



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PRÁCTICA DE TRABAJO Y ENERGÍA; DISEÑO  
MECÁNICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

PRESENTA:

**ARTURO RICARDO VELÁZQUEZ BENÍTEZ**



DIRECTOR DE TESIS: ING. ULISES M. PEÑUELAS RIVAS

MÉXICO, D.F.

Enero de 2008



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.

*A mi padre Rubén,  
gracias por sus enseñanzas y apoyo.*

---

## CONTENIDO

### I INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

I.1 Problemática.....	1
I.2 Descripción de la práctica.....	2
I.3 Objetivo particular.....	2
I.4 Justificación.....	2

### II ANTECEDENTES

II.1 Ley de Hooke y resortes.....	3
II.2 Fricción entre superficies.....	5
II.3 Mecanismos de transformación de movimiento rotacional a movimiento lineal.....	6
II.3.1 Piñón-cremallera.....	7
II.3.2 Husillo-tuerca.....	8
II.3.3 Banda-polea.....	9
II.3.4 Biela-manivela.....	10
II.4 Motores eléctricos.....	10

### III DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO

III.1 Metodología a seguir.....	12
III.2 Definición del problema.....	12
III.3 Identificación del problema.....	14
III.4 Características y requerimientos físicos.....	15
III.5 Ideación.....	17

### IV MORFOLOGÍA

IV.1 Selección del sistema de deslizamiento.....	19
IV.1.1 Propuestas para el sistema de deslizamiento.....	20
IV.1.2 Pruebas realizadas a los sistemas de deslizamiento propuestos.....	21
IV.1.3 Resultados de las pruebas realizadas, para elegir un sistema de deslizamiento.....	22
IV.2 Selección de actuadores y mecanismos.....	27
IV.2.1 Configuraciones propuestas para los mecanismos y actuadores.....	27
IV.2.2 Configuración elegida para los mecanismos y actuadores.....	36

---

---

## **V DESARROLLO DEL PROTOTIPO**

V.1 Consideraciones previas.....	38
V.2 Diseño y construcción.....	39
V.2.1 Bastidor.....	39
V.2.2 Sistema de deslizamiento.....	40
V.2.3 Soporte para el sensor de fuerza y guía para el resorte.....	41
V.2.4 Transmisión de recarga.....	42
V.2.5 Transmisión de precisión y sujeción del móvil.....	43
V.2.6 Soportes para sensores.....	44
V.4 Prototipo terminado.....	44

<b>VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>47</b>
---	-----------

## **APÉNDICE**

A Coeficientes de Fricción.....	50
B Lista de partes compradas.....	52
C Lista de partes y planos.....	53

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **REFERENCIAS ELECTRÓNICAS**

---

# I INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## I.1 PROBLEMÁTICA

En la División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería de la UNAM se imparte la asignatura Cinemática y Dinámica, la cual cuenta con un laboratorio no curricular al que los alumnos se inscriben para complementar y reforzar el aprendizaje adquirido en las clases teóricas; una gran cantidad de alumnos se inscribe a dicho laboratorio; sin embargo, debido a la falta de infraestructura física y equipo, se tienen que formar brigadas de alrededor de cinco alumnos por experimento disminuyendo así el impacto que pueda tener tal experiencia en los alumnos.

Por tal motivo, se creó el proyecto EN106204 del PAPIME (Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza) el cual lleva por nombre “Creación de un laboratorio remoto accedido por medio de la Internet para la asignatura Cinemática y Dinámica”, 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.

Los objetivos de tal proyecto se centran en varios aspectos como son: diseñar prácticas de la asignatura Cinemática y Dinámica; implementar las prácticas diseñadas, es decir diseñar fabricar y/o adaptar los elementos mecánicos, electrónicos, de control, etc. requeridos para la realización de cada práctica; desarrollar el software que se requiera para el funcionamiento del laboratorio remoto el cual debe correr en un servidor configurado particularmente para proporcionar el servicio.

## I.2 DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA

Una de estas prácticas es la denominada “Trabajo y Energía”, en la cual se aborda la relación existente entre deformaciones y esfuerzos en su forma lineal (*ley de Hooke*), así como de la aplicación del método del trabajo y la energía, con objeto de determinar el coeficiente de fricción dinámica involucrado en el experimento.

Para la realización del experimento, primeramente se caracteriza un resorte el cual se fija en un soporte que se encuentra unido a una base plana horizontal. Al extremo libre del resorte se une un bloque de madera mediante una cuerda inextensible, de modo que al jalar el bloque sobre el plano el resorte se deformará y al soltarlo éste deslizará sobre dicha base.

Ya se han explicado brevemente los objetivos del proyecto EN106204, sin embargo este trabajo solo abarca una parte de una determinada práctica, por lo que su objetivo particular y justificación se citan a continuación.

## I.3 OBJETIVO PARTICULAR

- Diseñar y construir los dispositivos e infraestructura mecánica de un prototipo para la realización de la práctica de “Trabajo y Energía” accedida por Internet, para el laboratorio de Cinemática y Dinámica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

## 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 realizar 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 que se cuenta, además de complicaciones en el diseño y construcción de las partes adaptadas, lo que ocasionaría un incremento de costo considerable.

## II ANTECEDENTES

### II.1 LEY DE HOOKE Y RESORTES

Robert Hooke (1635-1703) estableció la ley fundamental que relaciona la fuerza aplicada con la deformación producida en un cuerpo elástico aplicable para deformaciones que no sean muy grandes, es decir, que no superen el límite elástico (no sufran deformación permanente). Esta ley fue originalmente formulada para casos de estiramiento longitudinal, en la que se establece que la deformación  $\varepsilon$  de un material elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada [1].

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (\text{II.1})$$

$$\varepsilon = \frac{F}{AE} \quad (\text{II.1a})$$

donde:

$\Delta L$ : alargamiento longitudinal

$L$ : longitud original

$F$ : fuerza aplicada

$A$ : sección transversal de la pieza estirada

$E$ : módulo de Young o módulo de elasticidad

$\varepsilon$ : deformación del cuerpo

De modo que la ley de Hooke aplicada a los resortes es una simplificación de la descrita anteriormente y tiene la siguiente forma:

$$F = kx \quad (\text{II.2})$$

donde:

$$k = \frac{AE}{L} \quad (\text{II.3})$$



La constante  $k$  recibe el nombre “constante del resorte”, la cual es diferente para cada resorte puesto que está en función de varios factores como son:

- Material del que está hecho el resorte
- Número de espiras
- Separación entre las espiras
- Calibre del alambre
- Diámetro nominal del resorte
- Tratamientos térmicos recibidos

Una característica de los resortes radica en absorber grandes deformaciones y recuperar su forma inicial cuando la fuerza aplicada cede. Por lo que son utilizados con frecuencia en mecanismos para acelerar movimientos o amortiguar el contacto entre dos piezas. Pueden clasificarse basándose en diferentes parámetros:

- Forma del resorte: helicoidal cilíndrico, helicoidal cónico, espiral, laminar
- Sección transversal del alambre: circular, cuadrada, rectangular
- Tipo de carga que soportan: compresión, tracción, torsión, flexión

**Resortes de extensión o tracción:** éstos son similares a los resortes helicoidales a compresión, pero a diferencia de ellos las espiras que los conforman están pegadas una con otra. Están diseñados para absorber y acumular energía mediante la carga de una fuerza de tracción. En estos resortes todas las espiras son activas y la tensión inicial es lo que mantiene las espiras firmemente apretadas [2].

Los extremos de los resortes de extensión pueden incluir:

- Piezas roscadas
- Argollas de torsión
- Ganchos u ojales a distintas distancias del cuerpo del resorte
- Extremos rectangulares

## II.2 FRICCIÓN ENTRE SUPERFICIES

Una forma de describir la fricción, es la interacción entre dos superficies que se encuentran en contacto. Para poder entender más fácilmente éste concepto, se tomará la Fig.III.1, de modo que cuando un objeto que se encuentra en reposo sobre alguna superficie y se le aplica una fuerza la cual no es lo suficientemente grande para comenzar el movimiento, forzosamente debe existir una que le impida moverse, a ésta se le llama fuerza de fricción. La fuerza de fricción entre dos objetos que no están en movimiento relativo, se le llama *fuerza de fricción estática*.

Sin embargo si es bastante grande la fuerza aplicada para que estos cuerpos se muevan uno con respecto del otro, la fuerza de fricción no desaparece, sino que se modifica ligeramente debido a que el contacto que existe entre las pequeñas irregularidades de cada superficie ha cambiado, y a ésta se le llama *fuerza de fricción cinética*.

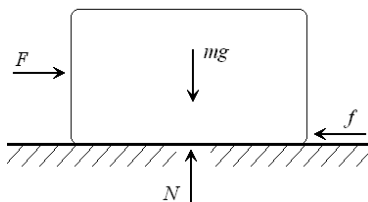


Fig.II.1 Fuerzas que intervienen en la fricción.

Para el cálculo de esta fuerza se tienen las expresiones [3]:

$$f_s = \mu_s N \quad (II.4)$$

$$f_k = \mu_k N \quad (II.5)$$

donde:

$f_s$ : fuerza de fricción estática

$\mu_s$ : coeficiente de fricción estática

$f_k$ : fuerza de fricción cinética

$\mu_k$ : coeficiente de fricción cinética

$m$ : masa del cuerpo

$g$ : aceleración del campo gravitatorio del lugar

$N$ : fuerza normal a la superficie en contacto

Los coeficientes  $\mu_s$  y  $\mu_k$  dependen de la naturaleza y rugosidad de las superficies en contacto y sólo pueden ser determinados experimentalmente. También cabe mencionar que éstos se pueden modificar si es que se aplica cualquier tipo de lubricación entre superficies. En el Apéndice A se incluyen valores para diferentes casos de superficies en contacto.

La fricción entre dos superficies se puede ver afectada a lo largo del tiempo si es que éstas se encuentran constantemente en deslizamiento, debido a que al estar en continuo rozamiento las imperfecciones de las superficies, se genera un desgaste el cual modifica su rugosidad, por lo que existe menor oposición al movimiento.

También la fricción puede variar con la velocidad de deslizamiento, puesto que “*en altas velocidades la temperatura entre los materiales en contacto se eleva causando reblandecimiento o derretimiento, llegando a la región de auto-lubricación por derretimiento*”<sup>§</sup>.

### II.3 MECANISMOS DE TRANSFORMACIÓN DE MOVIMIENTO ROTACIONAL A MOVIMIENTO LINEAL

Un mecanismo es una combinación de elementos cuya función es *producir, transformar o controlar un movimiento*.

Los mecanismos se construyen acoplando varios operadores mecánicos (bielas, flechas, levas engranes, etc.) entre sí, de forma que el movimiento de salida de un operador se convierta en el movimiento de entrada del siguiente operador. Para este proyecto en particular, se consideraron ciertos mecanismos para transformar el movimiento rotacional (entrada) del motor a uno lineal (salida), y se describen brevemente a continuación.

---

<sup>§</sup>Tomado de: Rabinowicz, Ernest, **Friction and wear of materials**.

Ed. Wiley–Interscience, 2<sup>nd</sup> edition, EUA 1995, pag. 116

### II.3.1 PIÑÓN-CREMALLERA

Convierte el movimiento rotacional del eje del piñón en uno lineal, al desplazar longitudinalmente la cremallera o viceversa. Se conforma por un piñón (rueda dentada) que engrana en una cremallera (tira dentada), estos dos elementos deben tener la misma separación entre dientes (paso) para que puedan acoplarse, como se muestran en la Fig.II.2.

Cuando el piñón gira, sus dientes empujan a los de la cremallera, provocando el movimiento lineal de ésta. Y viceversa, si se mueve la cremallera, sus dientes empujarán a los del piñón transformando así el movimiento lineal a rotacional [4].

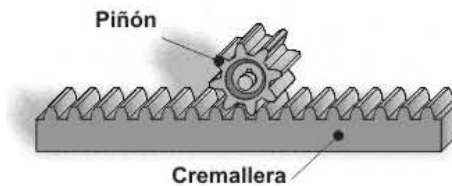


Fig.II.2 Mecanismo piñón-cremallera.

Para calcular la distancia que se desplaza la cremallera y la velocidad del desplazamiento se tienen las siguientes expresiones.

$$d = \frac{z}{h} \quad (II.6)$$

$$V = n \cdot d \quad (II.7)$$

$$V = n \left( \frac{z}{h} \right) \quad (II.7a)$$

donde:

$n$ : velocidad angular de giro del piñón

$d$ : distancia desplazada por la cremallera

$V$ : velocidad lineal de la cremallera

$z$ : número de dientes del piñón

$h$ : número de dientes por pulgada de la cremallera

### II.3.2 HUSILLO-TUERCA

Convierte un movimiento rotacional a uno lineal, principalmente se emplea cuando es necesario aplicar gran fuerza de apriete o avances controlados de la tuerca. Para este tipo de mecanismo suelen emplearse roscas cuadradas (de uno o varias entradas) debido a su bajo rozamiento y su buena transmisión de la fuerza de apriete [5].

Cuando el avance lineal exige mucha precisión (por ejemplo: instrumentos de medición) este mecanismo sustituye con gran ventaja al sistema piñón-cremallera. Este sistema se puede plantear de dos formas básicas:

- Husillo fijo (no puede desplazarse longitudinalmente) que al girar provoca el desplazamiento de la tuerca
- Tuerca fija (no puede girar ni desplazarse longitudinalmente) que produce el desplazamiento del husillo cuando este gira

Las características que presenta este mecanismo son: por cada vuelta del tornillo (husillo) la tuerca solamente avanza la distancia que tiene de separación entre filetes (paso de rosca); además cabe señalar que, este sistema no es reversible es decir no se puede convertir un movimiento lineal en uno rotacional. Las ecuaciones para calcular su movimiento son:

$$A = P \cdot e \quad (II.8)$$

$$V_a = A \cdot n \quad (II.9)$$

$$t = \frac{l}{V_a} \quad (II.10)$$

donde:

$A$ : avance de la tuerca

$e$ : número de entradas del husillo

$P$ : paso del husillo

$n$ : velocidad angular del husillo

$V_a$ : velocidad de avance

$l$ : distancia que debe recorrer la tuerca

$t$ : tiempo que tarda la tuerca en recorrer  $l$

### II.3.3 BANDA POLEA

El arreglo banda-polea, se emplea para transmitir la potencia proporcionada por el eje del motor entre dos ejes separados entre sí una cierta distancia. La transmisión del movimiento se hace por medio de bandas, las cuales se desplazan sobre las poleas cuando giran. El agarre de la banda sobre la polea depende sobre todo de la tensión y de la resistencia de ésta a la tracción: es decir, del tipo de material con el que está construida (cuero, fibras, hilos metálicos recubiertos de goma, etc.) y de sus dimensiones.

Este tipo de transmisión, también se puede modelar como uno de engrane-cadena. La diferencia que existe entre éstas radica en que la transmisión hecha por cadena, generalmente se emplea en accionamientos con ejes dispuestos a mayor distancia entre centros, además de requerir mayor potencia y precisión en su movimiento. Para el sistema banda-polea, en relaciones de transmisión hasta seis, aunque pudieran emplearse como máximo hasta diez, tienen una eficiencia del 97-98 % sin manifestar deslizamiento en su funcionamiento [6].

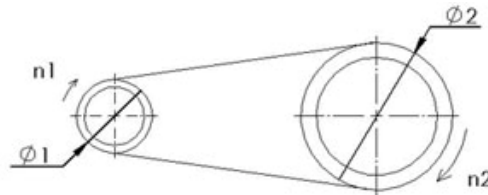


Fig.III.3: Transmisión mediante banda-polea.

De acuerdo con la Fig.II.3 se puede obtener la velocidad a la que giran las poleas y la relación que guardan estas con la siguiente expresión:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} \quad (\text{II.11})$$

donde:

$n_1$ : velocidad angular de la polea motriz

$d_1$ : diámetro de la polea motriz

$n_2$ : velocidad angular de la polea movida

$d_2$ : diámetro de la polea movida

$i$ : relación entre la polea motriz y la polea movida

Sí  $i > 1$  es un multiplicador; la flecha de salida gira más rápido que la flecha de entrada

Sí  $i < 1$  es un reductor; la flecha de salida gira más lento que la flecha de entrada.

### II.3.4 BIELA-MANIVELA

Este mecanismo es capaz de transformar el movimiento circular en movimiento lineal alternativo. Está formado por un elemento giratorio denominado manivela que va conectado con una barra rígida llamada biela o barra de unión, de modo que al girar la manivela, empuja a la biela que a su vez obliga a retroceder y avanzar sobre una corredera a un elemento del conjunto, produciendo así un movimiento alternativo. Es reversible, si sobre la corredera se produce el movimiento de entrada (como en el caso de un pistón en el motor de un automóvil), la manivela se ve obligada a girar [7]. En la Fig.II.4 se muestra un esquema de éste tipo de mecanismo.

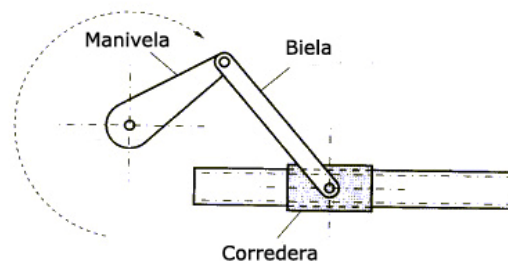


Fig.II.4: Mecanismo biela-manivela.

## II.4 MOTORES ELÉCTRICOS

Es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, el movimiento se genera en el rotor debido al campo electromagnético generado en el estator al hacer pasar una corriente por las bobinas que lo conforman. Estos dispositivos pueden funcionar con corriente alterna o directa. Para aquellos que funcionan con corriente directa existen varios tipos, de entre ellos destacan los siguientes [8].

**Motor de giro continuo.** Tiene la capacidad de rotación continua en ambos sentidos y máxima velocidad al aplicarse un cierto voltaje, el cual se encuentre dentro de su rango de operación. Existe una gran variedad de tamaños y capacidades disponibles comercialmente.

**Motores a pasos.** También llamados motores paso a paso, se constituyen por un rotor sobre el cual se disponen imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras en su

estator. La conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser manejada por un controlador; si una o más de sus bobinas quedan energizadas, el motor quedará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente alguna por cualquiera de sus bobinas. Existen varios tamaños y capacidades comercialmente, de entre los más comunes se pueden encontrar de 1.8, 3.6 y 90 grados por paso.

**Servomotores.** Se posicionan de forma inmediata en cualquier ángulo dentro de su rango de operación, mediante un tren de pulsos que corresponden con el movimiento a realizar. La mayoría tienen un margen de operación de 180° aproximadamente. Disponen de tres conexiones; Vcc, GND y entrada de control.

## REFERENCIAS

- [1] **Conocimientos teóricos previos.** Consulta: marzo de 2007  
<http://personal.telefonica.terra.es/web/jcvilchesp/cuerda/cu000.htm>.
- [2] Norton, Robert L. **Diseño de Máquinas.**  
trad. Gabriel Sánchez García, ed. Prentice–Hall, México 1999 págs. 815, 850-853.
- [3] Beer & Johnston, **Mecánica Vectorial para Ingenieros “Estática”.**  
trad. Ma. de los Dolores Ayala, ed. McGraw Hill, 4ª edición, México 1984, pág. 292.
- [4] **MecanESO,** Consulta: abril de 2007  
[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_cremallera-pinion.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cremallera-pinion.htm)
- [5] **Mecanismo De Husillo y Tuerca,** Consulta: junio de 2007  
<http://almez.pntic.mec.es/~jgonza86/Mecanismo%20de%20husillo%20y%20tuerca.htm>
- [6] Aguirre Esponda, Guillermo, **Diseño de Elementos de Máquinas.**  
ed. Trillas, México, 1990, págs. 578, 579
- [7] **Sistema Biela y Manivela,** Consulta: marzo de 2007  
<http://almez.pntic.mec.es/~jgonza86/sistema%20de%20biela%20y%20manivela.htm>
- [8] **Ero-PIC.** Consulta: junio de 2007  
[http://perso.wanadoo.es/luis\\_ju/index.html](http://perso.wanadoo.es/luis_ju/index.html)



### III DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO

#### III.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, el cual será automatizado. De modo que a continuación se sigue una metodología de diseño del producto, ajustándose a los materiales y equipo disponibles para la construcción de éste. 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
- Ideación de posibles soluciones
- Selección de los elementos y dispositivos necesarios para su construcción
- Construcción
- Evaluación y posibles modificaciones

#### III.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para poder definir como se atacará 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. Obtener una pareja de valores  $(x,F)$  del resorte a utilizar. Para lograr esto se sujeta firmemente el extremo **A** del resorte a una placa de sujeción, en el extremo **B** del resorte se acopla un dinamómetro; el cuál se desplaza de modo que el resorte se estire

y sufra una deformación  $x$ . Como se puede ver en la Fig.III.1, se necesita la ayuda de una regla para medir la deformación sufrida por el resorte; a continuación se registra la lectura mostrada en el vástago del dinamómetro la cual es la fuerza aplicada  $F$ . Se repite este mismo procedimiento hasta obtener 10 parejas de valores. Para efecto de establecer características y requerimientos en lo sucesivo a este paso se le llamará *caracterización del resorte*.

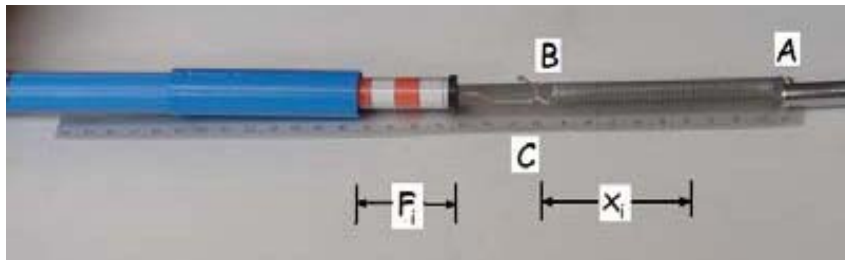


Fig.III.1 Caracterización de un resorte.

2. Una vez que ya se han obtenido las 10 parejas de valores, se fija el resorte en un soporte, el cual se encuentra unido a una base horizontal. Al extremo libre del resorte se une un bloque de madera mediante una cuerda inextensible, se tensa la cuerda y el resorte, sin que este último llegue a deformarse. A esta posición se le dará el nombre de posición inicial ó *posición 1*.
3. De modo que al jalar el bloque una distancia cualquiera  $x$  desde la posición 1, el resorte sufrirá una deformación de igual magnitud, y por consiguiente al soltar el bloque, éste deslizará sobre el plano. A esta posición se le dará el nombre de *posición 2*.
4. Se debe dejar que el bloque deslice libre sobre el plano, al detenerse se registra la distancia desplazada por el bloque  $L$ . El alcance máximo se debe medir desde la posición donde se soltó el móvil, hasta donde dejó de moverse. A esta posición se le dará el nombre de *posición 3*. En la Fig.III.2 se muestran las posiciones 1 a 3.

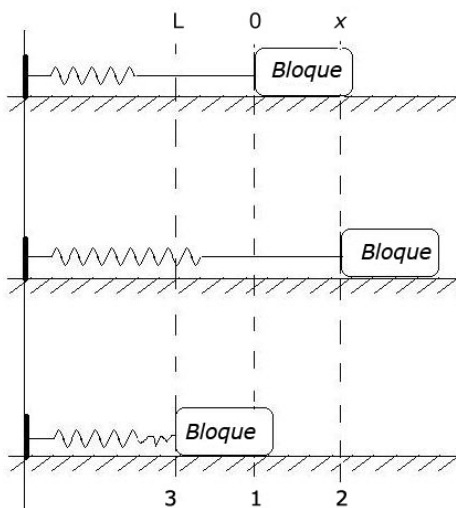


Fig.III.2 Posiciones del móvil dentro de la práctica.

5. Repetir el procedimiento de los puntos 2 al 4 diez veces para una misma distancia  $x$ .
6. Finalmente, con todos los datos obtenidos, el alumno procede a realizar el reporte solicitado por el profesor del laboratorio.

### III.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Como se observó anteriormente, este experimento consta de dos partes: caracterización del resorte, y medición de una distancia recorrida por el móvil a causa de una cierta deformación aplicada al resorte.

En la caracterización del resorte se deberá obtener una serie de parejas de datos:  $(x_i, F_i)$  deformación longitudinal del resorte y fuerza aplicada. Para llevar a cabo esto de manera remota, será necesario un sistema de sujeción del resorte, así como algún mecanismo que pueda deformarlo hasta una cierta distancia definida por el usuario. También se necesitarán sensores, los cuales efectúen la medición de la deformación del resorte, así como la fuerza aplicada. En el caso del sensor de fuerza, ya se ha estado desarrollando una opción, la cual se considera dejar como definitiva.

Para la segunda parte, la cual consta de la adquisición de datos para la aplicación del método del trabajo y la energía; se deben realizar actividades como: sujetar al móvil, estirar el resorte, soltar al móvil para que éste deslice sobre un plano, medir la distancia que ha recorrido y recuperar el móvil para comenzar un nuevo ciclo. Todas estas operaciones deberán repetirse diez veces para llevar a cabo completamente la práctica. Para efectuar las operaciones antes descritas, se necesitarán sistemas de posicionamiento para encontrar el móvil, así como uno o varios mecanismos que posicionen al móvil donde se requiera y algún sistema de medición, el cual registre las lecturas solicitadas (deformación del resorte y desplazamiento del bloque).

