesis programada en C# la cual será genérica y se aplicará en todas las prácticas automatizadas, la cual contará con todo lo necesario para el sistema de visión y la aplicación vía web del laboratorio.

A continuación se explicará el funcionamiento de la interfaz:

Al ejecutar el programa aparece la ventana del panel frontal, figura 98, aquí el único botón habilitado es el de Conectar, al activar este botón se inicia la comunicación entre la interfaz y el microcontrolador, se habilitan todos los demás botones, figura 99, y a continuación la plataforma se va a su posición de home o de inicio, que es en el límite inferior de la plataforma.

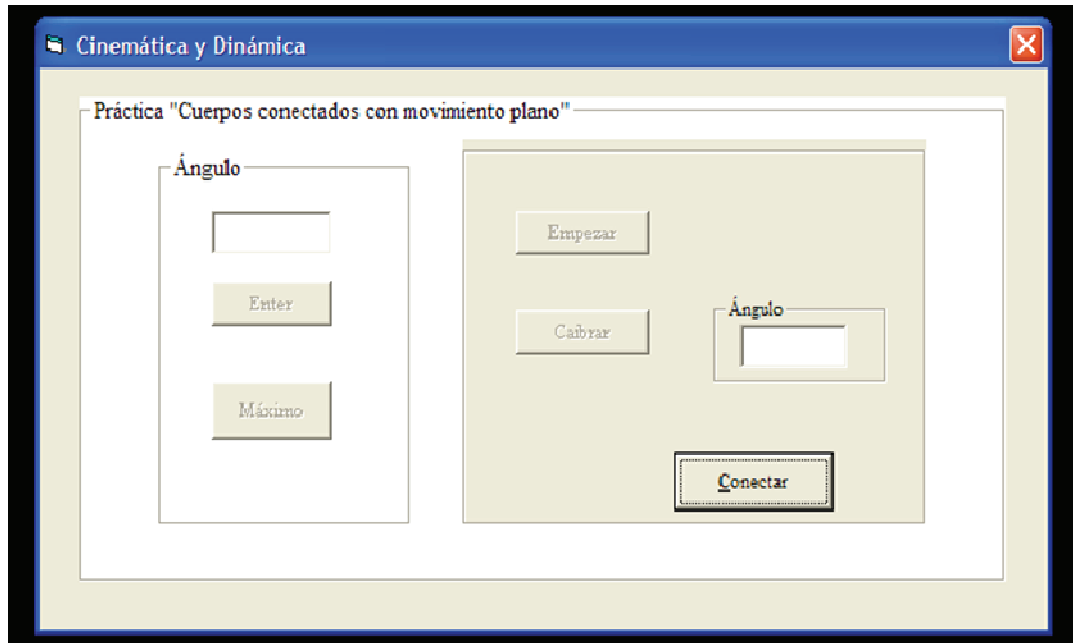


Figura 98 Panel Frontal de la interfaz gráfica.

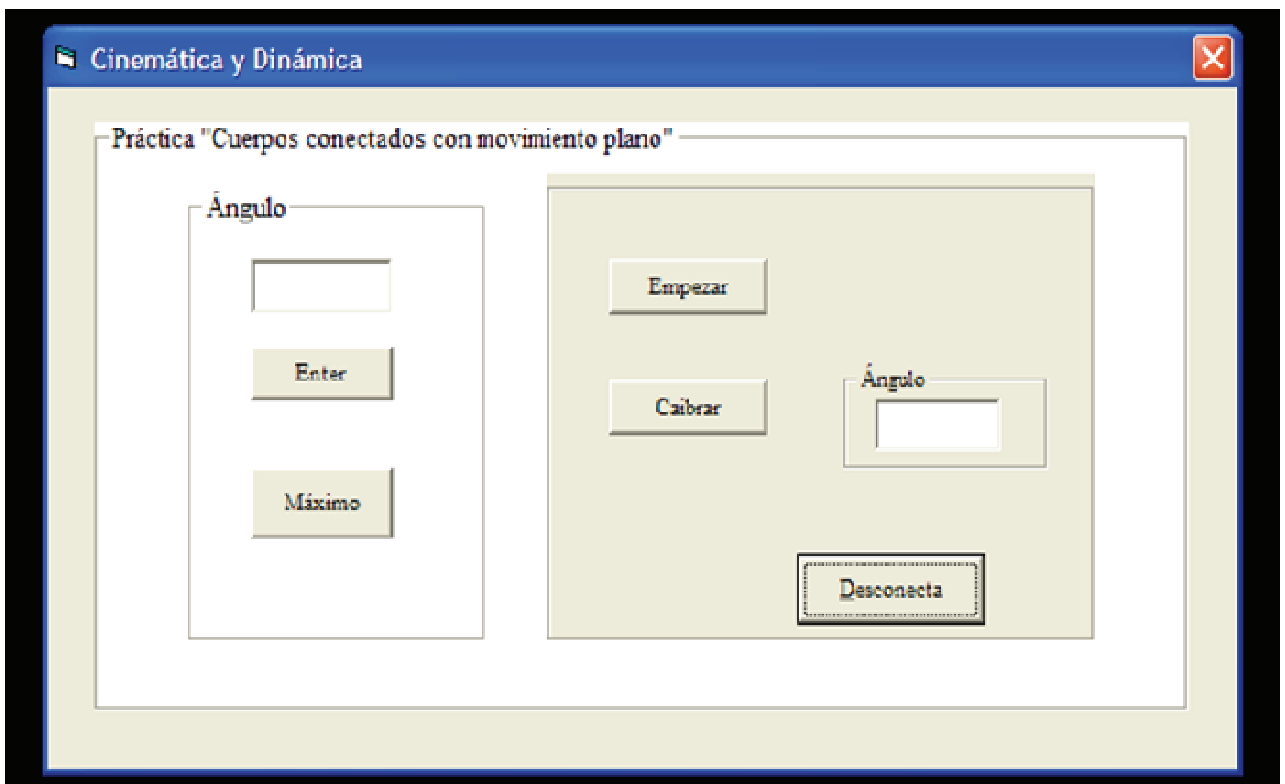
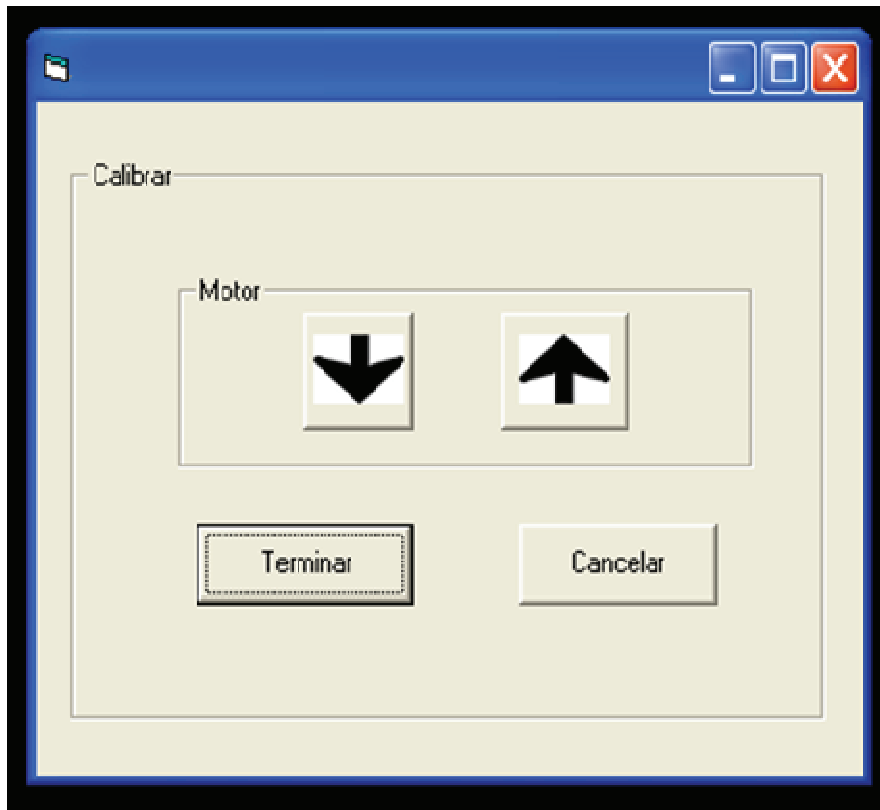


Figura 99 Panel Frontal de la interfaz gráfica.

Una vez que se realiza la conexión y la plataforma está en la posición de home hay que calibrar el sistema (teniendo en cuenta que el usuario podrá ver el dispositivo a través del

sistema de visión), el sistema cuenta con un nivel el cual ayuda al usuario a visualizar cuándo la plataforma está totalmente horizontal; al presionar el botón Calibrar la plataforma se posiciona en un lugar cercano a la horizontal para que la calibración sea lo más rápido posible, también se abre otra venta, figura 100, la cual cuenta con dos botones con los cuales se podrá subir o bajar la plataforma para nivelarla; una vez terminada la calibración se presiona el botón Terminar y se guarda el dato de las vueltas dadas por el ENCODER, para tener la referencia de la horizontal a partir de la cual se medirá el ángulo de inclinación de la plataforma.



*Figura 100 Ventana de calibración.*

Al terminar de calibrar, el sistema está listo para empezar la práctica; el siguiente paso es que el usuario introduzca el ángulo de inclinación deseado, se puede escoger un ángulo entre  $0^\circ$  y  $24^\circ$  (aunque el móvil se empieza a deslizar de la plataforma a partir de los  $20^\circ$ , aproximadamente, pero esto servirá por si se decide construir otro móvil más adelante), para introducir un ángulo entre  $0^\circ$  y  $24^\circ$  se escribe el número en la caja de texto, figura 101, en la sección de ángulo de la parte izquierda del panel frontal y se presiona el botón "Enter"; si se quiere una inclinación de  $25^\circ$  se presiona el botón Máximo para tener la máxima inclinación del sistema.

Luego de introducir el ángulo deseado, se envía el dato al microcontrolador para que comience a subir la plataforma, en la parte derecha del panel frontal existe una caja de texto con la etiqueta Ángulo; en esta caja se desplegará el ángulo actual de la plataforma mientras va subiendo, el microcontrolador transmite el valor del Timer 1, que es el contador que lleva la cuenta de las vueltas dadas por el encoder y los catetos del triangulo rectángulo formado por el sistema (el cateto opuesto se conoce teniendo en cuenta que el tornillo sinfín tiene diez hilos por pulgada, por lo tanto cada 10 vueltas que da el encoder el cateto opuesto incrementa una pulgada; y el cateto adyacente que es constante, se es medido desde el punto de articulación a la base del tonillo sinfín), usando la función tangente inversa se obtiene el ángulo de inclinación de la plataforma.

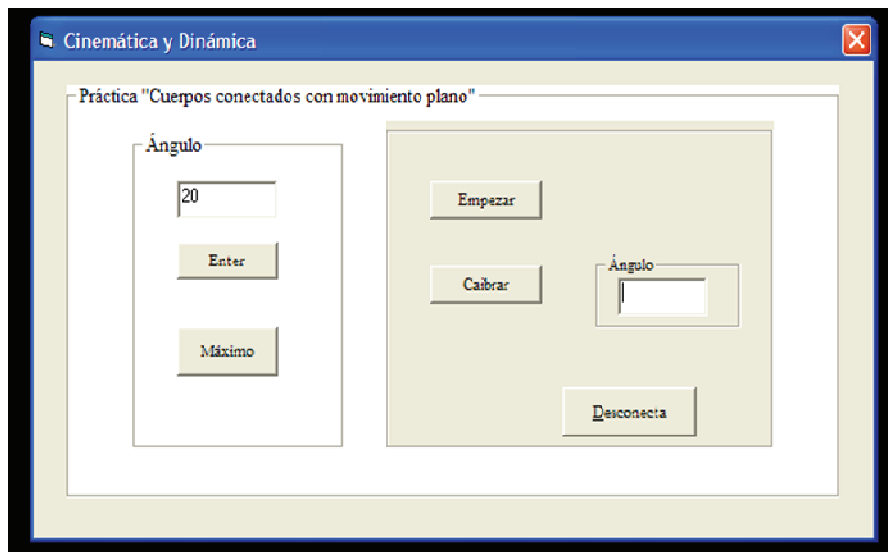


Figura 101 Panel frontal.

Al llegar la plataforma a la inclinación deseada, se está listo para realizar la práctica; al oprimir el botón Empezar el sistema revisa que el móvil se encuentre en su posición inicial, y si así es, activa el solenoide para que el móvil inicie su recorrido.

Al terminar su recorrido, el móvil activa un interruptor; al ser activado la plataforma automáticamente se va a la posición de home.

Una vez hecho esto, se puede realizar otro evento introduciendo un nuevo ángulo, o bien, terminando la práctica oprimiendo el botón Desconectar , figura 101.

En la figura 102 se muestra el diagrama de flujo de la interfaz.

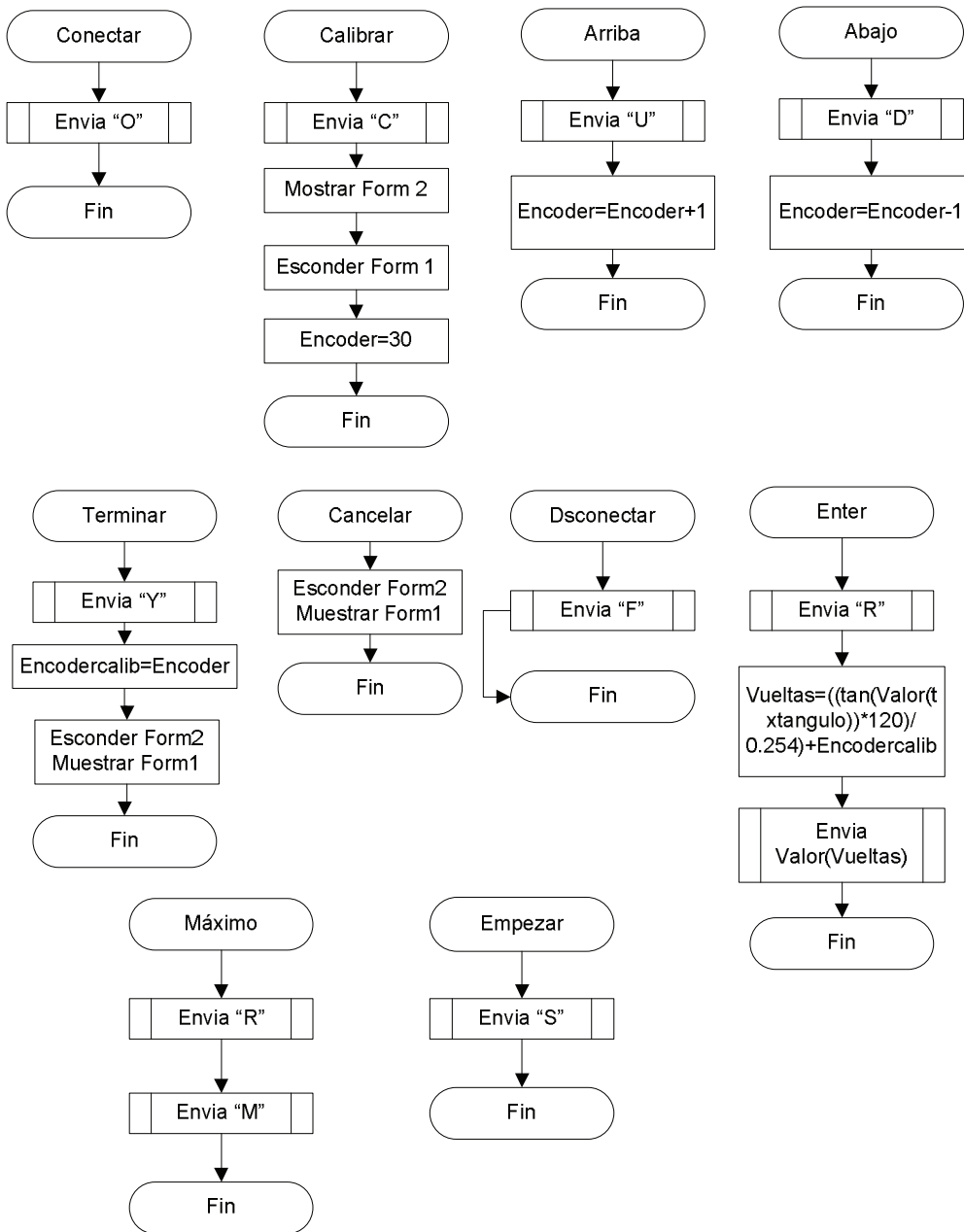


Figura 102 Diagrama de flujo de la interfaz.



A continuación se explicará el funcionamiento del diagrama de flujo de la interfaz gráfica:

El botón “Conectar” al oprimirlo transmite una “O” hacia el microcontrolador.

El botón “Calibrar” transmite una “C” hacia al microcontrolador, muestra la ventana del segundo formulario y esconde la ventana del primero y pone el valor 30 en la variable Encoder.

El botón “Arriba” transmite una “U” e incrementa la variable Encoder en una unidad.

El botón “Abajo” transmite una “D” y decrementa la variable Encoder en una unidad.

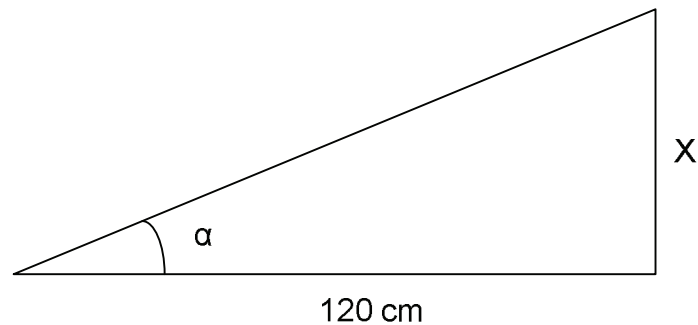
El botón “Terminar” transmite una “Y” y guarda el valor de la variable Encoder en la variable Encodercalib, oculta la ventana del formulario 2 y muestra la ventana del formulario 1.

El botón “Cancelar” oculta la ventana del formulario 2 y muestra la ventana del formulario 1.

El botón “Desconectar” transmite una “F” al microcontrolador.

Ahora se necesita una fórmula de conversión que ángulos en grados a pulsos de encoder para poder hacer el posicionamiento de la plataforma.

Teniendo en cuenta de que la plataforma forma un triángulo rectángulo, del que conocemos el cateto adyacente el cual es constante y el ángulo deseado, que es introducido por el usuario en la interfaz gráfica, entonces:



Donde  $\alpha$  es el ángulo deseado en grados y X la magnitud del cateto opuesto.

$$\tan \alpha = \frac{X}{120}$$

Despejando X

$$X[cm] = 120 * \tan \alpha$$

Ahora teniendo en cuenta que el tonillo sinfín es de 10 hilos por pulgada o pulsos para el encoder y una pulgada es igual a 2.54 [cm]

$$Z[\text{pulsos}] = X[\text{cm}] * \left( \frac{10 [\text{pulsos}]}{2.54 [\text{cm}]} \right)$$

Por tanto

$$Z[\text{pulsos}] = \frac{\tan \alpha * 120[\text{cm}] * 10[\text{pulsos}]}{2.54[\text{cm}]} = \frac{\tan \alpha * 120}{0.254}$$

El botón “Enter” transmite una “R”, después utiliza la ecuación

$$\mathbf{Vueltas} = \left\{ \frac{(\mathbf{\tan(Valor(txtangulo)) * 120})}{\mathbf{0.254}} \right\} + \mathbf{Encodercalib}$$

Donde:

Txtangulo es el valor de ángulo en grados introducido por el usuario en la interfaz.  
Encodercalib son los pulsos contados en el proceso de calibración.

Esta es la fórmula escrita dentro del código de la interfaz gráfica para que realice esta conversión, una vez realizada, transmite el resultado al microcontrolador

El botón “Maximo” transmite una “R” y una “M” al microcontrolador.

El botón “Empezar” transmite una “S” al microcontrolador.

# CAPÍTULO VI

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de este trabajo se diseño, manufacturo, instrumento y se automatizo un sistema mecatrónico que servirá para realizar la práctica “Cuerpos conectados con movimiento plano” que se realizara en el laboratorio de cinemática y dinámica de la Facultad de Ingeniería.

