



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
LANZAPROYECTILES AUTOMÁTICO
PARA LA PRÁCTICA DE TIRO
PARABÓLICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:

RAGNAR ULISES GARCÍA ORDAZ



DIRECTOR DE TESIS: M.I. ULISES M. PEÑUELAS RIVAS

MEXICO,

Abril de 2008

Agradecimientos:

A mi mamá Lupita Ordaz por su apoyo incondicional.

*A la Universidad Nacional Autónoma de México
por todo el conocimiento que he adquirido gracias a ella.*

INDICE

Introducción.....	1
Prefacio.....	4
Capítulo 1. Antecedentes.....	5
1.1 Experimento-Demostración: Tiro al blanco.....	5
1.2 Formas con las que afrontaron el problema en otras instituciones y equipos.....	7
1.2.1 Licitación pública internacional No. 11135001-007-06 Equipo didáctico para la demostración de leyes Físicas.....	7
1.2.2 Lanzaproyectiles de Corto/Largo Alcance Marca Pasco.....	9
1.3 Proyectos de los cuales se puede adaptar algún dispositivo.....	10
1.3.1 Diseño e implementación de un robot para el EUROBOT 2005.....	10
1.3.2 Determinación de la posición de un objetivo por análisis de perspectiva, aplicada a un robot basquetbolista	12
1.3.3 Lanzadores de pelotas.....	13
1.3.4 Pistolas por aire o gas comprimido.....	14
1.3.5 Pistolas de balas de goma de juguete.....	15
1.3.6 Máquinas de Pinball para sistemas de disparos con resortes.....	15
1.4 Para el sistema de recarga automático.....	15
1.4.1 Máquinas de Pinball para guiar la pelota a diferentes puntos por medio de diferentes tipos de rieles.....	15
1.4.2 Redes de robots de tenis de mesa para capturar las pelotas.....	16
1.5 Para el sistema de ajuste angular.....	17
1.5.1 Sistemas de ajuste angular en cañones antiaéreos y ametralladoras.... 17	
1.5.2 Observatorio Astronómico Los Molinos.....	18
1.5.3 Sistema de medición angular microcontrolado, de alta resolución controlado por un synchro.....	19

Capítulo 2. Generación de conceptos de solución.....	20
2.1 Los Pasos del proceso de diseño.....	20
2.2 Selección del concepto.....	22
2.3 Requerimientos del dispositivo.....	25
2.4 Resistencia aerodinámica de cuerpos con simetría axial tridimensionales.....	27
2.5 Posibles proyectiles.....	29
2.6 Conceptos de solución.....	32
Capítulo 3. Selección de conceptos.....	37
3.1 Perspectiva general de la metodología.....	37
3.1.1 Preparar las matrices de decisión.....	38
3.1.2 Calificar los Conceptos.....	38
3.1.3 Ordenar por rango los conceptos.....	39
3.1.4 Combinar y mejorar los conceptos.....	39
3.1.5 Seleccionar uno o más conceptos.....	39
3.1.6 Reflexionar sobre los resultados y el proceso.....	40
3.2 Evaluación y selección de las diferentes propuestas.....	40
3.2.1 Evaluación y selección de la propuesta del proyectil.....	40
3.2.2 Evaluación y selección del mecanismo de disparo.....	41
3.2.3 Evaluación y selección del sistema posicionamiento angular.....	43
3.2.4 Evaluación y selección del sistema de recarga.....	44
3.3 Propuestas Seleccionadas.....	46
3.4 Actuadores.....	48
Capitulo 4. Diseño de detalle.....	49
4.1 Diseño del resorte.....	49
4.2 Diseño de ejes y flechas.....	54
4.2.1 Eje del embolo.....	55
4.2.2 Ejes del sistema de transferencia de giro.....	57
4.2.3 Eje de deslizamiento.....	59
4.2.4 Flecha para sistema de ajuste angular.....	61
4.3 Cálculo del tornillo Sinfín del Sistema de Recarga.....	65

4.4 Colocación de los diversos actuadores para optimizar el ángulo de disparo y reducir al máximo el momento generado sobre el sistema de giro.....	65
Capítulo 5. Manufactura y pruebas del dispositivo.....	68
5.1 Manufactura del dispositivo.....	68
5.1.1 Torno.....	68
5.1.2 Fresadora.....	70
5.1.3 Maquina de prototipos rápidos.....	71
5.2 Prototipo manufacturado.....	72
5.3 Pruebas del dispositivo.....	74
Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones.....	75
6.1 Conclusiones.....	75
6.2 Recomendaciones.....	76
Apéndice 1 Planos.....	77
Apéndice 2 Cálculos rectificadas	109
Apéndice 3 Actuadores utilizados en el prototipo.....	111
Apéndice 4 Nudo y adaptaciones.....	112
Referencias.....	115

Introducción

Las prácticas del Laboratorio 1 de Mecánica son esenciales a nivel ingeniería, pues ayudan a reforzar el aprendizaje de la teoría.