De manera que las funciones esenciales con las que debe cumplir el nuevo prototipo son:

- Soporte del resorte
- Medición de la deformación aplicada al resorte
- Sujeción y liberación del móvil sin modificar la trayectoria
- Deformación del resorte a partir del desplazamiento del móvil, por medio de un sistema de sujeción
- Desplazamiento lineal del sistema de sujeción del móvil
- Desplazamiento libre del móvil, sobre una trayectoria conocida y controlada
- Medición del desplazamiento del móvil
- Posicionamiento del móvil para el comienzo de un nuevo ciclo

#### III.4 CARACTERÍSTICAS Y REQUERIMIENTOS FÍSICOS

A continuación se presentan las características y requerimientos físicos basados en las acciones principales para la realización de la práctica [1].

##### 1. Caracterización del resorte

- Rigidez y estabilidad en la estructura de sujeción del resorte
- Precisión en el posicionamiento del móvil, al definir el usuario una cierta distancia, la cual será la deformación del resorte
- Desplazamiento lineal mínimo del mecanismo que efectuará la deformación: 1 *mm* (resolución de un flexómetro)

2. Posicionamiento del móvil, cuando el resorte se encuentra tenso y sin deformación (*posición 1*)
  - Sujeción firme del móvil
  - Rigidez y estabilidad en la estructura de todo el sistema
  - Repetibilidad en el posicionamiento del móvil
  - El mecanismo debe mantener tal posición hasta que se le indique
  
3. Desplazamiento lineal del móvil para deformar el resorte, según una distancia requerida por el usuario (*posición 2*)
  - Sujeción firme del móvil
  - Rigidez y estabilidad en la estructura de todo el sistema
  - Precisión en el posicionamiento del móvil de 1 *mm* (resolución de flexómetro)
  - Los mecanismos utilizados en el prototipo no deben interferir en la trayectoria del móvil
  
4. Liberación y deslizamiento del móvil por efecto de la energía almacenada en el resorte (*posición 3*)
  - La superficie sobre la que desliza el móvil debe mantenerse estable y permanecer totalmente en contacto con éste
  - El coeficiente de fricción entre estas superficies debe ser adecuado
  - Medición de la distancia recorrida por el móvil desde la *posición 2* hasta la *posición 3*
  - El móvil debe seguir una trayectoria conocida, sin presentar vibraciones y/o perturbaciones que afecten su desplazamiento
  - Evitar interferencia del hilo de sujeción en la trayectoria del móvil
  
5. Recuperación y posicionamiento del móvil para un nuevo ciclo
  - Encontrar al móvil y reposicionarlo sin importar la posición en la que pudiera quedar después de que ha recorrido una distancia  $L$
  - Rapidez en el reposicionamiento del móvil
  - Evitar vibraciones o movimientos que puedan modificar la posición final del móvil

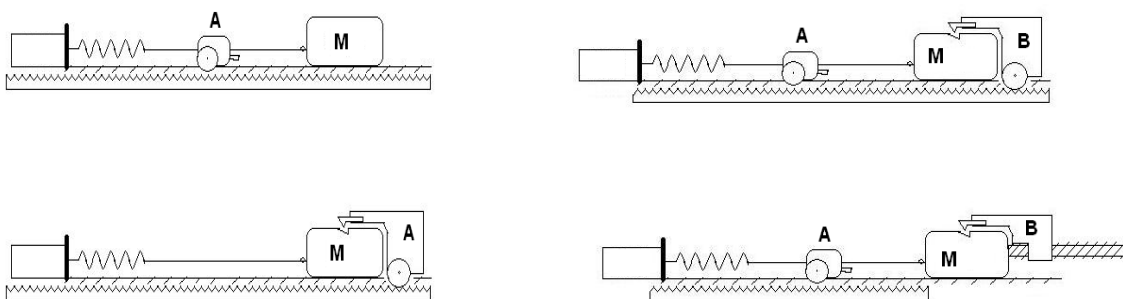
### III.5 IDEACIÓN

Como se ha mencionado, la práctica se puede dividir en dos partes según las actividades realizadas; en el diseño del prototipo se propone que el resorte nunca se desmonte de su soporte y que la trayectoria que debe seguir el móvil sea conocida y controlable, lo cual agilizaría y facilitaría el desarrollo de la práctica de forma automática.

Para poder posicionar el móvil a deslizar, se necesita conocer la trayectoria que éste seguirá, por lo que se ha pensado en propuestas para el sistema de deslizamiento, y se tratarán en el siguiente capítulo. Teniendo en cuenta que la trayectoria que seguirá el móvil es conocida controlada y siempre en línea recta, se pensaron varias opciones para el posicionamiento del móvil dentro de la trayectoria que éste seguirá y se basan en empujarlo o jalarlo hasta una posición inicial deseada.

Se ha elegido la *posición 1* como posición inicial, puesto que así se puede realizar la caracterización del resorte con tan solo realizar las acciones de jalar el móvil, medir las variables necesarias y regresar a la posición inicial, para que una vez obtenidas las parejas necesarias de valores  $(x, F)$ , se proceda a realizar la segunda parte de la práctica.

En cuanto a los mecanismos que realizarán la manipulación del móvil, se ha pensado en dos configuraciones básicas, tomando en cuenta la facilidad y bajo costo de la construcción, en la Fig.III.3 se muestran esquemáticamente.



i. Configuración de un solo mecanismo.

ii. configuración de varios mecanismos.

Fig.III.5 Configuraciones propuestas para la manipulación del móvil.

En los esquemas mostrados en la Fig.III.5, se muestran las opciones de jalar o empujar el móvil. En el esquema *i* se muestran algunas opciones en la configuración de un mecanismo, donde, el mecanismo **A**, puede empujar o jalar al móvil **M** que se desliza sobre la pista. En el esquema *ii*, se muestra la configuración para varios mecanismos, donde el mecanismo **A** empujará al móvil hasta la posición inicial para que el mecanismo **B** pueda tomar y jalar el móvil **M** hasta la posición requerida; se presentan dos opciones esquemáticas y de ejemplo para el mecanismo **B** pudiendo ser movido mediante piñón-cremallera o husillo-tuerca. En cualquiera que sea el caso resultante, se tendrá que diseñar de modo que no afecte el desplazamiento libre del móvil

Se ha pensado utilizar un bloque de madera como móvil, el cual se adecúa a la geometría de la pista. Las opciones que se pensaron para sujetar al bloque fueron mediante un *gripper*<sup>‡</sup> comercial; manufacturar un gancho, el cual mediante una muesca en el móvil se enganche a éste, o bien utilizar un electroimán que sujete al bloque mediante una placa de metal fija en una de sus caras.

Para cada sistema que se ideó se compararon y evaluaron las opciones que existen comercialmente o las posibilidades de construir las partes necesarias, con el objeto de elegir aquella que mejor cumpla con lo requerido; este proceso se llevó a cabo mediante matrices de decisión y se expone en la sección IV.2.1.

## REFERENCIAS

- [1] Facultad de Ingeniería, UNAM, **Práctica 4 “Trabajo y energía, parte II”**. Laboratorio de Mecánica, DCB, marzo 2005

---

<sup>‡</sup> En inglés, pinza mecánica accionada mediante un actuador

## IV MORFOLOGÍA

Este capítulo se ocupa de la selección de los elementos disponibles para la construcción del prototipo. Esta selección se divide en dos partes: la primera se centra en la selección del sistema de desplazamiento, ésta se realizó por medio de experimentación; la segunda trata de los actuadores y mecanismos necesarios para el prototipo, esta selección se llevó a cabo por medio de matrices de decisión.

También se incluyen en la matriz de decisión opciones de como medir la distancia recorrida por el móvil, detección del móvil y control, ya que afectan en el diseño y construcción del prototipo. Sin embargo, no se incluye la medición de la fuerza, puesto que ya se cuenta con un sensor el cual se trata posteriormente.

### IV.1 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DESLIZAMIENTO

Para hacer una buena selección, primero se definieron las características y requerimientos necesarios para la realización de la práctica de modo que el prototipo pueda ser automatizable:

- Asegurar contacto total entre las superficies del móvil y la pista
- La pista debe estar libre de imperfecciones o elementos que puedan alterar el deslizamiento del móvil
- El móvil debe seguir una trayectoria predeterminada (línea recta), sin salirse de ésta
- La pista y el bastidor no deben sufrir deformaciones durante el uso (robustez)
- Mantenimiento sencillo
- Bajo costo de fabricación



#### IV.1.1 PROPUESTAS PARA EL SISTEMA DE DESLIZAMIENTO

Dadas las características necesarias para el prototipo y la información encontrada acerca del tema, se propuso la construcción de tres pistas a escala y analizar el comportamiento del móvil en cada una de ellas, para así poder elegir la más adecuada. En cualquiera de los tres casos la única variación fue la forma; a continuación se describen brevemente las opciones.

- 1<sup>a</sup> Esta propuesta consiste en dos pernos situados en los extremos de la cara inferior del móvil, los cuales ajustan en una ranura practicada a lo largo de una superficie plana, de modo que el móvil deslice sobre la superficie teniendo como trayectoria la forma de la ranura (Fig.IV.1).

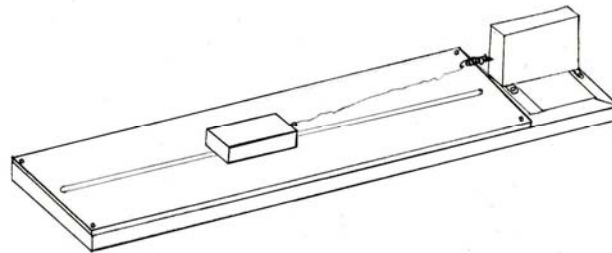


Fig.IV.1 Bosquejo de la opción con una guía central.

- 2<sup>a</sup> Esta opción consta de un ángulo de aluminio dispuesto en forma de V y un móvil con la geometría adecuada, de modo que el móvil se desplaza a lo largo del ángulo de aluminio el cual a su vez sirve de guía, por lo que dos caras del móvil siempre mantienen contacto con el ángulo, sin que exista algún elemento que modifique la fricción existente entre el móvil y la pista (Fig.IV.2).

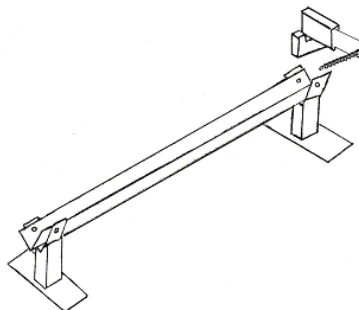


Fig.IV.2 Bosquejo de la opción con un ángulo en V.

3ª Para esta propuesta se han adaptado un par de argollas laterales al móvil, por las que pasa un tendido de cuerda tenso, que sirve de guía y van de un extremo al otro de la superficie plana por donde deslizará el móvil. Este tendido de cuerda deberá estar lo suficientemente tenso para evitar que el móvil lo deforme al moverse (Fig.IV.3).

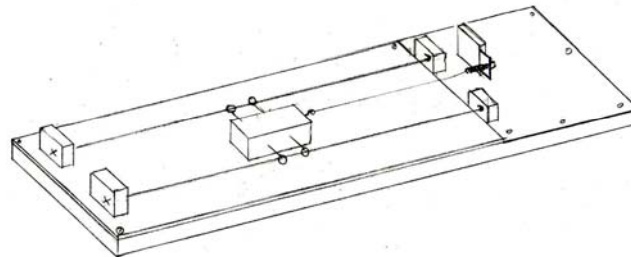


Fig.IV.3 Bosquejo de la opción con hilos laterales.

#### IV.1.2 PRUEBAS REALIZADAS A LOS SISTEMAS DE DESLIZAMIENTO PROPUESTOS

Como se mencionó anteriormente, en todos los casos la única variación fue la forma de la pista, de modo que los parámetros que se mantuvieron constantes fueron los siguientes:

- Un bloque de madera con sección cuadrada de 1.5 cm, con 4.5 cm de largo, con una masa aproximada de 10 g, con los aditamentos necesarios para cada propuesta (armellas, pernos)
- Hilo nylon para unir al móvil con el resorte
- Un dinamómetro de 0 a 12 N de rango con resolución de 0.1 N
- Un resorte como el que se utiliza para realizar la práctica de forma manual
- En cada propuesta se tienen 54.5 cm de carrera, desde la posición donde el resorte se encuentra a punto de deformar hasta el final de la pista que puede recorrer el bloque
- El material de la pista en los tres casos fue perfil de aluminio (aleación 6063)

El procedimiento seguido para cada propuesta fue el siguiente:

1. Caracterizar el resorte, como se hace normalmente en la práctica<sup>†</sup>
2. Fijar un extremo del resorte al final de la pista, y el otro extremo del resorte al hilo de unión con el bloque
3. Asegurar que exista una carrera de 54.5 cm, para que el bloque pueda deslizar libre
4. Deformar el resorte 1 cm, y medir la distancia recorrida al soltar el bloque. Repetir para la misma deformación 5 veces y obtener el promedio de la distancia recorrida
5. Repetir el paso anterior incrementando la deformación del resorte en 1 cm, hasta que el móvil salga de la carrera preestablecida

#### IV.1.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS PARA ELEGIR UN SISTEMA DE DESLIZAMIENTO

##### A Caracterización del resorte.

Para los tres experimentos se utilizó el mismo resorte por lo que éste se caracterizó tan sólo una vez. Sin embargo en los tres experimentos, se registraron los mismos valores de deformación del resorte, así como la fuerza necesaria para deformarlo. Haciendo uso del método de mínimos cuadrados se realizó una regresión lineal para obtener su modelo matemático (IV.1) y su gráfica característica (Fig.IV.4).

Tabla IV.1 Datos para caracterizar el resorte.

<b>Def. del Resorte</b>	$x_{prom}$ [m]	0.002	0.0105	0.019	0.035	0.052	0.0765	0.096	0.12	0.143	0.173	0.194	0.21
<b>Fuerza Aplicada</b>	$F_{prom}$ [N]	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.21

$$F = 4.862x + 0.1915 \quad (IV.1)$$

con:  $F_o = 0.1915 \text{ N/m}$  y  $k = 4.86 \text{ N/m}$

donde:

$x$ : deformación del resorte

$F$ : fuerza aplicada

$k$ : constante del resorte

$F_o$ : fuerza inicial del resorte

<sup>†</sup> Véase sección III.2

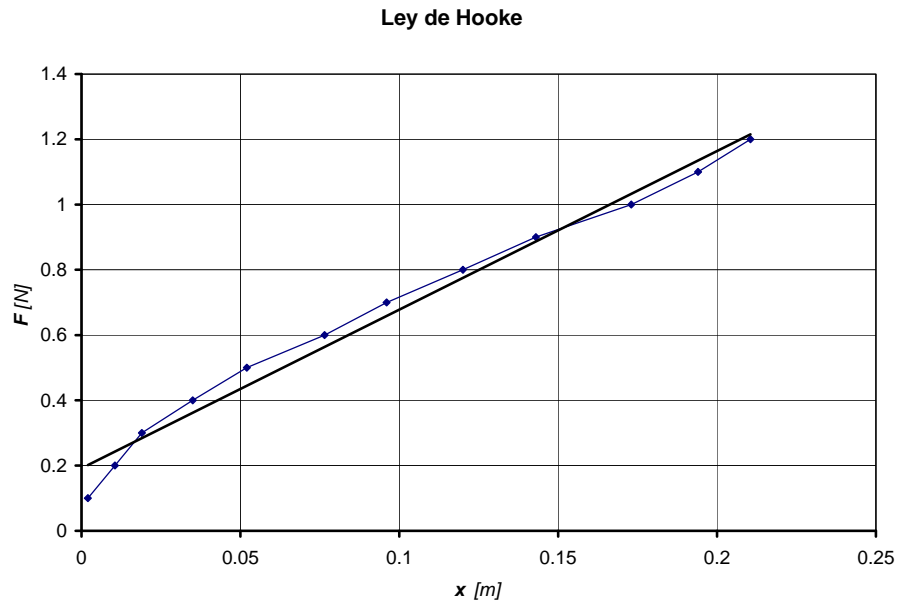


Fig.IV.4 Caracterización del resorte empleado en la práctica.

Con lo que se demuestra que el comportamiento del resorte es lineal.

*B Datos obtenidos de cada una de las pistas probadas.*

Para la obtención del coeficiente de fricción dinámico se utilizó la expresión:

$$\mu_k = \frac{(kx^2 + 2F_0 x)}{2L_{prom} gm} \quad (IV.2)$$

donde:

$x$ : deformación del resorte

$F$ : fuerza aplicada

$k$ : constante del resorte

$F_0$ : fuerza inicial del resorte

$m$ : masa del móvil

$L_{prom}$ : distancia promedio recorrida por el móvil

$g$ : aceleración del campo gravitatorio del lugar

$\mu_k$ : coeficiente de fricción dinámico

## Propuesta 1

Tabla IV.2 Resultados de las pruebas efectuadas para la propuesta 1.

Deformación del resorte	Desplazamiento mínimo	Desplazamiento máximo	Desplazamiento promedio	Coef. fricción dinámica
$x$ [cm]	$L_{min}$ [cm]	$L_{max}$ [cm]	$L_{prom}$ [cm]	$\mu_k$ [1]
1	8.5	8.7	8.64	0.255
2	14.9	15.3	15.08	0.326
3	23	24	23.54	0.345
4	32.5	33.6	32.94	0.358
5	43.2	45.3	44.38	0.361
6	55.5	56.9	56	0.370

## Observaciones:

- No hay buen contacto entre las superficies que deslizan
- La guía puede afectar el desplazamiento puesto que añade una fuerza de fricción
- El bloque sigue una trayectoria establecida sin sufrir alteraciones
- Los bordes de la ranura necesitan soporte adicional para evitar deformaciones
- El hilo pudiera atorarse en la ranura, modificando así la trayectoria del bloque
- Periódicamente se tendrán que ajustar los pernos guía con la ranura de la superficie, pues con el rozamiento estos se desgastarán y perderán el ajuste, ocasionando que el bloque sufra perturbaciones en su trayectoria
- Sólo se añade la manufactura de la ranura en la pista al costo de fabricación

## Propuesta 2

Tabla IV.3 Resultados de las pruebas efectuadas para la propuesta 2.

Deformación del resorte	Desplazamiento mínimo	Desplazamiento máximo	Desplazamiento promedio	Coef. fricción dinámica
$x$ [cm]	$L_{min}$ [cm]	$L_{max}$ [cm]	$L_{prom}$ [cm]	$\mu_k$ [1]
1	5.4	6.1	5.78	0.382
2	9.7	10.3	10.08	0.487
3	15.6	15.9	15.78	0.514
4	21	21.7	21.38	0.552
5	28.1	28.7	28.38	0.564
6	35.4	36	35.76	0.579
7	41.5	42.2	41.7	0.621
8	48.3	50.4	49.66	0.636

Observaciones:

- En todo momento se mantienen en contacto dos de las caras del bloque con la pista
- No hay guías adicionales que modifiquen la superficie del ángulo de aluminio
- El bloque sigue una trayectoria establecida sin sufrir perturbaciones
- La forma del ángulo proporciona rigidez al sistema
- No es necesario efectuar mantenimiento correctivo periódico
- No son necesarias operaciones adicionales de manufactura para su construcción

### Propuesta 3

Tabla IV.4 Resultados de las pruebas efectuadas para la propuesta 3.

Deformación del resorte	Desplazamiento mínimo	Desplazamiento máximo	Desplazamiento promedio	Coef. fricción dinámica
$x$ [cm]	$L_{min}$ [cm]	$L_{max}$ [cm]	$L_{prom}$ [cm]	$\mu_k$ [1]
1	5.7	6.6	5.78	0.354
2	11.2	12.2	10.08	0.424
3	18.9	20.9	15.78	0.408
4	25.7	26.7	21.38	0.448
5	32.2	34	28.38	0.479
6	40.4	49.8	35.76	0.468
7	52	56.5	41.7	0.471

Observaciones:

- La cara inferior del bloque se mantiene en contacto con la pista
- No hay guías adicionales que modifiquen la superficie de la pista
- El hilo de sujeción puede llegar a enredarse en los hilos guía o en los soportes de éstos
- Con el uso los hilos laterales se deforman, provocando alteraciones en su trayectoria
- Revisar periódicamente el tensado de los hilos laterales
- Solo se necesita fabricar soportes para los hilos guía laterales

### C Comparación de las propuestas

Para todas las propuestas también se observó que el resorte debe tener algún tipo de soporte para evitar vibraciones o que éste se caiga cuando no tiene carga. Según los requisitos

definidos en la sección IV.1 y el comportamiento observado, se puede hacer una comparación entre las propuestas para obtener la solución más adecuada.

Tabla IV.5 Comparación de los requisitos de la práctica contra las propuestas.

Requisitos para el desarrollo de la práctica y diseño del prototipo	Propuestas		
	Ranura en la superficie	Ángulo de aluminio	Guías laterales
Contacto entre superficies que deslizan	1	3	3
Imperfecciones en la pista	1	3	3
El bloque mantiene su trayectoria	3	3	2
Robustez	2	3	2
Mantenimiento	1	3	2
Costo	2	2	3
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>17</b>	<b>15</b>

Calificación utilizada en la comparación de las propuestas:

3 = buena

2 = regular

1 = mala

donde: 18 puntuación máxima

Se puede concluir que se utilizará la segunda propuesta (ángulo de aluminio en V) para el sistema de deslizamiento, debido a que es la opción que mejor cumple con las necesidades de la práctica y los requisitos para el diseño del prototipo.

## IV.2 SELECCIÓN DE ACTUADORES Y MECANISMOS

### IV.2.1 CONFIGURACIONES PROPUESTAS PARA LOS MECANISMOS Y ACTUADORES

Una vez establecido el sistema de deslizamiento (ángulo de aluminio en V); para automatizar la práctica, la realización de cada acción debe ser lo más rápida y precisa posible. Es por eso que el resorte estará fijo en su posición establecida y el móvil siempre permanecerá unido al resorte mediante un hilo, tomando esto en cuenta se ha pensado en dos configuraciones base para las posibles combinaciones de los elementos para llegar a una solución satisfactoria. Tales configuraciones se describen a continuación.

**I. Mecanismo único;** Esta opción pretende utilizar el mismo mecanismo, para realizar de forma secuencial las operaciones esenciales de la práctica, como son: deformación del resorte, sujeción y liberación del bloque, medición de la distancia recorrida por el bloque y recuperación del mismo para un nuevo ciclo.

**II. Varios mecanismos:** Esta solución presenta diferentes elementos o mecanismos independientes de modo que pueden ejecutarse las operaciones de forma secuencial o simultáneamente dependiendo esto de la elección de cada elemento para cada sistema.

En la Tabla IV.6 se describen los elementos necesarios, para efectuar las operaciones que se llevan a cabo en el experimento.

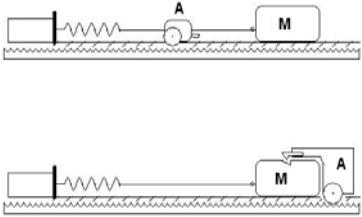
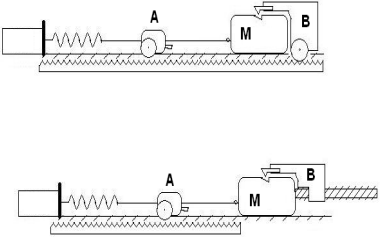
Para tener una idea de la proporción que debiera guardar el prototipo, se hizo un reconocimiento del equipo con que se realiza normalmente esta práctica, encontrándose que el plano en donde desliza el bloque tiene una longitud aproximada de 2 m, con una carrera máxima de 1.5 m; por lo que esta cualidad puede representar ciertos inconvenientes en la construcción y funcionamiento del prototipo.

Tales inconvenientes se centran principalmente en la transmisión de la configuración de mecanismo único, puesto que ésta deberá ser demasiado larga necesitando soportes intermedios y dificultando su manufactura, sí es que se tratase de una cremallera, un husillo o un sistema biela-manivela y su corredera. Otro de los inconvenientes, involucra al motor que deberá llevar la transmisión de la configuración de mecanismo único, puesto que tendrá que ser lo suficientemente rápido como para que ésta pueda realizar las operaciones descritas en



un tiempo aceptable y con la resolución necesaria para brindar la precisión requerida, de manera que incrementaría el costo debido a que los dispositivos que existen comercialmente y que cubren las necesidades de longitud, rapidez y precisión son demasiado caros.

Tabla IV.6 Configuraciones base y elementos necesarios.