En la primera etapa del diseño del sistema, en especifico con el primer prototipo, al realizar la pruebas se encontraron varias dificultades con el funcionamiento de éste, la plataforma era muy pesada por lo que causaba demasiada oscilación en el tonillo sinfín el cual no tenía el soporte ni rigidez necesarias para poder soportarla, al igual que el móvil no se deslizaba bien a lo largo de la plataforma a causa de tener demasiada fricción en los rodamientos y por una deficiente manufactura de las piezas que unen a éstos; así mismo el mecanismo para subir al móvil a través de la plataforma no funcionó como se esperaba.

Por lo anterior se decidió rediseñar algunas piezas que no funcionaban bien, desechar el mecanismo que subía al móvil y agregar unas camisas, guías lineales y chumacera al tonillo sinfín, para darle la rigidez necesaria para funcionara correctamente.

Terminado el rediseño y fabricación del prototipo, se realizó instrumentación, la cual consta de cuatro interruptores mecánicos, dos fotointerruptores y un encoder, los cuales se montaron en la estructura de madera del prototipo y en la plataforma.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

Para la parte de control, sólo se utilizaron señales digitales y un contador para el encoder, por lo que la programación de éste fue relativamente sencilla, ya que se programó siguiendo la secuencia de eventos que se debe seguir en la práctica.

Ya con el prototipo instrumentado y automatizado, se prosiguió con la realización de pruebas al sistema. En primera instancia se había decidido construir una fuente de alimentación para el sistema, debido a que se necesitaban  $5\text{ V}$  para el microcontrolador, sensores, leds y todo el acondicionamiento de señales,  $24\text{ V}$  de  $CD$  para el motor que sube la plataforma y  $120\text{ V}$  de  $CA$  para el solenoide, pero se tuvieron muchos problemas debido a que el motor generaba muchos picos de corriente al subir la plataforma, lo que quemaba los circuitos, por lo que se decidió usar la fuente del laboratorio para realizar las pruebas.

Otro problema que detecto fue con la etapa de potencia del motor, como se mencionó éste generaba picos de corriente al subir la plataforma, por lo que los circuitos integrados L293 y L298 que se utilizaron como etapa de potencia se quemaban, por lo que se construyó un circuito (Puente H) con transistores TIP120 y TIP125, diodos y un relevador con el cual se resolvió este problema.

En otras pruebas se observó que el móvil sólo se deslizaba sin ningún problema en ángulos muy cercanos al ángulo máximo que da la plataforma pues existía mucha fricción entre la placa del móvil y los ángulos de la plataforma, por lo que se le adhirió un cubrecanto de melanina a las superficies que están en contacto para disminuir la fricción, y con lo cual el móvil logró tener un movimiento más suave y constante.

En cuanto al funcionamiento de los demás mecanismos del sistema, el tonillo sinfín sube y baja la plataforma sin ningún problema y el trinquete con el solenoide funciona según lo esperado.

En conclusión se logró cumplir con los objetivos que se plantearon en este trabajo, aunque todavía faltan algunos detalles, como la manufactura del circuito impreso para la electrónica y la implementación de la interfaz gráfica, para que esté totalmente lista para funcionar en el laboratorio.

## Recomendaciones y trabajo a futuro

Como recomendación se sugiere diseñar otro móvil que se mueva con mayor facilidad para poder tener un mayor rango de ángulos de trabajo; así mismo, si se quisiera disminuir el tiempo de realización de cada evento que es aproximadamente de dos a tres minutos por evento, podría reemplazarse el motor o fabricar otro tonillo sinfín (con su respectiva tuerca) con menos hilos por pulgada.

Como trabajo a futuro quedó pendiente la fabricación del circuito impreso para la parte electrónica (ver apéndice 3) el cual ya está diseñado, así como el montaje del sonar a la estructura de la plataforma (la plataforma cuenta con los barrenos necesarios para sólo atornillar), la implementación de la interfaz grafica que se va a utilizar para controlar al sistema remotamente, y poner a funcionar en el laboratorio.



# APÉNDICES





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



## Apéndice 1      Lista de materiales y componentes electrónicos

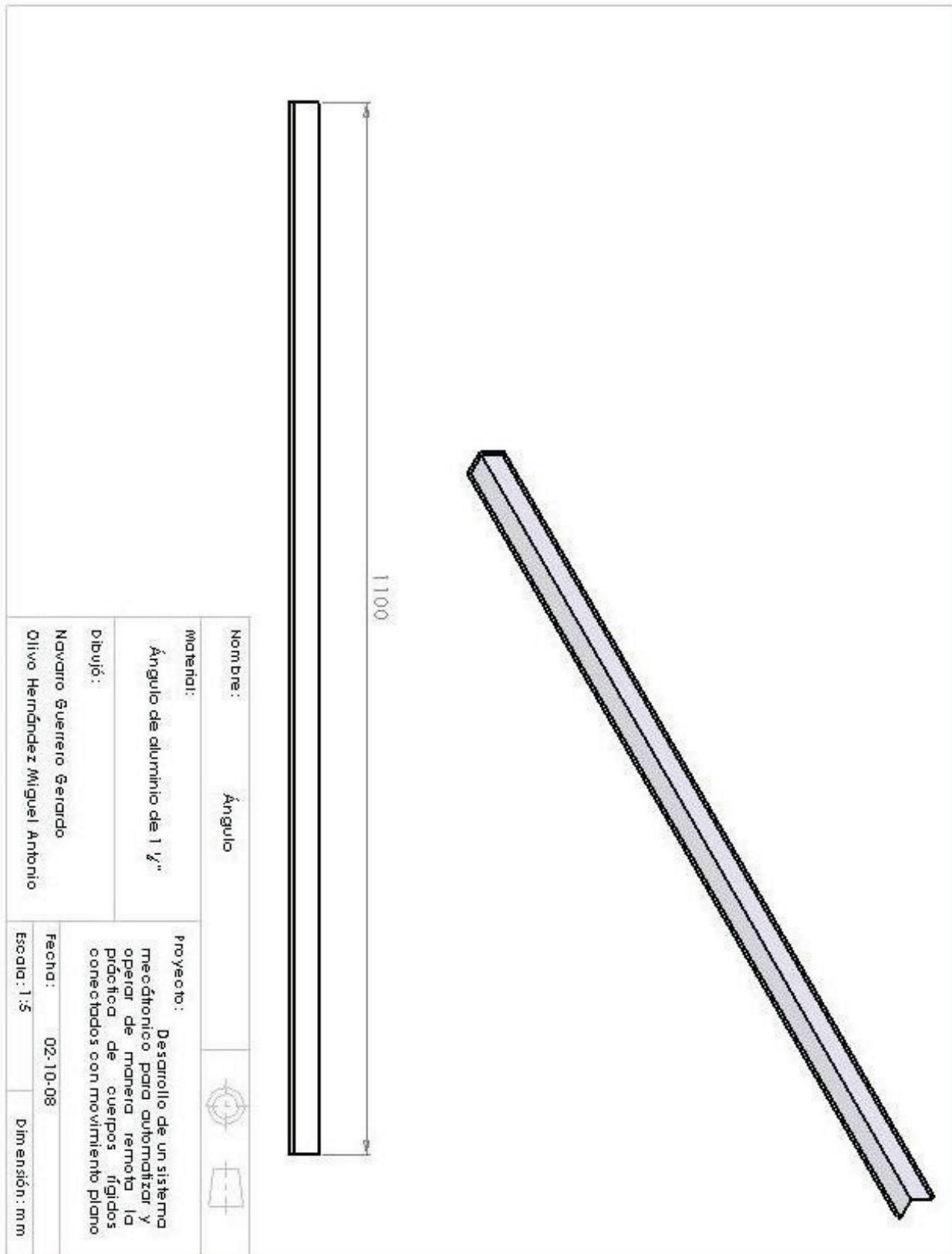
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
Placa de aluminio de ½" de espesor	120cm x 50cm
Barra de acero de ½" de diámetro	150cm
Barra de bronce de 1" de diámetro	20cm
Solera de bronce de ¼" de espesor	10cm x 10cm
Madera de pino de ¾" de espesor	200cm x 30cm
Barra de aluminio de 2" de diámetro	6cm
Ángulo de aluminio de ¼" x 1"	240cm
Ángulo de aluminio de ⅛" x ¾"	40cm
Barra de acero de ⅛" de diámetro	240cm
Manguera de hule de 2" de diámetro interior	6cm
Bisagras de 2"	2
Tornillos allen de ¼" x ½"	15
Chumacera de ½" de diámetro	1
Rodamiento de ½" de diámetro interior	2
Rodamiento de ⅜" de diámetro interior	2
Pijas de ¼" x 1"	15
Tuercas de ¼" de diámetro	10
Prisioneros de ⅛" x ¼"	6
Tornillos de ⅛" x 2"	8
Clavos de ⅛" x 2"	30
Melamina cubrecanto	300cm
Rodamientos de ½"	2
Rodamientos de 3/8"	2

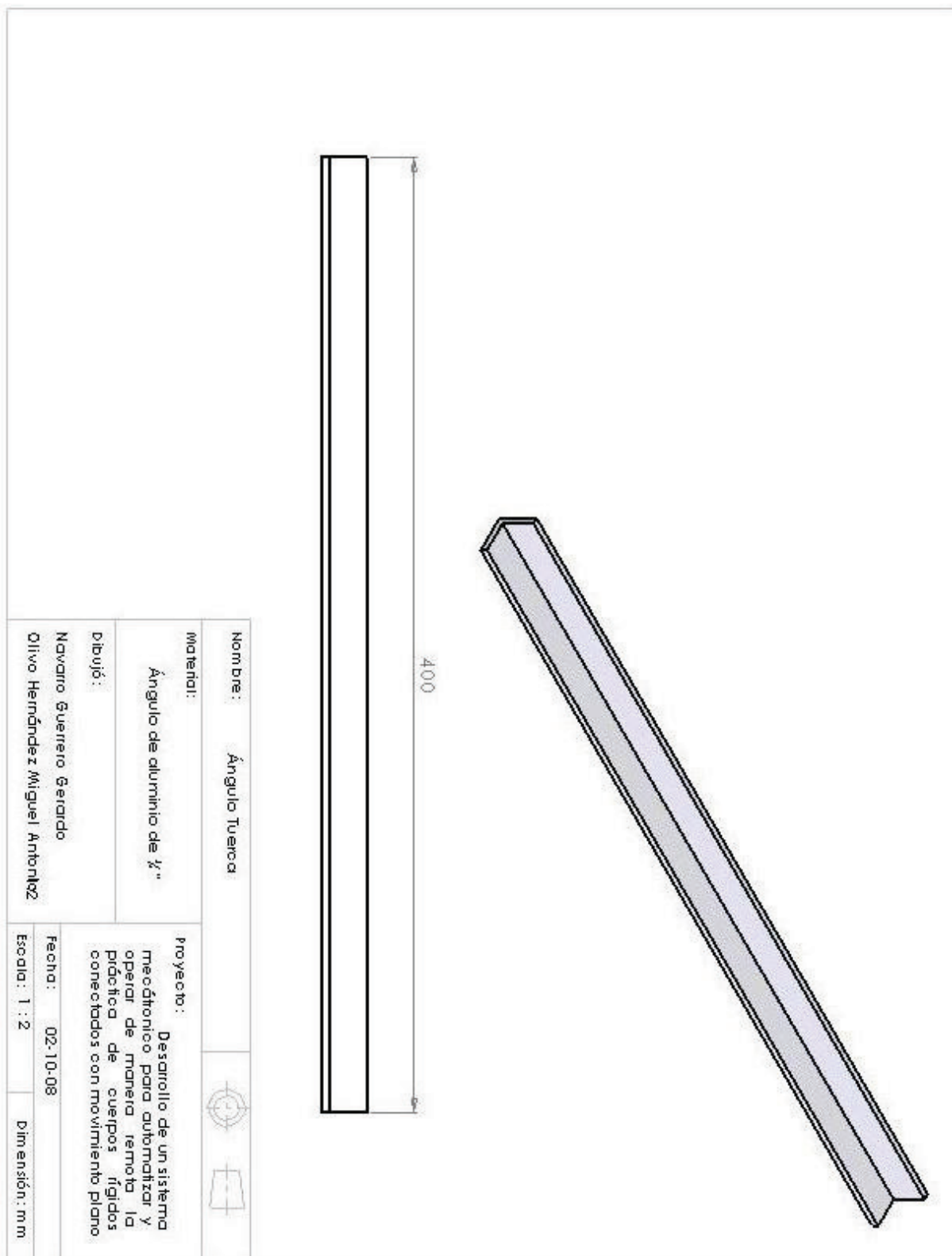
## Componentes electrónicos

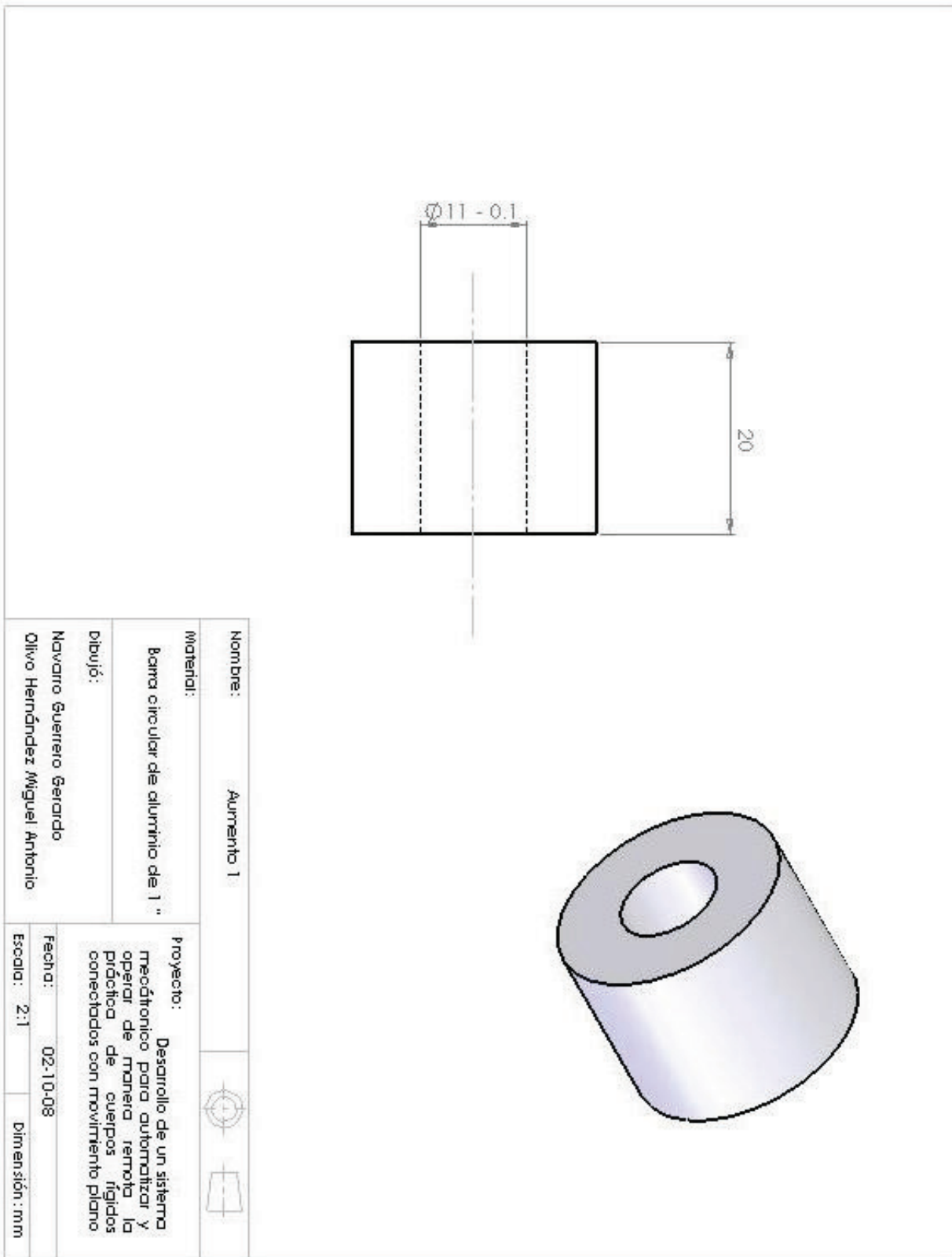
Componente	Cantidad
Resistencia de 330 $\Omega$	4
Resistencia de 47 $K\Omega$	3
Resistencia de 470 $\Omega$	1
Resistencia de 100 $\Omega$	1
Resistencia de 2.2 $K\Omega$	5
Resistencia de 1 $K\Omega$	2
Matriz de ocho leds	1
Matriz de ocho resistencias de 330 $\Omega$	1
Optoacoplador MOC3002	1
Triac BT137	1
Condensador de 100 $\mu F$	1
Relevador	1
Integrado 74LS04	1
Transistor BC548	3
Transistor TIP120	2
Transistor TIP125	2
Diodo NTE588	4
Interruptor mecánicos	4
Fotointerruptores	3
Motor de rotación continua de 24 $V$ a 2 <sup>a</sup>	1
Motor de rotación continua de 24 $V$ con caja reductora a 3A	1
Solenoides de 120 $V$ de corriente alterna	1

**Apéndice 2****Planos**

- Plano 1 Ángulo
- Plano 2 Ángulo tuerca
- Plano 3 Aumento 1
- Plano 4 Aumento 2
- Plano 5 Banco
- Plano 6 Barra - placa
- Plano 7 Camisa inferior
- Plano 8 Camisa superior
- Plano 9 Cople
- Plano 10 Espárrago
- Plano 11 Extremo inferior
- Plano 12 Extremo superior
- Plano 13 Extremo superior 2
- Plano 14 Flecha de espárrago
- Plano 15 Flecha de sinfín
- Plano 16 Placa de móvil
- Plano 17 Riel
- Plano 18 Soporte 1 Motor de espárrago
- Plano 19 Soporte 2 Motor de espárrago
- Plano 20 Soporte de espárrago
- Plano 21 Soporte de riel
- Plano 22 Soporte motor sinfín
- Plano 23 Tornillo sinfín
- Plano 24 Tuerca para espárrago
- Plano 25 Tuerca para tornillo sinfín
- Plano 26 Tuerca para tornillo sinfín 2