Con este fin se desarrollo el siguiente proyecto:

PROYECTO PAPIME 2004 EN106204

CREACIÓN DE UN LABORATORIO REMOTO ACCEDIDO POR MEDIO DE LA INTERNET PARA LA ASIGNATURA CINEMÁTICA Y DINÁMICA

SÍNTESIS

Actualmente se imparte el laboratorio no curricular de las asignaturas de Mecánica de forma presencial, y el cual tiene mucha demanda por lo que los grupos están saturados. Con objeto de ofrecer una opción más para realizar las prácticas, se propone este proyecto a desarrollarse en dos años denominado “Creación de un laboratorio remoto accedido por medio de la Internet para la asignatura Cinemática y Dinámica”, con lo cual se logrará mejorar la calidad del aprendizaje de la materia citada, y por tanto la preparación de los alumnos será más sólida.

Los objetivos de este trabajo son:

- 1 Diseño de prácticas de Cinemática y Dinámica que cubran su contenido y que puedan realizarse de forma remota por medio de la Internet.
- 2 Implementación de dichas prácticas, lo que implica el diseño y la construcción de dispositivos mecatrónicos y sensores electrónicos requeridos para su realización remota.
- 3 Desarrollo del software para la operación del sistema con una computadora personal a través de la Internet, que corra en un servidor configurado para realizar esta tarea.

Con este proyecto se pretende lograr un mejor aprovechamiento de los recursos materiales de la Universidad, además de la posibilidad de difundir más ampliamente el conocimiento a un sector más amplio de la población, y generar conocimiento práctico para su uso en otras áreas.

Un valor agregado que se logrará es la formación de profesionales capaces de resolver problemas tecnológicos que requiere la sociedad, al involucrar a alumnos tesistas en el desarrollo de este proyecto. Se conformarán grupos de trabajo multidisciplinarios para abordar cada una de las prácticas seleccionadas, los cuales trabajarán de forma coordinada.

De dicho proyecto se desprende la práctica de tiro parabólico, de la cual forma parte este trabajo de tesis. La práctica corresponde con la siguiente descripción

La práctica de tiro parabólico consiste en verificar las características cinemáticas de posición, rapidez y aceleración de un objeto que se impulsa con un disparador, el cual es susceptible de ajustarse de tal forma que tenga una inclinación determinada. Al mismo tiempo se coloca un segundo objeto en la línea de mira del disparador, al que se suelta justo cuando el primero abandona al disparador del tiro parabólico, y su movimiento será una caída libre. Los dos objetos forzosamente deben colisionar, independientemente de la rapidez que se imprima al tiro parabólico. Luego de efectuar el experimento varias veces, y verificar este hecho, se obtienen los modelos matemáticos que relacionan la posición con el tiempo de ambos objetos, a partir de los cuales se puede verificar el instante y la posición en las que ocurre dicha colisión.

El presente trabajo pretende diseñar y construir un prototipo de lanzaproyectiles con acciones automatizadas para facilitar su posterior control desde una computadora.

En el Capítulo 1 se mostraran tanto los productos comerciales con los que se realiza la práctica, así como una breve explicación de la misma. Además de las diferentes formas con que se lanzan pelotas, la forma de ajustar el ángulo en diferentes mecanismos que requieren precisión, así como de diversas formas de llevar una pelota por diferentes caminos y formas de capturarla para tener ideas del sistema de recarga.

En el Capítulo 2 se muestran las diversas necesidades del proyectil, así como también las diferentes propuestas de solución para cada una de las partes del lanzaproyectiles.

En el Capítulo 3 se describe el proceso a seguir para la selección de los diversos dispositivos, así como la selección de estos mismos.

En el Capítulo 4 se realizan los cálculos para la construcción de piezas del prototipo, así como también una muestra de la ayuda de los programas CAD para optimizar el acomodo de los diversos dispositivos para la funcionalidad de las partes del mismo.

En el Capítulo 5 se da un resumen de los procesos de manufactura utilizados para la construcción de dicho prototipo, además de mostrar los resultados de la manufactura. Por último se realiza un resumen de las pruebas hechas con este prototipo y los resultados obtenidos.

Prefacio

Objetivos particulares del trabajo de tesis:

Diseñar un sistema de disparo, preciso, de fácil mantenimiento y económico en su construcción, para la práctica de tiro parabólico del laboratorio.

Para comprobar en la práctica de tiro parabólico que cuando un proyectil apunta a un objeto fijo que inicia un movimiento de caída libre, una vez que se dispara el proyectil simultáneamente el objeto comienza su caída libre y de esta manera los dos objetos impactaran después de un cierto tiempo siempre que el proyectil tenga la suficiente velocidad para alcanzar al objeto en caída libre antes de que toque el suelo.