Configuración	Elementos necesarios
 <p data-bbox="342 800 532 827">Mecanismo Único</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmisión (A): Se encarga de llevar el móvil a la posición inicial (resorte tenso, pero sin deformar); deformar el resorte y la recuperación del mismo para comenzar un nuevo ciclo.</li> <li>• Motor: Encargado de proporcionar el movimiento a la transmisión.</li> <li>• Sistema de medición: Mide el desplazamiento del móvil.</li> <li>• Detección del móvil: Detecta en que parte de la secuencia de la práctica, se encuentra el móvil y notifica al sistema de control.</li> <li>• Sujeción: Sujeta el móvil para repositonarlo y deformar el resorte.</li> <li>• Control: Coordina todos los anteriores.</li> </ul>
 <p data-bbox="334 1247 548 1274">Varios Mecanismos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmisión de precisión (B): Se encarga de tomar el móvil desde la posición inicial (resorte tenso, pero sin deformar) y desde ahí deformar el resorte.</li> <li>• Transmisión de recarga (A): Se encarga de llevar el móvil a una posición inicial (resorte tenso, pero sin deformar) y recuperarlo para comenzar un nuevo ciclo.</li> <li>• Motores: Encargados de proporcionar el movimiento a las transmisiones, (uno por cada transmisión).</li> <li>• Sistema de medición: Mide el desplazamiento del móvil.</li> <li>• Detección del móvil: Detecta en que parte de la pista se encuentra el móvil y notifica al sistema de control.</li> <li>• Sujeción: Sujeta el bloque para realizar la recuperación del bloque y la deformación del resorte.</li> <li>• <u>Control</u>: Coordina todos los anteriores.</li> </ul>

Los inconvenientes anteriormente planteados ocasionaron que se descartara la configuración de un solo mecanismo, eligiendo así la configuración de varios mecanismos. En este caso se puede construir una transmisión rápida, pero no tan precisa y viceversa, con un bajo costo en ambas transmisiones, así al combinar las acciones y características de cada una se cubren los requisitos de longitud, rapidez, precisión, fabricación y bajo costo.

En las tablas IV.7 a IV.12, se presentan los elementos que se encontraron en el mercado y de alguna manera cubren las necesidades para la configuración base de varios mecanismos. A continuación de cada tabla en las que se hace una breve reseña del elemento, (ventajas y

desventajas), se proporciona una tabla adicional en la que se evalúa a cada opción contra los requerimientos propios de la acción que desempeñarán. En la tabla de evaluación se presentan las calificaciones promedio, después de ser evaluados.

Tabla IV.7a: Características, ventajas y desventajas de los elementos medidores de distancia.



Componente	Características	Ventajas	Desventajas
 <p><b>Sensores ultrasónicos</b></p>	<p>Emite un pulso ultrasónico y usa el primer eco reflejado por el objeto en cuestión para calcular la distancia. Detecta todos los objetos con gran precisión, siempre y cuando se encuentren en su rango de operación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es invasivo.</li> <li>• Permiten establecer un control continuo.</li> <li>• Precisión en distancias de hasta 10 m.</li> <li>• No se afecta por condiciones de operación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo elevado</li> <li>• Podría llegar a confundirse la señal con elementos cercanos al móvil.</li> </ul>
 <p><b>Encoders</b></p>	<p>Elemento electromecánico basado en la cuenta de marcas opacas para determinar posición. La resolución de este tipo de sensores depende directamente del número de marcas que se pueden poner físicamente en el disco o tira de marcas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de medir la posición del bloque en cualquier distancia que se encuentre.</li> <li>• Buena precisión.</li> <li>• Buena resolución.</li> <li>• Relativamente fácil enlazarlo a un sistema controlado por microprocesador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de transmisión alguna para convertir el movimiento lineal en angular.</li> <li>• En el caso del encoder lineal, se tendería a lo largo de la pista, y podría estorbar en la visibilidad., o dificultar ciertas operaciones.</li> <li>• El costo depende de la resolución.</li> </ul>

Tabla IV.7b: Calificación para los elementos medidores de distancia.

Característica / Componente	Menor costo	Mayor precisión	Poco mantenimiento	Vida útil	Montaje sencillo	Fácil de controlar
Sensor ultrasónico						
Encoders						

Calificación del 0 al 5 donde:

- 5 – excelente
- 4 – muy bueno
- 3 – bueno
- 2 – regular
- 1 – malo
- 0 – muy malo

Tabla IV.8a: Características, ventajas y desventajas de los posibles motores

Componente	Características	Ventajas	Desventajas
 <p><b>Motor lineal</b></p>	<p>Se trata de un motor rotatorio “desenrollado”, es decir, se ha cortado por uno de sus radios y se ha estirado hasta dejarlo plano. Su construcción consiste en un elemento primario, donde se encuentran los devanados, y un elemento secundario que se extiende a lo largo de la distancia que se va a recorrer, aportando como ventaja la posibilidad de poder disponer de varios primarios sobre un mismo secundario.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La transmisión de la fuerza se realiza directamente por el campo magnético, sin necesidad alguna de transmisión mecánica.</li> <li>• Valores de velocidad altos, pudiendo llegar hasta 300 <i>m/min</i>.</li> <li>• Los valores típicos de aceleración oscilan alrededor de 1 ó 2 G,</li> <li>• El sistema es más preciso cuando se desplaza a altas velocidades.</li> <li>• Reducción de los niveles de vibración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto Costo.</li> <li>• Disipación de calor que se genera debido a su funcionamiento.</li> <li>• Necesidad de un controlador muy rápido para mantener la estabilidad.</li> <li>• Necesidad de utilizar técnicas de filtrado sofisticadas para evitar resonancias mecánicas.</li> </ul>
 <p><b>Motores a pasos</b></p>	<p>Están constituidos por un rotor sobre el cual se disponen imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras en su estator. La conmutación (o excitación de las bobinas) deben ser manejada por un controlador. Si una o más de sus bobinas quedan energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente alguna por cualquiera de sus bobinas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta precisión en su posicionamiento.</li> <li>• Gran capacidad de torque.</li> <li>• Costo accesible.</li> <li>• Capacidad de mantenerse en una posición por si mismo.</li> <li>• Giro en ambos sentidos.</li> <li>• Control con precisión en el ángulo de giro.</li> <li>• Tiempo de respuesta elevada (menor a 1 <i>ms</i>).</li> <li>• Regreso a una posición preestablecida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su mayor capacidad de torque se produce a baja velocidad.</li> <li>• La resolución y el ángulo de paso, dependen de: número de pares de polos del rotor, número de fases del motor; por lo que a mayor resolución mayor costo</li> <li>• Podría saltarse pasos debido a la inercia, por lo que presenta un inconveniente al intentar contar los pasos.</li> </ul>
 <p><b>Motor de giro continuo</b></p>	<p>Dispositivo con capacidad de rotación continua en ambos sentidos. Se alimenta con corriente directa o alterna, gran variedad de tamaños y capacidades disponibles comercialmente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soportan altas velocidades de giro</li> <li>• Robustos y de larga duración</li> <li>• Disponibilidad en el mercado de varios tamaños y capacidades</li> <li>• Bajo costo</li> <li>• Todos los motores de dc giran en ambos sentidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es posible controlar su ángulo de giro por si solo.</li> <li>• Para controlar su velocidad, se debe hacer modificando su voltaje.</li> </ul>
 <p><b>Servomotor [8]</b></p>	<p>Poseen la capacidad para posicionarse de forma inmediata en cualquier ángulo dentro de su rango de operación, mediante un tren de pulsos que se corresponden con el movimiento a realizar.</p> <p>Disponen de tres conexiones; Vcc, GND y entrada de control</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se puede supervisar el ángulo actual del servo.</li> <li>• Puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar el tren de pulsos correspondiente.</li> <li>• Disponibilidad en el mercado de varios tamaños y capacidades.</li> <li>• Gran precisión en el ángulo de giro.</li> <li>• Control de velocidad según el tren de pulsos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Delicados.</li> <li>• Alto costo.</li> <li>• Para mantener una misma posición, es necesario enviar continuamente el tren de pulsos correspondiente.</li> </ul>

Tabla IV.8b: Calificación para los motores.

Característica / Componente	Menor costo	Mayor precisión	Poco mantenimiento	Vida útil	Montaje sencillo	Fácil de controlar
Motor lineal						
Motores a pasos						
Motor de giro continuo						
Servomotor						

Calificación del 0 al 5 donde:

- 5 – excelente
- 4 – muy bueno
- 3 – bueno
- 2 – regular
- 1 – malo
- 0 – muy malo

Tabla IV.9a: Características, ventajas y desventajas de los elementos de detección.



Componente	Características	Ventajas	Desventajas
 <p><b>Sensores fotoeléctricos</b></p>	<p>Utiliza la luz para detectar la presencia o la ausencia de un objeto. La detección ocurre cuando un objeto bloquea o rompe el haz de luz proyectado por el sensor. Aún cuando factores ambientales pueden afectar los sensores fotoeléctricos, estos dispositivos tienen un largo rango de detección. Los objetos que detectan pueden ser de cualquier material.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversidad de modelos.</li> <li>• Se pueden calibrar para detectar distancias muy pequeñas.</li> <li>• Amplio rango de trabajo.</li> <li>• Tamaño reducido.</li> <li>• Distinguen colores, inclusive escalas de grises.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto alcance (hasta 50 m).</li> <li>• Pueden verse afectados por la superficie.</li> <li>• Pueden verse afectados por la contaminación ambiental.</li> </ul>
 <p><b>Sensores inductivos</b></p>	<p>Los sensores inductivos trabajan generando un campo electromagnético constante, a través del sensor; por lo tanto si un objeto de metal entra en este campo, el sensor cambia de estado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Libre de rebotes y sin errores de impulsos.</li> <li>• Libre de mantenimiento.</li> <li>• Soporta ambientes hostiles.</li> <li>• Sin desgaste y de gran longevidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Únicamente detecta metales ferromagnéticos.</li> <li>• Debe considerarse el metal a detectar.</li> <li>• De manejo delicado.</li> <li>• Precio elevado.</li> </ul>

Tabla IV.9b: Calificación para los elementos de detección.

Característica / Componente	Menor costo	Mayor precisión	Poco Mantenimiento	Vida útil	Montaje sencillo	Fácil de controlar
Sensor Fotoeléctrico						
Sensores Inductivos						

Calificación del 0 al 5 donde:

- 5 – excelente
- 4 – muy bueno
- 3 – bueno
- 2 – regular
- 1 – malo
- 0 – muy malo

Tabla IV.10a: Características, ventajas y desventajas de los dispositivos de control



Componente	Características	Ventajas	Desventajas
 <p><b>Microcontrolador</b></p>	<p>Componente electrónico el cual puede ser programado, para que a través de una etapa de potencia, realice el control de dispositivos o equipo electrónico o electromecánico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control fácilmente variable al basarse en un lenguaje de programación.</li> <li>• Es posible controlar otras funciones auxiliares de la aplicación.</li> <li>• Se puede dedicar parte de la memoria del sistema a guardar datos y programas de utilidad.</li> <li>• Posibilidad de utilizar redes maestro-esclavo.</li> <li>• Precio accesible.</li> <li>• Elevada velocidad de funcionamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensible.</li> <li>• No resiste sobrecargas ni variaciones en el voltaje.</li> </ul>
 <p><b>PLC</b></p>	<p>Equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales. Un PLC conmuta las salidas con base en la información recibida por los captadores y el programa lógico interno.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequeño.</li> <li>• Procesos periódicamente cambiantes.</li> <li>• Buen control en procesos secuenciales.</li> <li>• Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles.</li> <li>• Existen programadores con interfaz a PC, lo que hace más fácil y rápido de reprogramar.</li> <li>• Robusto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de utilizar programador específico para cada marca de PLC.</li> <li>• Costo alto.</li> <li>• Necesidad de utilizar demasiados cables.</li> <li>• Limitación en los procesos internos que puede realizar.</li> </ul>

Tabla IV.10b: Calificación para los dispositivos de control.

Característica / Componente	Menor costo	Precisión en el control	Poco mantenimiento	Vida útil	Montaje sencillo	Programación sencilla
<b>PLC</b>						
<b>Microcontrolador</b>						

Calificación del 0 al 5 donde:

- 5 – excelente
- 4 – muy bueno
- 3 – bueno
- 2 – regular
- 1 – malo
- 0 – muy malo

Tabla IV.11a: Características, ventajas y desventajas de los elementos de sujeción

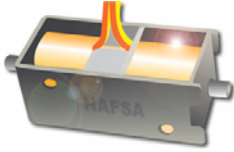
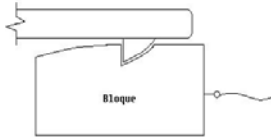

Componente	Características	Ventajas	Desventajas
 <p><b>Electroimán</b></p>	<p>Es un alambre aislado enrollado helicoidalmente a lo largo de un núcleo, por el que circula una corriente eléctrica, generando así un campo magnético.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Varios tamaños y capacidades disponibles.</li> <li>Sujeción firme.</li> <li>Rápido y fácil de adecuar al proyecto.</li> <li>No genera fuerzas adicionales al recorrido de la masa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La sujeción forzosamente deberá ser dentro de la línea de acción del resorte.</li> <li>Adecuación del móvil a sujetar, si es que este no fuera de material ferromagnético.</li> </ul>
 <p><b>Gancho</b></p>	<p>Trampilla a base de un juego de palancas accionado mediante un solenoide, el cual queda enganchado a una muesca. Necesita que el móvil sea empujado hacia el gancho, para que éste pueda hacer la sujeción de la masa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajo costo.</li> <li>Varias configuraciones.</li> <li>Ajustable a las necesidades del proyecto.</li> <li>Sencillez en la sujeción.</li> <li>Disponibilidad en el mercado de varios tamaños y capacidades de solenoides.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si la sujeción se hace por arriba, al momento de liberar al bloque, puede provocar fuerzas adicionales que propicien inestabilidad en el recorrido.</li> <li>Se tiene juego en la sujeción del bloque.</li> <li>Manufacturación de piezas especiales según los requerimientos del mecanismo.</li> </ul>
 <p><b>Pinza</b></p>	<p>Elemento utilizado para la sujeción de trenes de juguete, se acciona al contacto con el elemento a sujetar y se libera mediante un contrapeso. La sujeción se hace mediante el contacto de dos de estos elementos, en forma encontrada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No necesita cables para efectuar la sujeción.</li> <li>Pequeño.</li> <li>Fácil adaptación.</li> <li>Manejo sencillo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Necesita aplicarse fuerza en ambos elementos para asegurar la sujeción.</li> <li>Necesidad de un elemento extra para la liberación del bloque.</li> <li>No soporta gran carga.</li> <li>Se tiene juego en la sujeción del bloque.</li> <li>Difícil de conseguir.</li> </ul>



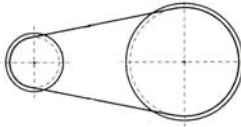
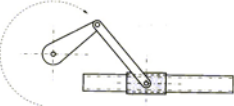
Tabla IV.11b: Calificación para los elementos de sujeción.

Característica / Componente	Bajo Costo	Sujeción firme	Poco Mantenimiento	Vida Útil	Fácil de Manufacturar	Montaje Sencillo	Ligero	Fácil de controlar
Electroimán								
Gancho								
Enganche								

Calificación del 0 al 5 donde:

- 5 – excelente
- 4 – muy bueno
- 3 – bueno
- 2 – regular
- 1 – malo
- 0 – muy malo

Tabla IV.12a: Características, ventajas y desventajas de las transmisiones

Componente	Características	Ventajas	Desventajas
 <p><b>Piñón – Cremallera</b></p>	<p>Convierten movimiento y potencia angulares en lineales. Existen dos configuraciones básicas:</p> <p>Piñón fijo: El piñón se encuentra fijo y acoplado al motor, mientras que la cremallera se desplaza con el carro sobre guías lineales.</p> <p>Cremallera fija: el piñón se acopla al motor que se encuentra fijo en el carro que se desplaza a lo largo de la cremallera, sobre unas guías.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robustez en el mecanismo.</li> <li>• Gran durabilidad.</li> <li>• Precisión lineal, dependiendo del control y el motor que se utilicen.</li> <li>• Rapidez, dependiendo del control y el motor que se utilicen.</li> <li>• Se pueden utilizar varios materiales, como metal o plástico.</li> <li>• Posibilidad de manufacturar por partes la cremallera.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor tiempo de maquinado.</li> <li>• El carro debe ser mas robusto para albergar al motor, los cables del motor estorbarían (cremallera fija)</li> <li>• El largo de la corredera deberá ser mucho mayor, debido a la carrera de la cremallera (piñón fijo).</li> <li>• Alto costo</li> <li>• Fabricación especial</li> </ul>
 <p><b>Husillo – Tuerca</b></p>	<p>Transmisión de potencia y movimiento angular a una de tipo lineal, silencioso, de gran exactitud en la posición.</p> <p>Se pueden utilizar husillos embalados, o de varias entradas, para reducir la fricción y obtener desplazamientos mayores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robustez en el mecanismo.</li> <li>• Buena durabilidad.</li> <li>• Posibilidad de seleccionar medida o pasos especiales.</li> <li>• Costo accesible.</li> <li>• Precisión en el posicionamiento lineal.</li> <li>• Puede mantener la posición, sin necesidad de enclavar los motores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En altas temperaturas puede llegar a apretarse la tuerca con el husillo.</li> <li>• Puede presentar dificultad en su manufactura, debido a la longitud.</li> <li>• Lubricación constante.</li> <li>• Fabricación especial.</li> </ul>
 <p><b>Banda – Polea (o Cadena - Catarina)</b></p>	<p>Transmisión flexible, existen diferentes tipos, se pueden sustituir por bandas, cables de acero ó cadenas</p> <p>Capacidad de absorber vibraciones, choques, adecuadas para grandes distancias entre centros.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapidez de ensamble.</li> <li>• Económica.</li> <li>• Fácil mantenimiento.</li> <li>• Precisión lineal, dependiendo del control y el motor que se utilicen.</li> <li>• Silencioso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La cadena tiende a colgarse en claros largos.</li> <li>• Si se utiliza banda, tiende a estirarse si se deja montada y sin funcionar mucho tiempo.</li> </ul>
 <p><b>Biela – Manivela</b></p>	<p>Permite convertir el movimiento giratorio continuo de un eje en uno lineal alternativo en el pie de la biela.</p> <p>La trayectoria seguida por la corredera es lineal alternativa, pero la orientación del cuerpo de la biela cambia en todo momento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporciona un movimiento alternativo.</li> <li>• Movimiento rápido.</li> <li>• Se puede hacer ajustable dentro de los límites de su carrera.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carrera limitada.</li> <li>• Necesidad de una manivela de mayor tamaño, en caso de requerir mayor carrera.</li> <li>• Difícil de precisar en una posición determinada.</li> <li>• No aplica para posicionar con precisión elementos a una posición lineal determinada.</li> </ul>

Para los mecanismos de conversión de movimiento rotacional a lineal (transmisiones), se incluyen dos tablas de calificación, ya que como se comentó anteriormente en la configuración para varios mecanismos, se utilizan dos transmisiones con características distintas.

Tabla IV.12b: Calificación para los elementos de transmisión.  
(mecanismo de precisión)

Característica Componente	Bajo costo	Precisión en el posicionamiento	Poco mantenimiento	Vida útil	Fácil de manufactura	Montaje sencillo	Velocidad
Piñón-Cremallera							
Husillo-Tuerca							
Banda Polea							
Biela Manivela							

Calificación del 0 al 5 donde:

- 5 – excelente
- 4 – muy bueno
- 3 – bueno
- 2 – regular
- 1 – malo
- 0 – muy malo

Tabla IV.12c: Calificación para los elementos de transmisión.  
(mecanismo de recuperación del móvil)

Característica Componente	Bajo costo	Precisión en el posicionamiento	Poco mantenimiento	Vida útil	Fácil de manufactura	Velocidad
Piñón-Cremallera						
Husillo-Tuerca						
Banda Polea						
Biela Manivela						

Calificación del 0 al 5 donde:

- 5 – excelente
- 4 – muy bueno
- 3 – bueno
- 2 – regular
- 1 – malo
- 0 – muy malo



#### IV.2.2 CONFIGURACIÓN ELEGIDA PARA LOS MECANISMOS Y ACTUADORES

Para obtener a opción más adecuada de cada sistema, se invitó a un grupo de cinco personas con experiencia en el área, donde a cada uno se le entregó un juego de tablas para poder calificar cada uno de los elementos. Dichas calificaciones, al ser promediadas dieron a conocer cuál sería la configuración más viable para así poder comenzar con el diseño a detalle.

El modo de calificar cada elemento fue el siguiente: para cada tabla de calificaciones, los requerimientos representan un porcentaje de la calificación final de cada elemento, por lo que primero se ponderó cada calificación obtenida del elemento contra cada requerimiento, para posteriormente hacer la suma de todas las calificaciones ponderadas de los requerimientos propios de cada elemento y obtener una calificación final que el experto ha otorgado al elemento, una vez teniendo todas las calificaciones finales que cada experto otorga para ese mismo elemento se promediaron; este proceso se repitió para todos los elementos de una, misma categoría y al obtener los promedios de todos los elementos de una misma categoría, se eligió el mayor como la opción ganadora de esa categoría; de esa misma manera se procedió para cada categoría. A continuación se presentan las calificaciones promedio de la encuesta realizada, para obtener la configuración de los elementos que conforman la configuración base.

De acuerdo con la Tabla IV.13, se observa que los elementos resaltados, fueron los seleccionados mediante las matrices de decisión, quedando como se puede ver en la Tabla IV.14, la configuración de los elementos que integrarán el prototipo.

Tabla IV.13 Calificaciones obtenidas para cada sistema que conformarán el prototipo.

Transmisión (mecanismo de precisión)	Calificación	Transmisión (mecanismo de recuperación)	Calificación	Motores	Calificación
Piñón-Cremallera	2.92	Piñón-Cremallera	2.75	Lineal	2.39
<b>Husillo-Tuerca</b>	<b>3.31</b>	<b>Husillo-Tuerca</b>	<b>3.04</b>	<b>A pasos</b>	<b>3.47</b>
Banda Polea	3.07	Banda Polea	2.88	Giro Continuo	2.41
Biela Manivela	3.06	Biela Manivela	2.81	Servomotor	2.77

Medición	Calificación	Detección	Calificación
<b>Sensor Ultrasónico</b>	<b>3.66</b>	<b>Sensor Fotoeléctrico</b>	<b>2.84</b>
Encoder	3.12	Sensor Inductivo	2.8

Control	Calificación	Sujeción	Calificación
PLC	3.15	<b>Electroimán</b>	<b>3.56</b>
<b>Microcontrolador</b>	<b>3.48</b>	Gancho	2.95
		Enganche	3.38

Calificación del 0 al 5  
donde:

5 – excelente  
4 – muy bueno  
3 – bueno  
2 – regular  
1 – malo  
0 – muy malo

Tabla IV.14 Elementos elegidos mediante las matrices de decisión

ACCIÓN	ELEMENTO
Deformación del resorte	Husillo – Tuerca accionado por motor a pasos
Sujeción y liberación del móvil	Electroimán
Reposicionamiento del móvil	Husillo – Tuerca accionado por motor a pasos
Medición de la distancia deslizada	Sensor ultrasónico
Detección del móvil	Sensor fotoeléctrico
Sistema de control	Microcontrolador

## V DESARROLLO DEL PROTOTIPO

### V.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Para dimensionar piezas y definir que elementos, materiales o equipo será necesario para el diseño y construcción del mismo, se hizo una revisión de los materiales y/o dispositivos disponibles para el proyecto, para así darle continuidad al trabajo que se ha estado realizando (sensor de fuerza, el cuál se basa en galgas extensométricas), y utilizar en la medida de lo posible los materiales ya existentes, encontrando lo siguiente:

- Placa de aluminio de  $\frac{3}{4}$ " de espesor
- Placa de nylamid de  $\frac{3}{4}$ " de espesor
- Tornillería de  $\frac{1}{8}$ "
- Motor a pasos con  $1.8^\circ$  por paso con volante de inercia
- Sensor de fuerza
- Sensor ultrasónico (perteneciente al laboratorio de mecánica)
- Resorte (el mismo que se utiliza normalmente en la realización de la práctica)

Para la transmisión de recarga, se optó por tomar aquella con la calificación inferior inmediata (transmisión por banda y polea) resultante de la encuesta hecha en el capítulo anterior. Esto se debió a la dificultad de su manufactura y el costo elevado en la compra de un mecanismo existente comercialmente.

Al observar las características del motor a pasos con el que se cuenta se decidió utilizar otro con el mismo número de pasos por revolución, pero sin volante de inercia para proporcionar el movimiento en la transmisión de precisión.

## V.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Una vez que se ha definido la configuración final se procedió al diseño a detalle y construcción de las partes principales que integran el diseño mecánico del prototipo como son:

- Bastidor
- Sistema de deslizamiento
- Soporte para el sensor de fuerza y guía para el resorte
- Transmisión de recarga
- Transmisión de precisión y sujeción del móvil
- Soportes para sensores

A continuación se describen cada una de las partes. Se incluyen los planos correspondientes para cada uno de sus componentes, en el Apéndice B.

### V.2.1 BASTIDOR

Se divide en dos partes: bastidor principal y extensión del bastidor. Es la base para fijar todos los elementos del prototipo y está construido con ángulo de fierro comercial de 1" x 1" con espesor de  $\frac{1}{8}$ ", con placas intermedias de lámina negra calibre 10; para unir todos los tramos que conforman a cada bastidor se utilizó el proceso de soldadura por arco.

**Bastidor principal:** soporta al sistema de deslizamiento, la transmisión de recarga, soporte para el sensor de fuerza y resorte, así como los soportes adicionales para la transmisión de recarga y la medición de distancia recorrida por el móvil. Tiene cinco tramos intermedios de lámina, los cuales sirven de base para los soportes del sistema de deslizamiento y el soporte del sensor de fuerza, además de darle mayor rigidez a toda la estructura.

**Extensión del bastidor:** contiene únicamente al mecanismo de precisión y sujeción del móvil. El modo de construcción fue el mismo que se siguió para el bastidor principal. Los dos bastidores se unen mediante tornillos de  $\frac{1}{4}$ ", situados en las caras laterales de la periferia de la estructura.