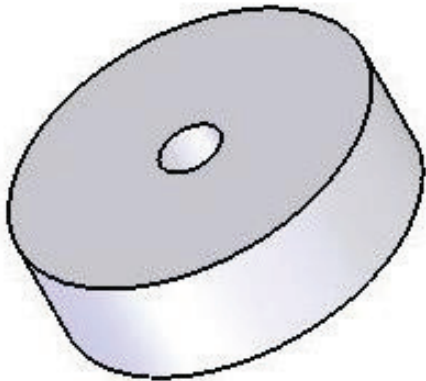


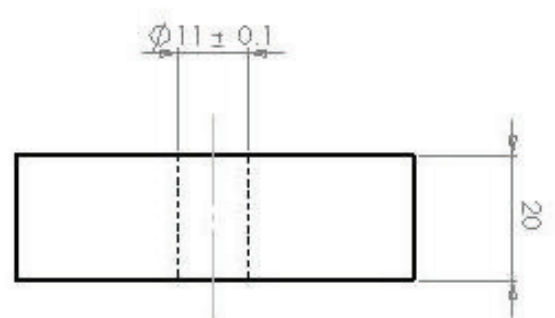


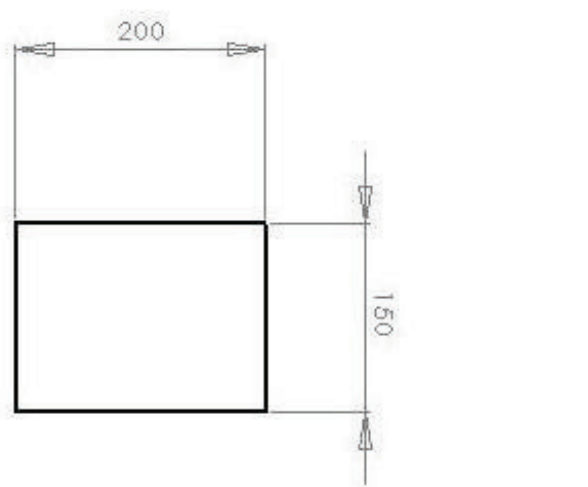





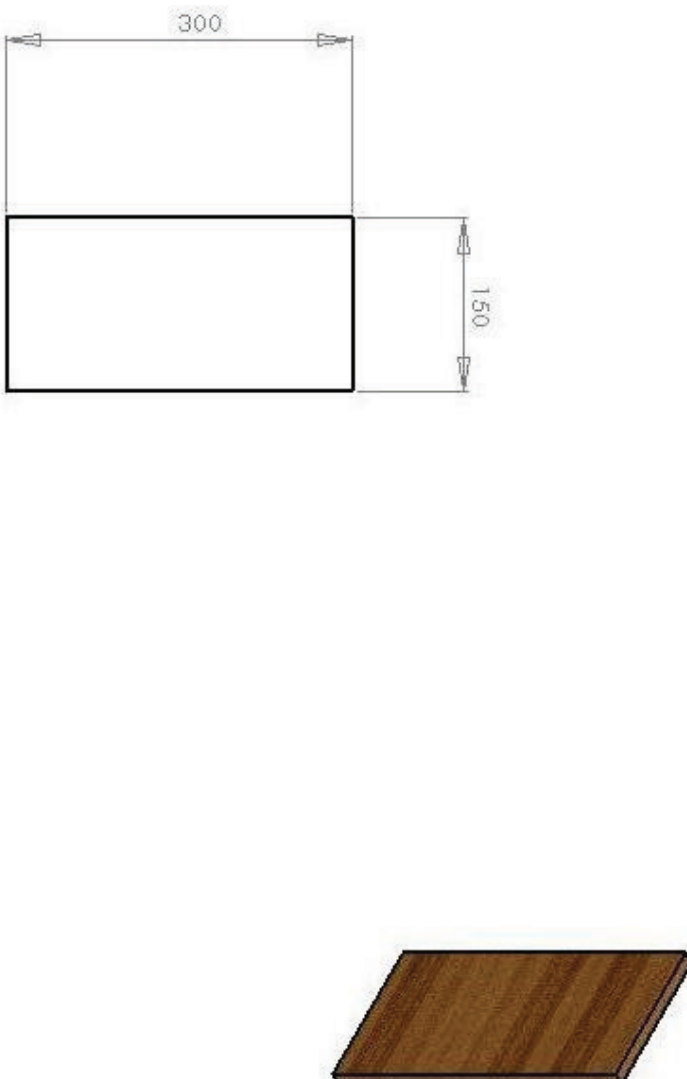
<p><b>Nombre:</b> Aumento 2</p> <p><b>Material:</b> Barra circular de aluminio de 2g"</p> <p><b>Dibujó:</b> Navarro Guerrero Gerardo Olivio Hernández Miguel Antonio</p>	<p><b>Proyecto:</b> Desarrollo de un sistema mecatrónico para automatizar y operar de manera remota la práctica de cuerpos rígidos conectados con movimiento plano</p> <p><b>Fecha:</b> 02-10-08</p> <p><b>Escala:</b> 1:1</p> <p><b>Dimensión:</b> mm</p>
--	--









<p><b>Nombre:</b> Base de banco</p>	
<p><b>Materia:</b> Madera de 1/2"</p>	<p><b>Proyecto:</b> Desarrollo de un sistema mecatrónico para automatizar y operar de manera remota la pídctica de cuerpos rígidos conectados con movimiento plano</p>
<p><b>Dibujó:</b> Navarro Guerrero Gerardo Olivio Hernández Miguel Antonio</p>	<p><b>Fecha:</b> 02-10-08</p>
	<p><b>Escala:</b> 1 : 5      <b>Dimensión:</b> mm</p>



Nombre:	Poste de banco		
Materia:	Madera de 1/2"	Proyecto: Desarrollo de un sistema mecatrónico para automatizar y operar de manera remota la práctica de cuerpos rígidos conectados con movimiento plano	
Dibujó:	Navarro Guerrero Gerardo Olivo Hernández Miguel Antonio	Fecha:	02-10-08
		Escala:	1 : 5
			Dimensión: mm

ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	CANTIDAD
1	Banco poste	2
2	Banco base	1

Nombre: Banco soporte

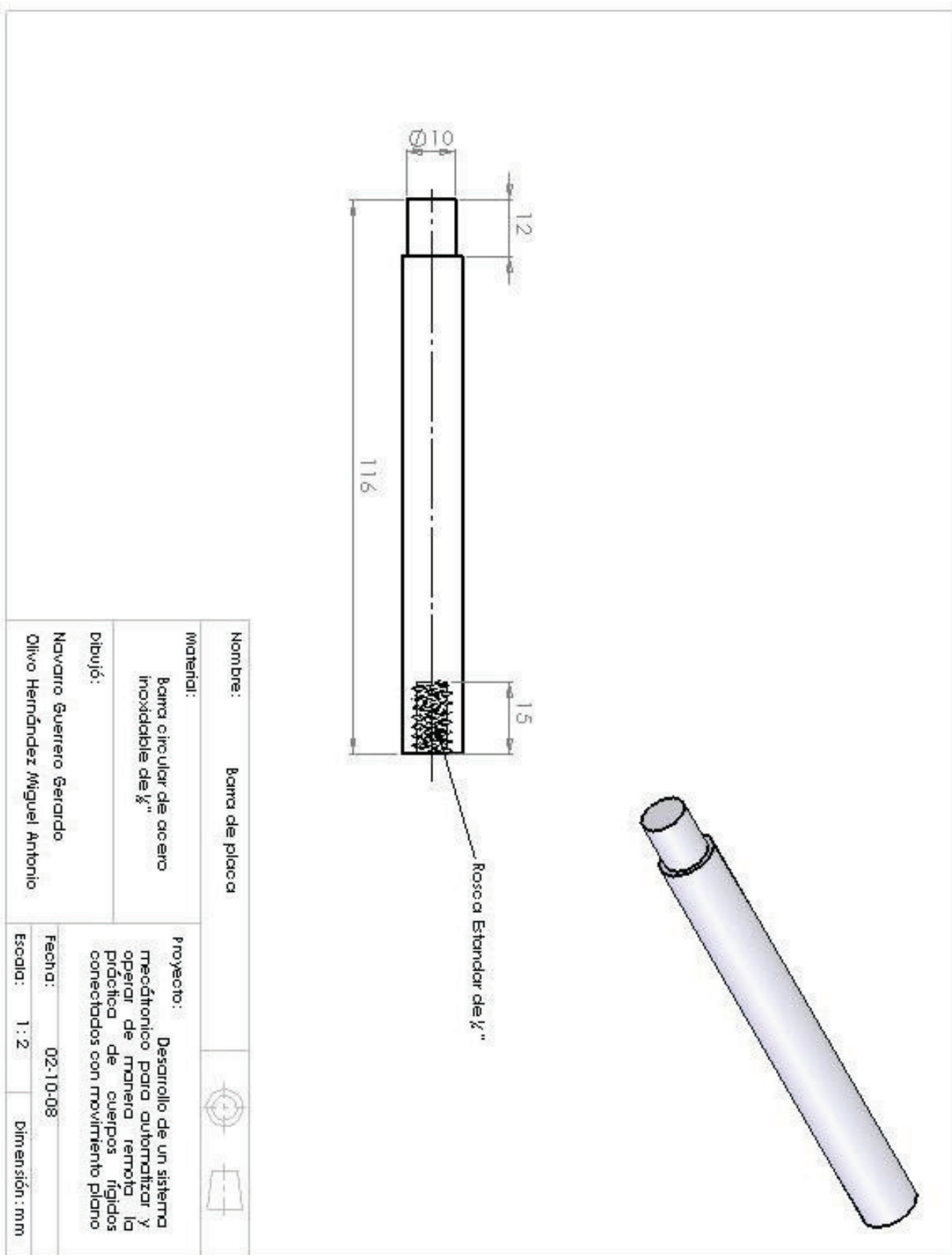
Material: Madera de 1/2" unida con pegamento y clavos

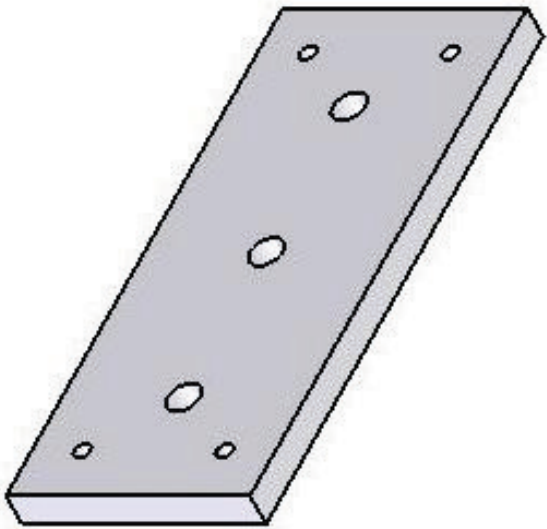
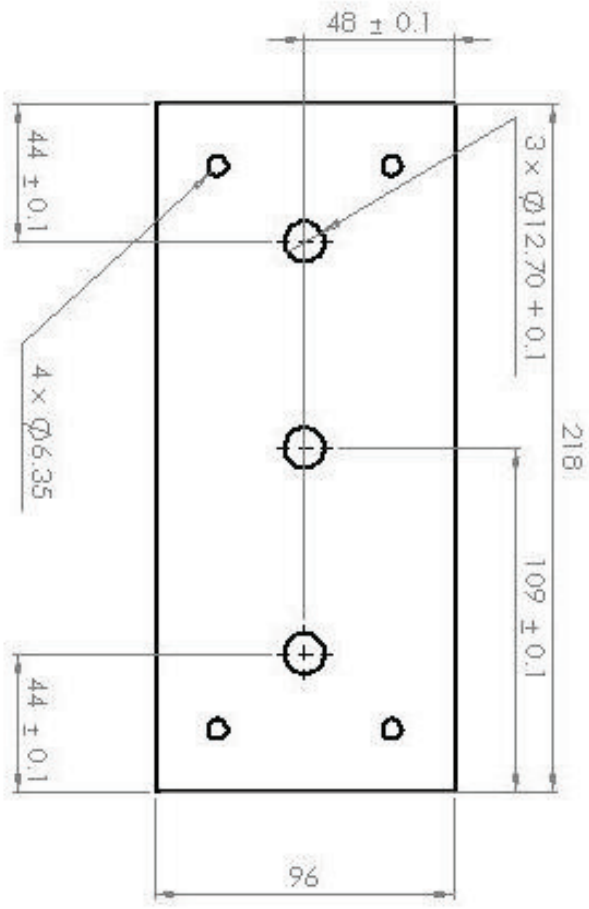
Dibujó: Navarro Guerrero Gerardo  
Olivio Hernández Miguel Antonio



Proyecto: Desarrollo de un sistema mecatrónico para automatizar y operar de manera remota la producción de cuerpos rígidos conectados con movimiento plano

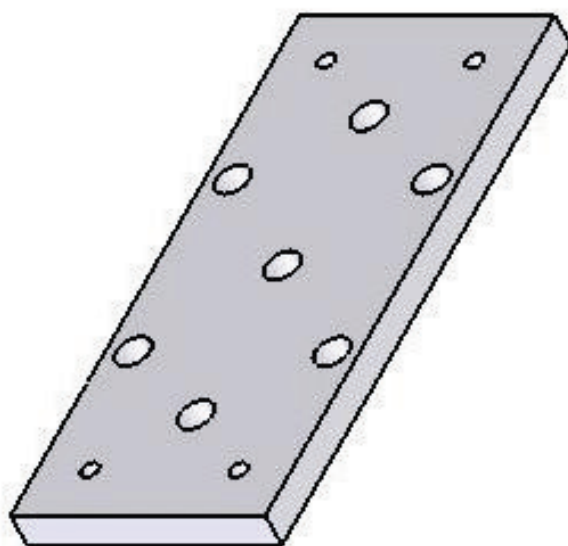
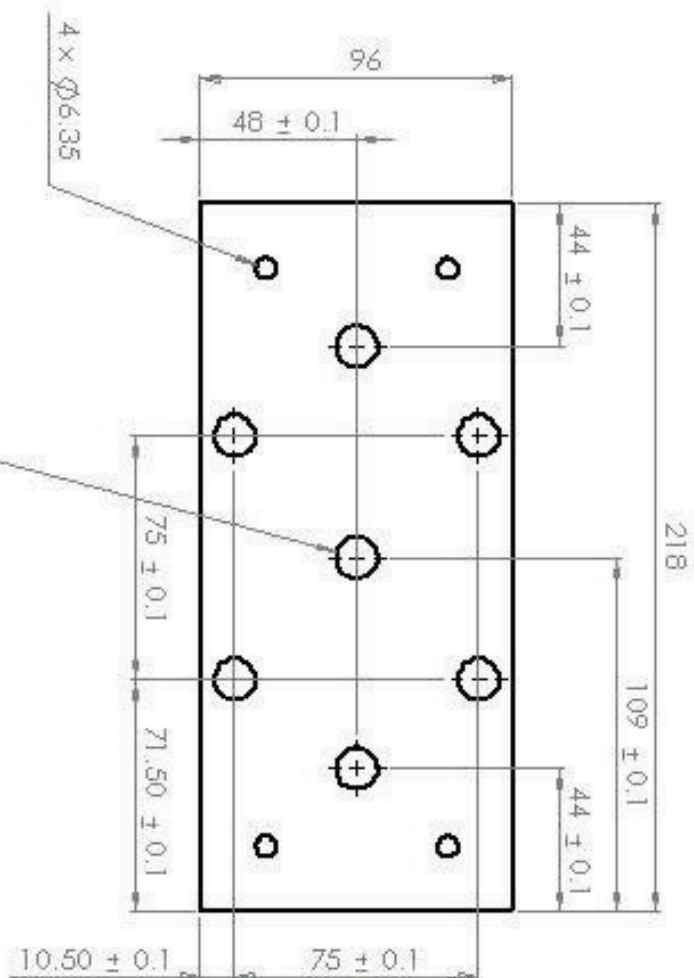
Fecha: 02-10-08



Escala: 1 : 5      Dimensión: mm

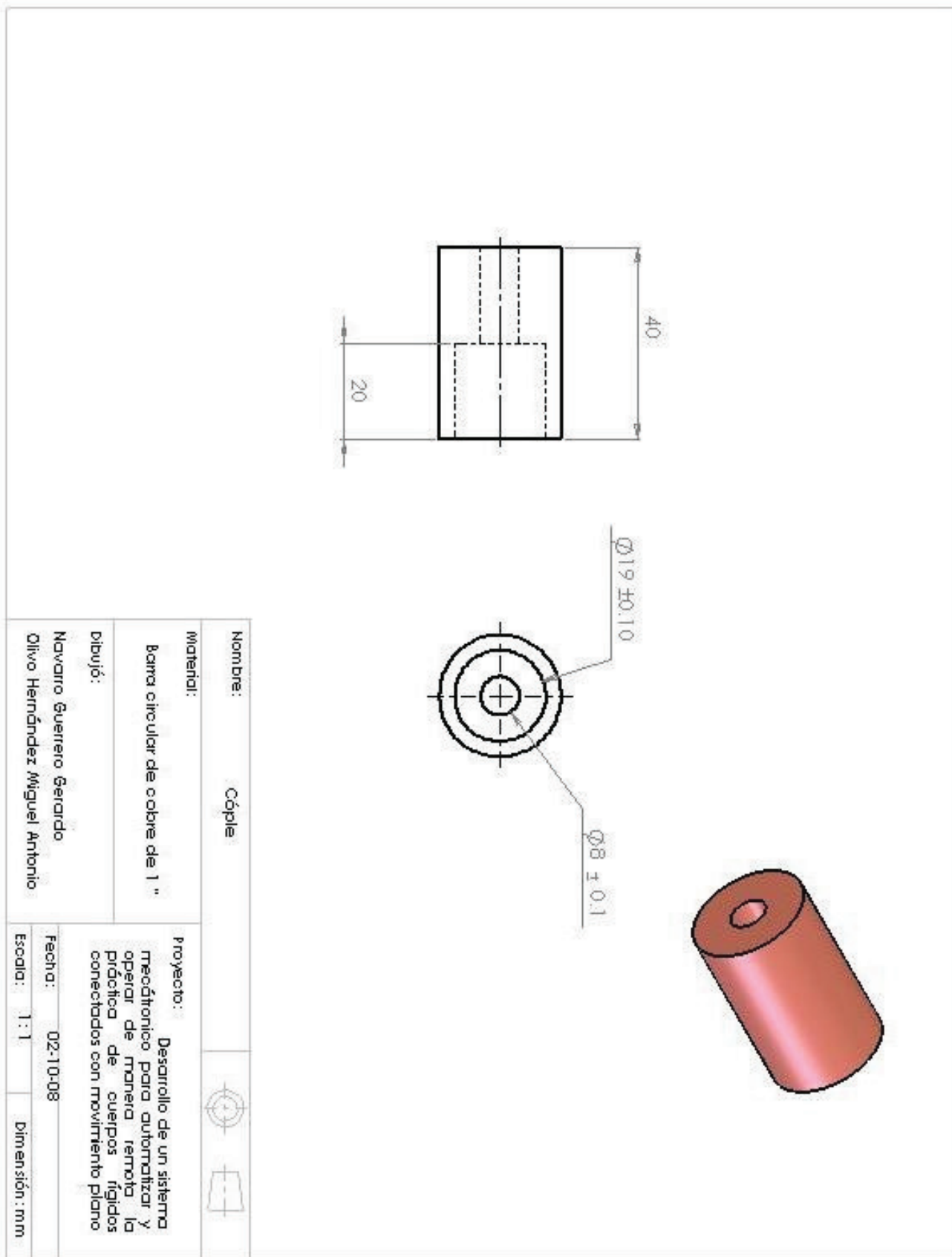




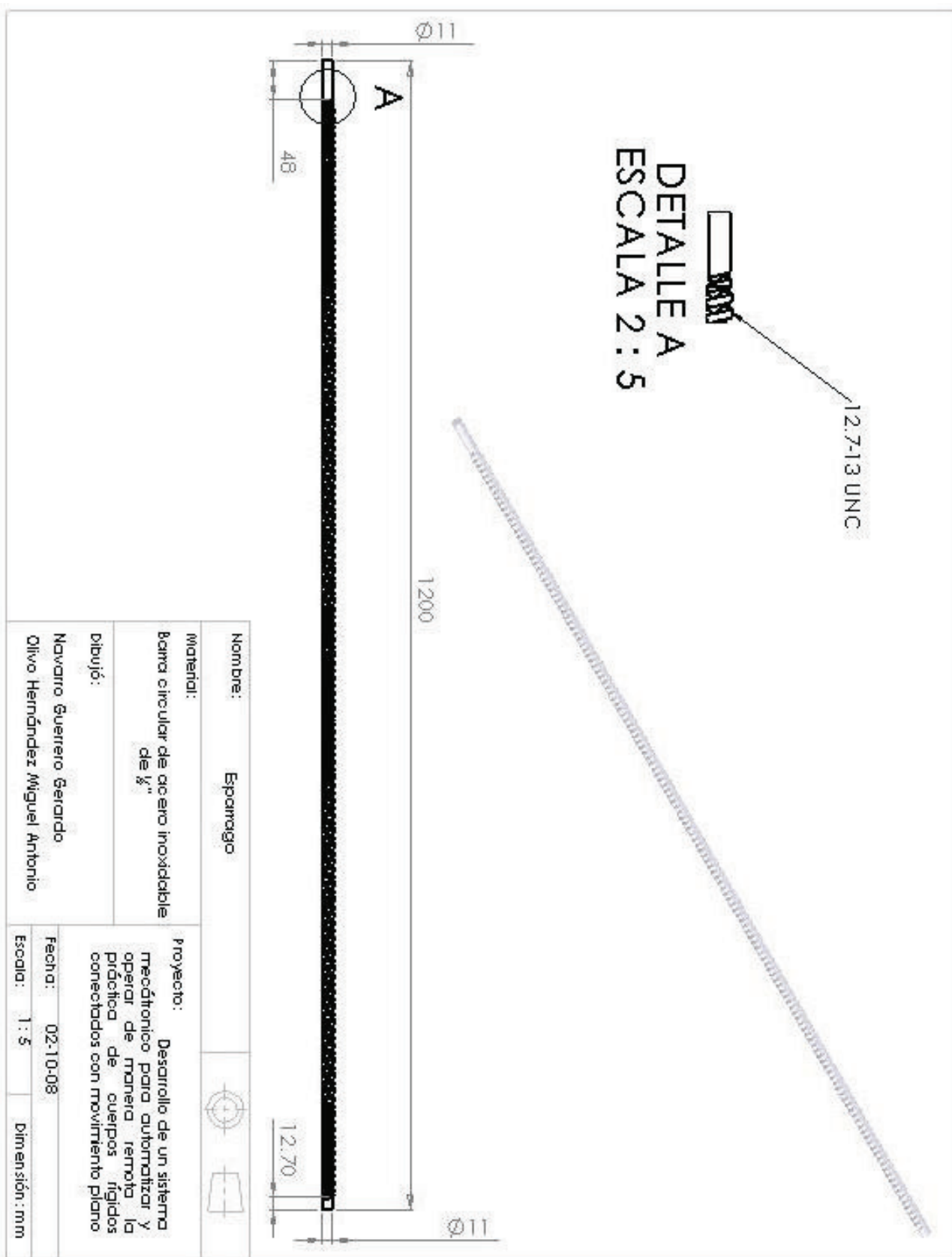
Nombre:	Carrisa Interior	 
Materia:	Placa de aluminio de 1"	
Dibujó:	Navarro Guerrero Gerardo Olivo Hernández Miguel Antonio	Proyecto: Desarrollo de un sistema mecatrónico para automatizar y operar de manera remota la práctica de cuerpos rígidos conectados con movimiento plano. Fecha: 02-10-08 Escala: 1:2      Dimensión: mm