Construir un mecanismo capaz de regular la fuerza del disparo y un sistema de ajuste angular de precisión. Además de tener la capacidad de auto recargarse, para poder realizar un gran número de experimentos por día, sin la ayuda de un encargado del laboratorio, ello gracias al agregar posteriormente una interfase con la computadora para su control.

Justificación

Una gran cantidad de alumnos se inscriben semestralmente a los laboratorios, dada la buena opinión que tienen los profesores de esta actividad experimental, por lo que fomentan ampliamente entre sus estudiantes la asistencia a ellos. Pero por falta de infraestructura física y de equipamiento, los grupos están saturados, por lo que se requiere formar brigadas de cinco y hasta de seis alumnos, disminuyendo sustancialmente el impacto que puede generar esta actividad en el logro de un aprendizaje significativo.

Este trabajo no pretende sustituir al equipo existente, realmente será un complemento para el equipo actual del laboratorio, y a la vez sea un complemento para el mejor aprendizaje de los alumnos.

Capítulo 1. Antecedentes

Dentro de los antecedentes se incluye la forma de realizar la práctica de tiro parabólico, para poder entender mejor la realización del experimento y comprender los diferentes elementos que lo conforman y así determinar los diferentes elementos que tendrían que rediseñarse para tener una mayor facilidad en la automatización, así como satisfacer la necesidad de un sistema impulsor que logre generar una velocidad lo suficientemente grande como para impactar al objeto en caída libre antes de que toque el suelo. Además de la importancia de la precisión en el ángulo de disparo para poder causar un impacto entre los objetos el proyectil y el objeto en caída libre.

1.1 Experimento-Demostración: Tiro al blanco [1]

- En este experimento se demostrará como un blanco que cae libremente es alcanzado por un proyectil, siempre y cuando el lanzador apunte inicialmente a dicho blanco antes de comenzar la caída.

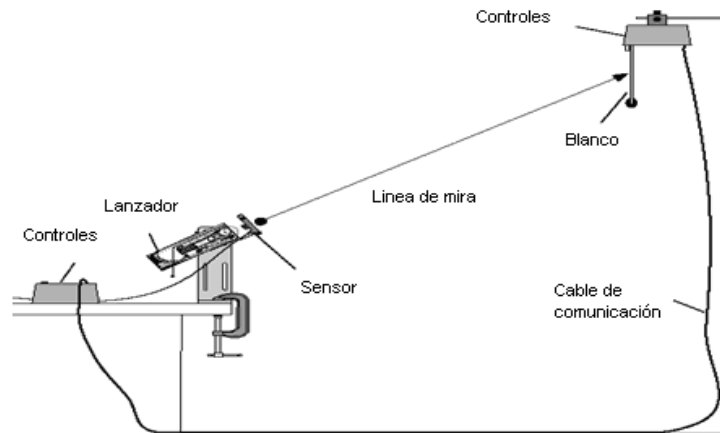


Figura 1.1 Experimento del tiro parabólico

- Elementos de la práctica:
 - Lanzador de proyectil.
 - Accesorio tiro al blanco.

- Bola de plástico.

- Ecuaciones

Las ecuaciones del movimiento del proyectil y del blanco para el experimento son las siguientes:

Blanco:
$$y = h - \frac{1}{2}gt^2 \quad 1.1$$

Proyectil:
$$y = v_0 t \sin \theta - \frac{1}{2}gt^2 \quad 1.2$$

Igualando las dos ecuaciones se tiene que: $h = v_0 t \sin \theta$ (1.3); por lo que $t = \frac{h}{v_0 \sin \theta}$

(1.4). Sustituyendo el valor del tiempo para la distancia horizontal recorrida por el

proyectil, $x = v_0 t \cos \theta$ (1.5) tenemos que $x = \frac{h}{\tan \theta}$ (1.6). Por lo tanto, para

garantizar el acierto el lanzador debe de apuntar directamente al blanco antes de la caída, esto es:

$$\tan \theta = \frac{h}{x} \quad 1.7$$

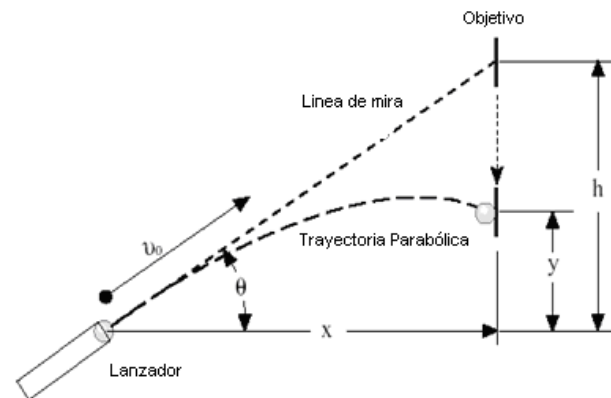


Figura 1.2 Trayectoria del proyectil

1.2 Formas con las que se afronto el problema en otras Instituciones y equipos:

Se puede observar que la Universidad Nacional Autónoma de México no es la única que ha tratado de facilitar la realización de este experimento para que resulte más didáctico y sencillo.