## V.2.2 SISTEMA DE DESLIZAMIENTO

Su diseño final se modificó ligeramente de la idea que se tenía planteada en la propuesta 2<sup>§</sup>, debido a que el utilizar un ángulo en V, supondría hacer la manipulación del móvil por arriba y por consiguiente podría llegar a interferir en la medición de la distancia recorrida, ya que el sensor ultrasónico detecta cualquier objeto que se interponga en su campo de acción, además de limitar posibles ángulos de visión.

Las modificaciones hechas a la idea original de la pista, se muestran en la Fig.V.1.

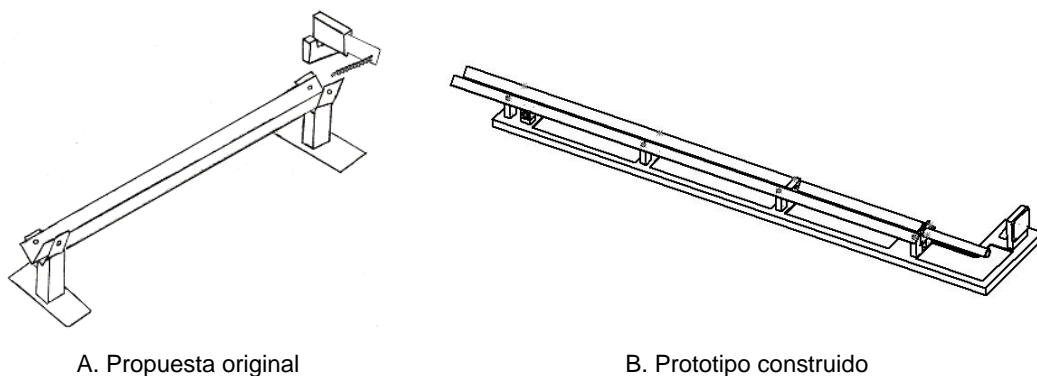


Fig.V.1 Comparación entre pistas.

La pista construida está compuesta de dos ángulos de aluminio dispuestos en forma de M con una separación intermedia de  $2\frac{1}{8}$ " entre crestas y manteniendo el ángulo de  $90^\circ$  entre las caras de la pista donde desliza el móvil, con una longitud de  $1.6\text{ m}$  ( $63$ "). La diferencia de la propuesta original y esta nueva disposición consiste en una ranura entre las dos caras de la pista que es por donde sobresale un empujador, movido por la transmisión de recarga, situada por debajo de la pista, con el objeto de llevar al móvil a la posición inicial. Dejando así la parte superior de la pista libre de elementos que pudieran estorbar en el campo de acción del sensor ultrasónico, además de contar con una visión completa de lo sucedido en el experimento. Las caras de la pista están recubiertas con tiras de formica usadas para cubrir cantos de muebles de madera, esto con el objeto de modificar el coeficiente de fricción existente entre el aluminio y el móvil, el cual es demasiado grande. Para el montaje se debe tener la mayor exactitud posible en el trazado de los barrenos de fijación, para evitar torceduras en la pista.

<sup>§</sup> Véase sección IV.1.1

Para fijar la pista al bastidor, se utilizaron ocho soportes de aluminio, equiespaciados hasta una distancia de  $1.45\text{ m}$  ( $57''$ ), dejando un tramo en voladizo de la pista de  $15\text{ cm}$  ( $7\frac{1}{2}''$ ), el cual sirve para situar al motor de la transmisión de precisión.

El móvil se conforma de una caja que se ajusta a la geometría de la pista; tal caja está hecha de láminas de acrílico con una armella en la cara que apunta hacia el resorte y una rondana de metal en la cara opuesta, que es donde se sujetará con el electroimán para deformar el resorte. Ambos elementos (armella y rondana) están situados a la misma altura que se encuentra el resorte, de manera que las fuerzas ejercidas sean colineales para evitar que se modifique la trayectoria del móvil. Este elemento también sufrió un cambio de la idea original (bloque de madera), la cual se debió al material del que finalmente se hizo (láminas de acrílico de  $3\text{ mm}$  de espesor). La unión entre el resorte y el móvil se hace mediante hilo nylon.

### V.2.3 SOPORTE PARA EL SENSOR DE FUERZA Y GUÍA PARA EL RESORTE

El sensor de fuerza consta de una lámina de acero inoxidable calibre 16 de  $2'' \times 8\frac{1}{4}''$ , en la cual se han adherido un juego de galgas extensiométricas, y un orificio en uno de sus extremos que es donde se sujeta el resorte. Al estirar el resorte, las galgas miden la deformación sufrida por la placa y generan un voltaje el cual se puede traducir en la fuerza aplicada, por este motivo se sujeta el sensor solamente en uno de sus extremos.

Este soporte se sitúa en el extremo opuesto de la pista donde se encuentra la transmisión de precisión, y consta de una placa de aluminio con una ranura, en la que ajusta el sensor de fuerza y se asegura con una tapa (placa de aluminio de  $\frac{1}{4}''$ ). Para fijarse al bastidor se hace mediante tres tornillos, dos de ellos se fijan en la placa gruesa que contiene al sensor y el tercero se fija en un poste que se encuentra en el lado opuesto de la tapa, el cuál proporciona rigidez y estabilidad a todo el soporte. La ranura que contiene al sensor de fuerza debe tener un ajuste de apriete de  $0.001''$  a  $0.002''$  tanto a lo ancho, como transversalmente.

El sensor de fuerza sirve como soporte para el resorte, sin embargo, éste al estar en reposo tiende a caerse y para evitar vibraciones que pueda generar al estar suelto e impedir que llegue a enredarse con el hilo, se utilizó un tubo de acrílico de  $19\text{ mm}$  de diámetro interior con pared de  $3\text{ mm}$ , con lo que se pueden utilizar diferentes tamaños de resortes. El tubo de

acrílico ajusta en una placa de aluminio, la cual se fija a los primeros soportes de la pista (se considera que la pista comienza desde la parte mas cercana al resorte), Para hacer el ajuste del tubo con la placa, se practicó un barreno de 0.934" en la placa y posteriormente en el torno se cilindró una punta del tubo de acrílico con un ajuste de apriete como se indica en su plano correspondiente.

#### V.2.4 TRANSMISIÓN DE RECARGA

Ajustándose a los cambios realizados, la transmisión de banda y polea resulta más sencilla de diseñar y manufacturar. En un principio se pensó en utilizar el motor a pasos con volante de inercia, esto con el objeto de tener un mejor control y mayor precisión en el movimiento del empujador; sin embargo debido a que no desarrolla grandes velocidades, se optó por reemplazarlo por un motor de giro continuo alimentado con dc, y limitar la carrera del empujador con sensores fotoeléctricos.

Tal como ya se mencionó el empujador se desliza sobre la pista por lo que no hubo necesidad de fabricar guías adicionales para desplazar al empujador. De modo que sólo se maquinó un empujador, la chumacera en donde gira una polea loca soportes para el motor de giro continuo y una polea de diámetro mayor para éste.

Esta transmisión trabaja por debajo de la pista, dejando sobresalir únicamente la parte superior del empujador de nylamid que posiciona al móvil. El motor se sitúa al principio de la pista, junto al primer soporte de la pista, de modo que la polea auxiliar se encuentra junto al último soporte de la pista, teniendo una separación de 1.31 m entre centros de las poleas, con una carrera para el empujador de 1.06 m debido a los sensores de final de carrera.

La chumacera consta de un bloque de aluminio, en el cual se maquinaron dos cajas concéntricas, para el asiento de los rodamientos en donde ajusta el eje de la polea; se utilizaron rodamientos NSK con número de catálogo 608Z. Al motor se le fabricó una polea plana con diámetro de  $\frac{5}{16}$ " (el mismo que la polea del motor) para la chumacera. Utiliza banda policort de 3 mm, la cual se ajusta recortando el excedente y aplicándole calor para unirla, ésta tiene una longitud aproximada de 2.9 m.

### V.2.5 TRANSMISIÓN DE PRECISIÓN Y SUJECIÓN DEL MÓVIL

Consta de un husillo, el cual es movido mediante un motor a pasos de una resolución de  $1.8^\circ$  por paso, semejante al que ya se tenía. Para transmitir el movimiento del motor a pasos al husillo se hace mediante una banda dentada.

El husillo puede proporcionar una carrera de  $27.9\text{ cm}$  ( $11''$ ), para el desplazamiento lineal del carro que hace la sujeción del móvil. Está fabricado en acero 1018 y posee un diámetro de  $\frac{1}{2}''$  y con un paso de 10 hilos por pulgada, rosca cuadrada, y la tuerca se fabricó en bronce SAE 62. Para este elemento se escogió un paso no comercial, con el cual se tiene una helicoidal más abierta y proporciona mayor avance. Sin embargo, aunque se tiene dicho paso en el husillo y la relación de la polea del motor con el husillo es de 2:1, se debe recordar que la velocidad final del desplazamiento del carro, está dada por la velocidad de rotación del motor.

Los soportes del husillo están hechos de aluminio y cuentan con rodamientos los cuales permiten el giro del husillo sin fricción; se utilizaron rodamientos NSK 608Z; la carretilla que gira sobre los ejes guía utiliza un rodamiento milimétrico común con número 606ZZC3.

La sujeción del móvil se hace por medio de un electroimán de forma cilíndrica, sus dimensiones son:  $1\frac{1}{16}''$  de diámetro, con una longitud de  $2\frac{1}{4}''$ , donde sobresale  $\frac{1}{8}''$  el núcleo con diámetro de  $\frac{1}{2}''$  el cual requiere de 12 a 24 V de corriente directa para su funcionamiento; dependiendo del voltaje aplicado será la fuerza con que puede atraer al móvil. Está acoplado a un carro que contiene la tuerca de bronce, y se desplaza sobre el husillo de la transmisión de precisión, auxiliado de una carretilla y dos barras de acero con diámetro de  $\frac{3}{8}''$ , las cuales sirven de guía. En la Fig.V.2 se puede apreciar un croquis esta parte del prototipo.

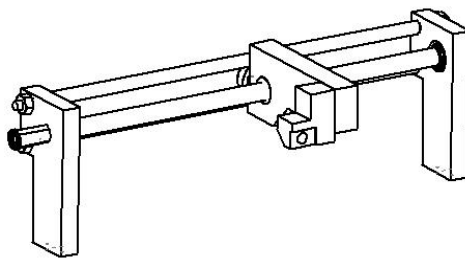


Fig.V.2 Transmisión de precisión y sujeción del móvil..



### V.2.6 SOPORTES PARA SENSORES

Para detectar cuando el empujador ha llegado a los finales de carrera establecidos, se utilizan sensores fotoeléctricos; estos son colocados sobre soportes que permiten fijar con cierta holgura a los sensores, mediante correderas en su base y en el asiento del sensor, están hechos de lámina negra calibre 20.

Para el soporte del sonar (sensor ultrasónico) se utilizó ángulo de fierro comercial de 1" x 1" con espesor de  $\frac{1}{8}$ ". Este se fija por medio de un tornillo en uno de los extremos del bastidor, de modo que el sonar queda por encima del resorte y el sensor de fuerza y contiene una ranura en el asiento del sonar, para poder ajustar su altura.

### V.3 PROTOTIPO TERMINADO

Las características que tiene el prototipo ya terminado en su parte mecánica son las siguientes:

- Longitud total: 1.92 *m*
- Ancho total: 0.315 *m*
- Longitud tota de la pista: 1.6 *m*
- Carrera del empujador: 1.06 *m*
- Deformación máxima del resorte: 0.279 *m*
- Avance del carro: 2.54 *mm* por vuelta del husillo

Una vez hechas las modificaciones señaladas y ajustes propios de los mecanismos, queda únicamente la instrumentación y control del prototipo, el cual se encuentra a cargo de otro grupo de trabajo. A continuación en las Fig.V.3 a la Fig.V.7 se pueden observar algunas imágenes del prototipo construido.

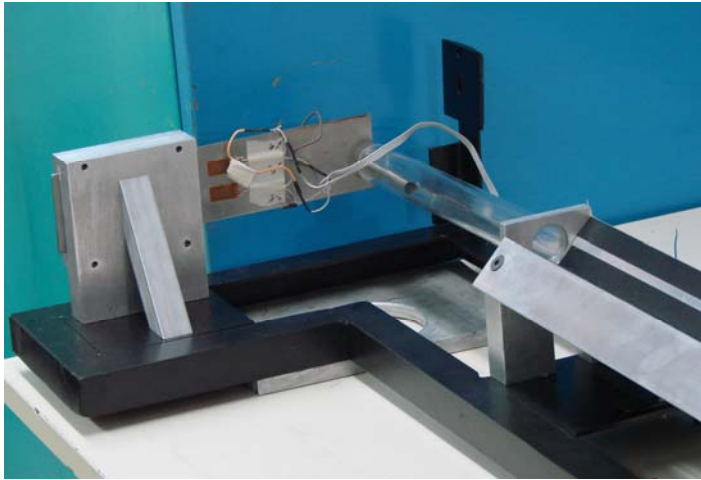


Fig.V.3 Soporte para el sensor de fuerza y guía para el resorte.

En la imagen se muestra el principio de la pista y el empujador utilizado para llevar al bloque a la posición inicial. Por debajo de la pista se encuentra el motor del mecanismo que mueve al empujador



Fig.V.4 Empujador.

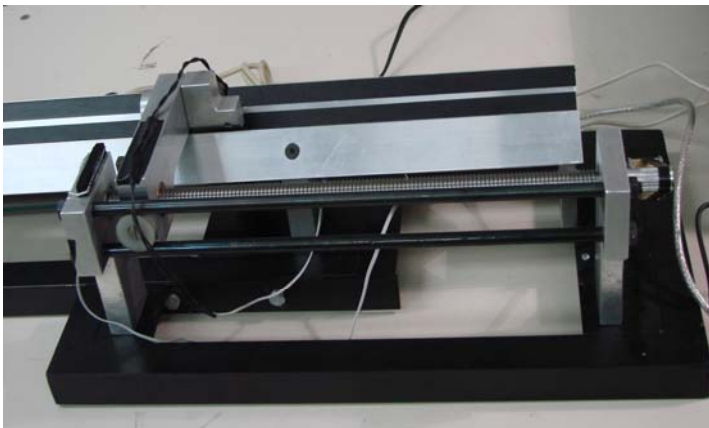


Fig.V.5 Mecanismo de precisión (superior).

A la izquierda, se muestra el mecanismo de precisión, el cual desplaza el carro que sostiene al electroimán el cual sujeta al móvil para deformar el resorte.

En la imagen se muestra el mecanismo movido por un motor a pasos utilizado para deformar el resorte y posicionar el móvil a la distancia requerida por el usuario.

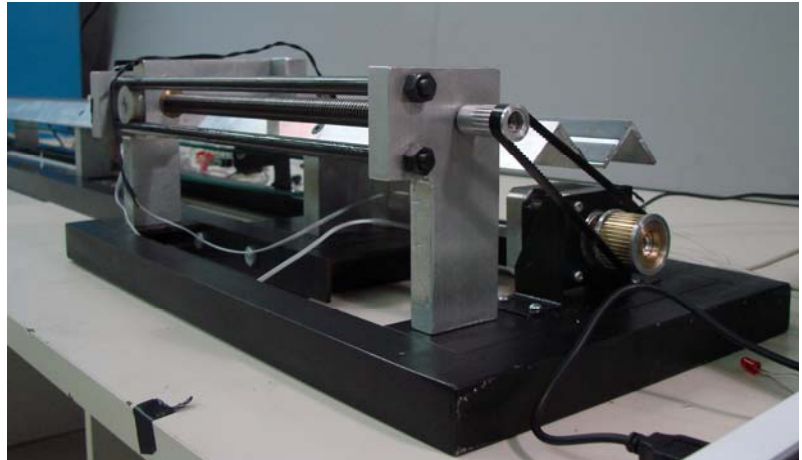


Fig.V.6 Mecanismo de precisión (perfil).



Fig.V.7 Prototipo armado y en fase de automatización y pruebas.

## VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se diseñó y construyó la estructura, sistema de deslizamiento, soportes y mecanismos que conforman el prototipo, para la realización de la práctica de Trabajo y Energía del laboratorio de Cinemática y Dinámica, de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

En el diseño y selección de elementos y dispositivos, se colaboró con quienes realizan la parte referente al control, electrónica e interfaz, para poder definir que tipo de sensores y elementos pudieran ser necesarios y/o afectar en la construcción del prototipo.

Para el diseño y construcción de este prototipo, se utilizaron los materiales y equipo existentes dentro del proyecto EN106204, mencionados anteriormente. Complementando con el material que fué necesario, como ángulo de fierro comercial, el ángulo de aluminio para la pista y los mecanismos construidos.

En esta nueva forma de realizar la práctica, se observa que el deslizamiento del móvil es aceptable al utilizar en la superficie de la pista formica, y no aluminio como se pensó en un principio, ya que por la naturaleza del aluminio el coeficiente de fricción es demasiado alto, ocasionando que el móvil se detuviera a una distancia muy corta, impidiendo tomar una lectura significativa. Para el óptimo mantenimiento de la pista, se aconseja limpiarla con un paño húmedo para remover el polvo que pueda llegar a acumularse y como este recubrimiento es un poco frágil hay que evitar que caigan objetos puntiagudos sobre la pista para que la formica no se estrellé, en caso de que esto sucediera se deberán cambiar completamente las tiras afectadas.

Se comprobó un comportamiento aceptable en el desplazamiento del bloque puesto que para una deformación máxima de  $27.9\text{ cm}$  (11"), recorre una distancia promedio de  $1.2\text{ m}$ , y en ocasiones llega al tope de su carrera. Este comportamiento se puede modificar al cambiar el

resorte por uno que tenga una constante diferente y/o modificando la masa del móvil, lo cual es sencillo de hacer, puesto que el que se usó es hueco.

Se decidió usar hilo nylon como unión entre el móvil y el resorte, debido a su resistencia y ligereza, ya que éste a diferencia de otras cuerdas probadas, la mayoría de las veces queda por encima de la pista y no cae por la ranura, lo cual es una ventaja ya que por debajo se encuentran los sensores, motor polea y banda que conforman el mecanismo de recarga y por consiguiente se enredaría más fácilmente con estos elementos trabando el desarrollo de la práctica.

Una opción que se ha pensado para eliminar el problema de que se enrede el hilo, y que pudiese ser desarrollada para futuras mejoras del prototipo sería cambiar el resorte utilizado por uno de torsión unido a un carrete, el cual enredaría solamente la parte del hilo que quede libre cuando ha deslizado el móvil, de modo que no modifique su posición final. Este sistema no se desarrolló, puesto que para medir la fuerza del resorte se necesitaría un sensor distinto, el cual midiese la torsión del resorte, y como ya se dijo se contaba con un sensor de galgas extensométricas lo cual supondría retraso y mayor costo en la puesta en marcha de estas prácticas.

El desempeño de la transmisión de recarga no presentó problemas o inconvenientes al hacer pruebas de su control, tan sólo se recomienda que la banda siempre esté a la tensión adecuada para un óptimo funcionamiento.

Se observó que la transmisión de precisión funciona correctamente, y hasta el momento con la máxima velocidad obtenida del motor a pasos, el carro con solenoide alcanza una velocidad lineal de  $422 \text{ mm/min}$ , por lo que para recorrer de un extremo al otro a lo largo del husillo tarda 41 s aproximadamente, aunque en la práctica para el móvil y el resorte con que se cuentan, no se llevaría hasta la deformación máxima del resorte que puede proporcionar este mecanismo, puesto que al deslizar el bloque ya llega a impactarse con el empujador. Si se tuviese necesidad de modificar la velocidad de desplazamiento del carro, existen varias opciones como son: cambiar el motor a pasos por uno que pueda hacer la conmutación de pasos más rápido o con menor resolución entre pasos, cambiar la relación de las poleas que conectan al motor con el husillo, o modificar el paso del husillo y la tuerca, pudiendo ser éstos de varias entradas, según sean las necesidades.

# A P É N D I C E

## A COEFICIENTES DE FRICCIÓN

Tabla A. 1 Coeficientes de fricción en seco estática y cinética para diferentes materiales\*.

Material 1	Material 2	Static Friction $\mu_s [1]$	Kinetic Friction $\mu_k [1]$
Aluminum	Aluminum	1,05-1,35	1,4
Aluminum	Mild Steel	0,61	0,47
Brake Material	Cast Iron	0,4	
Brake Material	Cast Iron (Wet)	0,2	
Brass	Cast Iron		0,3
Brick	Wood	0,6	
Bronze	Cast Iron		0,22
Cadmium	Cadmium	0,5	
Cadmium	Mild Steel		0,46
Cast Iron	Cast Iron	1,1	0,15
Cast Iron	Oak		0,49
Chromium	Chromium	0,41	
Copper	Cast Iron	1,05	0,29
Copper	Copper	1,0	
Copper	Mild Steel	0,53	0,36
Copper	Steel		0,8
Copper	Steel (304 stainless)	0,23	0,21
Copper-Lead Alloy	Steel	0,22	
Diamond	Diamond	0,1	
Diamond	Metal	0,1 - 0,15	
Glass	Glass	0,9 - 1,0	0,4
Glass	Metal	0,5 - 0,7	
Glass	Níkel	0,78	0,56
Graphite	Graphite	0,1	
Graphite	Steel	0,1	
Graphite (In vacuum)	Graphite (In vacuum)	0,5 - 0,8	
Hard Carbon	Hard Carbon	0,16	
Hard Carbon	Steel	0,14	
Iron	Iron	1,0	
Lead	Cast Iron		0,43
Lead	Steel		1,4
Leather	Wood	0,3 - 0,4	
Leather	Metal(Clean)	0,6	
Leather	Metal(Wet)	0,4	
Leather	Oak (Parallel grain)	0,61	0,52
Magnesium	Magnesium	0,6	
Nickel	Nickel	0,7-1,1	0,53
Nickel	Mild Steel		0,64;
Nylon	Nylon	0,15 - 0,25	
Oak	Oak (parallel grain)	0,62	0,48
Oak	Oak (cross grain)	0,54	0,32
Platinum	Platinum	1,2	
Plexiglas	Plexiglas	0,8	
Plexiglas	Steel	0,4 - 0,5	

\* Tomado de : Roymech, "Friction Factors",

[http://www.roymech.co.uk/Useful\\_Tables/Tribology/co\\_of\\_frict.htm](http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm)

Tabla A. 1 Coeficientes de fricción en seco estática y cinética para diferentes materiales.

Continuación ...