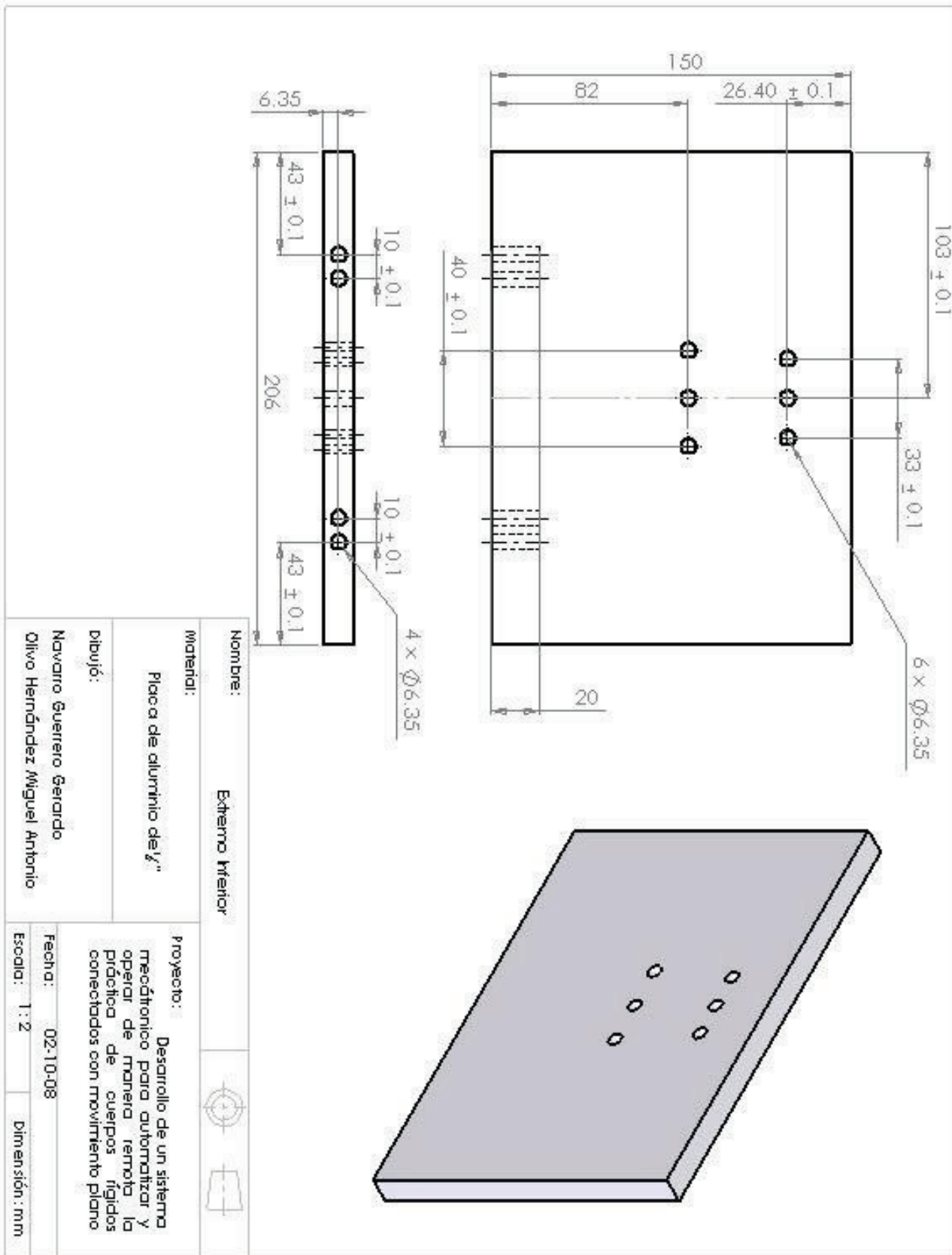


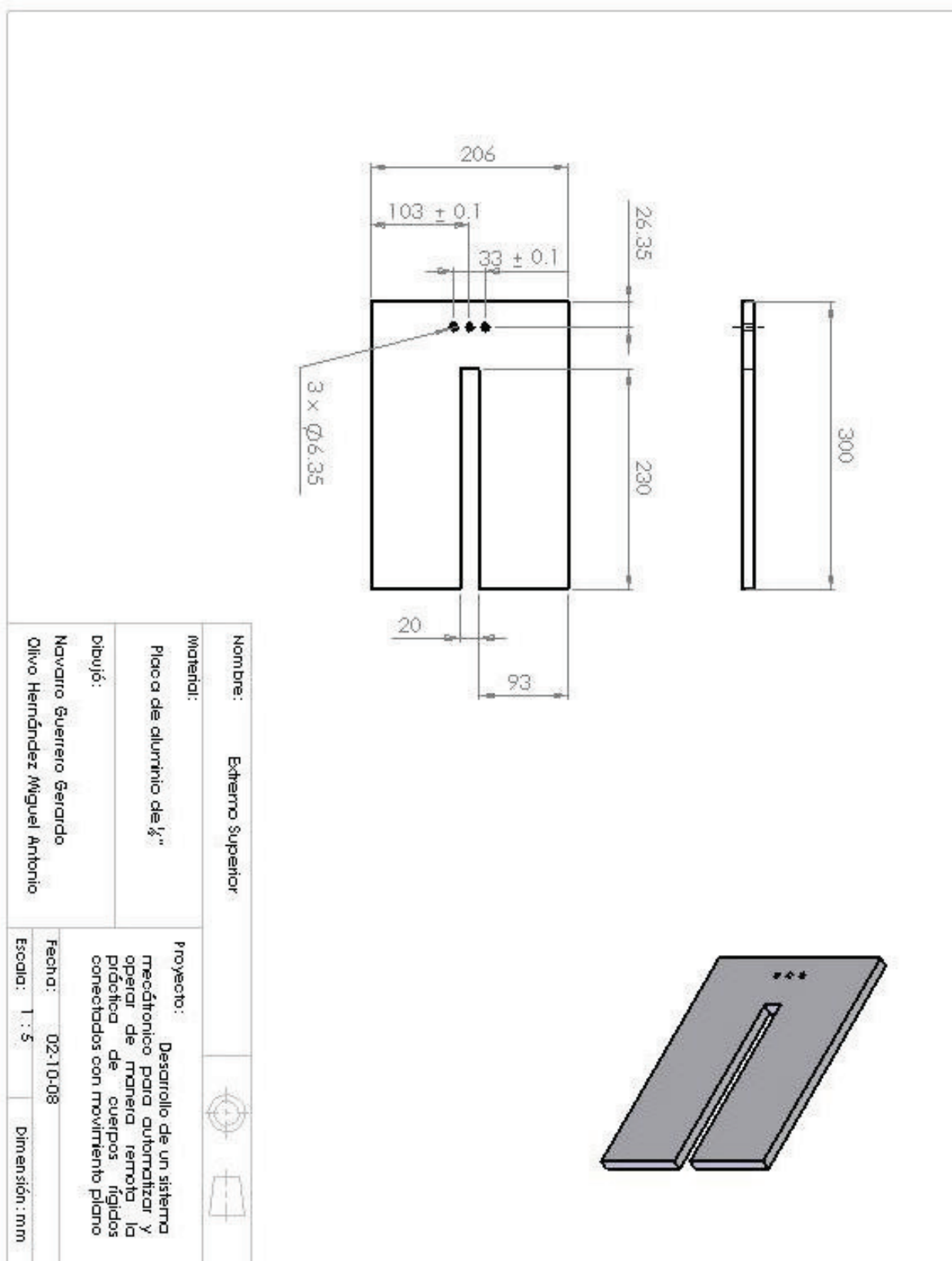
Nombre:	Carrión Superior		
Materia:	Placa de aluminio de 1"	Proyecto: Desarrollo de un sistema mecatrónico para automatizar y operar de manera remota la práctica de cuerpos rígidos conectados con movimiento plano	
Dibujó:	Navarro Guerrero Gerardo Olivo Hernández Miguel Antonio		
Fecha:	02-10-08	Escala:	1:2
		Dimensión: mm	