De aquí se requiere ver algunas de las necesidades que se presentan para su realización, así como diferentes respuestas y preguntas que se deben plantear al problema del diseño del dispositivo.

A continuación se muestra la licitación realizada por el Instituto Politécnico Nacional (IPN), donde muestra los requerimientos mínimos para su diseño pedidos por dicha institución para un funcionamiento más simple y mayor rapidez para su realización.

1.2.1 Licitación pública internacional No. 11135001-007-06

“Equipo didáctico para la demostración de leyes Físicas” [2]

Punto 13 Cañón para tiro parabólico 2

1. Máquina lanzadora grande para experimentos cuantitativos y de demostración de la ley de la balística, así como experimentos sobre conservación de la energía.
2. Mecanismo de muelle en tres etapas para diferentes velocidades de proyección.
3. Montaje oscilante en el punto de proyección con ángulo de proyección de ajuste continuo.

4. Micro conmutador integrado para el arranque sincronizado de un dispositivo de temporizado eléctrico, o una bola en caída libre para demostrar el principio de superposición.
5. El dispositivo de lanzamiento se puede fijar con mordazas al tablero de una mesa.
6. Deberá incluir 10 bolas de proyectiles y dos bolas de caída libre.
7. Ángulo de elevación: 0° a 90° , división de 5° .

Desviación de la trayectoria: Horizontal de ± 3 centímetros, vertical de ± 2 centímetros

Tabla 1.1 Diámetros de las bolas

Bola	Diámetro [mm]
Proyectil	10
Caída libre	30

Tabla 1.2 Requerimientos para el disparo

Tensión del muelle	Velocidad de proyección [m/s]	Rango máximo de lanzamiento [m]
1	2	0.4
2	3	1.1
3	4	1.8

2 PINZAS DE MESA:

Pinza atornillable para montar verticalmente, varillas, en el borde de una mesa.

Con dos taladros roscados.

1.2.2 Lanzaproyectiles de Corto/Largo Alcance Marca Pasco [3]

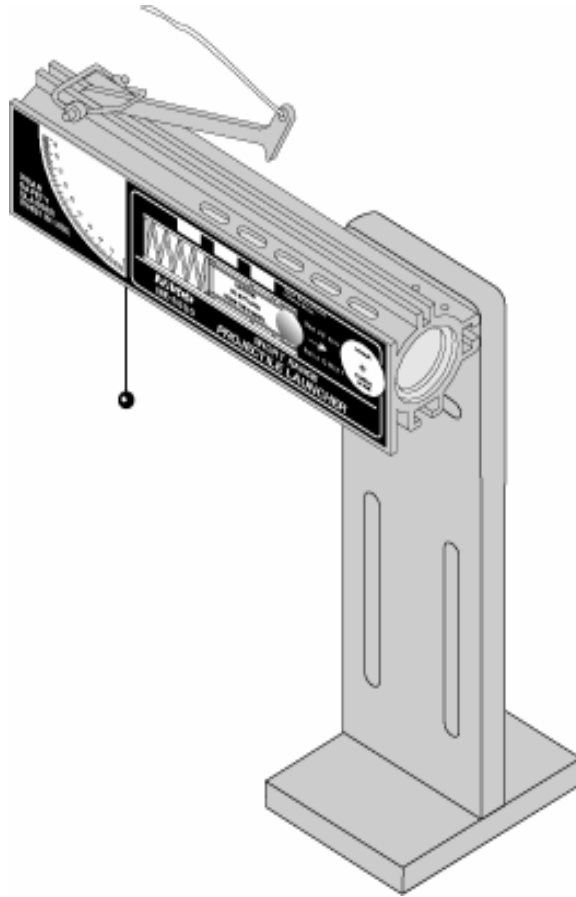


Figura 1.3 Lanza proyectiles de corto alcance modelo ME-6800 marca Pasco

Trascripción de las características del lanzaproyectiles del manual de PASCO. El Lanzaproyectiles PASCO ha sido diseñado para ejecutar experiencias y demostraciones sobre tiro oblicuo. El único equipo adicional que se necesita es una prensa en C para sujetar el Lanzaproyectiles a la mesa de trabajo. Las características del Lanzaproyectiles incluyen:

- LANZAMIENTO CON CUALQUIER ÁNGULO INICIAL:

Las pelotas pueden ser lanzadas con cualquier ángulo inicial entre 0° y 90° medidos respecto a la horizontal. El ángulo se ajusta fácilmente mediante tornillos

mariposa. El transportador y la plomada incorporados en un costado del lanzador brindan una forma práctica y precisa de medir el ángulo de salida (Figura 1.3)”

- TRES VELOCIDADES INICIALES:

Se puede elegir entre tres velocidades iniciales. Para el Lanzaproyectiles de Corto Alcance, los tres alcances máximos son, aproximadamente, 1.2, 3 y 5 metros.