Material 1	Material 2	Static Friction $\mu_s$ [1]	Kinetic Friction $\mu_k$ [1]
Polystyrene	Polystyrene	0,5	
Polystyrene	Steel	0,3-0,35	
Polythene	Steel	0,2	
Rubber	Asphalt (Dry)		0,5-0,8
Rubber	Asphalt (Wet)		0,25-0,0,75
Rubber	Concrete (Dry)		0,6-0,85
Rubber	Concrete (Wet)		0,45-0,75
Saphire	Saphire	0,2	
Silver	Silver	1,4	
Solids	Rubber	1,0 - 4,0	
Steel	Aluminium Bros	0,45	
Steel	Brass	0,35	
Steel(Mild)	Brass	0,51	0,44
Steel (Mild)	Cast Iron		0,23
Steel	Cast Iron	0,4	
Steel	Copper Lead Alloy	0,22	
Steel (Hard)	Graphite	0,21	
Steel	Graphite	0,1	
Steel (Mild)	Lead	0,95	0,95
Steel (Mild)	Phos. Bros		0,34
Steel	Phos Bros	0,35	
Steel(Hard)	Polythened	0,2	
Steel(Hard)	Polystyrene	0,3-0,35	
Steel (Mild)	Steel (Mild)	0,74	0,57
Steel (Mild)	Steel (Mild)	-	0,62
Steel(Hard)	Steel (Hard)	0,78	0,42
Steel	Zinc (Plated on steel)	0,5	0,45
Teflon	Steel	0,04	
Teflon	Teflon	0,04	
Tin	Cast Iron		,32
Titanium Alloy Ti-6Al-4V(Grade 5)	Aluminium Alloy 6061-T6	0,41	0,38
Titanium Alloy Ti-6Al-4V(Grade 5)	Titanium Alloy Ti-6Al-4V(Grade 5)	0,36	0,30
Titanium Alloy Ti-6Al-4V(Grade 5)	Bronze	0,36	0,27
Tungsten Carbide	Tungsten Carbide	0,2-0,25	
Tungsten Carbide	Steel	0,4 - 0,6	
Tungsten Carbide	Copper	0,35	
Tungsten Carbide	Iron	0,8	
Wood	Wood(clean)	0,25 - 0,5	
Wood	Wood (Wet)	0,2	
Wood	Metals(Clean)	0,2-0,6	
Wood	Metals (Wet)	0,2	
Wood	Brick	0,6	
Wood	Concrete	0,62	
Zinc	Zinc	0,6	
Zinc	Cast Iron	0,85	0,21



## B LISTA DE PARTES COMPRADAS

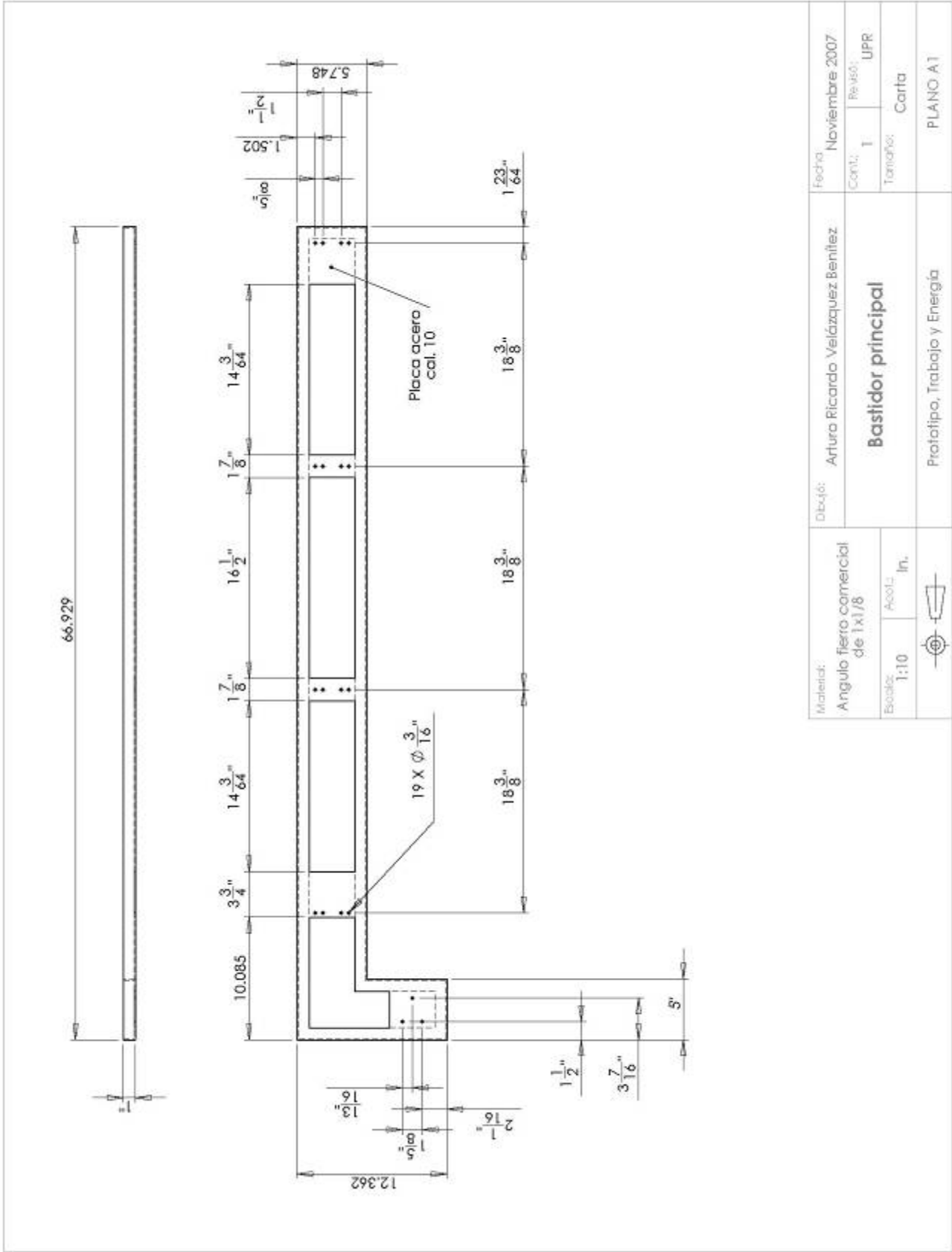
PARTE	CANTIDAD
Motor a pasos de 1.8° por paso	1
Electroimán de 12 6 24 V (1 1/16" de diámetro, y 2 1/4" de longitud)	1
Banda polycort de 3 mm de diámetro de sección	3 m aprox.
Banda dentada standard de 1/4" x 10"	1
Formica (cubrecanto) de 13 ó 16 mm	20 m
Rodamiento milimétrico 606ZZC3	1
Rodamiento NSK 608Z	4
Tornillo allen 3/16" x 1" UNC	6
Tornillo allen cabeza plana 3/16" x 1/2" UNC	9
Tornillo cabeza de gota 3/16" x 5/8" UNC	25
Tornillo cabeza de gota 1/8" x 2" UNC	2
Tornillo cabeza de gota 1/8" x 3/8" UNC	10
Tornillo cabeza hexagonal 1/4" x 5/8" UNC	3
Tornillo cabeza hexagonal 3/8" x 1/4" UNC	5
Tuerca hexagonal 3/8" UNC	4
Opresor N°3	2

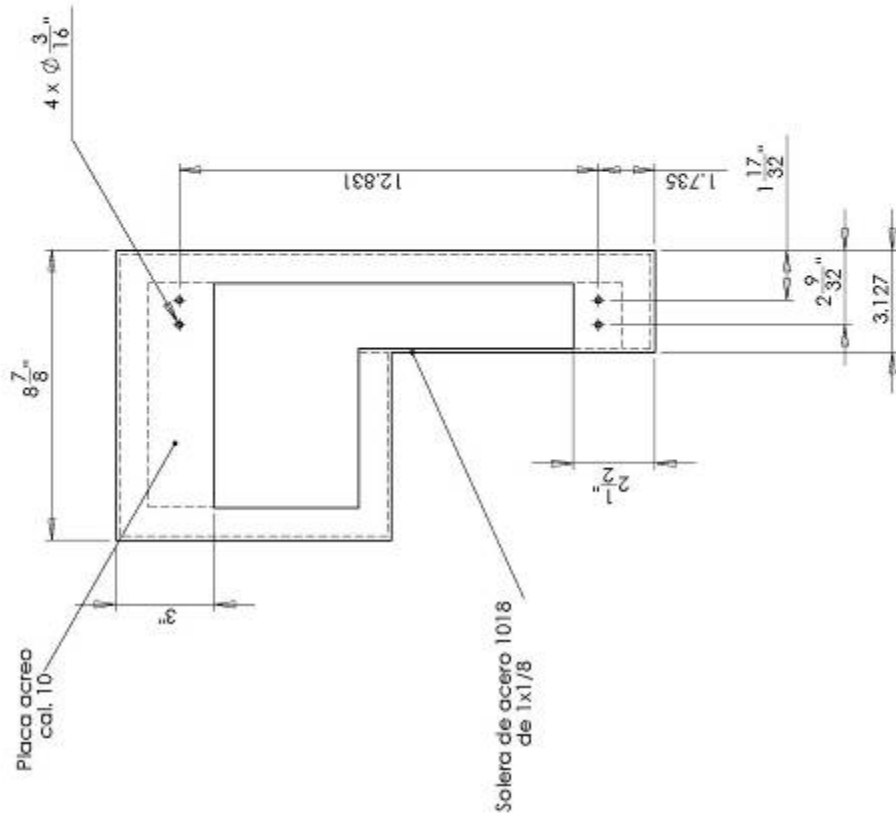
I

## C LISTA DE PARTES Y PLANOS

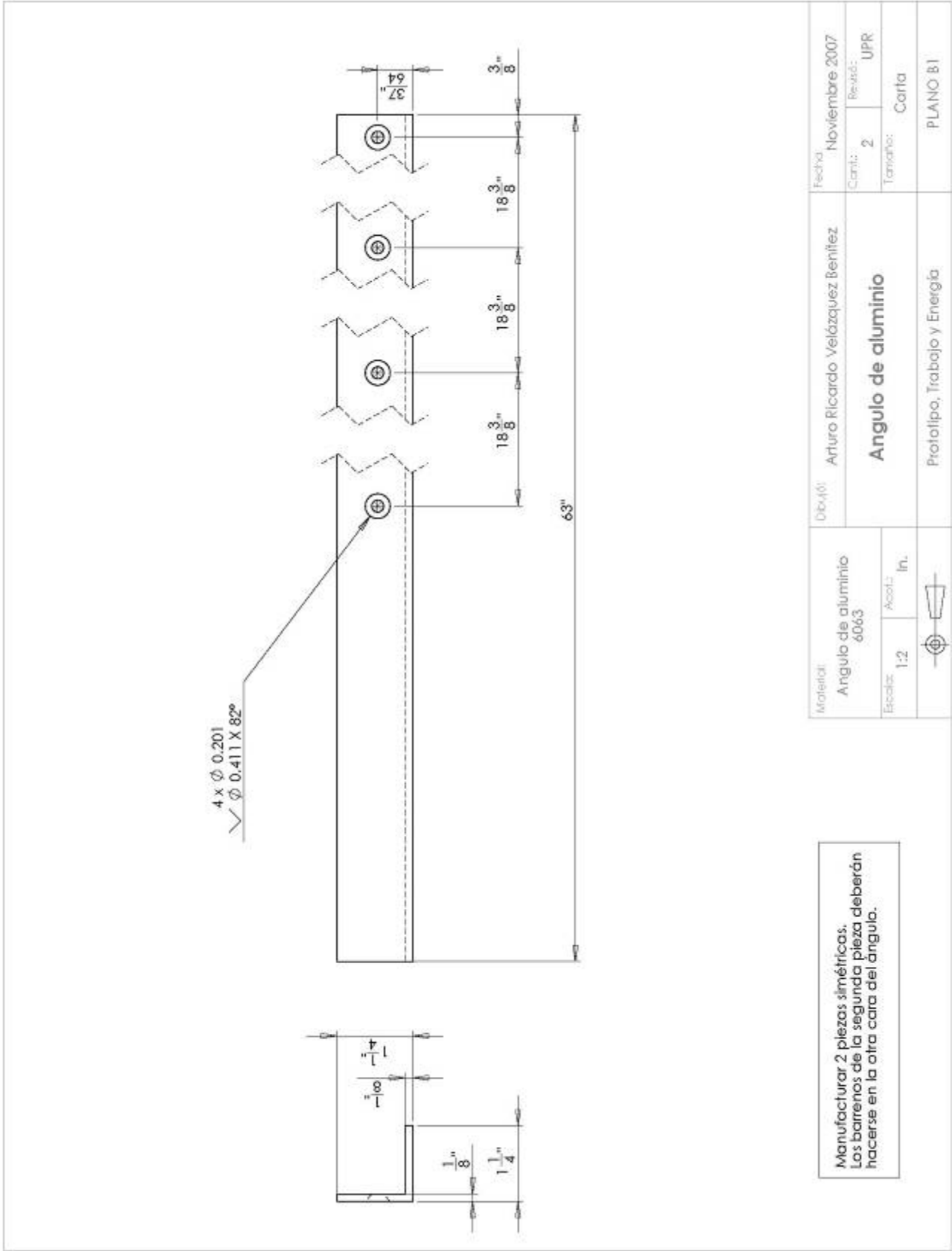
PARTE	PLANO
Bastidor principal	A1
Extensión de bastidor	A2
Ángulo de aluminio	B1
Soportes para pista	B2, B3
Móvil	B4
Soporte para sensor de fuerza	C1, C2, C3
Guía para resorte	C4, C5
Soportes para husillo	D1, D2
Husillo con tuerca	D3
Guía para el carro	D4
Carretilla con eje	D5, D6
Carro	D7
Soporte para electroimán	D8
Poleas dentadas	1E, 2E
Polea para motor de giro continuo	F1
Chumacera para polea auxiliar	F2, F3
Polea auxiliar	F4
Empujador	F5
Soporte para motor a pasos	G1
Soportes de lámina	G2, G3
Soporte para sensor ultrasónico (sonar)	G4
Ensamble de bastidor principal	H1
Ensamble de extensión de bastidor	H2
Prototipo armado	H3

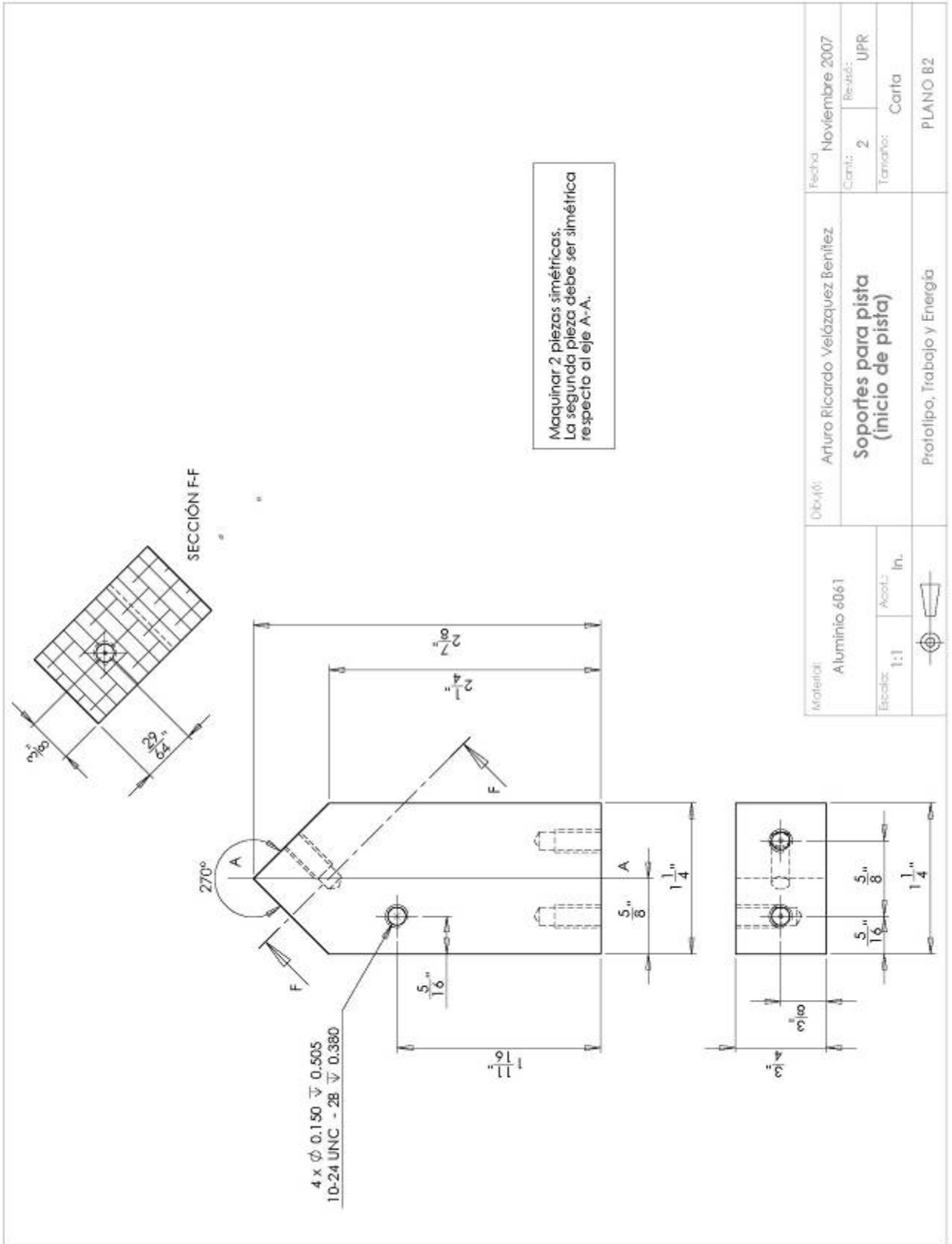
**NOTA:** Las acotaciones entre corchetes, se refieren al equivalente en mm.

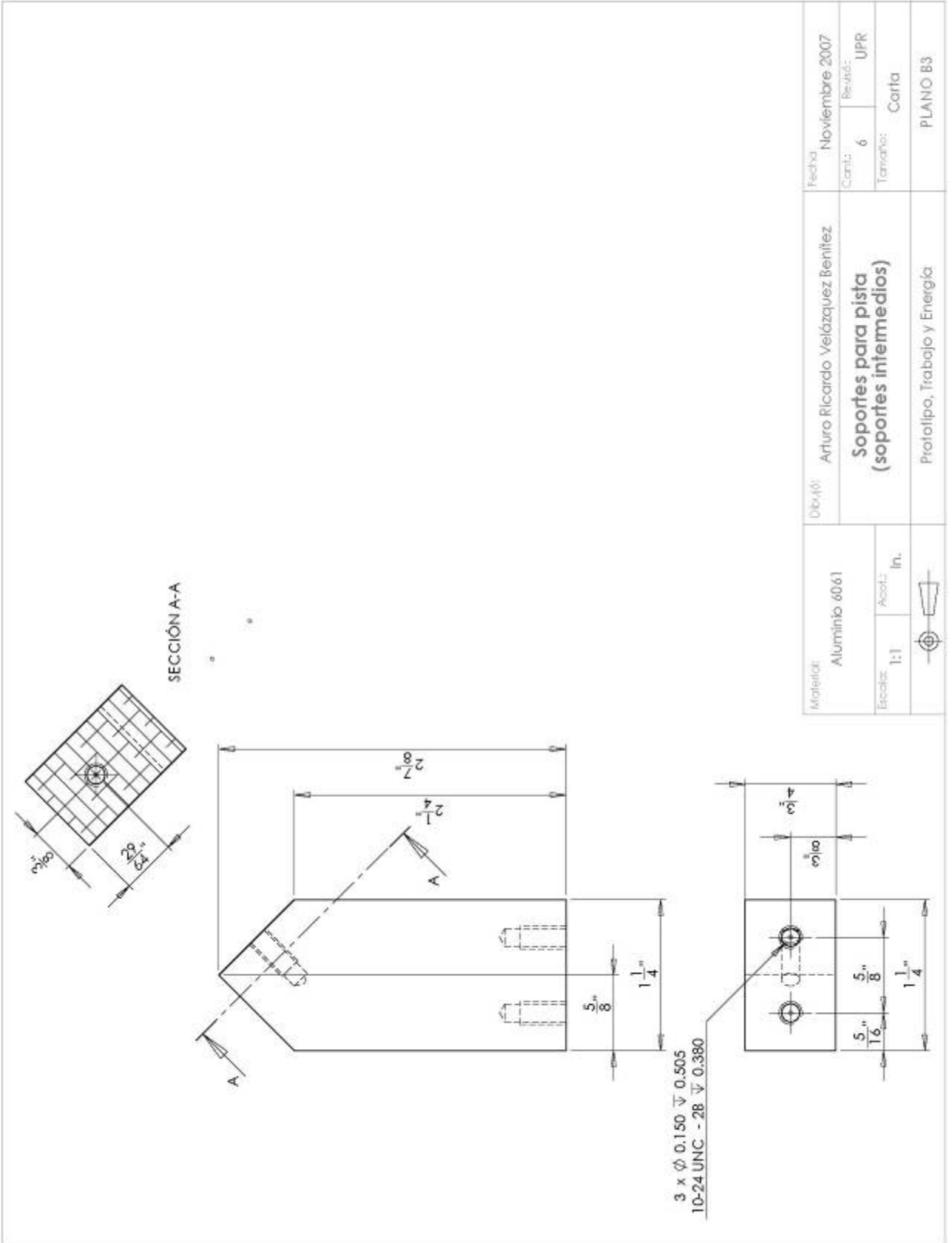


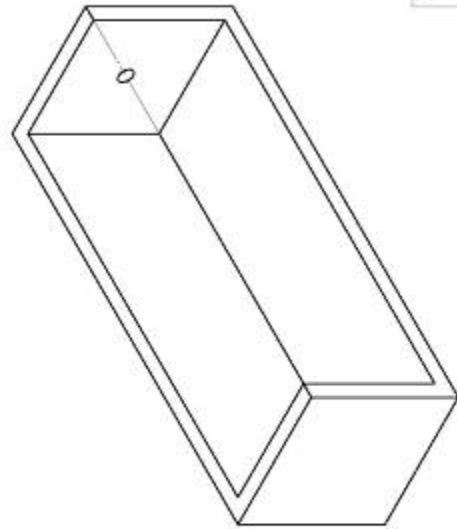
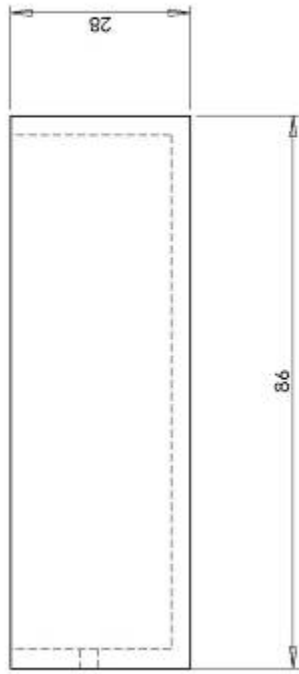
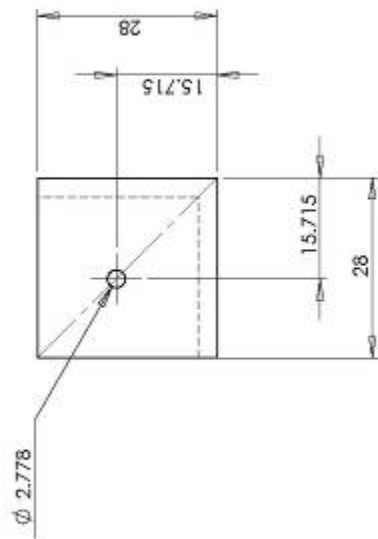


Material: Angulo fierro comercial de 1x1/8.		Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
Escala: 1:5	Acab.: In.	Extensión de Bastidor		Cant.: 1	Revisó: UPR
		Prototipo, Trabajo y Energía		Tamaño: Carta	PLANO A2



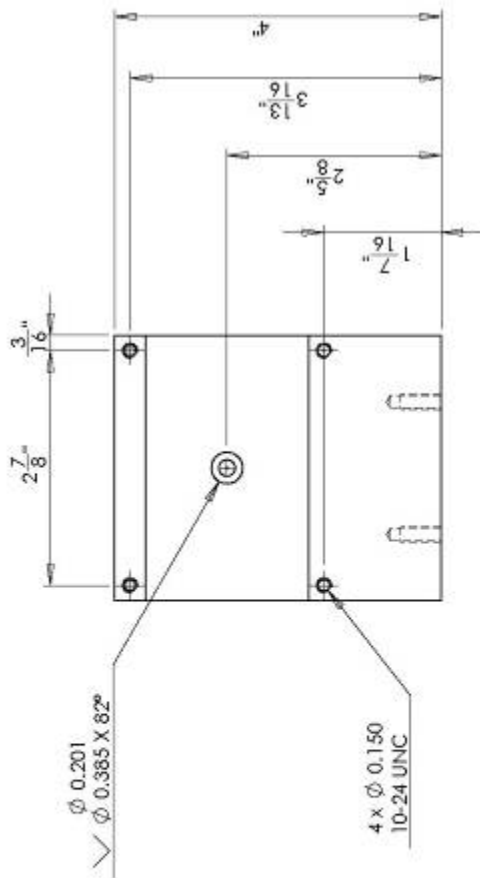
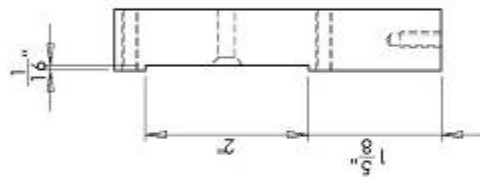




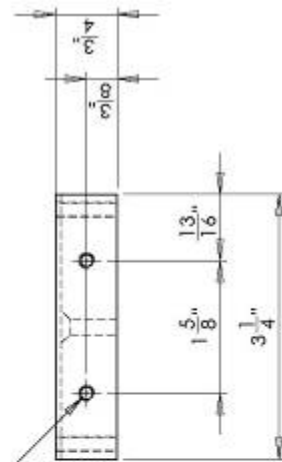


Material: Acrílico 3mm espesor	Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
	Escala: 1:1	Acab: mm.	Canti: 1	Revis: UPR
Soportes para pista (soportes intermedios)			Tamaño: Carta	PLANO 84
Prototipo, Trabajo y Energía				

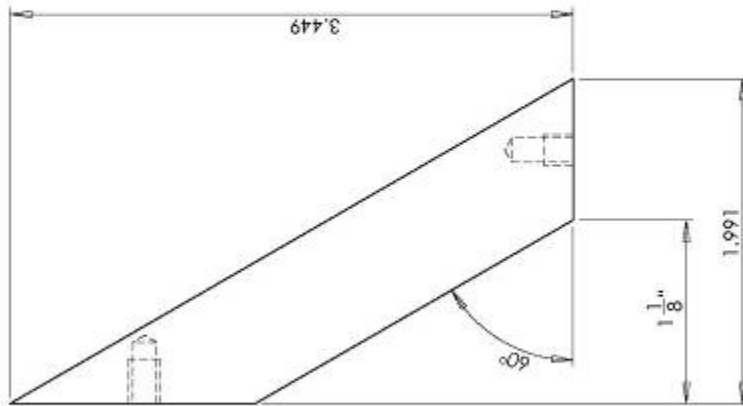
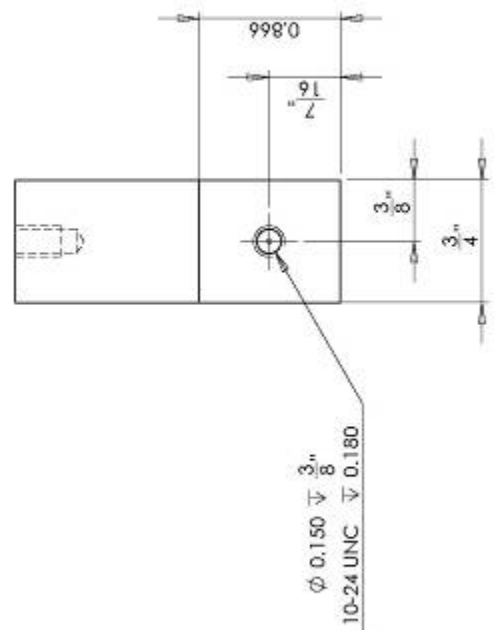
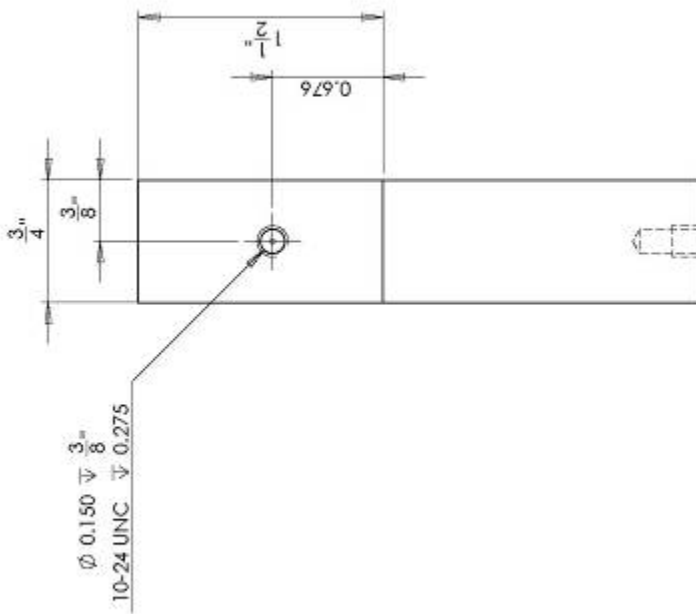