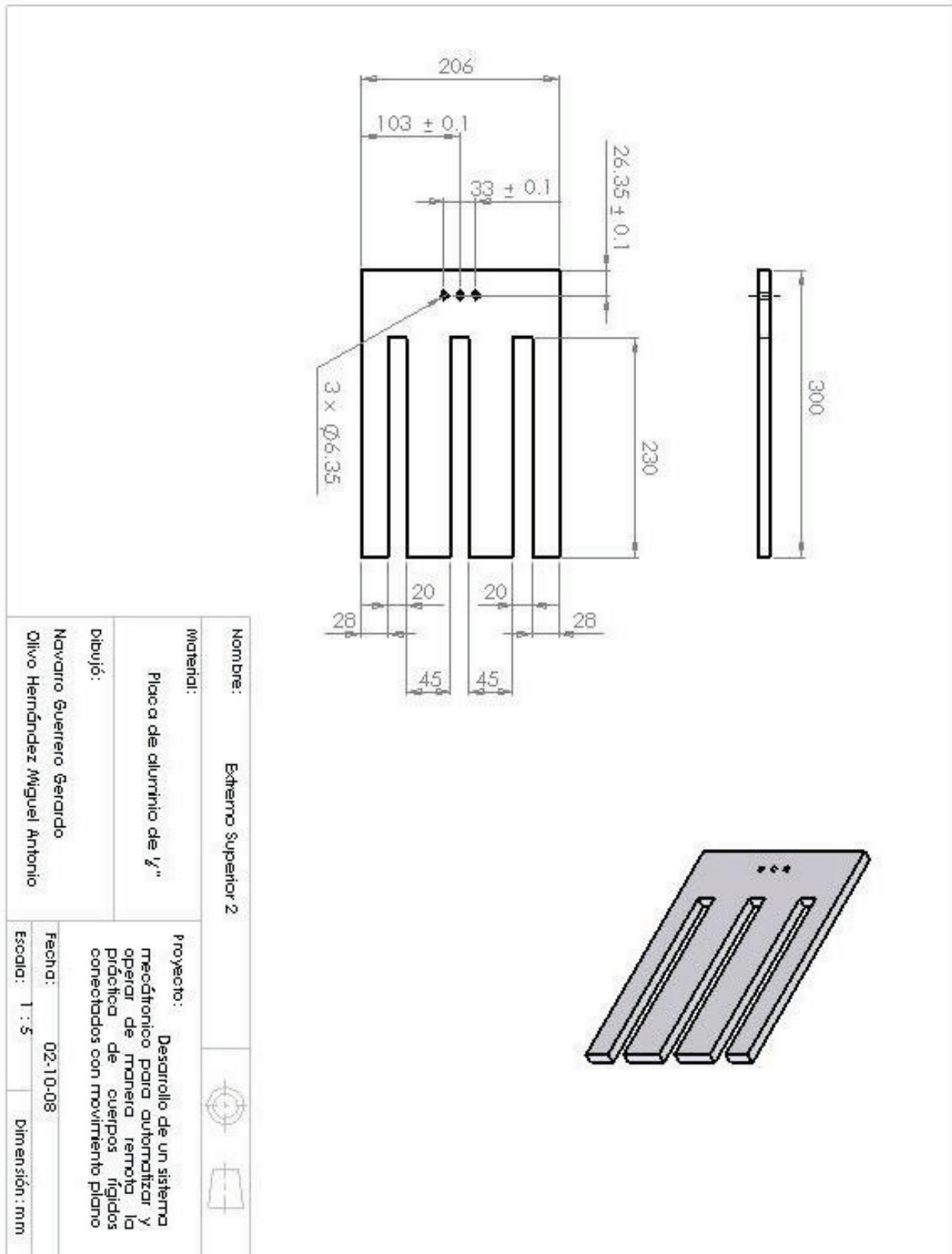


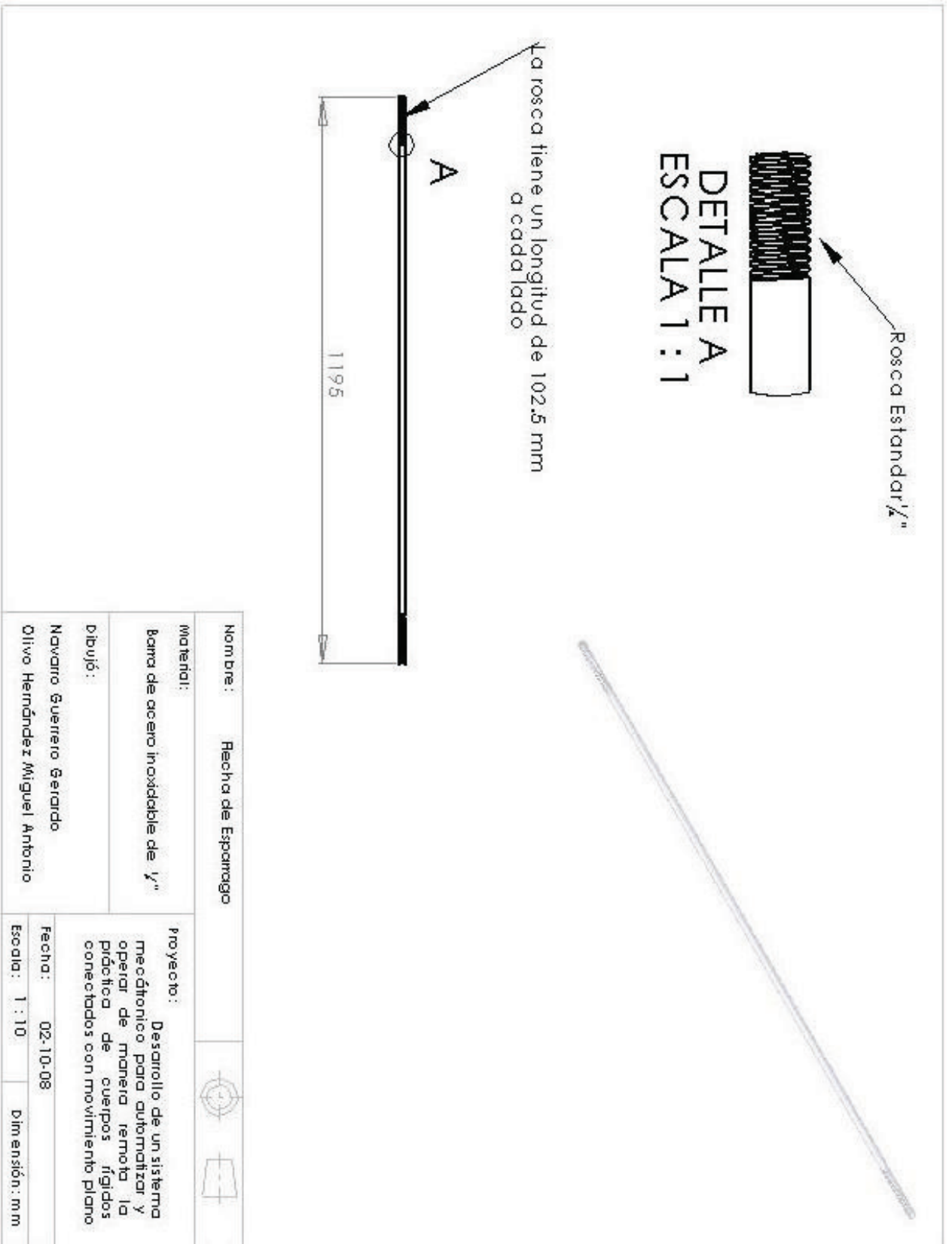


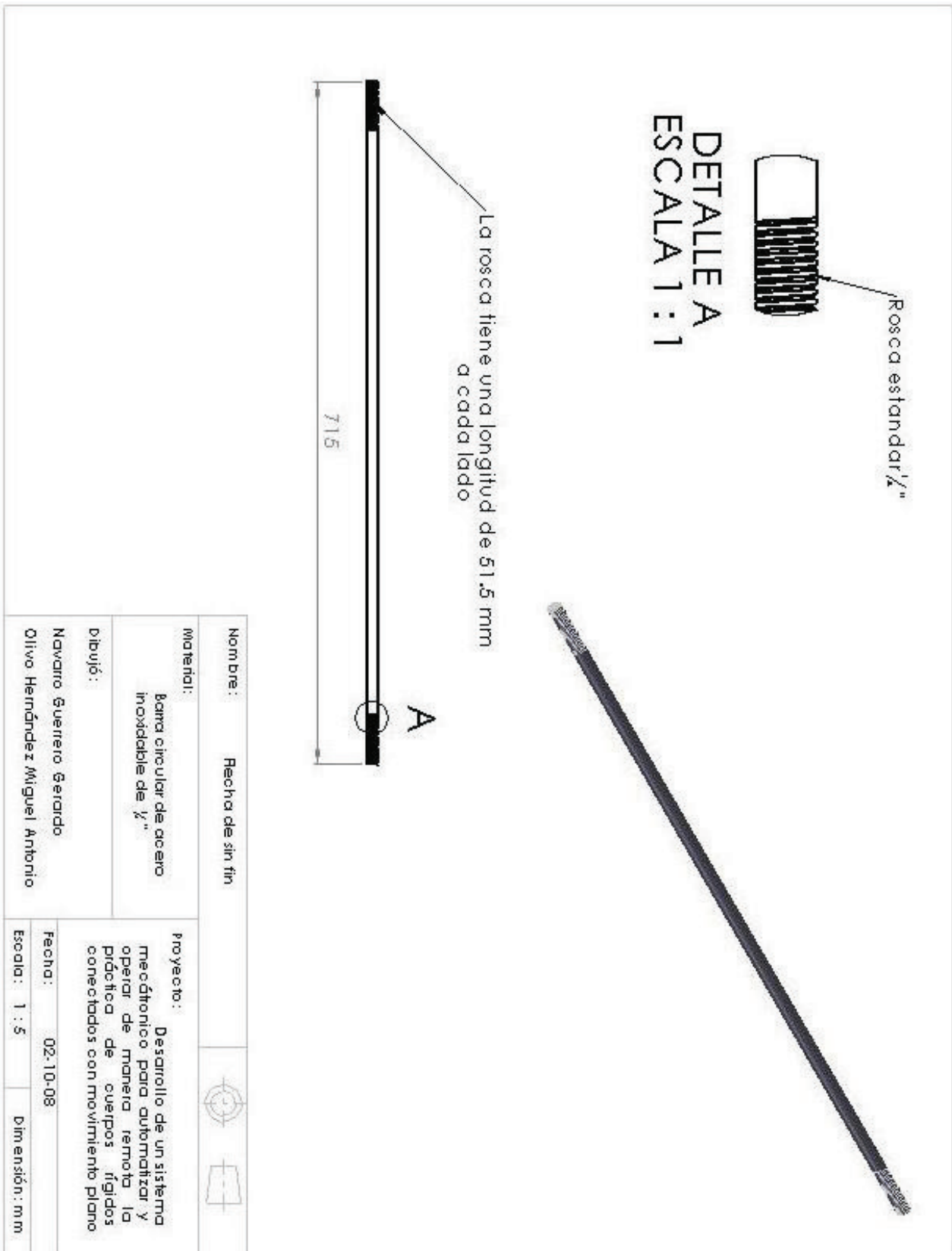


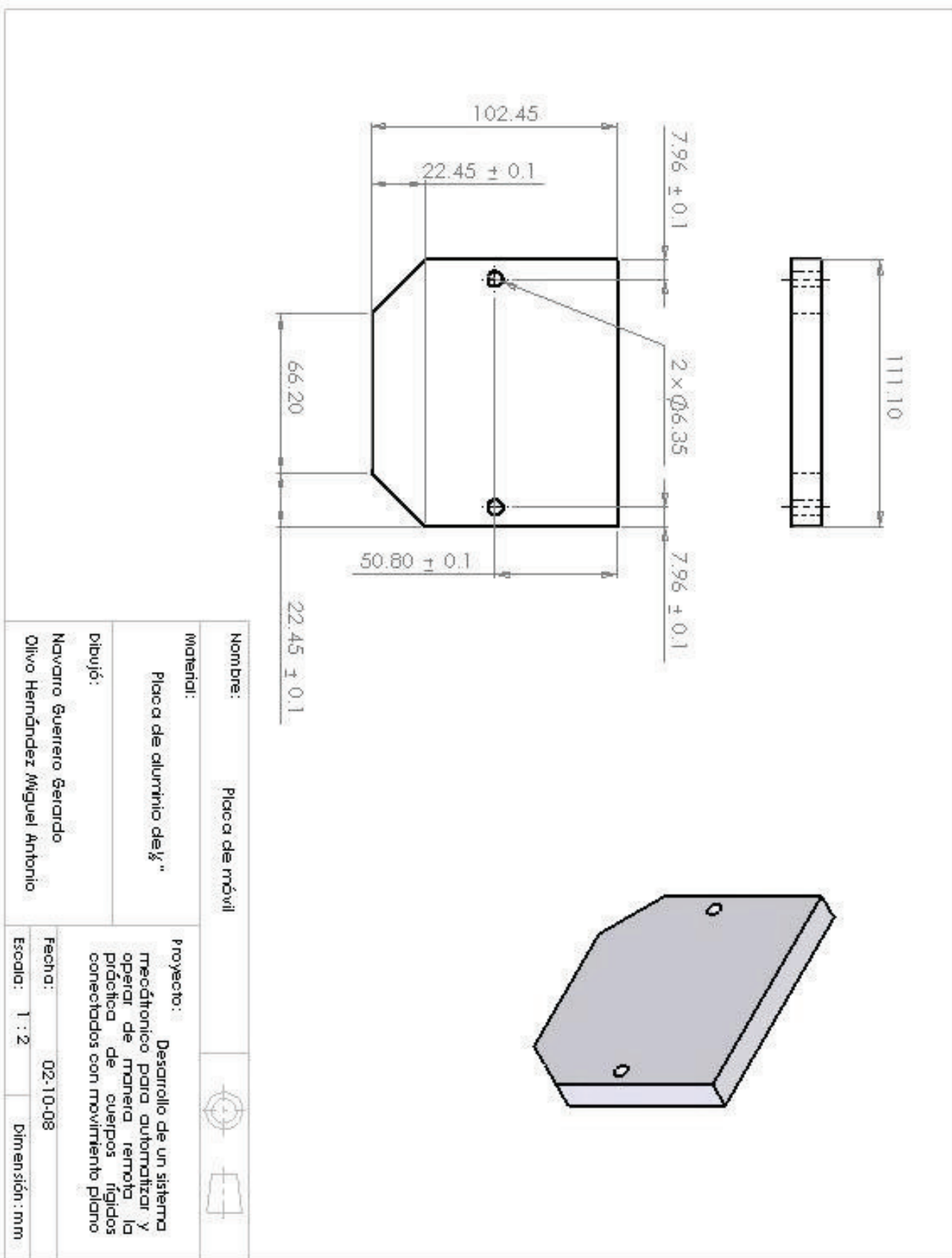






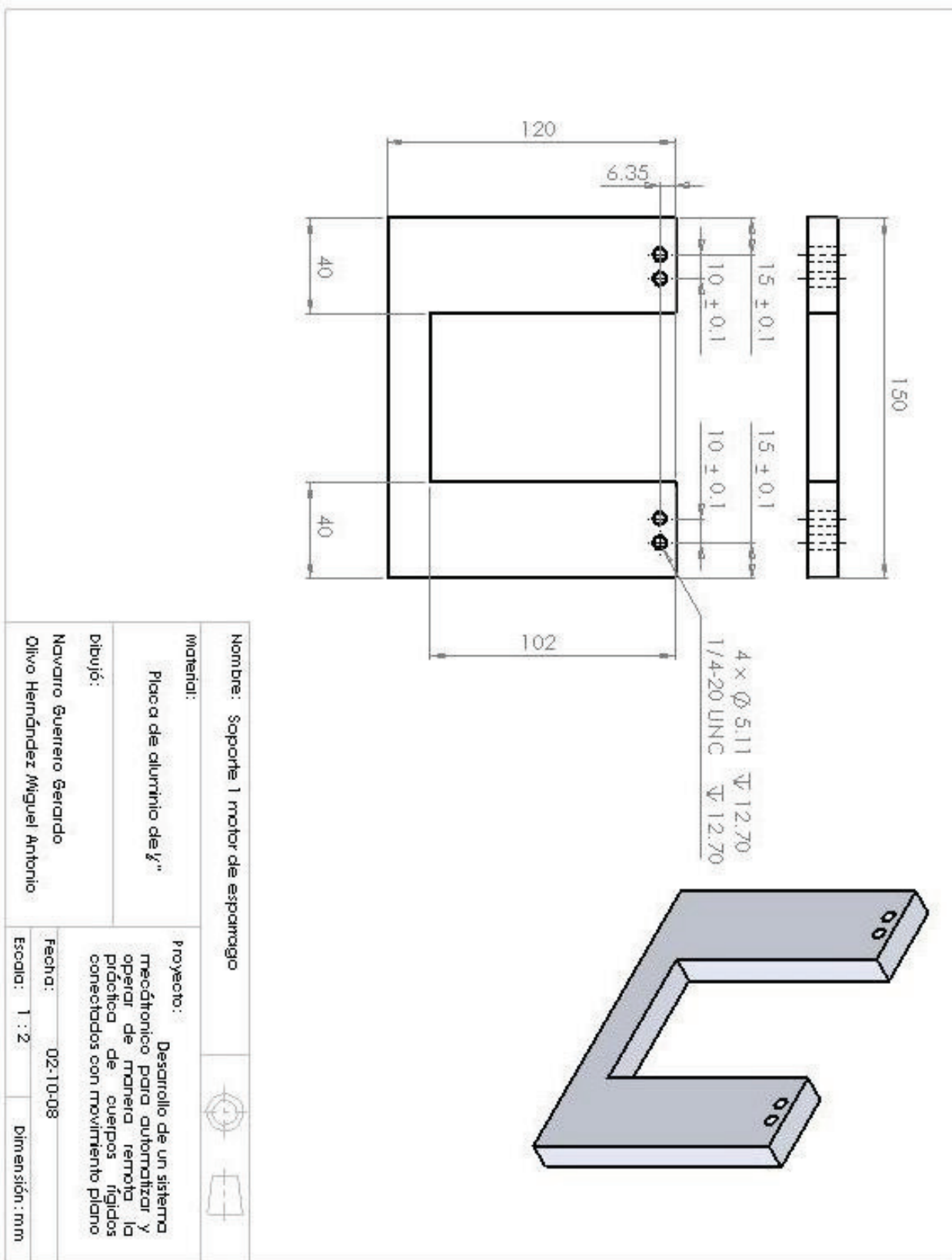


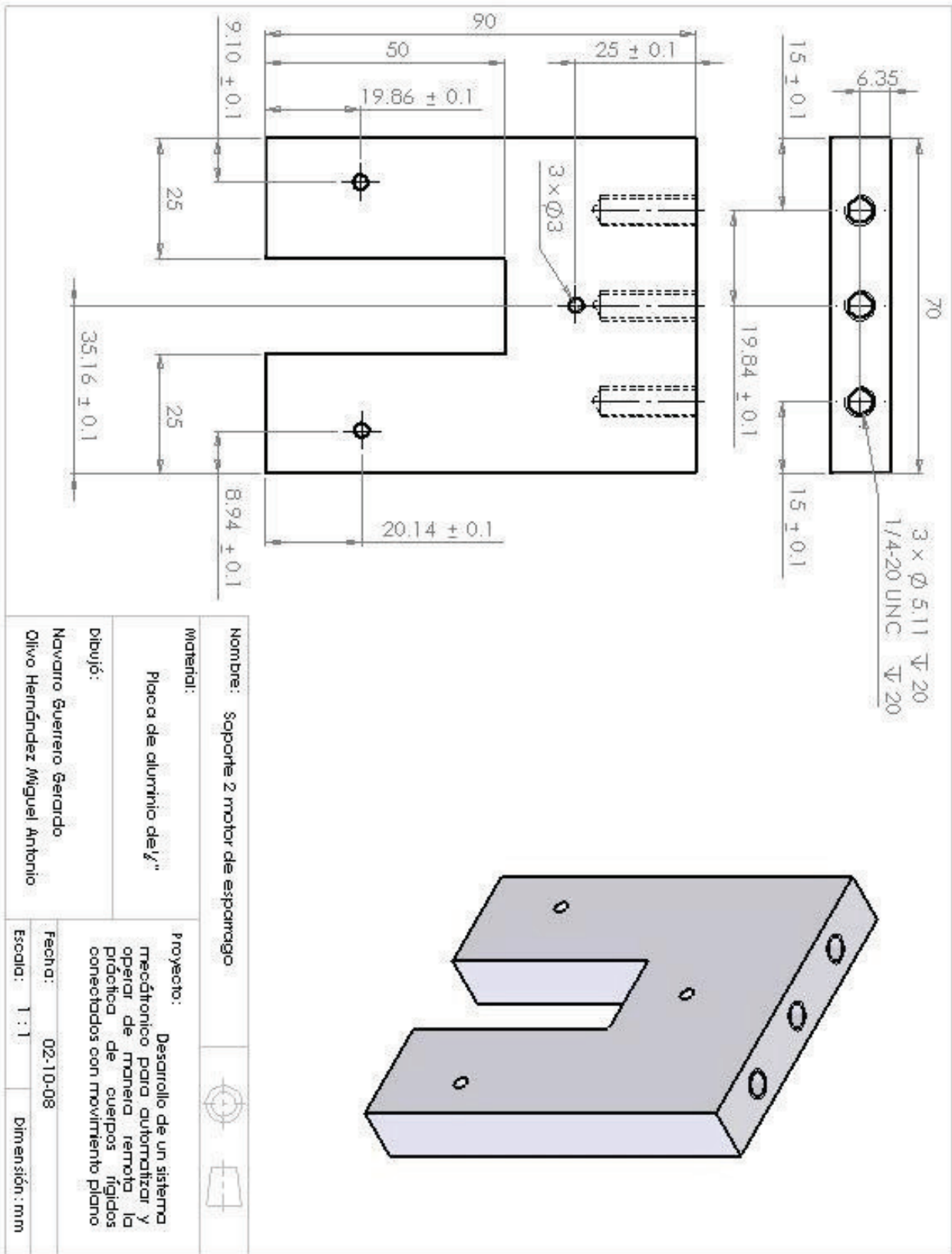


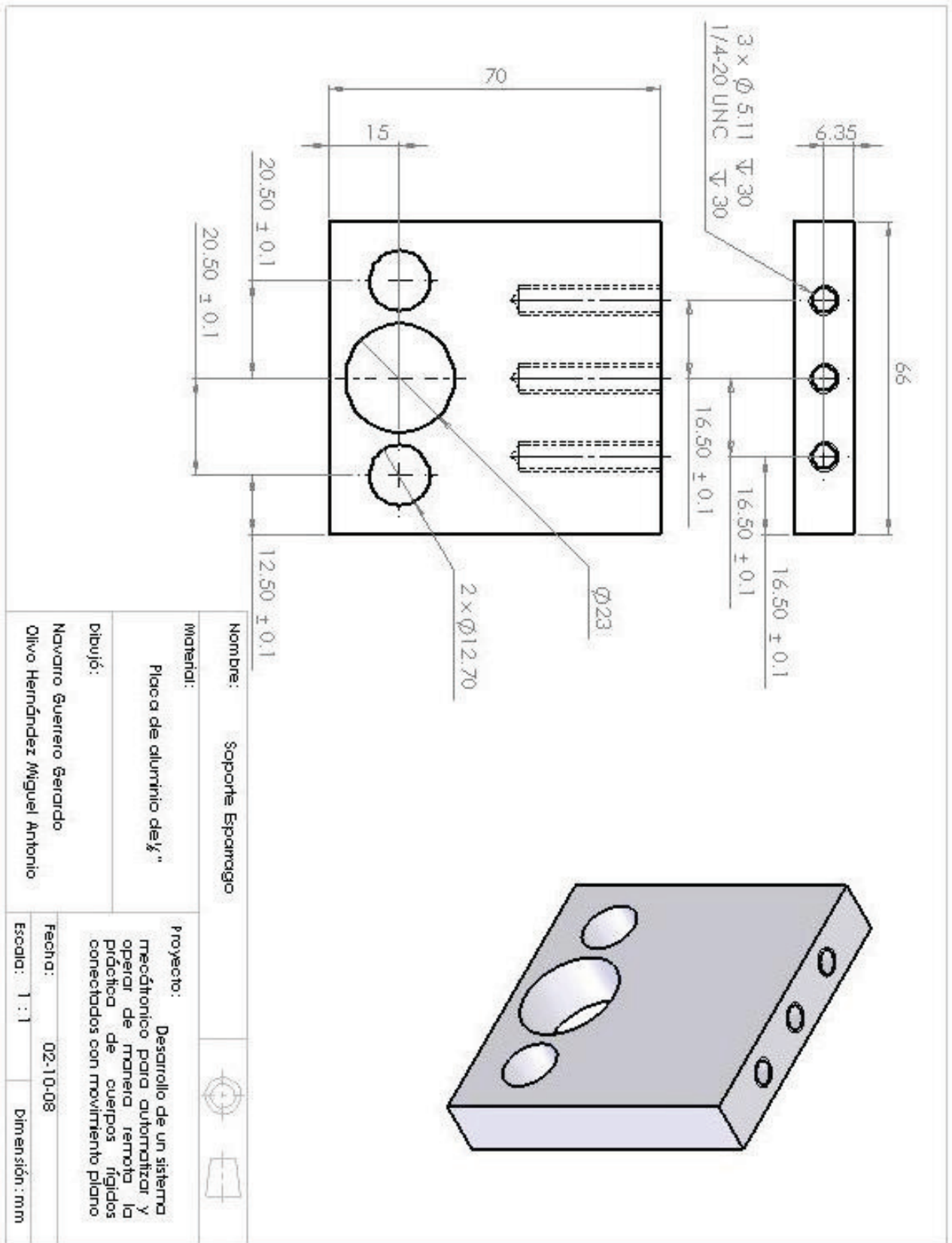


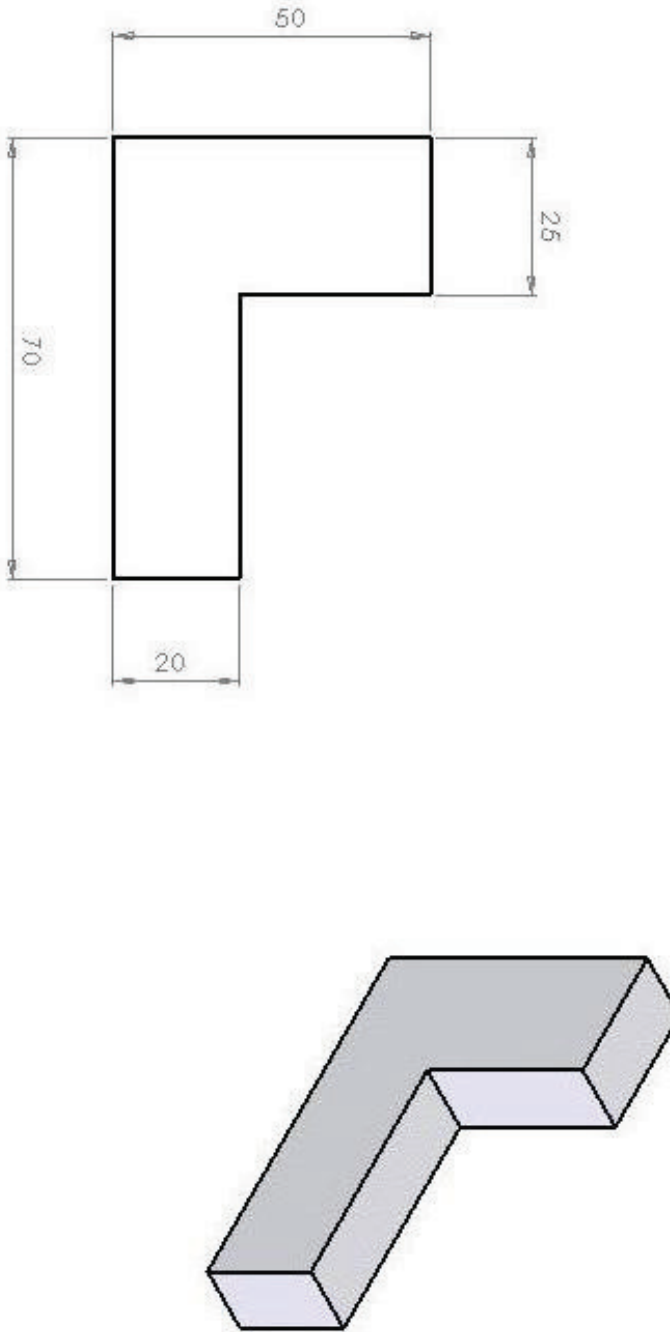
<p><b>Nombre:</b> Riel</p>	
<p><b>Materia:</b> Aluminio</p>	<p><b>Proyecto:</b> Desarrollo de un sistema mecatrónico para automatizar y operar de manera remota la producción de cuerpos rígidos conectados con movimiento plano</p>
<p><b>Dibujó:</b> Navarro Guerrero Gerardo Olivo Hernández Miguel Antonio</p>	<p><b>Fecha:</b> 02-10-08 <b>Escala:</b> 1 : 10 <b>Dimensión:</b> mm</p>

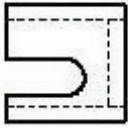


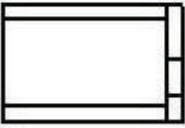








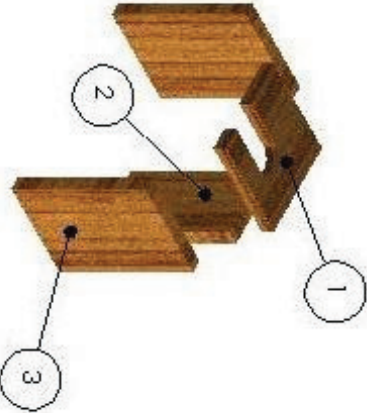
<p><b>Nombre :</b> Soporte de Riel</p>		
<p><b>Materia:</b> Placa de aluminio de 1/8"</p>		
<p><b>Dibujó:</b> Navarro Guerrero Gerardo Olivo Hernández Miguel Antonio</p>		<p><b>Proyecto:</b> Desarrollo de un sistema mecatrónico para automatizar y operar de manera remota la práctica de cuerpos rígidos conectados con movimiento plano</p>
<p><b>Fecha:</b> 02-10-08</p>		
<p><b>Escala:</b> 1 : 1</p>		<p><b>Dimensión:</b> mm</p>