- ALTURA INICIAL INDEPENDIENTE DEL ÁNGULO DE SALIDA:

El Lanzaproyectiles pivotea sobre la boca de salida, de manera que la altura a la que la pelota abandona el pistón no varía con el ángulo de salida. La base tiene dos pares de ranuras: el superior, con un arco de circunferencia y un centro de rotación, se usa cuando se desea cambiar el ángulo de salida; y el inferior, con dos ranuras verticales, se utiliza cuando se quiere lanzar horizontalmente, como se hace dentro de un péndulo balístico o un carrito.

- RESULTADOS REPETIBLES:

No hay movimiento rotacional en la pelota debido a que el pistón evita que roce las paredes del cilindro. La sólida base se puede fijar a la mesa de trabajo con una prensa en C (no incluida) de manera que casi no haya retroceso. El gatillo se tira con un cordón para minimizar la vibración.

1.3 Proyectos de los cuales se puede adaptar algún dispositivo

Se observa en esta parte los diferentes proyectos de los cuales se puede adaptar diversos dispositivos, los cuales podrían cumplir con nuestros requerimientos, estos incluyen desde dispositivos comerciales, así como proyectos de diversas índoles.

1.3.1 Diseño e implementación de un robot para el EUROBOT 2005 [4,5]

“El diseño, implementación y funcionamiento del robot desarrollado por un equipo para la participación en el Eurobot 2005. El objetivo del robot es participar en la

prueba “Bowling”, propuesta por la organización del Eurobot, consistente básicamente en tumbar una serie de bolos coloreados mediante el lanzamiento desde el robot de un conjunto de bolas.”[4]

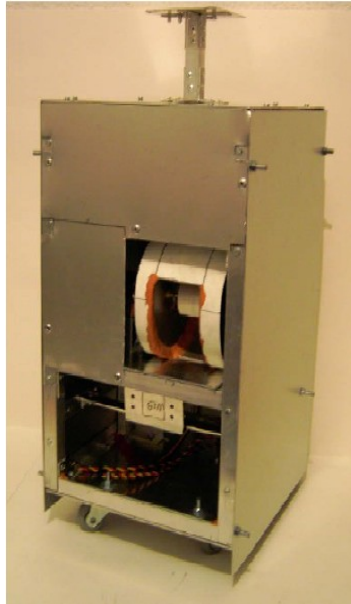


Figura 1.4 Aspecto final del robot

La Figura 1.5 muestra el sistema de disparo.

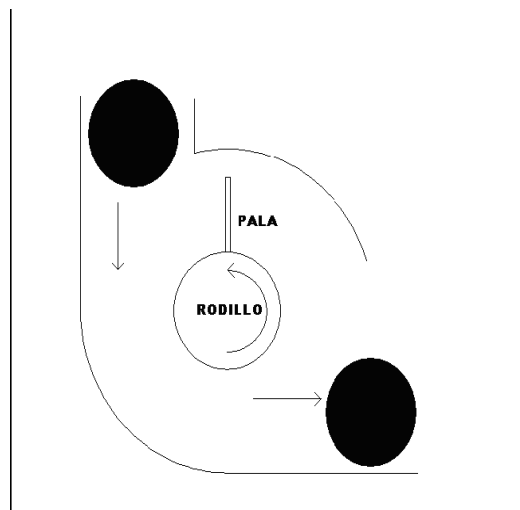


Figura 1.5 Sistema de disparo

El motor que mueve el rodillo (Figura 1.5) es un motor de corriente continua.

1.3.2 Determinación de la posición de un objetivo por análisis de perspectiva, aplicada a un robot basquetbolista (FIGURA 1.6) [6]

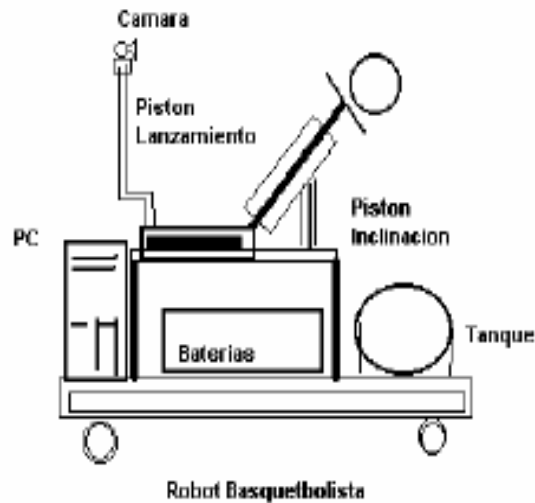


Figura 1.6 Robot Basquetbolista [6]

En la Figura 1.6 se muestra el robot que consta de tres partes mecánicas importantes:

- 1.- La base del robot la cual soporta a todo el sistema mecánico, electrónico y de software.
- 2.- Base Secundaria en la cual se apoya el plato giratorio, el sistema pistón – pelota de basquet como también las electro válvulas.
- 3.- Por último el sistema giratorio el cual incluye el pistón de lanzamiento, las electroválvulas, la cámara digital y el soporte de la pelota de basquet.