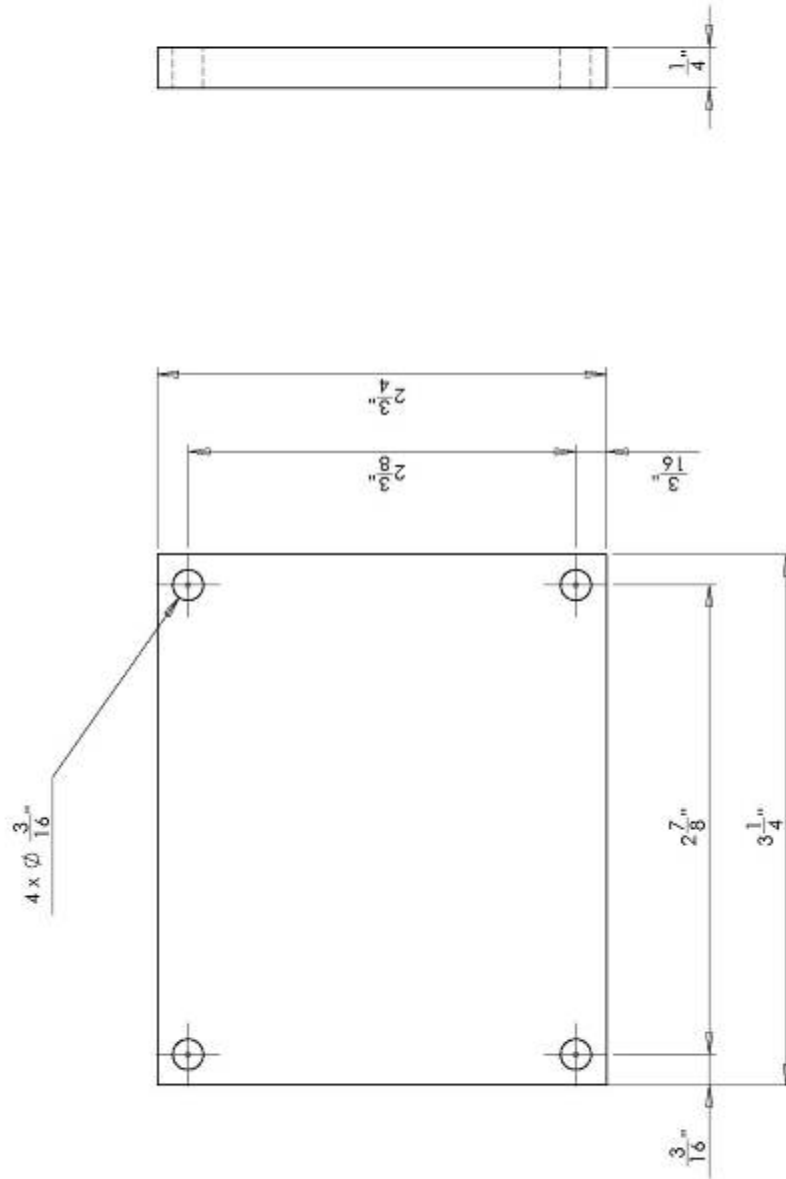
$2 \times \phi 0.150 \nabla 0.625$   
 $10-24 \text{ UNC} \nabla \frac{1}{2}$



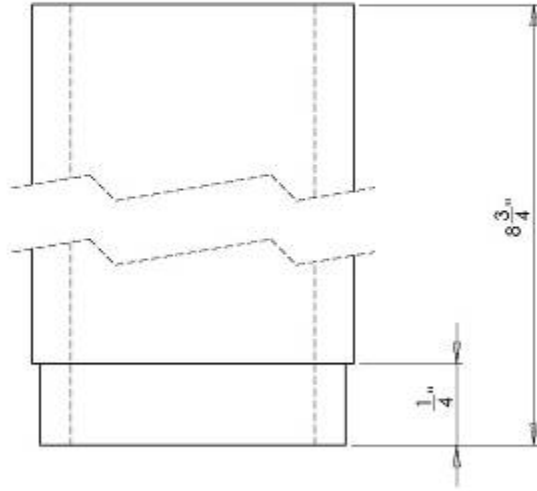
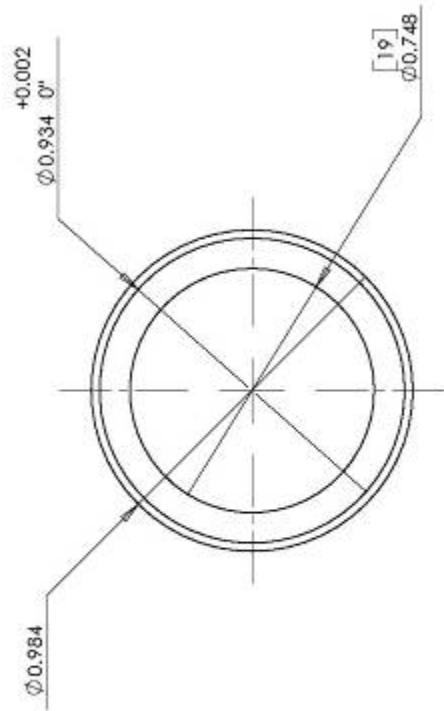
Material: Aluminio 6061	Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
	Escala: 1:2	Acab: In.	Canti: 1	Revisó: UPR
		Tamaño: Carta		PLANO C1
Soporte para sensor de fuerza (cuerpo)			Prototipo, Trabajo y Energía	



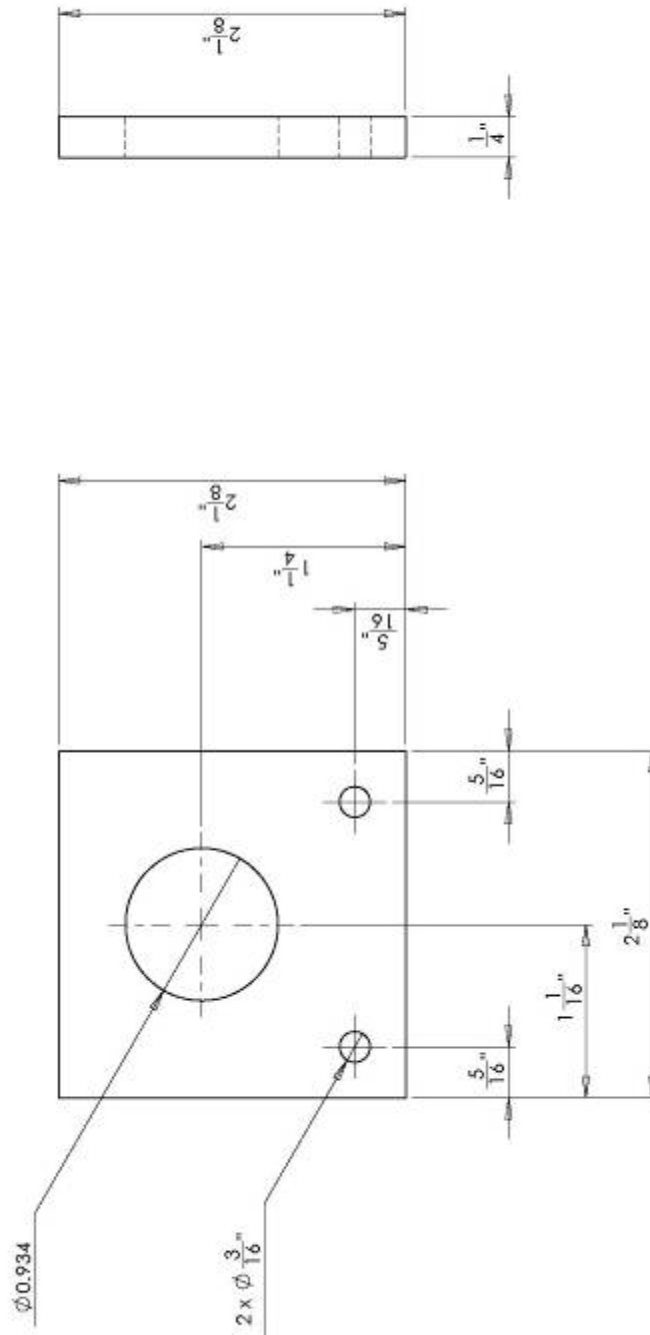
Material: Aluminio 6063		Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
Escala: 1:1	Acab.: In.	Cantidad: 1		Revisión: UPR	
		Tamaño: Carita		PLANO C2	
		<b>Soporte para sensor de fuerza (poste)</b>		Prototipo, Trabajo y Energía	



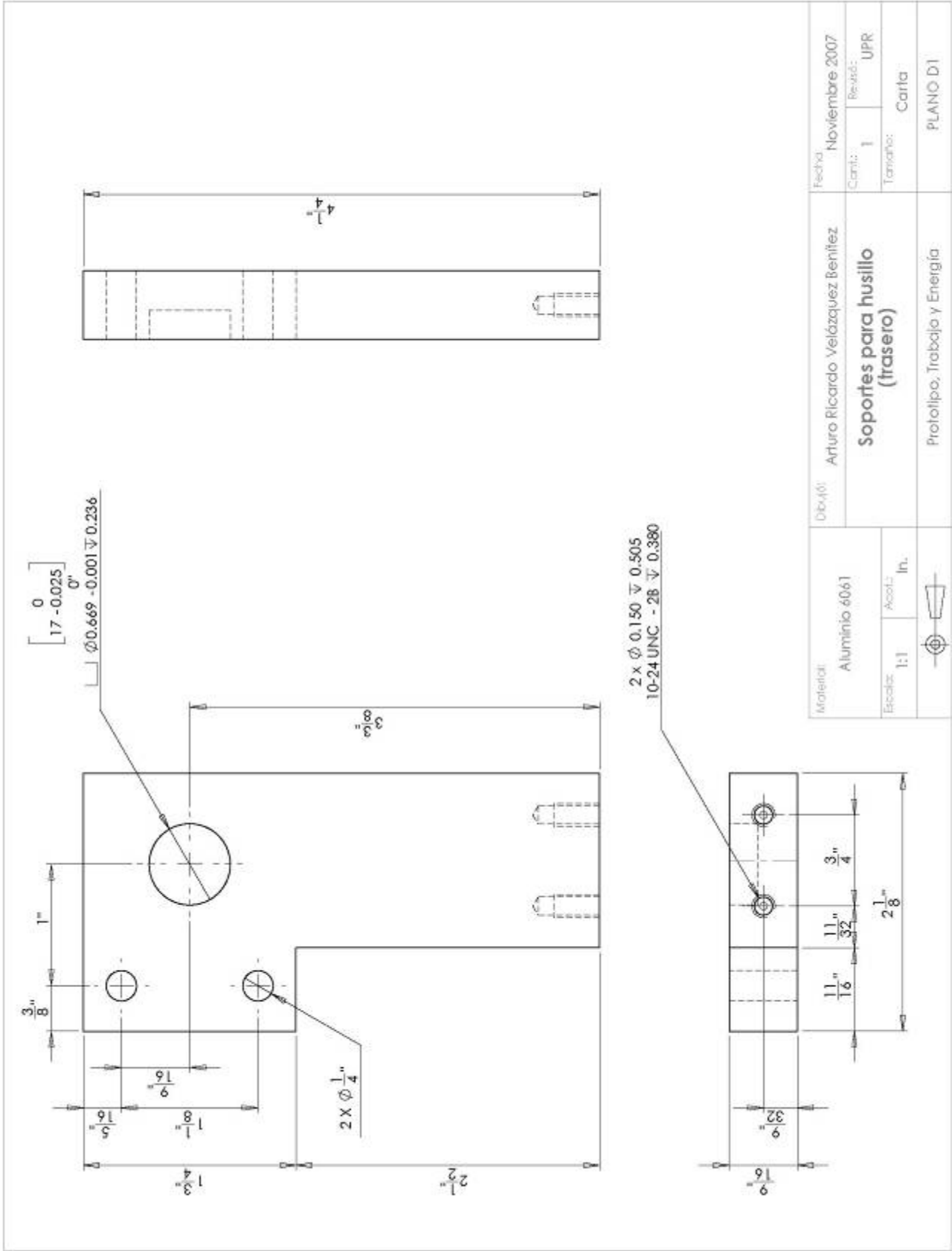
Material: Aluminio 6063	Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007
	Escala: 1:1	Acab: In.	Cant: 1
		Tamaño: Carita	Revisó: UPR
<b>Soporte para sensor de fuerza (tapa)</b>			Carita: Carita
Prototipo, Trabajo y Energía			PLANO C3

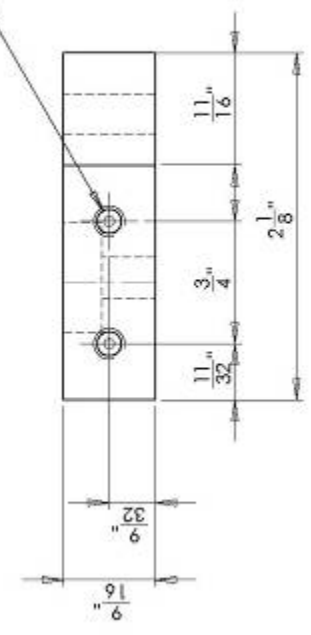
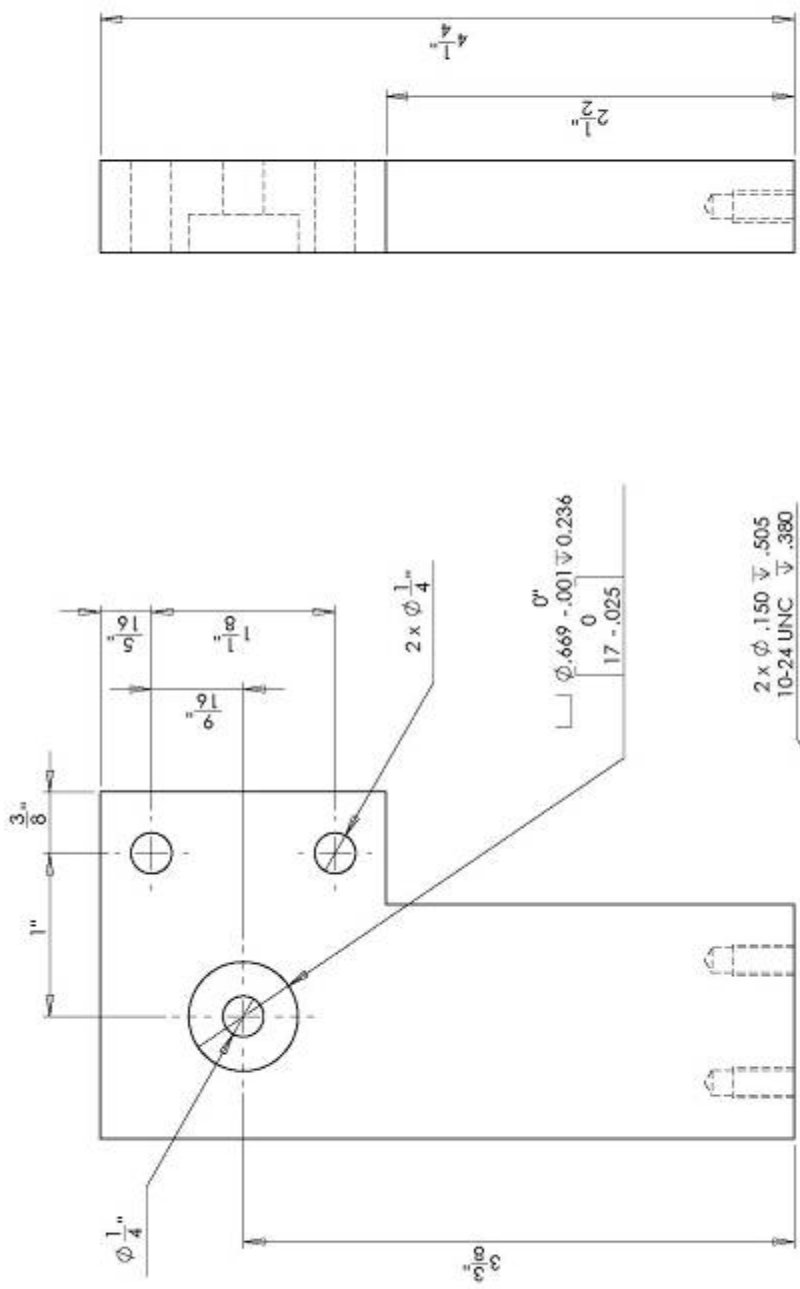


Material: Tubo de acrílico 3mm espesor	Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
	Escala: 2:1	Acab: In.	Cant: 1	Revis: UPR
<b>Guía para resorte (tubo)</b>			Tamaño: Carta	PLANO C4
Prototipo, Trabajo y Energía				

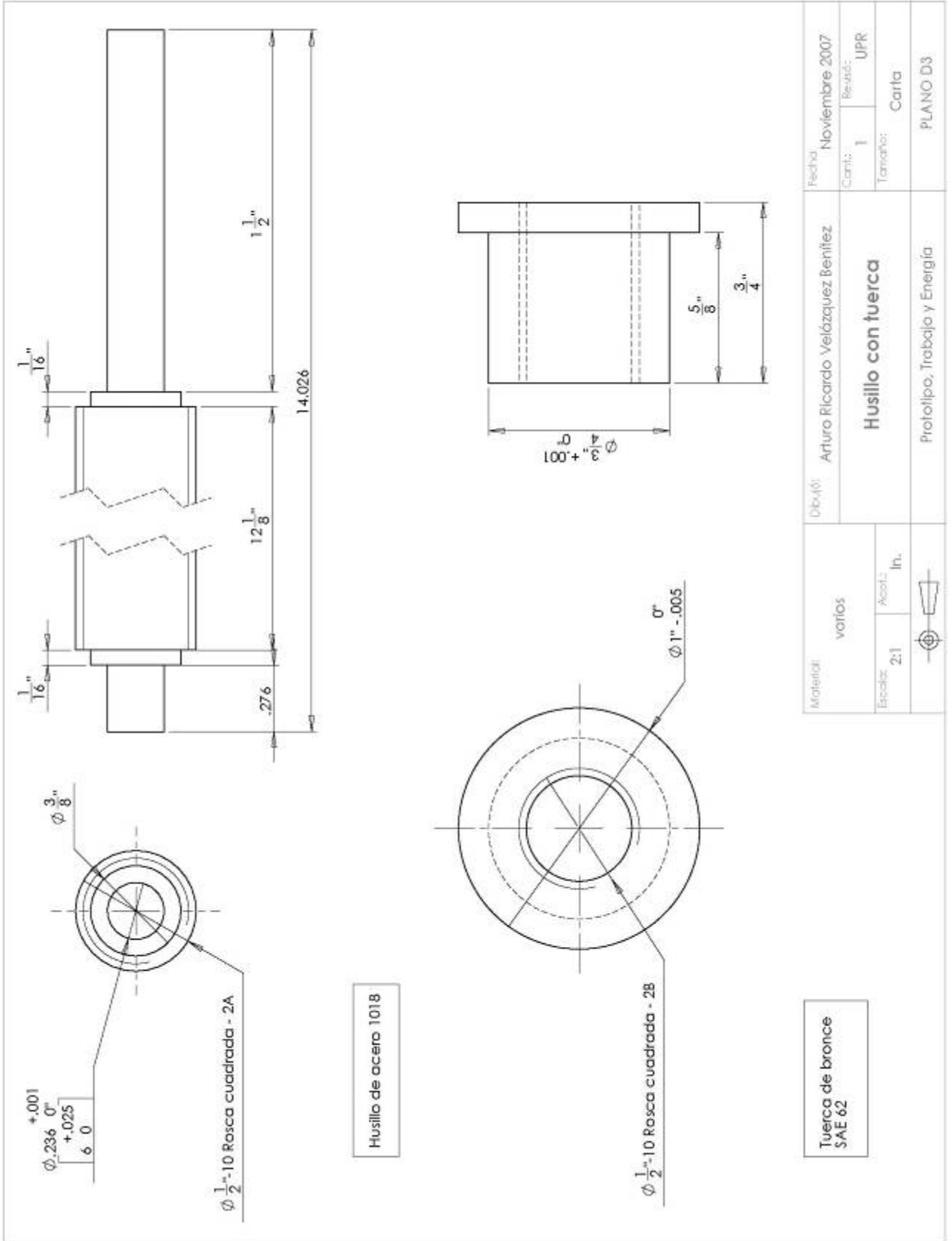


Material: Aluminio 6063	Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
	Escala: 1:1	Acab.: In.	Cant.: 1	Revis.: UPR
		Tamaño: Carta		
Guía para resorte (placa)			PLANO C5	
Prototipo, Trabajo y Energía				



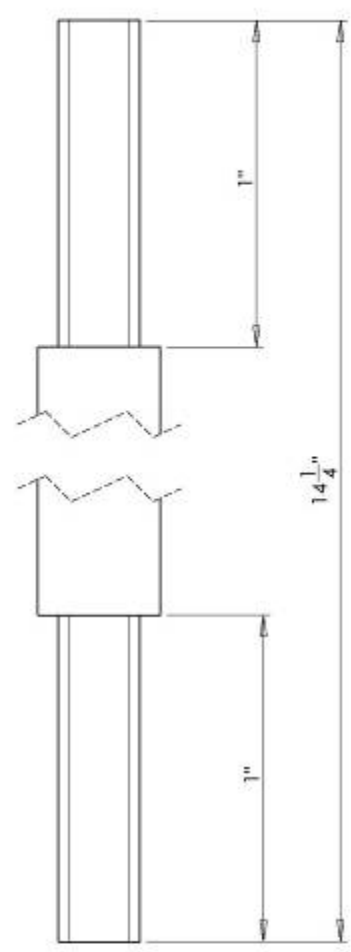
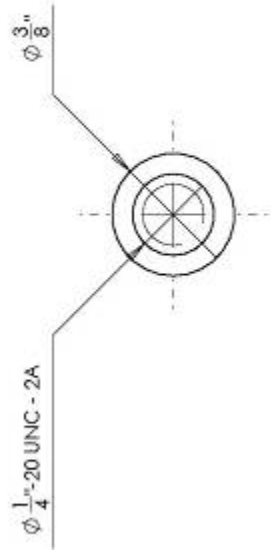


Material: Aluminio 6061		Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
Escala: 1:1	Acab: In.	Cantidad: 1		Revisó: UPR	
		Tamaño: Carta		PLANO D2	
		<b>Soportes para husillo (delantero)</b>		Prototipo, Trabajo y Energía	

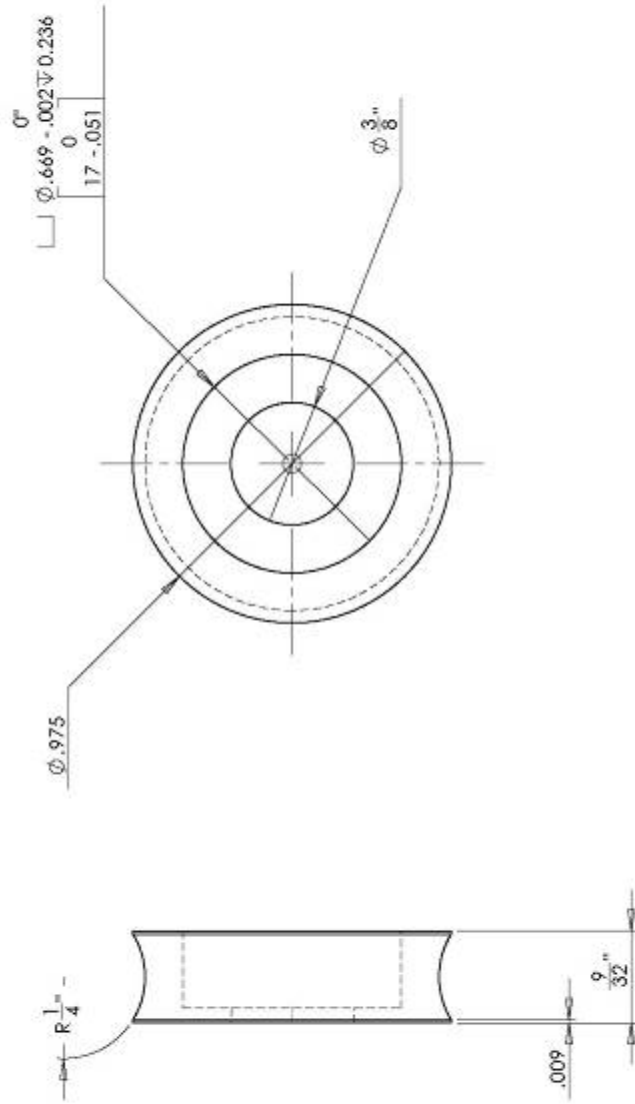


Material: varios	Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez	Fecha: Noviembre 2007	
		Canti.: 1	Revisó: UPR
Escala: 2:1	Material: Acero In.	Tamaño: Carta	
Husillo con tuerca		PLANO D3	
Prototipo, Trabajo y Energía			