N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	SopORTE motor de sinfin base	1
2	SopORTE motor de sinfin Tapca posterior	1
3	SopORTE motor de sinfin Tapca lateral	2

**Nombre:** SopORTE motor de sinfin

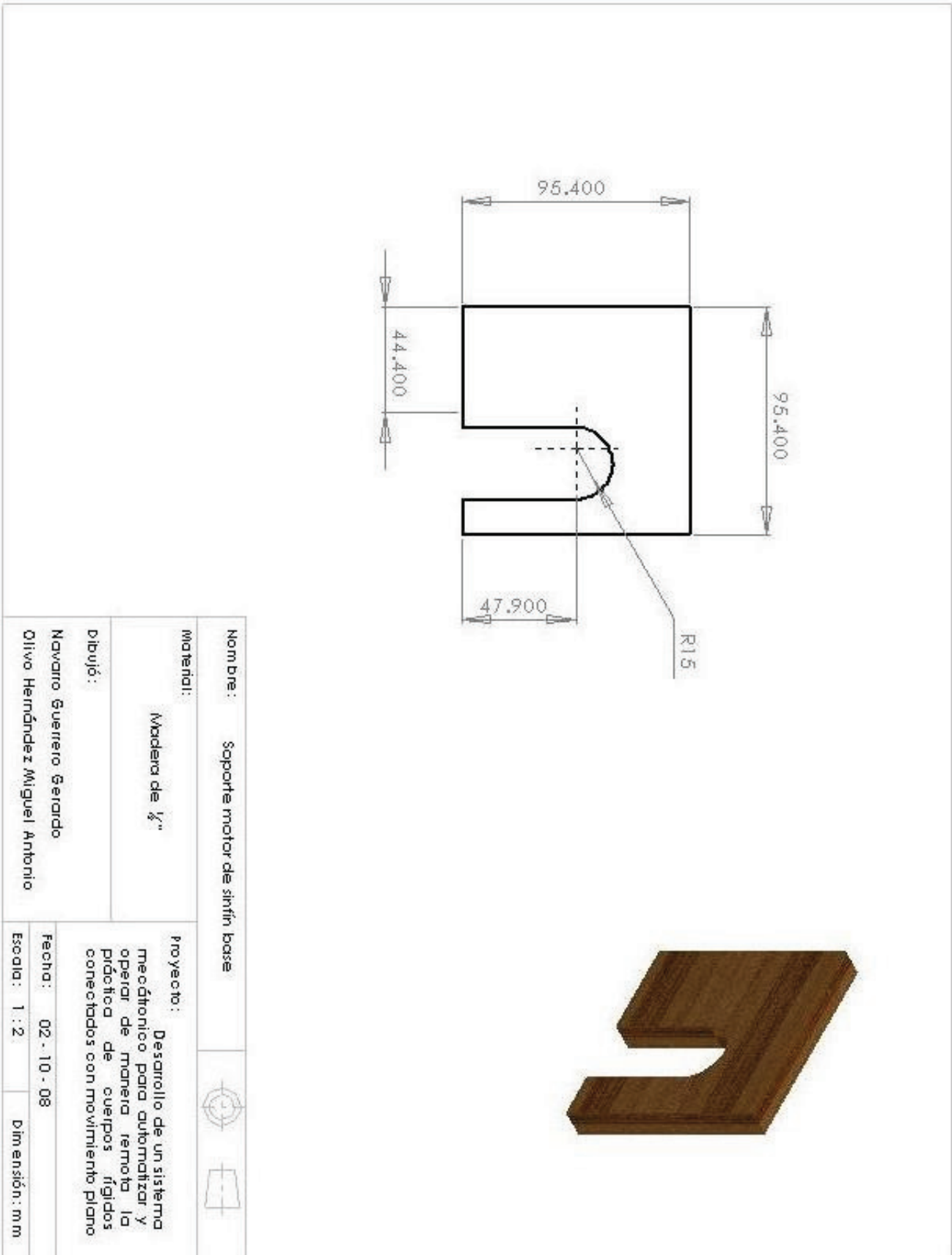
**Material:** Madera de "Y"

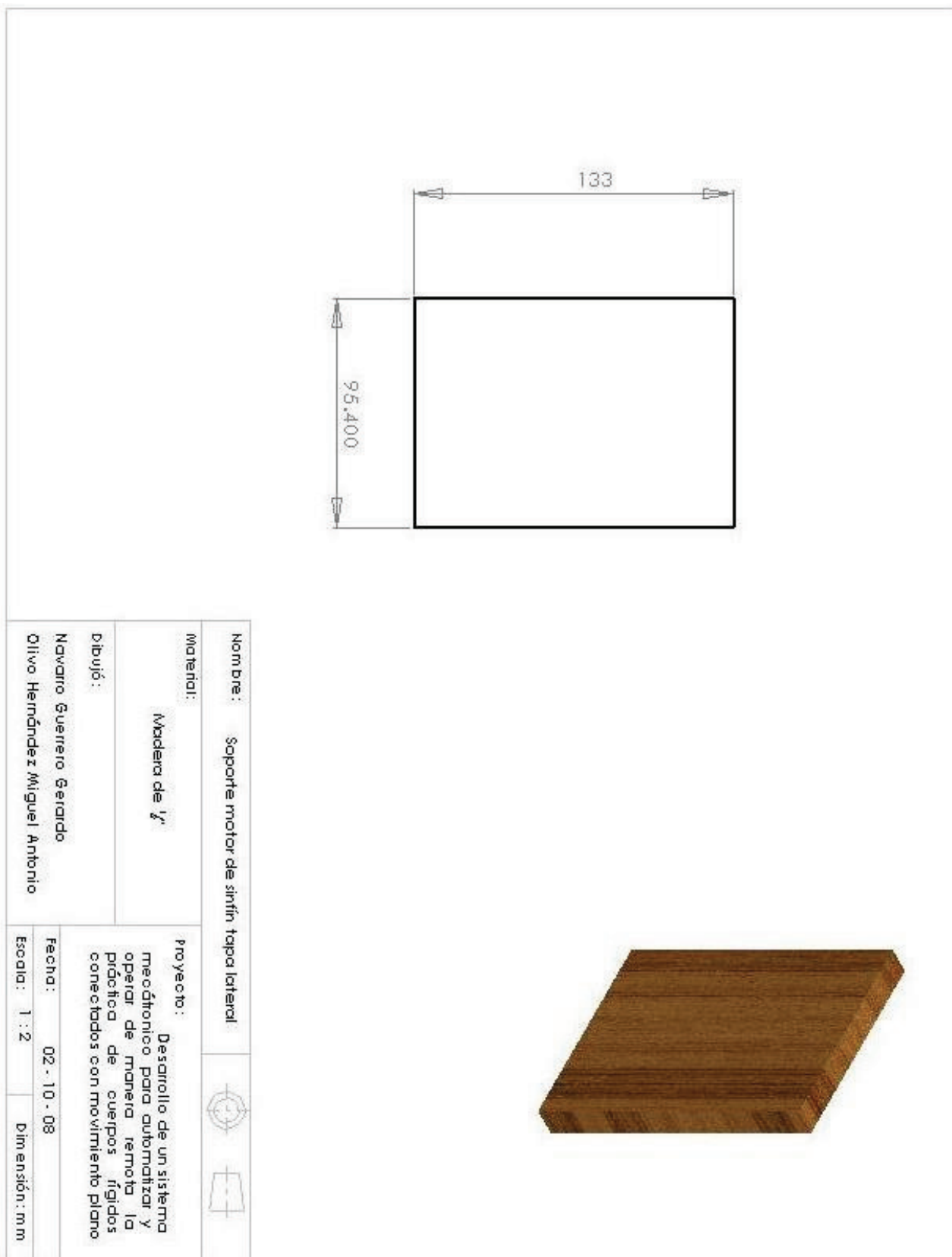
**Dibujó:** Navarro Guerrero Gerardo  
Olivio Hernández Miguel Antonio

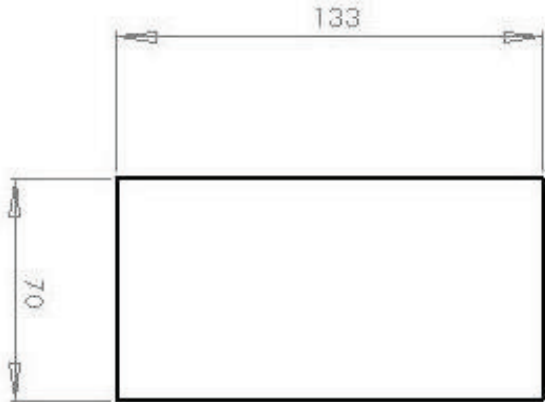

**proyecto:** Desarrollo de un sistema mecatrónico para automatizar y operar de manera remota la práctica de cuerpos rígidos conectados con movimiento plano

**Fecha:** 02 - 10 - 08

**Escala:** 1 : 5      **Dimensión:** mm





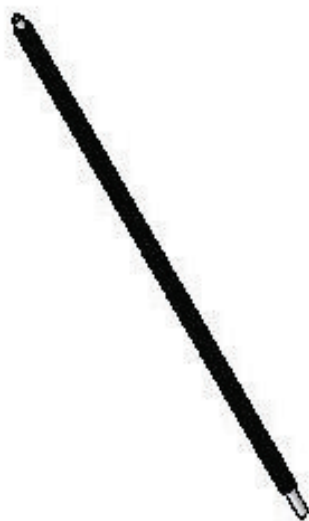
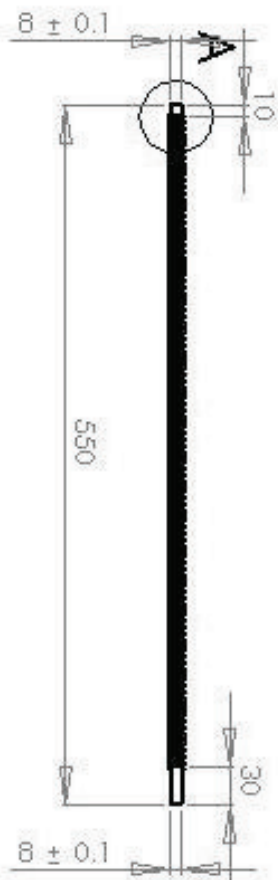
<p><b>Nombre:</b> Soporte motor de sinfin tapa posterior</p>			
<p><b>Materia:</b> Madera de 1/2"</p>			
<p><b>Dibujó:</b> Navaro Guerrero Gerardo Olivio Hernández Miguel Antonio</p>		<p><b>Proyecto:</b> Desarrollo de un sistema mecatrónico para automatizar y operar de manera remota la práctica de cuerpos rígidos conectados con movimiento plano</p>	
<p><b>Fecha:</b> 02 - 10 - 08</p>		<p><b>Escala:</b> 1 : 2</p>	
		<p><b>Dimension:</b> mm</p>	



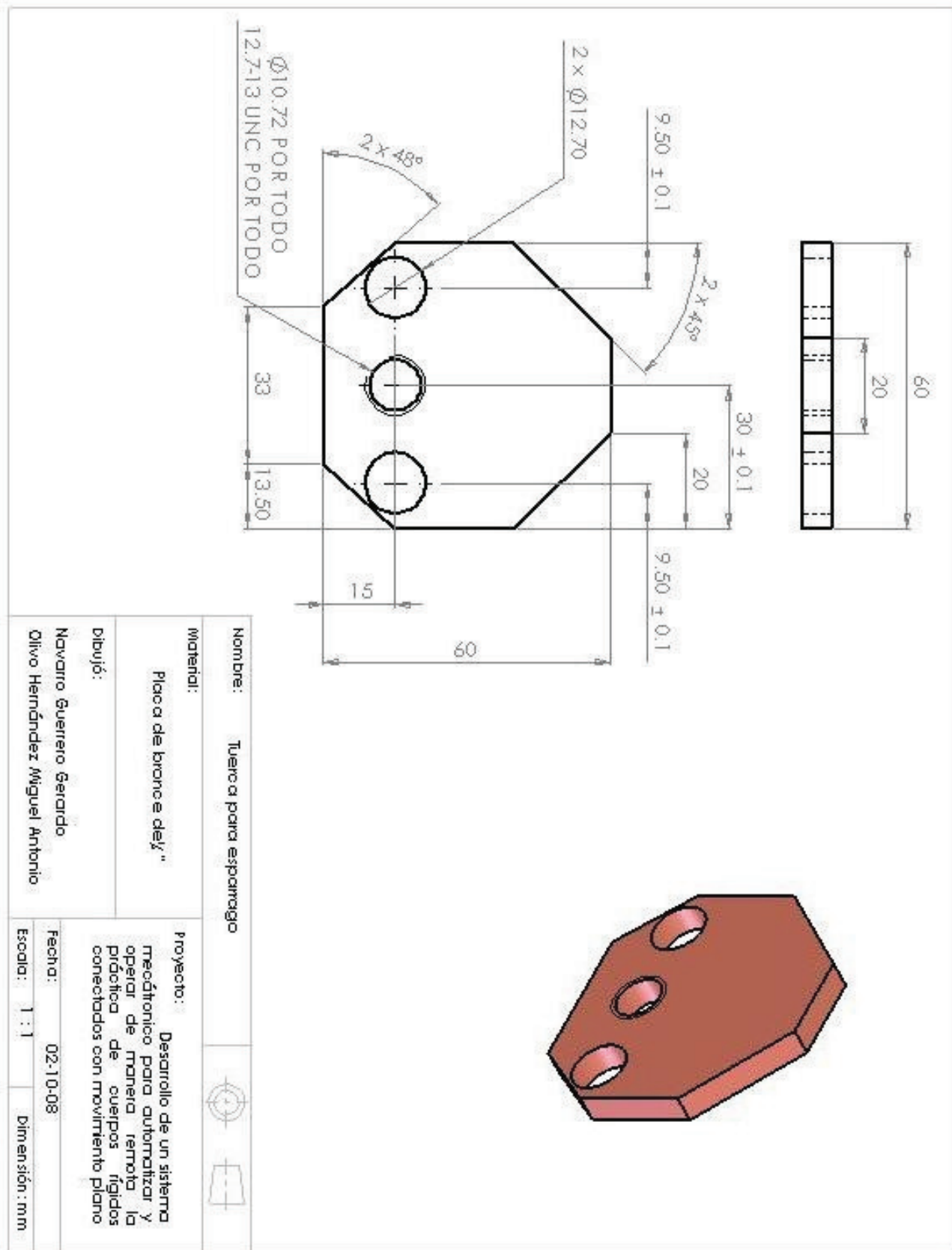
DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

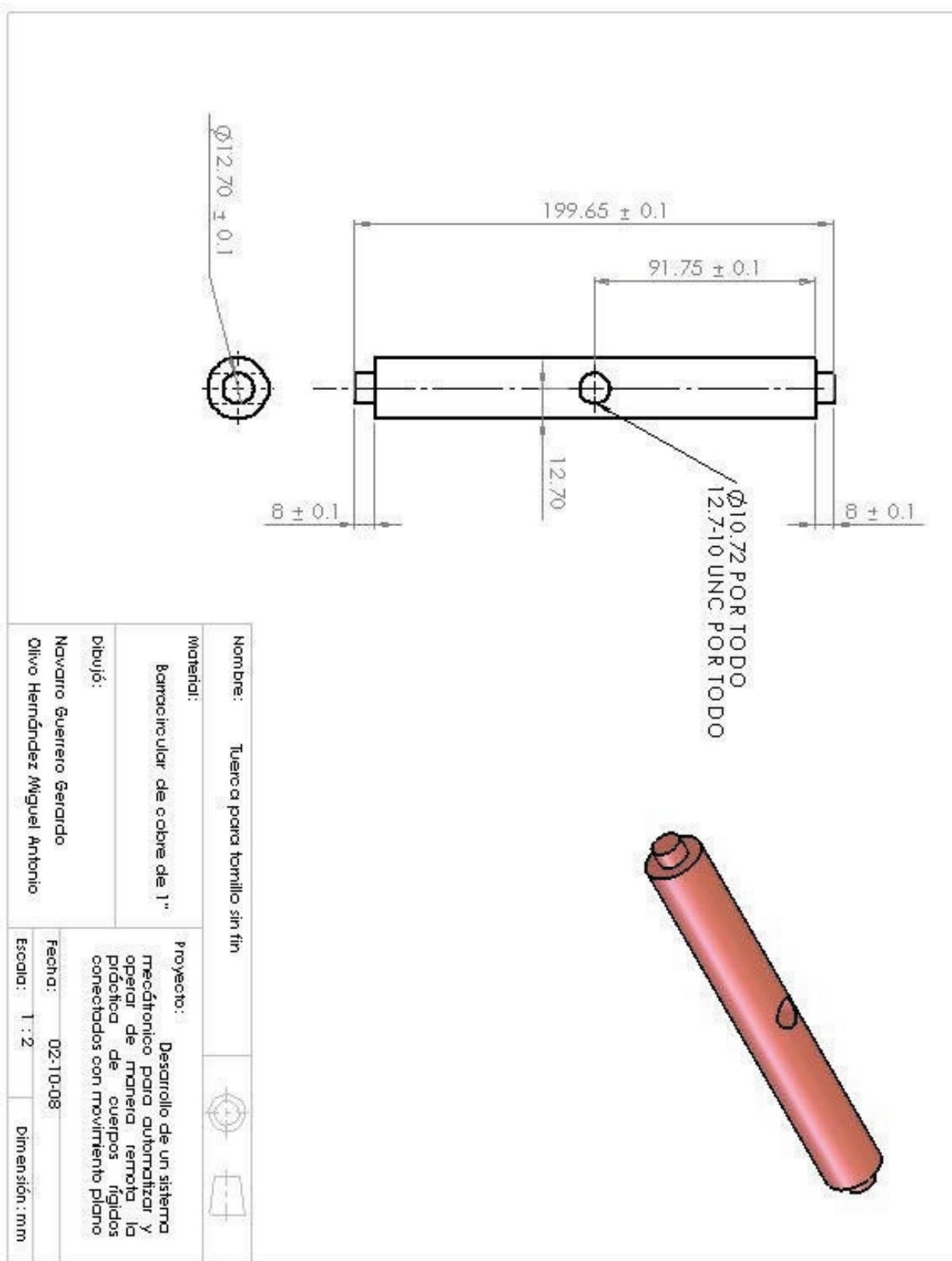


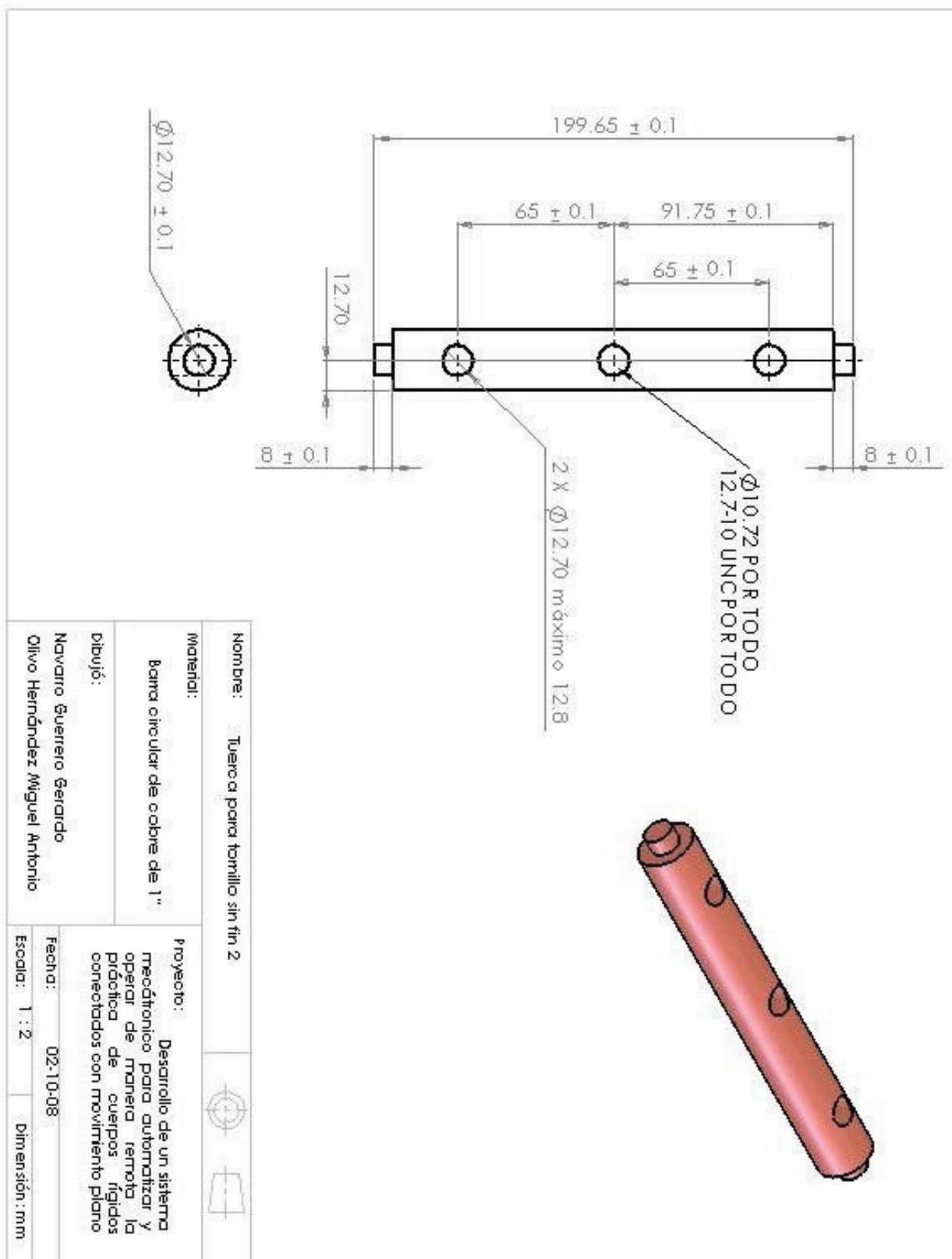
Rosca de  $\frac{1}{2}$ "  
10 hilos x in