El cañón y la cámara se encuentran alineados sobre un plato giratorio accionado por un motor. Esto permite el sensado del error en la orientación del cañón respecto de la orientación deseada. En función de este error son controlados, durante el proceso de alineación, el sentido y la velocidad de giro del motor, empleando modulación de ancho de pulso generada en la PC.

Sistema de propulsión. El principal problema a la hora de diseñar el sistema de propulsión fue el de establecer qué tipo de pistón se iba a utilizar para poder

impulsar la bola a una velocidad media de $7m/s$ aproximadamente. Se planteó el problema considerando que el impacto del vástago del pistón con el balón puede ser aproximado a un choque elástico. Según este planteamiento, el pistón podría brindar este tipo de choque era uno de doble efecto; alimentando una de las entradas se impulsa el pistón y con la otra entrada se frena el mismo. El segundo paso era realizar el cálculo de la transferencia de momento lineal del sistema pistón-bola, mediante la siguiente relación:

$$m_p v_p = m_b v_b \quad 1.8$$

donde

m_p = masa del vástago del pistón

v_p = velocidad del pistón

m_b = masa de la bola

v_b = velocidad de la bola

Si se despeja de la anterior ecuación la velocidad v_b , que es lo que nos interesa, se obtiene la siguiente relación:

$$V_b = m_p v_p / m_b \quad 1.9$$

De las hojas técnicas se obtuvo el dato de la velocidad máxima que podía alcanzar el pistón, y ésta consistía en $1m/s$. Con este dato se observó que la relación entre la masa del pistón y de la masa de la bola debería ser aproximadamente de 7 a 1. El peso de la bola era de $250gr$, y por ende el peso del pistón debía ser de $1.5kg$, aproximadamente. Debido a este requerimiento se tuvo que adaptar una pieza al vástago del pistón para aumentar su masa.

1.3.3 Lanzadores de pelotas

Además observando máquinas lanzadoras de pelotas de football americano y baseball que impulsan las pelotas por medio de dos rodillos, los cuales por medio

de su giro y la fricción causada por un ajuste impulsan los diferentes objetos por un pequeño canal para fijar su trayectoria.

1.3.4 Pistolas por aire o gas comprimido [7,8]

Marcadoras de Gotcha (figura 1.7)

Básicamente son pistolas que funcionan a base de válvulas de presión y mangueras que hacen que las cápsulas de pintura salgan disparadas a 280 ft/s ó 85.4 m/s , con un alcance máximo de 100 m con parábola y 20 m con precisión.



Figura 1.7 Marcadora de Gotcha [7]

Las marcadoras pueden llevar distintos tipos de tanques.

Normalmente se usan tanques de CO_2 y aire comprimido.

Hay varias capacidades; los más normales son 12, 13, 20 Onzas en CO_2 y 1.1, 1.5 y 0.8 Litros en Aire Comprimido.

Los tanques llevan unas válvulas que pueden ser de distintos tipos:

- On/Off: se abren y cierran mediante un sistema de llave, duran más que las Pin y son más cómodas.
- Pin: llevan un "palito" que al apretarlo deja salir el gas.
- Antisifón: es un accesorio que se pone a las válvulas para obtener gas en estado gaseoso y no en líquido.
- En aire Comprimido llevan reguladores o Presets que regulan la salida del mismo.

1.3.5 Pistolas de balas de goma de juguete

Funcionan por medio de un cilindro y un pistón que es impulsado por un resorte, el resorte es comprimido y al jalar del gatillo éste impulsa al pistón, el cual empuja el aire encerrado entre el pistón y el proyectil dentro del cilindro, para que el aire sea el que lance al proyectil con una velocidad inicial.

1.3.6 Máquinas de Pinball para sistemas de disparos con resortes [10]

La pelota de Pinball es impulsada por un resorte comprimido y alcanza una alta velocidad.

1.4 PARA EL SISTEMA DE RECARGA AUTOMÁTICO

1.4.1 Máquinas de Pinball para guiar la pelota a diferentes puntos por medio de diferentes tipos de rieles (figura 1.8) [10]



Figura 1.8 Rieles de metal y plástico [10]

1.4.2 Redes colocadas en robots de tenis de mesa para capturar las pelotas (figura 1.9) [11]

En general las redes de estos dispositivos están diseñadas para eliminar el Spin (giro) de las pelotas y un poco de la energía cinética de las mismas. Además de encargarse de guiarlas hasta un canal para recargar el robot disparador.