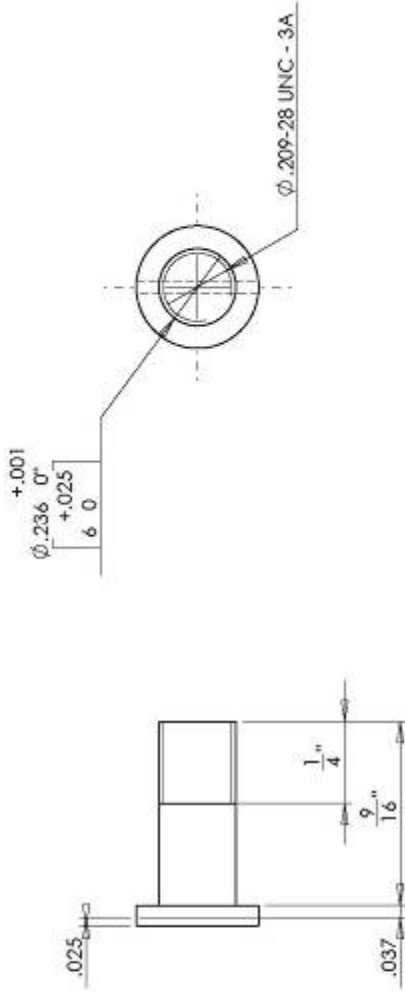
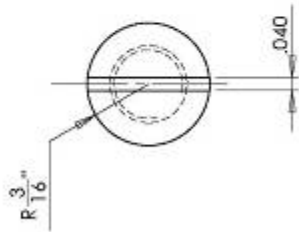




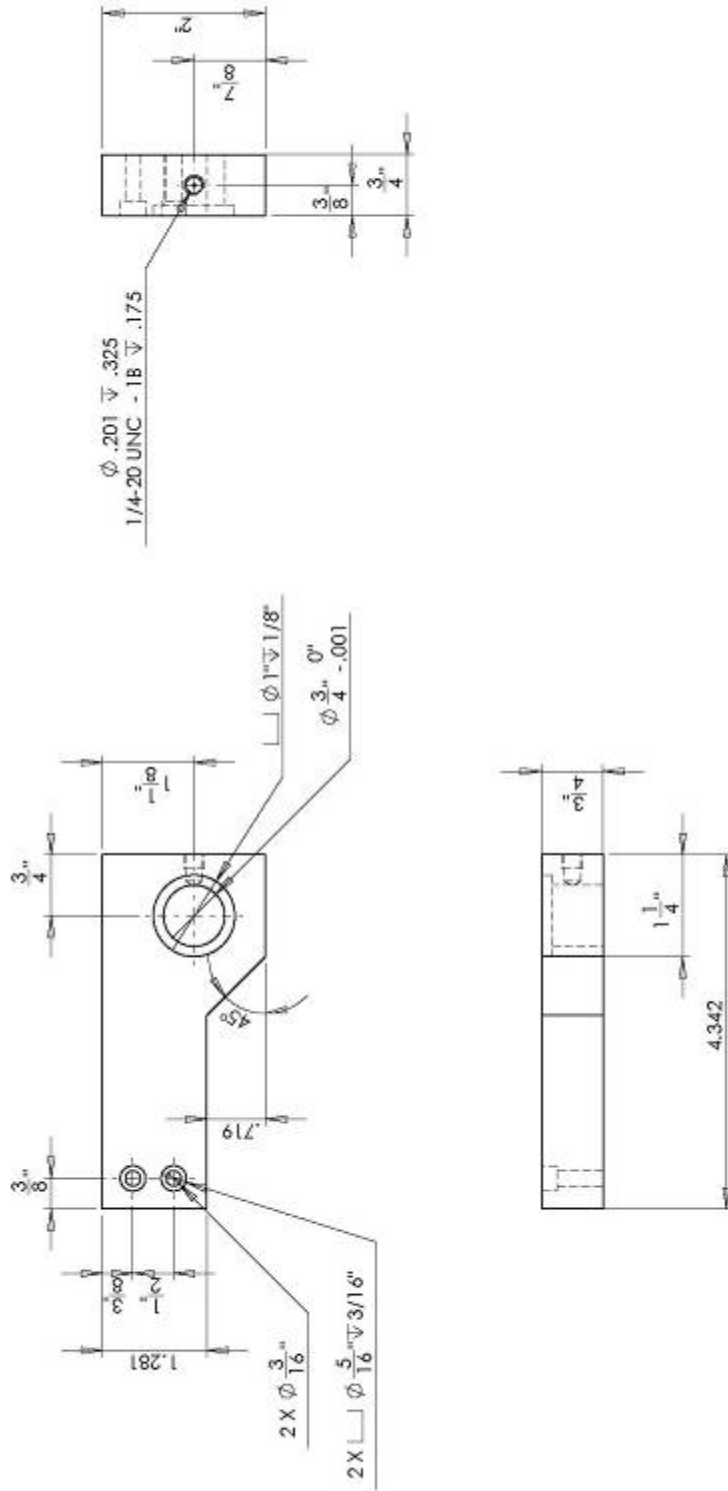
Materia:	Acero 1018 Pavonar	Dibujó:	Arturo Ricardo Velázquez Benítez	Fecha:	Noviembre 2007
Escala:	2:1	Acab:	In.	Cant:	2
				Revis:	UPR
				Tamaño:	Carta
					PLANO D4



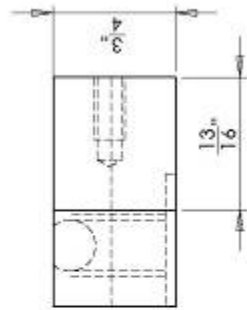
Material: Nylamid	Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez	Fecha: Noviembre 2007	
		Canti: 1	Revisi: UPR
Escala: 2:1	Carretila	Tamaño: Carta	
Acab: In.		PLANO D5	
Prototipo, Trabajo y Energía			



Material: Acero 1018		Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
Escala: 2:1	Acab: In.	Canti: 1		Revisó: UPR	
		Tamaño: Carta		PLANO D6	
		<b>Eje de carretilla</b>		Prototipo, Trabajo y Energía	



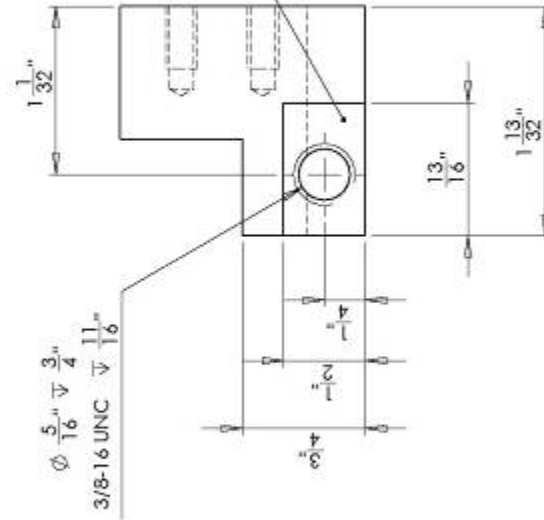
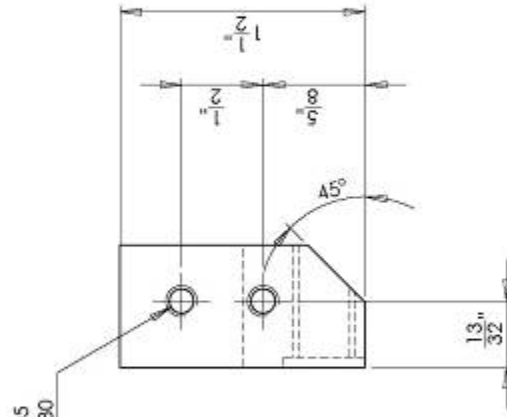
Material: Aluminio 6063	Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
	Escala: 2:1	Acabado: In.	Canti: 1	Revisó: UPR
		Tamaño: Carta		PLANO D7
			Protolipo, Trabajo y Energía	



2 x  $\phi$  .150  $\nabla$  .505  
10-24 UNC  $\nabla$  .380

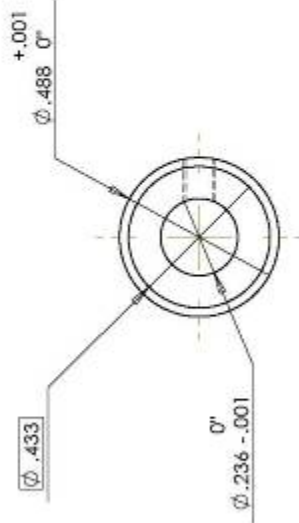
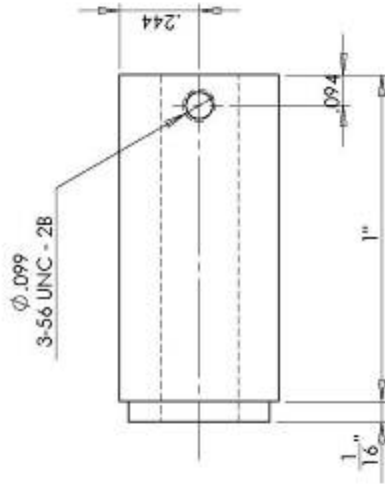
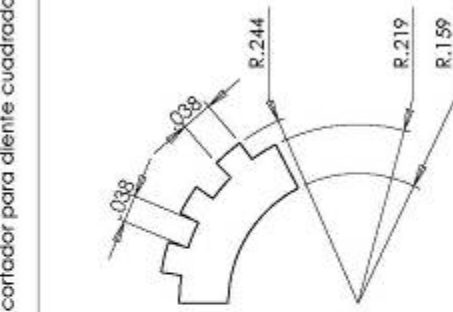
$\phi$   $\frac{5}{16}$   $\nabla$   $\frac{3}{4}$   
3/8-16 UNC  $\nabla$   $\frac{11}{16}$

Caja 1/16" prof.

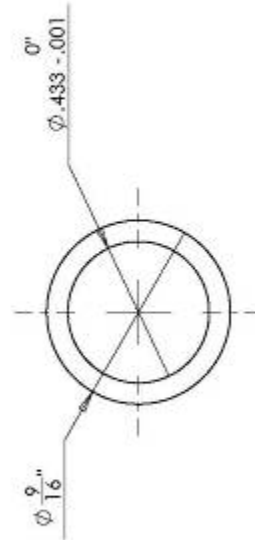
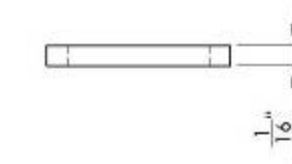


Material: Aluminio 6061	Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
	Escala: 1:1	Acab: In.	Cant: 1	Revis: UPR
<b>Soporte para electroimán</b>			Tamaño: Carta	PLANO D8
Prototipo, Trabajo y Energía				

Detalle de los dientes de la polea  
Utilizar cortador para diente cuadrado



No. de dientes	20
Diámetro exterior	0.488"
Diámetro de paso	0.483"
Ancho de cara	1"
Paso circular	0.076"



Ceja para polea  
1 pieza

Material: Aluminio 6063

Escala: 2:1 Acab.: In.



Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez

Fecha: Noviembre 2007

Canti.: 1 Revisó: UPR

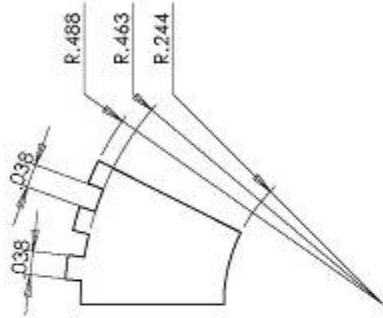
Tamaño: Carta

**Polea dentada  
(husillo)**

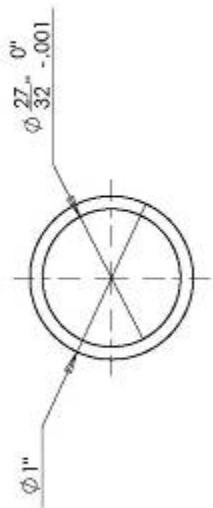
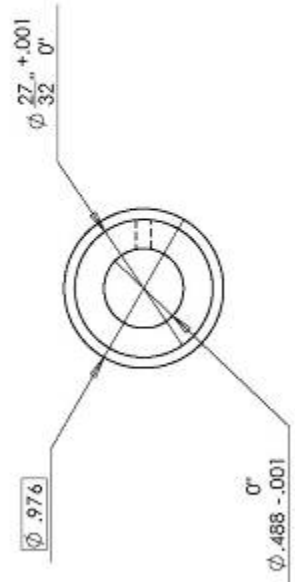
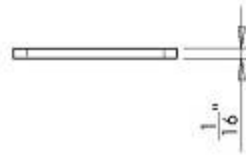
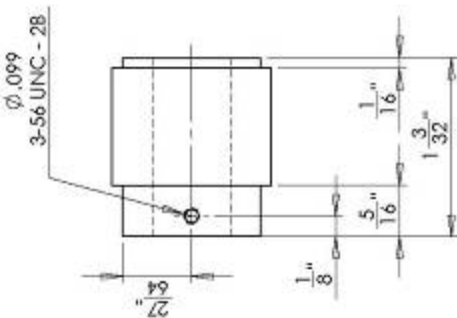
Prototipo, Trabajo y Energía

PLANO EI

Detalle de los dientes de la polea  
Utilizar cortador para diente cuadrado



No. de dientes	40
Diámetro exterior	0.976"
Diámetro de paso	0.968"
Ancho de cara	23/32"
Paso circular	0.076"



Ceja para polea (aluminio 6063)  
2 Piezas, una en cada extremo de la polea

Material: Bronce SAE 62

Escala: 1:1 Acab: In.



Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez

Fecha: Noviembre 2007

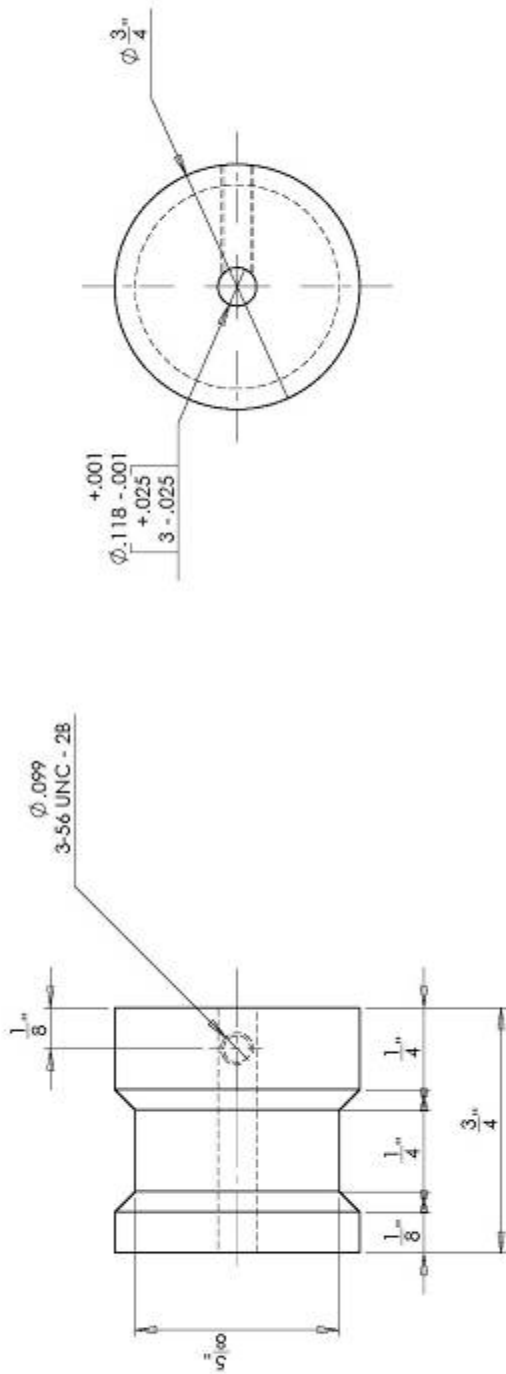
Canti: 1 Revis: UPR

Tamaño: Carta

**Polea dentada  
(motor a pasos)**

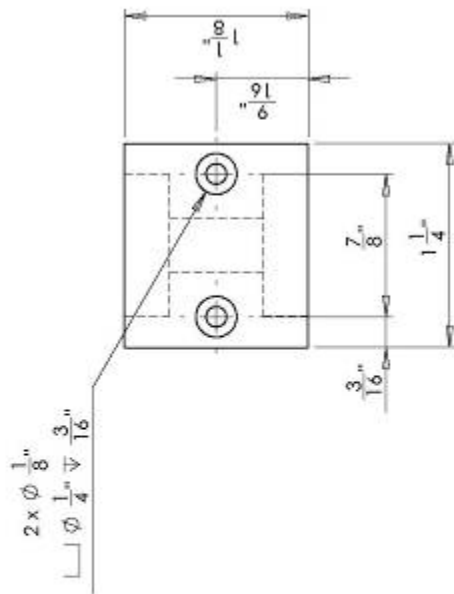
Prototipo, Trabajo y Energía

PLANO E2

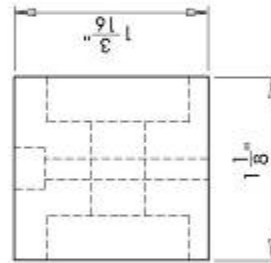
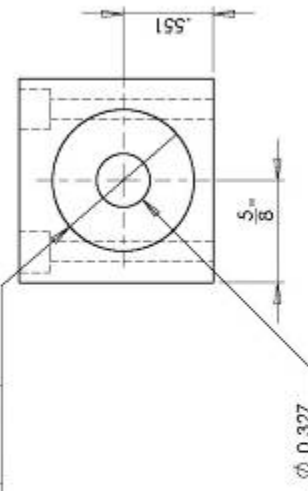


Material: Acero 1018 Pavanar		Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
Escala: 2:1	Acab.: In.	<b>Polea para motor de giro continuo</b>			
		Cant.: 1	Revisó: UPR	Tamaño: Carta	
		Prototipo, Trabajo y Energía			
		PLANO FI			

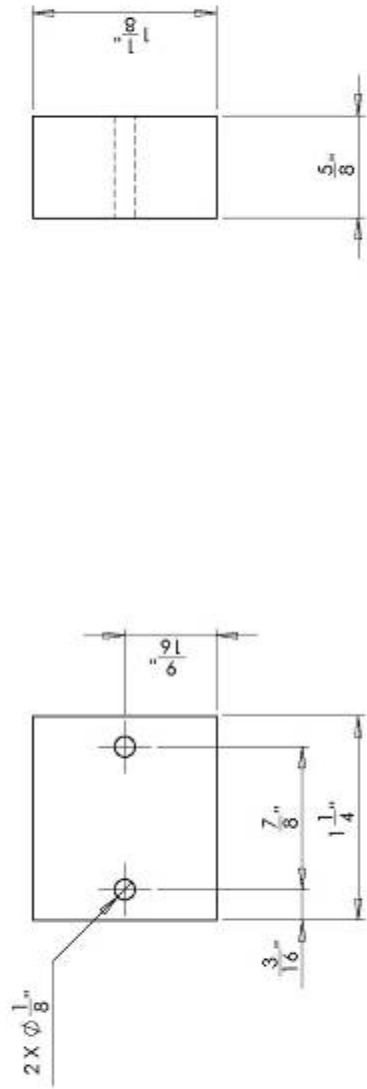




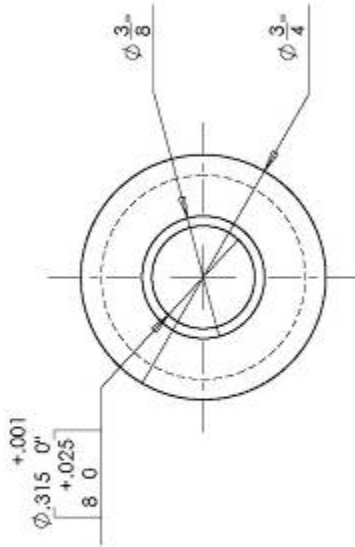
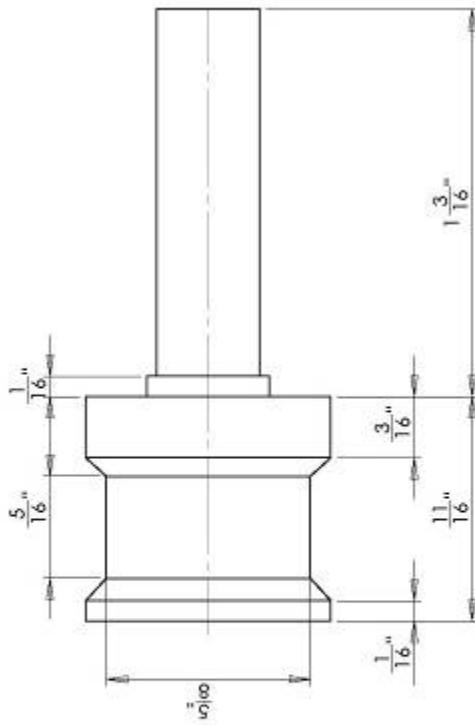
$\sigma'$   
 $2 \times \perp \phi .866 - .001 \nabla .276$   
 $0$   
 $22 - .025$



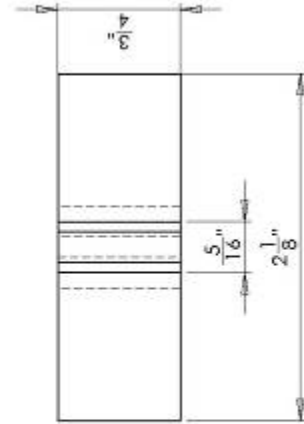
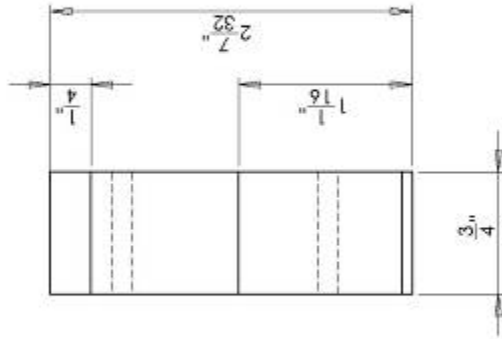
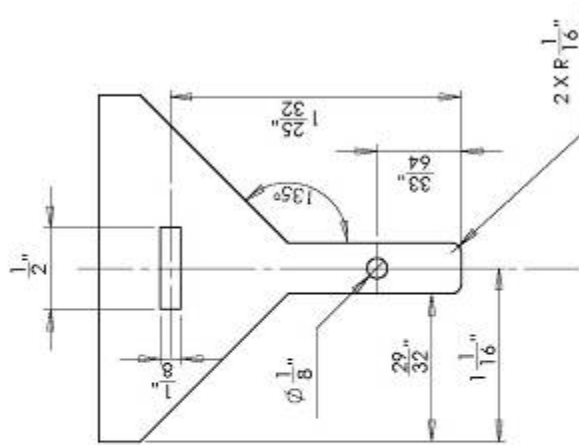
Material: Aluminio 6063		Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
Escala: 1:1	Acab: In.	Tamaño: Carta		Revisó: UPR	
<b>Chumacera para polea auxiliar</b>				PLANO F2	
Prototipo, Trabajo y Energía					