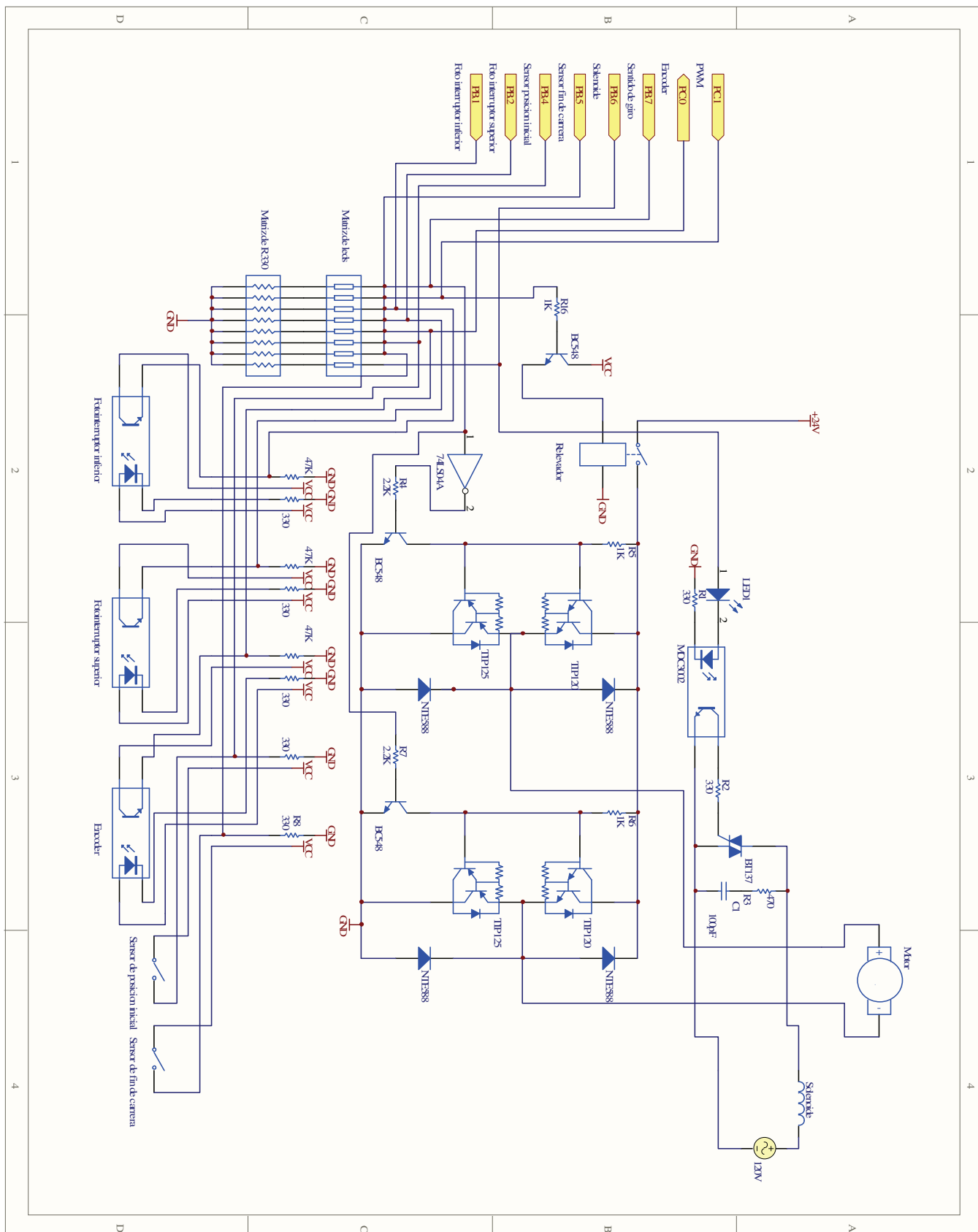
Nombre:	Tornillo sin fin		
Materia:	Barra circular acero inoxidable 1/2"	Proyecto: Desarrollo de un sistema mecatrónico para automatizar y operar de manera remota la práctica de cuerpos rígidos conectados con movimiento plano	
Dibujó:	Navarro Guerrero Gerardo Olivo Hernández Miguel Antonio	Fecha:	02-10-08
		Escala:	1:2      Dimensión : mm



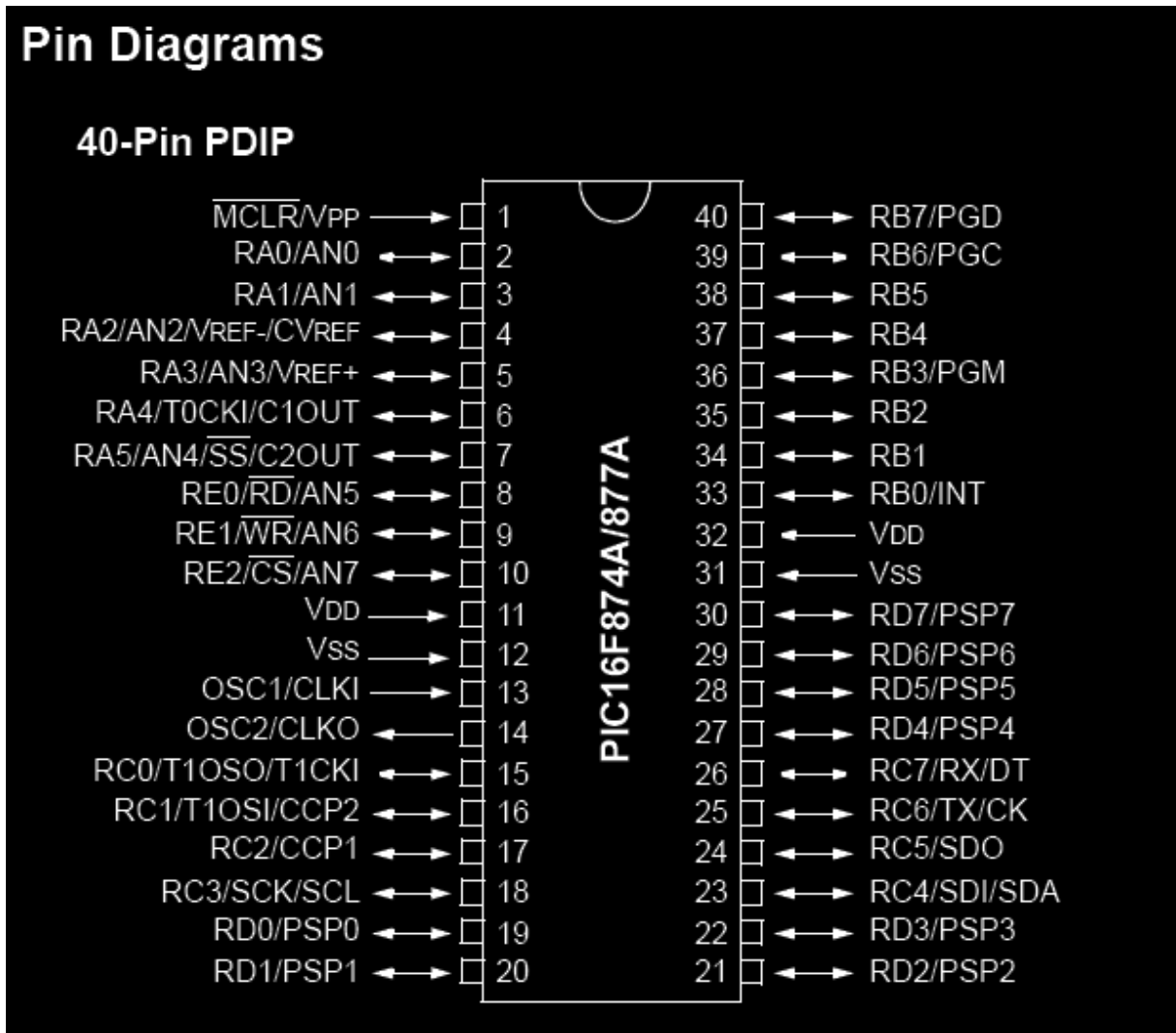




### Apéndice 3 Diagrama esquemático del circuito electrónico de control







PIC16F87XA DEVICE FEATURES				
Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)							
Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB0/INT RB0 INT	33	36	8	9	I/O I	TTL/ST <sup>(1)</sup>	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. Digital I/O. External interrupt.
RB1	34	37	9	10	I/O	TTL	Digital I/O.
RB2	35	38	10	11	I/O	TTL	Digital I/O.
RB3/PGM RB3 PGM	36	39	11	12	I/O I	TTL	Digital I/O. Low-voltage ICSP programming enable pin.
RB4	37	41	14	14	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5	38	42	15	15	I/O	TTL	Digital I/O.
RB6/PGC RB6 PGC	39	43	16	16	I/O I	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	40	44	17	17	I/O I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming data.

Legend: I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
 — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.



PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION								
Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description	
OSC1/CLKI OSC1  CLKI	13	14	30	32	I  I	ST/CMOS <sup>(4)</sup>	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).	
OSC2/CLKO OSC2  CLKO	14	15	31	33	O  O	—	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.	
MCLR/VPP MCLR  VPP	1	2	18	18	I  P	ST	Master Clear (input) or programming voltage (output). Master Clear (Reset) input. This pin is an active low Reset to the device. Programming voltage input.	
RA0/AN0 RA0 AN0	2	3	19	19	I/O I	TTL	PORTA is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Analog input 0.	
RA1/AN1 RA1 AN1	3	4	20	20	I/O I	TTL		
RA2/AN2/VREF-/CVREF RA2 AN2 VREF- CVREF	4	5	21	21	I/O I I O	TTL		
RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+	5	6	22	22	I/O I I	TTL		
RA4/T0CKI/C1OUT RA4  T0CKI C1OUT	6	7	23	23	I/O  I O	ST		
RA5/AN4/SS/C2OUT RA5 AN4 SS C2OUT	7	8	24	24	I/O I I O	TTL		
<b>Legend:</b> I = input      O = output      I/O = input/output      P = power — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input								
<b>Note</b> 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt. 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode. 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.								

PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)							
Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	15	18	32	34	I/O O I	ST	PORTC is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2 RC1 T1OSI CCP2	16	18	35	35	I/O I I/O	ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	17	19	36	36	I/O I/O	ST	Digital I/O. Capture1 input, Compare1 output, PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK  SCL	18	20	37	37	I/O I/O  I/O	ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I <sup>2</sup> C mode.
RC4/SDI/SDA RC4 SDI SDA	23	25	42	42	I/O I I/O	ST	Digital I/O. SPI data in. I <sup>2</sup> C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	24	26	43	43	I/O O	ST	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	25	27	44	44	I/O O I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous transmit. USART1 synchronous clock.
RC7/RX/DT RC7 RX DT	26	29	1	1	I/O I I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data.

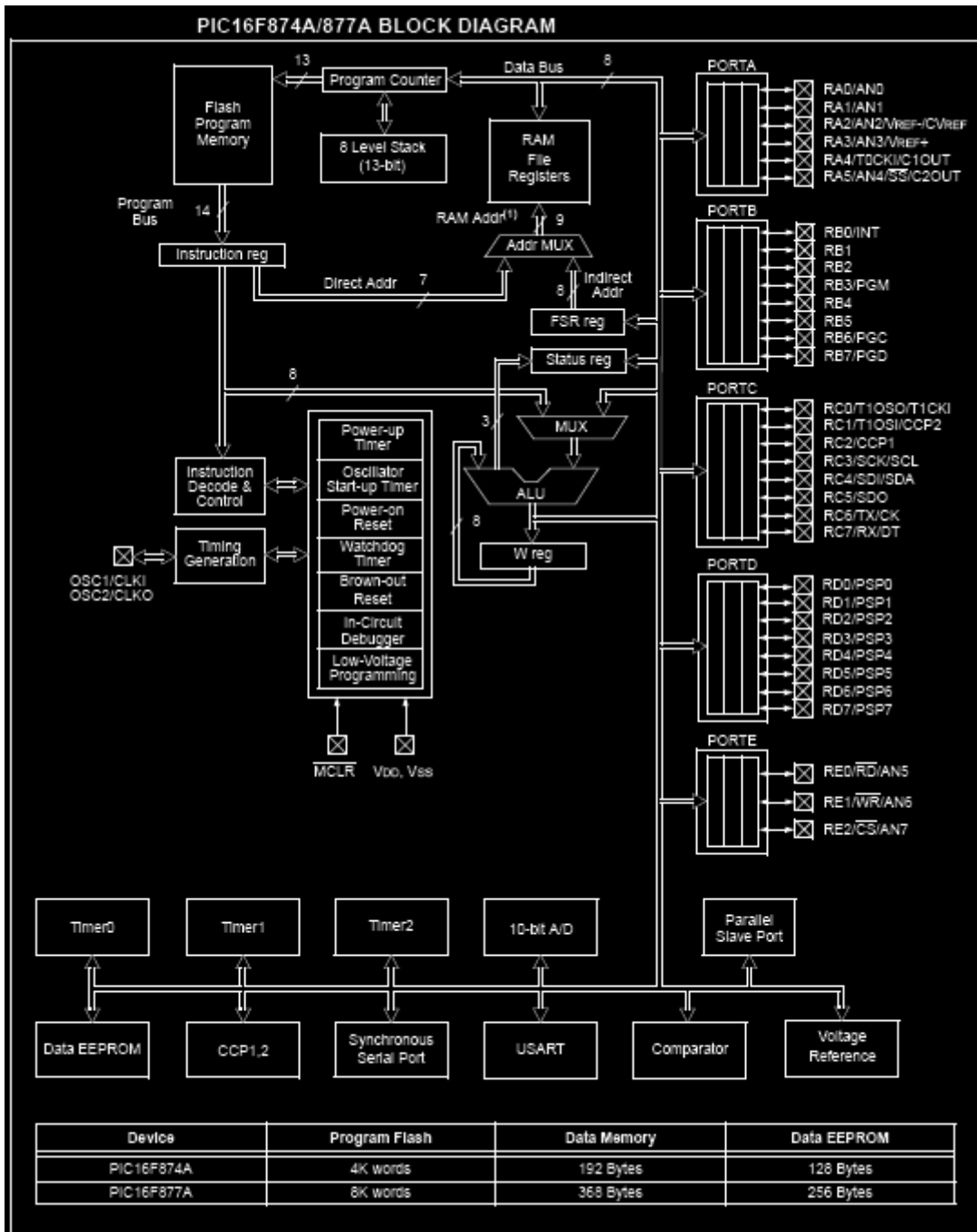
**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
 — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

**Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)							
Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RD0/PSP0 RD0 PSP0	19	21	38	38	I/O I/O	ST/TTL <sup>(8)</sup>	PORTD is a bidirectional I/O port or Parallel Slave Port when interfacing to a microprocessor bus.  Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD1/PSP1 RD1 PSP1	20	22	39	39	I/O I/O	ST/TTL <sup>(8)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD2/PSP2 RD2 PSP2	21	23	40	40	I/O I/O	ST/TTL <sup>(8)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD3/PSP3 RD3 PSP3	22	24	41	41	I/O I/O	ST/TTL <sup>(8)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD4/PSP4 RD4 PSP4	27	30	2	2	I/O I/O	ST/TTL <sup>(8)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD5/PSP5 RD5 PSP5	28	31	3	3	I/O I/O	ST/TTL <sup>(8)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD6/PSP6 RD6 PSP6	29	32	4	4	I/O I/O	ST/TTL <sup>(8)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD7/PSP7 RD7 PSP7	30	33	5	5	I/O I/O	ST/TTL <sup>(8)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RE0/ $\overline{RD}$ /AN5 RE0 $\overline{RD}$ AN5	8	9	25	25	I/O I I	ST/TTL <sup>(8)</sup>	PORTE is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Read control for Parallel Slave Port. Analog input 5.
RE1/ $\overline{WR}$ /AN6 RE1 $\overline{WR}$ AN6	9	10	26	26	I/O I I	ST/TTL <sup>(8)</sup>	Digital I/O. Write control for Parallel Slave Port. Analog input 6.
RE2/ $\overline{CS}$ /AN7 RE2 $\overline{CS}$ AN7	10	11	27	27	I/O I I	ST/TTL <sup>(8)</sup>	Digital I/O. Chip select control for Parallel Slave Port. Analog input 7.
V <sub>ss</sub>	12, 31	13, 34	6, 29	6, 30, 31	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
V <sub>DD</sub>	11, 32	12, 35	7, 28	7, 8, 28, 29	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1, 17, 28, 40	12, 13, 33, 34	13	—	—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
 — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