Figura 1.9 Robots de ping pong con sus redes [11]

1.5 PARA EL SISTEMA DE AJUSTE ANGULAR

1.5.1 Sistemas de ajuste angular en cañones antiaéreos y ametralladoras [12]

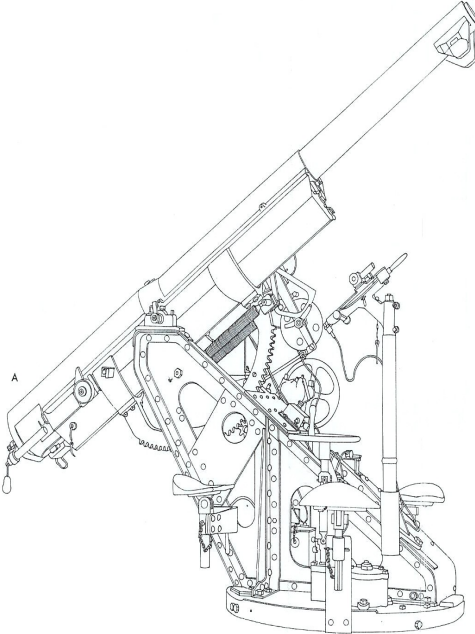


Figura 1.10 Cañón francés de campaña Schneider de 75mm [12]

Para cañones podemos observar en la Figura 1.10 un sistema consistente en piñón y cremallera, el cual es un cañón Francés de campaña Schneider, de 75 *mm*.

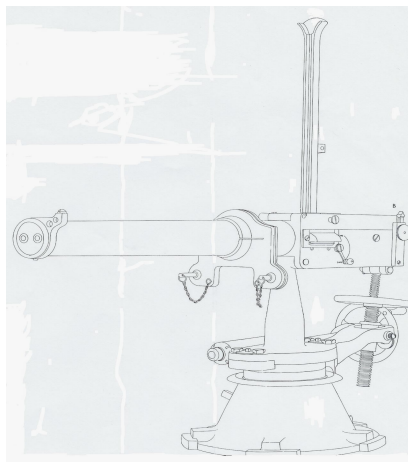


Figura 1.11 Ametralladora Nordenfelt [12]

Y con ametralladoras en un sistema de tornillo sinfín como muestra la Figura 1.11 La cual es una ametralladora, cal 45 (11.4 mm) diseñada por William Gardner, de Toledo Ohio.

Como se observa este tipo de sistemas son de ajuste manual, sin embargo como se verá a continuación, los sistemas de cajas de engranajes y sistemas de tornillos sin fin son una opción para facilitar la automatización del dispositivo ya que en la parte mecánica facilitan su movimiento y su precisión, y al acoplarlos con un motor eléctrico y otros dispositivos se puede realizar un control a través de un computadora personal como lo mostrado para el control de precisión en telescopios, como se muestra a continuación en los diferentes proyectos y propuestas para automatizar la dirección en un telescopio.

1.5.2 Observatorio Astronómico Los Molinos [13]

Sistema de Seguimiento Sidéreo por Micropasos

El sistema de control de motor de pasos para seguimiento sidéreo se compone de una electrónica con un microprocesador programado para ejecutar rutinas de micropasos. Estas rutinas permiten mover al motor en ángulos sumamente pequeños utilizando una técnica PWM (Modulación de ancho de pulso por sus cifras en Ingles) que permite variar la corriente aplicada a cada fase del motor.

En el sistema diseñado del motor realiza 20 micropasos por paso con lo cual se logra una resolución cercana a 1/20 de paso. Cercana porque la resolución de los micropasos dependerá de cada motor y se puede calibrar variando los porcentajes de corriente aplicados a cada fase.

Esta técnica es de mucha utilidad ya que permite trabajar con una mecánica con menor relación de reducción y lograr resoluciones angulares similares que solo se logran cuando se poseen grandes reducciones con motores a paso completo.

Para este caso la reducción total del sistema mecánico-electrónico se multiplicará por 20.

El sistema fue diseñado para telescopio Newton 114 F8 con montura ecuatorial y comandos lentos mediante un sistema de sinfín y corona con una relación mecánica de 284.4 a 1.

1.5.3 Sistema de medición angular microcontrolado, de alta resolución controlado por un synchro [14]

En resumen este proyecto es accionado por medio de un sistema de control diseñado para un synchro a través de un PIC 18F454, sensores y actuadores, se logra un sistema de control que da una resolución de 12 bits para lograr 0.087° de resolución angular, además de contar con un encoder incremental para verificar su posición este sistema de control es completo, complejo, y diseñado desde la parte matemática, más sin embargo una opción, si se llegara a necesitar una gran resolución.

En general se puede resumir que según se estime las necesidades de nuestro dispositivo puede hacerse más preciso, eficiente pero a su vez más complejo en cada uno de sus aspectos, por lo tanto es de suma prioridad marcar los requerimientos del dispositivo, para así poder plantear diversas soluciones, con ello poder limitar el número de opciones para centrarse en un diseño tanto funcional, de fácil mantenimiento, y con capacidad de ser instalado rápidamente y sin mayores complicaciones.