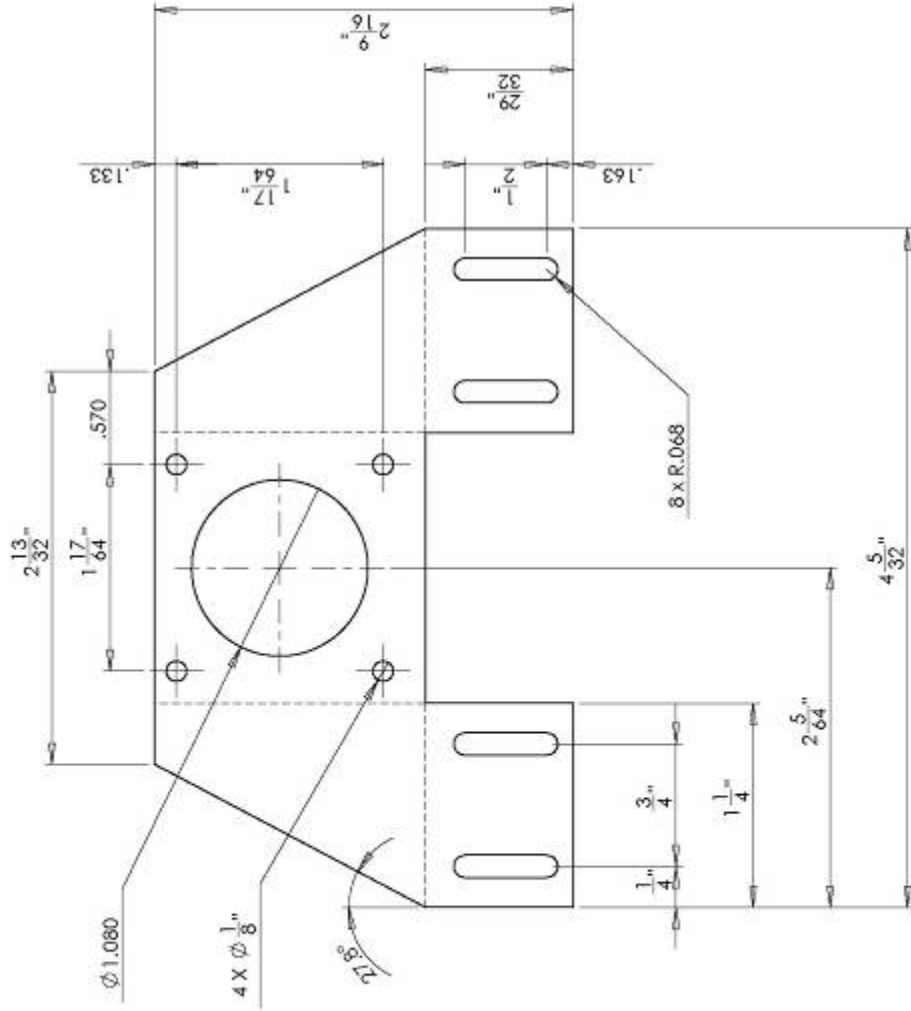
Material: Aluminio 6061	Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
	Escala: 1:1	Acab: In.	Cant: 1	Revis: UPR
<b>Aumento de chumacera</b>			Tamaño: Carta	PLANO F3
Prototipo, Trabajo y Energía				



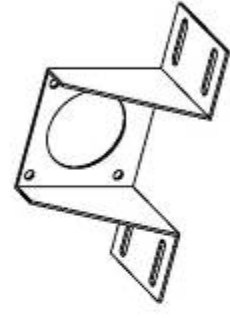
Material: Acero 1018	Objeto: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
	Escala: 2:1	Acab: In.	Canti: 1	Revis: UPR
<b>Polea auxiliar</b>			Tamaño: Carta	PLANO F4
Prototipo, Trabajo y Energía				



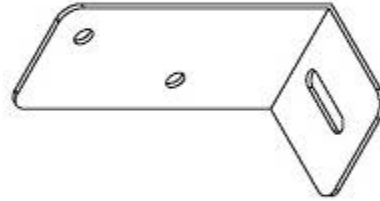
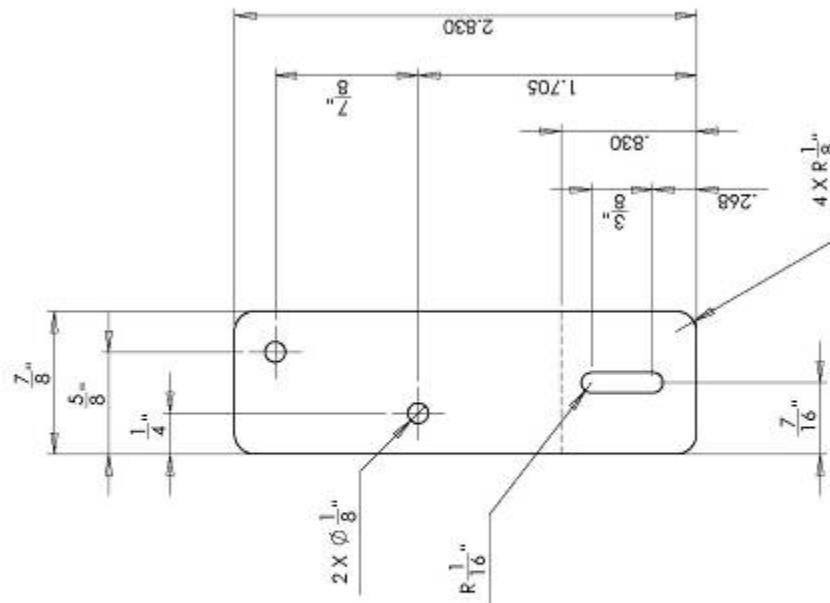
Material: Nylamid	Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
	Escala: 1:1	Acab.: In.	Cant.: 1	Revis.: UPR
<b>Empujador</b>			Tamaño: Carta	PLANO F5
Prototipo, Trabajo y Energía				



Doblar a 90° por las líneas discontinuas, para obtener la figura mostrada.

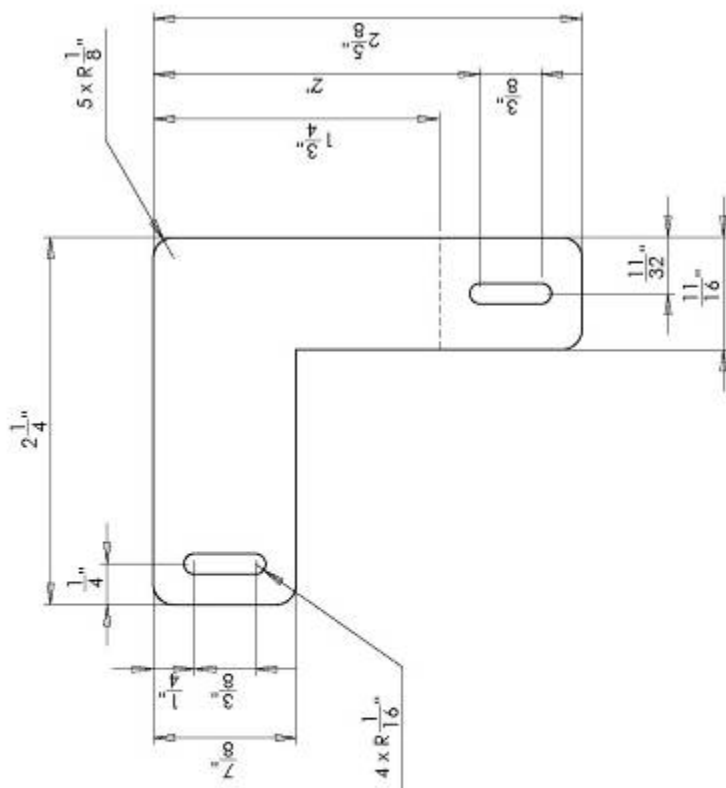


Material: Lámina negra cal. 20	Escala: 1:1	Acab: In.		Dib./dó:	Arturo Ricardo Velázquez Benítez	Fecha:	Noviembre 2007
				Canit:	1	Revisó:	UPR
				Tamaño:	Carta	PLANO G1	
				<b>SopORTE para motor a pasos</b>		Prototipo, Trabajo y Energía	



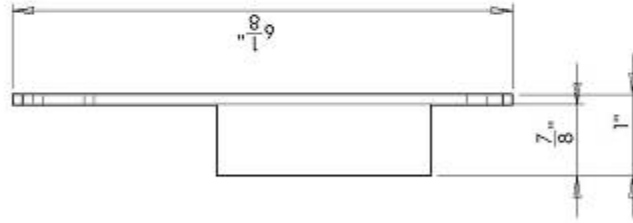
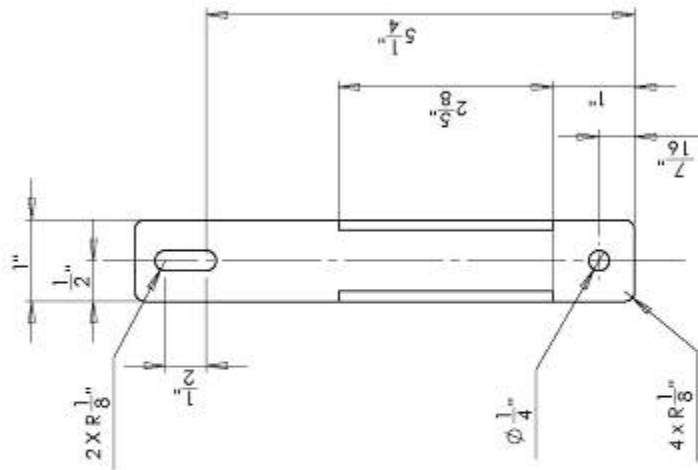
Doblar a 90° por las líneas discontinuas, para obtener la figura mostrada.  
 2 Piezas simétricas con respecto a la línea de doblez

Material: Lámina negra cal. 20	Escala: 1:1	Acab.: In.		Dibujó:	Arturo Ricardo Velázquez Benítez	Fecha:	Noviembre 2007
				Canti:	2	Revisó:	UPR
				Tamaño:	Carta		
				<b>Soporte para motor de giro continuo</b>			
				Prototipo, Trabajo y Energía		PLANO G2	



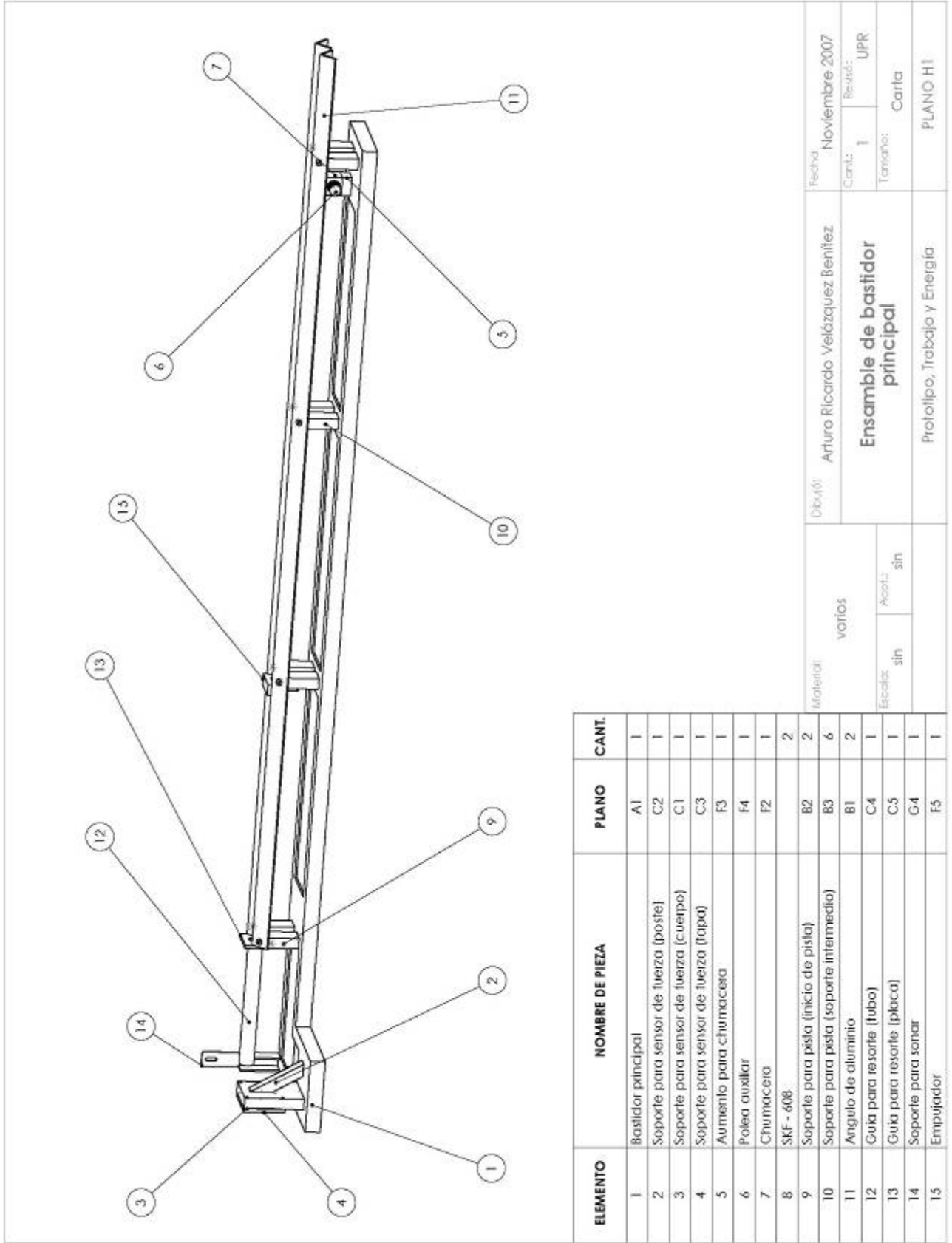
Doblar a 90° por las líneas discontinuas, para obtener la figura mostrada.  
 2 Piezas simétricas con respecto a la línea de doblez

Material: Lámina negra cal. 20	Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
	Escala: 1:1	Acab.: In.	Canti.: 2	Revisó: UPR
Soporte para sensor fotoléctrico			Tamaño: Carta	PLANO G3
Prototipo, Trabajo y Energía				



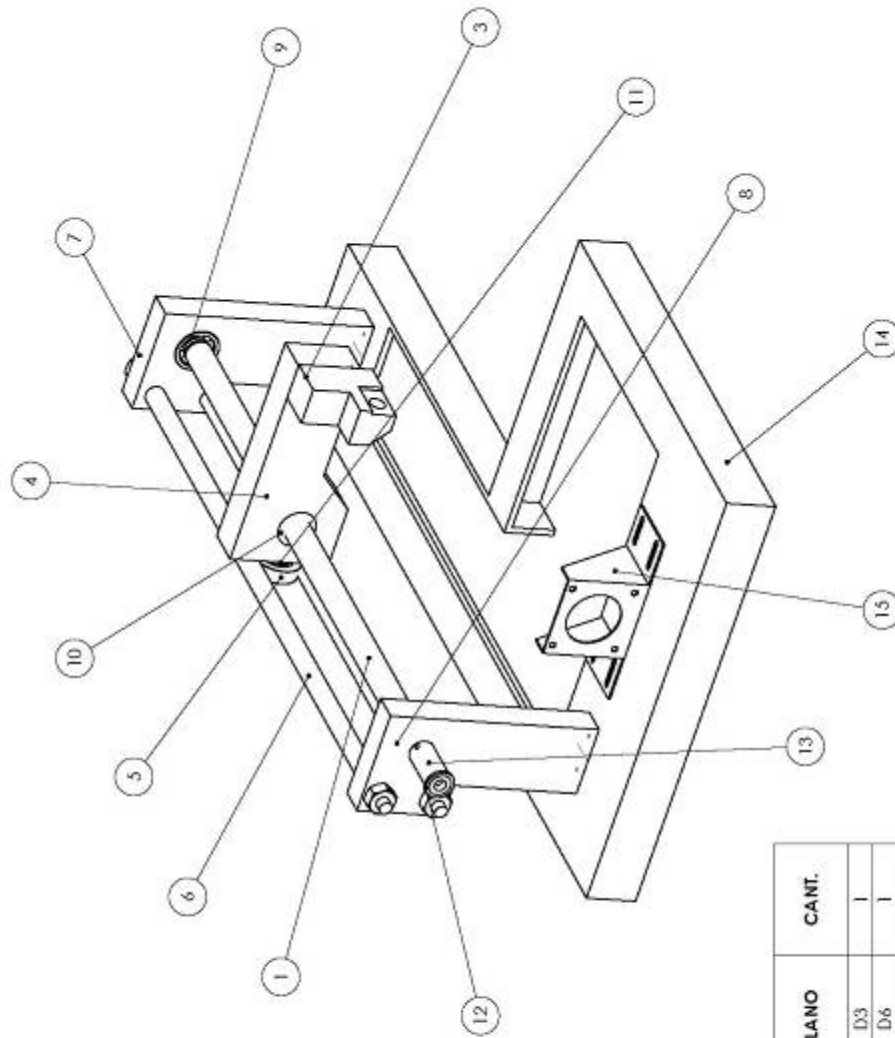
Material: Angulo Fe comercial 1x1/8	Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
	Escala: 1:2	Acab: In.	Cant: 1	Revis: UPR
Soporte para sonar			Tamaño: Carta	PLANO G4
Prototipo, Trabajo y Energía				





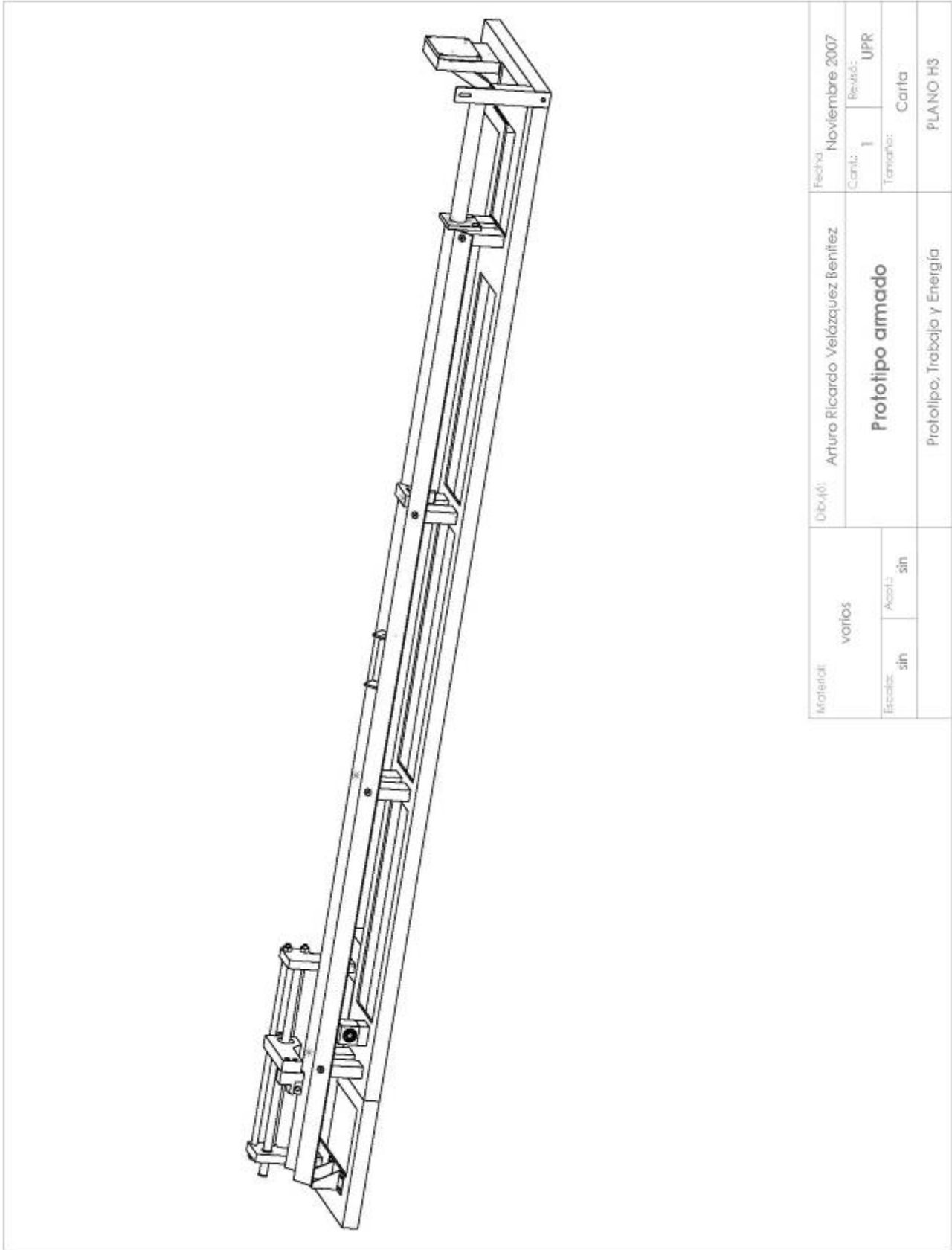
ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	PLANO	CANT.
1	Bastidor principal	A1	1
2	Soporte para sensor de fuerza (poste)	C2	1
3	Soporte para sensor de fuerza (cuerpo)	C1	1
4	Soporte para sensor de fuerza (tapa)	C3	1
5	Aumento para chumacera	F3	1
6	Polea auxiliar	F4	1
7	Chumacera	F2	1
8	SKF - 608		2
9	Soporte para pista (inicio de pista)	B2	2
10	Soporte para pista (soporte intermedia)	B3	6
11	Angulo de aluminio	B1	2
12	Guia para resorte (tubo)	C4	1
13	Guia para resorte (placa)	C5	1
14	Soporte para sonar	G4	1
15	Empujador	F5	1

Material:	varios		Fecha: Noviembre 2007
	Escalib:	sin	
Acab:	sin	Revisi:	UPR
Tamaño:			Carta
Dibujó: Arturo Ricardo Velázquez Benítez			PLANO H1
<b>Ensamble de bastidor principal</b>			
Prototipo, Trabajo y Energía			



ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	PLANO	CANT.
1	Husillo	D3	1
2	Eje de carrelilla	D6	1
3	Soporte para electroimán	D8	1
4	Carro	D7	1
5	Carrelilla	D5	1
6	Guía para el carro	D4	2
7	Soporte para husillo (trasero)	D1	1
8	Soporte para husillo (delantero)	D2	1
9	Tuerca para husillo		2
10	Tuerca para husillo	D3	1
11	AFBMA 20.1 - 10-6		1
12	Ceja para polea dentada	E1	1
13	Polea dentada (husillo)	E2	1
14	Extensión de bastidor	A2	1
15	Soporte para molar a pasos	G2	1

Dibujó:	Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha:	Noviembre 2007
	Materiales:		Cant.: 1	Revisó: UPR
Escalzó:		sin	Tamaño:	Carta
Acabó:		sin	PLANO H2	
<b>Ensamble de extensión de bastidor</b>				
Prototipo, Trabajo y Energía				



Material: varios	Objeto: Arturo Ricardo Velázquez Benítez		Fecha: Noviembre 2007	
	Escala: sin	Acabado: sin	Canti: 1	Revisión: UPR
<b>Prototipo armado</b>			Tamaño: Carta	
			Prototipo, Trabajo y Energía	
			PLANO H3	

## BIBLIOGRAFÍA

- AENOR, **Dibujo técnico – Normas básicas**  
Asociación española de Normalización y Certificación, Madrid 1999
- Aguirre Esponda, Guillermo, **Diseño de Elementos de Máquinas**.  
Ed. Trillas, México, 1990, págs. 578, 579
- Beer & Johnston, **Mecánica Vectorial para Ingenieros “Estática”**.  
Ed McGraw Hill, 4ta edición. México 1984
- Chevalier, A., **Dibujo Industrial**.  
Ed. Uthea, 2da edición, México 1992.
- Cross, Nigel. **Engineering Design Methods “Strategies for Product Design”**.  
Ed. Jhon Wiley & Sons, LTD. 3ra edición, EUA 2000
- Jhonson, Olaf A., **Diseño de máquinas herramienta**.  
Ed. Roble, México 1973.
- Koshkin, Shirkévich, **Manual de Física Elemental**.  
Ed. Mir, 1975.
- Metales Neza Zaragoza, S.A. de C.V, **Catálogo de productos**  
México, Graphics Mexicana S.A. de C.V.
- Norton, Robert L. **Diseño de Máquinas**.  
Ed. Prentice –Hall, México 1999
- NSK, **Guía de Reemplazo de Rodamientos**  
NSK Corporation, Colombia 2004
- Thompson, David E. ,**Design Analysis “Mathematical modeling of nonlinear systems”**.  
Ed. Cambridge University Press, USA 1999

## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- Biela y Manivela, Consulta: marzo de 2007  
<http://almez.pntic.mec.es/~jgonza86/sistema%20de%20biela%20y%20manivela.htm>.
- Conocimientos teóricos previos. Consulta: marzo de 2007  
<http://personal.telefonica.terra.es/web/jcvilchesp/cuerda/cu000.htm>.
- Ero-PIC. Consulta: junio de 2007  
[http://perso.wanadoo.es/luis\\_ju/index.html](http://perso.wanadoo.es/luis_ju/index.html).
- MecanESO, Consulta: abril de 2007  
[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_cremallera-pinion.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cremallera-pinion.htm).
- Mecanismo De Husillo y Tuerca, Consulta: junio de 2007  
<http://almez.pntic.mec.es/~jgonza86/Mecanismo%20de%20husillo%20y%20tuerca.htm>.
- Metal Univers. Consulta: 15 de abril de 2007  
<http://www.metalunivers.com/arees/altavelo/tutorial/ideko/motoreslineales.htm>.
- Metric Miniature Bearings Consulta: mayo de 2007  
[http://www.smbbearings.com/Stocklists/S\\_MMET.htm](http://www.smbbearings.com/Stocklists/S_MMET.htm).
- Motor Technology Inc. Consulta: abril de 2007  
<http://www.motortech.com/Landing-DC-MOTOR.html>.
- Rexroth, Bosch Group. Consulta: marzo 2007  
[www.boschrexroth.com](http://www.boschrexroth.com).
- SICK Optic-Electronic, S.A Consulta: abril de 2007  
<http://www.sick.es/es/es.html>.
- Sistema de Poleas y Correas. Consulta: junio de 2007  
<http://almez.pntic.mec.es/~jgonza86/Sistemas%20de%20poleas%20y%20correas.htm>.
- Universidad Carlos III de Madrid. Consulta marzo de 2007  
<http://www.uc3m.es/biblioteca/GUIA/citasbibliograficas.html>.