**Note:**  
 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.



## Apéndice 5 Listado del programa del microcontrolador en ensamblador

```
;PROGRAMA DE CONTROL PARA LA PRÁCTICA "CUERPOS RÍGIDOS CONECTADOS CON
MOVIMIENTO PLANO"
```

```
INCLUDE "P16F877A.INC" ; CARGA BIBLIOTECA
__CONFIG 3F3A ; PALABRA DE CONFIGURACIÓN
```

```
;CONSTANTES
```

```
BAUD EQU .10 ;BAUD=10
```

```
;RAM DE USO GENERAL
```

```
TMP0 EQU 0X26 ; ASIGNA LA DIRECCIÓN 0X26 A LA ETIQUETA TMP0
TMP1 EQU 0X27 ; ASIGNA LA DIRECCIÓN 0X27 A LA ETIQUETA TMP1
TMP2 EQU 0X28 ; ASIGNA LA DIRECCIÓN 0X28 A LA ETIQUETA TMP2
DATO EQU 0X21 ; ASIGNA LA DIRECCIÓN 0X21 A LA ETIQUETA DATO
VUELTAS EQU 0X22 ; ASIGNA LA DIRECCIÓN 0X22 A LA ETIQUETA VUELTAS
BANDERAS EQU 0X20 ; ASIGNA LA DIRECCIÓN 0X20 A LA ETIQUETA
BANDERAS
CONECTADO EQU 0 ; CONECTADO=0
CALIBRADO EQU 1 ; CALIBRADO=1
ANGULO EQU 2 ; ANGULO=2
ANG EQU 3 ;ANG=3
SOLENOIDE EQU 6 ; SOLENOIDE=6
GIRO EQU 7 ; GIRO=7
```

```
ORG 0X00 ; VECTOR DE RESET
GOTO MAIN ; VE A MAIN
```

```
ORG 0X04 ; VECTOR DE INTERRUPCIÓN
GOTO INTERRUPCIÓN ; VE A INTER
```

```
ORG 0X10
```

```
; CAMBIO AL BANCO 1
```

```
MAIN BSF STATUS,RP0 ;RPO=1
MOVLW B'11111111' ;W='11111111'
MOVWF TRISB ; PUERTO B ENTRADAS DIGITALES
BCF TRISB,6 ;PB.6 SALIDA DIGITAL, SOLENOIDE
BCF TRISC,1 ;PC.1 SALIDA DIGITAL, MOTOR
BCF TRISB,7 ;PB.7 SALIDA DIGITAL, SENTIDO DE GIRO
BSF TRISC,0 ;PC.0 ENTRADA DIGITAL, ENCODER
```

```
; DATOS PARA CONTROL DE LA COMUNICACIÓN SERIAL
```

```
BSF TRISC,7 ;Rx ENTRADA
```

```

        BCF      TRISC,6          ;Tx SALIDA

;TRANSMISIÓN

        MOVLW   B'00100100'     ; COMUNICACIÓN ASÍNCRONA CON 8 BITS
        MOVWF   TXSTA
        MOVLW   BAUD             ;115200
        MOVWF   SPBRG

; INTERRUPCIÓN POR RECEPCIÓN DE DATOS

        BSF     PIE1,RCIE       ;HABILITA INTERRUPCIÓN POR RECEPCIÓN

; CAMBIO AL BANCO 0

        BCF     STATUS,RP0      ;RP0=0

; CONFIGURACIÓN DE RECEPCIÓN

        MOVLW   B'10010000'     ;W='10010000'
        MOVWF   RCSTA           ;ACTIVACIÓN DEL PUERTO RECEPCIÓN DE 8
                                ;BITS DE FORMA CONTINUA

; CONFIGURACIÓN DEL TIMER 1

        MOVLW   B'00000010'     ;W='00000010'
        MOVWF   T1CON           ;TIMER 1 CONFIGURADO COMO CONTADOR

;CONFIGURACIÓN DE INTERRUPCIÓN

        BSF     INTCON,GIE      ;PERMISO GLOBAL DE INTERRUPCIONES
        BSF     INTCON,PEIE     ;PERMISO DE INTERRUPCIÓN POR PERIFÉRICO
        BSF     INTCON,INTE     ;PERMISO DE INTERRUPCIÓN EXTERNA
        BCF     PIR1,RCIF       ;INICIALIZAR BANDERA

        CLRF   TMR1L            ; REGISTRO TMR1L=0
        CLRF   TMR1H            ; REGISTRO TMR1H=0
        CLRF   PORTB            ;PORTB=0
        CLRF   BANDERAS         ; BANDERAS=0

INICIO

        GOTO   $                ; ESPERAR

INTERRUPCIÓN

        BTFSS  BANDERAS,CONECTADO ;CONECTADO=1?
        GOTO  CONECTAR          ; VE A CONECTAR
        BTFSS  BANDERAS,CALIBRADO ;CALIBRADO=1?
    
```

GOTO	CALIBRAR	;VE A CALIBRAR
MOVF	RCREG,W	;W=RCREG
MOVWF	DATO	;DATO=W
XORLW	A'F'	;"F" XOR "F" = 0
BTFSS	STATUS,Z	;Z=1?
GOTO	PLATAFORMA	;VE A PLATAFORMA
BCF	PORTC,1	;APAGAR MOTOR
CLRF	BANDERAS	;BANDERAS=0
MOVLW	A'F'	;W=F
CALL	TRANS	; LLAMA A LA SUBROUTINA TRANS
GOTO	REGRESA	
CONECTAR		
MOVF	RCREG,W	;W=RCREG
MOVWF	DATO	;DATO=W
XORLW	A'O'	;"O" XOR "O" = 0
BTFSS	STATUS,Z	;Z=1?
GOTO	REGRESA	; VE A REGRESA
BSF	PORTC,1	;ACTIVA MOTOR
BCF	PORTB,GIRO	;SENTIDO DE GIRO=ABAJO
BTFSS	PORTB,2	;FOTOINTERRUPTOR INFERIOR=1
GOTO	\$_1	; REGRESA AL RENGLÓN ANTERIOR
BCF	PORTC,1	;APAGA MOTOR
BSF	BANDERAS,CONECTADO	;CONECTADO=1
MOVLW	A'K'	;W=K
CALL	TRANS	; LLAMA A LA SUBROUTINA TRANS
GOTO	REGRESA	;VE A REGRESA
CALIBRAR		
MOVF	RCREG,W	;W=RCREG
MOVWF	DATO	;DATO=W
XORLW	A'C'	;"C" XOR "C" = 0
BTFSS	STATUS,Z	;Z=1?
GOTO	CAL2	;VE A CAL2
BSF	PORTC,1	;ACTIVA MOTOR
BSF	PORTB,GIRO	;SENTIDO DE GIRO=ARRIBA
MOVF	TMR1L,W	;W=TMR1L
XORLW	.40	;"40" XOR ".40" = 0
BTFSS	STATUS,Z	;Z=1?
GOTO	\$_1	;VE AL RENGLÓN ANTERIOR
BCF	PORTC,1	;APAGA MOTOR
CLRF	TMR1L	;LIMPIA TMRL1
MOVLW	A'Z'	;W=Z
CALL	TRANS	;LLAMA A LA SUBROUTINA TRANS
GOTO	REGRESA	;VE A REGRESA
CAL2		
MOVF	RCREG,W	;W=RCREG
MOVWF	DATO	;DATO=W
XORLW	A'D'	;"D" XOR "D" = 0
BTFSS	STATUS,Z	;Z=1?
GOTO	CAL3	;VE A CAL3
BSF	PORTC,1	;ACTIVA MOTOR

```

BCF      PORTB,GIRO      ;SENTIDO DE GIRO=ABAJO
MOVWF   TMR1L,W        ;W=TMR1L
XORLW   .1             ;".1" XOR ".1" = 0
BTFSS   STATUS,Z       ;Z=1?
GOTO    $-3            ; SUBE TRES RENGLONES
BCF      PORTC,1        ;APAGA MOTOR
CLRF    TMR1L          ; LIMPIA TMRL1
GOTO    REGRESA        ; VE A REGRESA

```

CAL3

```

MOVWF   RCREG,W        ;W=RCREG
MOVWF   DATO           ;DATO=W
XORLW   A'U'          ;"U" XOR "U" = 0
BTFSS   STATUS,Z       ;Z=1?
GOTO    CAL4          ;VE A CAL4
BSF     PORTC,1        ;ACTIVA MOTOR
BSF     PORTB,GIRO    ;SENTIDO DE GIRO=ARRIBA
MOVWF   TMR1L,W        ;W=TMR1L
XORLW   .1             ;".1" XOR ".1" = 0
BTFSS   STATUS,Z       ;Z=1?
GOTO    $-3            ; SUBE TRES RENGLONES
BCF     PORTC,1        ;APAGA MOTOR
CLRF    TMR1L          ; LIMPIA TMRL1
GOTO    REGRESA        ; VE A REGRESA

```

CAL4

```

MOVWF   RCREG,W        ;W=RCREG
MOVWF   DATO           ;DATO=W
XORLW   A'Y'          ;"Y" XOR "Y" = 0
BTFSS   STATUS,Z       ;Z=1?
GOTO    REGRESA        ;VE A REGRESA
BSF     PORTC,1        ;ACTIVA MOTOR
BCF     PORTB,GIRO    ;SENTIDO DE GIRO=ABAJO
BTFSS   PORTB,2        ;FOTOINTERRUPTOR INFERIOR=1
GOTO    $-1            ;REGRESA AL RENGLÓN ANTERIOR
BCF     PORTC,1        ;APAGA MOTOR
BSF     BANDERAS,CALIBRADO ;CONECTADO=1
GOTO    REGRESA        ;VE A REGRESA

```

PLATAFORMA

```

BTFSS   BANDERAS,ANGULO ;ANGULO=1?
GOTO    PLAT2          ;VEA PLAT2
MOVWF   RCREG,W        ;W=RCREG
MOVWF   DATO           ;DATO=W
XORLW   A'S'          ;"S" XOR "S" = 0
BTFSS   STATUS,Z       ;Z=1?
GOTO    REGRESA        ;VE A REGRESA
BTFSS   PORTB,4        ;SENSOR DE POSICIÓN INICIA=1?
GOTO    $-1            ;VE AL RENGLÓN ANTERIOR
BSF     PORTB,SOLENOIDE ;ACTIVA SOLENOIDE
CALL    DELAY          ;LLAMA A LA SUBROUTINA DELAY
BCF     PORTB,SOLENOIDE ;APAGA SOLENOIDE

```



```

    BTFSS      PORTB,5           ;SENSOR DE FIN DE CARRERA DEL
MÓVIL=1?
    GOTO       $-1              ;VE AL RENGLÓN ANTERIOR
    BSF        PORTC,1          ;ACTIVA MOTOR
    BCF        PORTB,GIRO       ;SENTIDO DE GIRO=ABAJO
    BTFSS      PORTB,2          ;FOTOINTERRUPTOR INFERIOR=1
    GOTO       $-1              ;REGRESA AL RENGLÓN ANTERIOR
    BCF        PORTC,1          ;APAGA MOTOR
    BCF        BANDERAS,ANG     ;ANG=0
    GOTO       REGRESA         ;VE A REGRESA

```

```

PLAT2
    MOVF       RCREG,W          ;W=RCREG
    MOVWF      DATO             ;DATO=W
    XORLW     A'R'              ;"R" XOR "R" = 0
    BTFSS     STATUS,Z         ;Z=1?
    GOTO      PLAT3            ;VE A PLAT3
    BSF       BANDERAS,ANG     ;ANG=1
    GOTO      REGRESA         ;VE A REGRESA

```

```

PLAT3
    BTFSS     BANDERAS,ANG     ;ANG=1?
    GOTO      REGRESA         ;VE A REGRESA
    MOVF      RCREG,W          ;W=RCREG
    MOVWF     DATO             ;DATO=W
    XORLW     A'M'              ;"M" XOR "M" = 0
    BTFSS     STATUS,Z         ;Z=1?
    GOTO      PLAT4            ;VE A PLAT4
    BSF       PORTC,1          ;ACTIVA MOTOR
    BSF       PORTB,GIRO       ;SENTIDO DE GIRO=ARRIBA
    BTFSS     PORTB,2          ;FOTOINTERRUPTOR SUPERIOR=1?
    GOTO      $-1              ;VE AL RENGLÓN ANTERIOR
    BCF       PORTC,1          ;APAGA MOTOR
    BSF       BANDERAS,ANGULO  ;ANGULO=1
    GOTO      REGRESA         ;VE A REGRESA

```

```

PLAT4
    MOVF       RCREG,W          ;W=RCREG
    MOVWF     VUELTAS          ;VUELTAS=W
    BSF       PORTC,1          ;ACTIVA MOTOR
    BSF       PORTB,GIRO       ;SENTIDO DE GIRO=ARRIBA
    MOVF      TMR1L,W          ;W=TMR1L
    CALL      TRANS            ;LLAMA A LA SUBROUTINA TRANS
    XORWF     VUELTAS,W        ;W XOR VUELTAS = 0
    BTFSS     STATUS,Z         ;Z=1?
    GOTO      $-4              ;REGRESA 4 RENGLONES
    BCF       PORTC,1          ;APAGA MOTOR
    BSF       BANDERAS,ANGULO  ;ANGULO=1
    CLRF     TMR1L             ;LIMPIA TMR1L
    GOTO      REGRESA         ;VE A REGRESA

```

; SUBROUTINA DE RETARDO

DELAY

```

    MOVLW    .20                ;W=20
    MOVWF    TMP0              ;TMP0=W
DEL0 MOVLW    .50                ;W=50
    MOVWF    TMP1              ;TMP1=200
DEL1 MOVLW    .50                ;W=50
    MOVWF    TMP2              ;TMP2=W
DEL2 DECFSZ  TMP2,F            ;TMP2=TMP2-1  TMP2=0?
    GOTO     DEL2              ;VE A DEL 2
    DECFSZ  TMP1,F            ;TMP1=TMP1-1  TMP1=0?
    GOTO     DEL1              ;VE A DEL 1
    DECFSZ  TMP0,F            ;TMP0=TMP0-1  TMP0=0?
    GOTO     DEL0              ;VE A DEL 0
    RETURN                       ;REGRESA

```

REGRESA

```

    BCF     PIR1,RCIF          ;LIMPIA BANDERA
    BCF     INTCON,INTF        ;LIMPIA BANDERA
    BCF     STATUS,Z           ;Z=0
    RETFIE                       ;REGRESA

```

TRANS

```

    BCF     PIR1,TXIF          ;LIMPIA BANDERA
    MOVWF   TXREG              ;TXREG=W
    NOP
    NOP
    NOP
    NOP
    NOP
    NOP
    BTFSS   PIR1,TXIF          ;TXIF=1?
    GOTO    $-1                ;REGRESA AL RENGLÓN ANTERIOR
    RETURN                       ;REGRESA

```

```

    END                            ;FIN

```

## Apéndice 6 Listado del programa de la interfaz gráfica en VisualBasic

```

Public RCREG As String
Public OK As Boolean
Public Encoder As Integer
Public Vueltas As Integer
Public cato As Double
Public arg As Double

Private Sub Calibrar_Click()
Form1.Show
End Sub
'Muestra Formulario 1

Private Sub cmd3_Click()
txtRx = ""
RCREG = ""
End Sub
'Limpia ventana de Recepción de Texto y Variable de recepción

Private Sub cmdMax_Click()

MSComm1.Output = "R"
MSComm1.Output = "M"
End Sub
'Envía una R
'Envía una M

Private Sub cmdEnter_Click()
Dim Ang As Double

MSComm1.Output = "R"
Ang = Valor(txtAngulo) * (Math.Pi / 180)
Vueltas = (Math.Tan(Ang) * 1.2) * (10 / 0.254)
MSComm1.Output = Valor(Vueltas)
End Sub
'Envía una R
'Conversión de ángulos a radianes
'Fórmula para convertir el ángulo deseado en
vueltas para el encoder
'Envía el valor de vueltas

Private Sub cmdCalibrar_Click()

MSComm1.Output = "C"
Form1.Show
frmmain.Hide
Encoder = 30
End Sub
'Envía una C
'Muestra el formulario 1
'Oculto El formulario frmMain
'Encóder=30

Private Sub cmdConecta_Click()
If OK = False Then
If MSComm1.PortOpen = False Then MSComm1.PortOpen = True
MSComm1.Output = "O"
Else
MSComm1.Output = "F"
End If
'Si OK=0 entonces
'Abre el puerto si está
cerrado
'Envía una O
'Envía una F

```

```

End If
End Sub

Private Sub cmdIniciar_Click()
MSComm1.Output = "S"
End Sub

Private Sub Form_Load()

RCREG = ""
OK = False
Habilitacion OK

'Configuración de Puerto serial de Comunicación
MSComm1.CommPort = 1
MSComm1.Settings = "115200,N,8,1"
MSComm1.RThreshold = 1
MSComm1.InputLen = 1
End Sub

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
MSComm1.Output = "F"
If MSComm1.PortOpen = True Then MSComm1.PortOpen = False 'Cierra el puerto si está abierto
End Sub

Private Sub MSComm1_OnComm()
If MSComm1.CommEvent = comEvReceive Then
RCREG = MSComm1.Input
txtRx.Text = RCREG
Select Case RCREG
Case "K"
cmdConecta.Caption = "&Desconecta"
OK = True
Case "F" '
cmdConecta.Caption = "&Conectar"
OK = False
If MSComm1.PortOpen = True Then MSComm1.PortOpen = False 'Cierra el puerto si está cerrado
End Select
Habilitacion OK
Else
cato = RCREG * (0.254 / 10)
arg = (cato / 1.2) * (Math.Pi / 180)
txtVueltas = atan(arg) * (180 / Math.Pi)
txtVueltas
End If
End Sub

Public Sub Habilitacion(A As Boolean)

cmdCalibrar.Enabled = A
cmdIniciar.Enabled = A
cmdEmpezar.Enabled = A

```

```
cmdEnter.Enabled = A
cmnMax.Enable = A
```

```
End Sub
```

```
Formulario 2
Option Explicit
Dim Encoder As Double
Public Encodercalib As Integer
```

```
Private Sub Abajo_Click()
MSComm1.Output = "D"
Encoder = Encoder - 1
End Sub
```

```
'Envía una D
'Encoder=Encoder+1
```

```
Private Sub Arriba_Click()
MSComm1.Output = "U"
Encoder = Encoder + 1
End Sub
```

```
'Envía una U
'Encoder=Encoder+1
```

```
Private Sub Cancelar_Click()
Form1.
frmmain.Show
End Sub
```

```
'Oculta el Formulario 1
'Muestra el formulario frmMain
```

```
Private Sub Terminar_Click()
MSComm1.Output = "Y"
Form1.Show
frmmain.Hide
Encodercalib = Encoder
End Sub
```

```
'Envía una Y
'Muestra el formulario Form1
'Oculta el Formulario frmMain
```



# REFERENCIAS



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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





- 
- [1] L. Rosado y J.R. Herreros, Laboratorios virtuales y remotos en la enseñanza de la Física y materias afines, Didáctica de la Física y sus nuevas Tendencias, Madrid, UNED, pp. 415-603, 2002.
- [2] L. Rosado y J.R. Herreros, Internet y Multimedia en Didáctica e Investigación de la Física, Madrid, UNED, 2004.
- [3] P. Antsaklis et al, Report on the NSF/CSS workshop on new directions in control engineering education, IEEE Control Systems Magazine, pp. 53-58, 1999.
- [4] MIT I-LABS, consulta: agosto 2008 , <http://icampus.mit.edu/ilabs>.
- [5] I-Labs (proyectos de laboratorios virtuales), consulta: agosto 2008, [http://www.coe.iup.edu/cm/projects\\_iLabs.htm](http://www.coe.iup.edu/cm/projects_iLabs.htm).
- [6] Laboratorio de informática vía Internet (lavi), consulta: agosto 2008, <http://riai.isa.upv.es/CGIBIN/articulos>.
- [7] Prácticas de control sobre procesos reales vía Internet (recolab), consulta agosto 2008, <http://isa.umh.es/arvc/documentos/articulos>.
- [8] Laboratorios de acceso remoto. Un nuevo concepto en los procesos de enseñanza aprendizaje, consulta: agosto 2008, <http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf>.
- [9] Laboratorio central de microscopía de física, consulta: agosto 2008, <http://www.fisica.unam.mx>.
- [10] Tipos de control, consulta: febrero 2009, [http://www.control-automatico.net/hm/ca\\_ate\\_lab.htm](http://www.control-automatico.net/hm/ca_ate_lab.htm).
- [11] Laboratorio remoto accedido por Internet para la asignatura Cinemática y Dinámica, consulta :noviembre 2007, [http://www.fi-p.unam.mx/simposio\\_investigacion2006/ponencia44\\_ext.html](http://www.fi-p.unam.mx/simposio_investigacion2006/ponencia44_ext.html).
- [12] Sensores, tipos y aplicaciones, consulta: febrero 2009, <http://www.sensing.es/>.

- [13] Sensores, consulta: febrero 2009,  
<http://proton.ucting.udg.mx/dpto/tesis/quetzal/TES35-01.html>.
- [14] Data sheet PIC 16F87X. 28/40/44-Pin Enhanced Flash. Microcontrollers,  
<http://www.microchip.com>.
- [15] Roscas, tipos y diferencias, consulta: septiembre 2008,  
<http://balbek.fi-c.unam.mx/Documentos/Normas>.
- [16] Protocolo RS232 , consulta: febrero 2009,  
<http://juandeg.tripod.com/rs232.htm>.
- [17] Catalogo de materiales, consulta: marzo 2008,  
<http://www.metalesdiaz.com.mx/>.
- [18] J. Lozano y J.C. Guzman, “Sistema mecatrónico para automatización de práctica de cinemática”, Tesis licenciatura 2007, Facultad de Ingeniería UNAM.
- [19] Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger, “Diseño y desarrollo de productos” McGraw-Hill, Tercera edición, 2004.