Capítulo 2. Generación de conceptos de solución

2.1 Los Pasos del proceso de diseño [15]

Para ilustrar el proceso de diseño, se debe considerar que el proceso consiste en seguir los siguientes pasos:

- Reconocer una necesidad
- Definición del problema
- Reunir Información
- Conceptuación
- Evaluación
- Comunicación del diseño

Reconocer una necesidad

La necesidad usualmente proviene de una insatisfacción de una situación existente. Se puede reducir el costo, incrementar relativamente el desempeño, o un justo cambio a causa de un aburrimiento del público con el producto.

Definición de un problema

Probablemente el paso más crítico en el proceso de diseño es la definición de un problema. El verdadero problema es que no siempre se da un vistazo a este. Aunque este paso requiere una pequeña parte del tiempo total para crear el diseño final, es importante a menudo pasarlo por alto.

Los objetivos y metas obtienen preguntas raíces, como que se incluye y que se excluye. Un camino para aprovechar estas opciones fueron sugeridas por Ira y Marthann Wilson. Ellos sugirieron cuatro categorías de objetivos y metas:

1. Indispensable. El poner los requerimientos que deben encontrarse.
2. No Indispensable. Poner un rango de limitaciones, que no debe tener o hacer el sistema.

3. Necesidades. Los requerimientos que son de provecho pero no sólidos y rápidos.
4. No necesario.

Reunir Información

La información que puede ayudarte a resolver el problema, se puede obtener de muchos lugares como libros de texto, artículos técnicos, reportes de compañías, patentes, catálogos, handbooks, Internet, etc.

Lo siguiente en los problemas, es que tan conectados están con la información obtenida:

¿Dónde la puedo encontrar?

¿Cómo puedo obtenerla?

¿Qué tan creíble y precisa es la información?

¿Cómo debe ser la información para interpretarla en mi necesidad específica?

¿Cuándo tengo suficiente información?

¿Qué decisiones resultan de la información?

Conceptuación

El paso de conceptuación determina los elementos, mecanismos, procesos o configuraciones que en combinación con otros resultados en un diseño satisfacen una necesidad. Es el paso llave para emplear invenciones y creatividad.

Evaluación

El paso de evaluación envuelve un verdadero análisis para el diseño.

Una importante consideración en cada paso en el diseño, pero especialmente cerca de la comprensión del diseño, es el chequeo. En general, hay dos tipos de chequeo que uno puede hacer: el chequeo matemático y chequeo por el sentido común del ingeniero. En el chequeo matemático básicamente consiste en un chequeo aritmético y en las ecuaciones usadas en el modelo analítico.

Por el sentido común del ingeniero se tiene en consideración que tan fiable es la respuesta, esta fiabilidad crece con la experiencia. Por ejemplo si un valor calculado no corresponde, además de poder consultar normas internacionales.

La optimización de estas técnicas en los pasos de evaluación y selección son las mejores llaves en los parámetros de diseño.

Comunicación del diseño.

Aquí es donde se puede observar si lo que se diseño satisface las necesidades del consumidor o cliente.

Algunas ocasiones cuando se presentan más de una solución a los problemas o necesidades en el proceso de diseño, es necesario plantear un método para elegir la que mejor resuelva el problema o necesidad específica. Por lo tanto es conveniente plantear la selección del concepto.

2.2 Selección del concepto [16]

La selección del concepto es una parte integral del proceso de desarrollo del producto.

En una etapa temprana del proceso de desarrollo, el equipo de desarrollo del producto identifica un conjunto de necesidades del cliente. Utilizando una variedad de métodos, genera conceptos de solución alternos en respuestas a esas necesidades.

La selección del concepto es el proceso de evaluar los conceptos con respecto a las necesidades del cliente, así como otros criterios, comparando las fortalezas y debilidades de los conceptos, y seleccionando uno o mas de ellos para investigación, prueba o desarrollo adicional.

Todos los equipos de personas utilizan algún método para elegir un concepto.

Sin considerar que la selección del concepto sea explícita o no, todos los equipos utilizan algún método para elegir entre los conceptos. (Incluso aquellos equipos

que sólo generan un concepto, utilizan un método, eligiendo el primer concepto en el que piensan). Los métodos varían en efectividad e incluyen lo siguiente:

- **Decisión externa:** los conceptos giran en torno al cliente o a alguna entidad externa para la selección.
- **Dirigente del producto:** un elemento influyente del equipo de desarrollo del producto elige un concepto con base en la experiencia personal.
- **Intuición:** el concepto es elegido por la sensación que provoca. No se recurre a criterios explícitos o equilibrios. El concepto simplemente parece mejor.
- **Votación múltiple:** cada miembro del equipo vota por varios conceptos. Se selecciona el concepto con más votos.
- **Pros y contras:** el equipo lista las fortalezas y debilidades de cada concepto, hace una elección con base en la opinión del grupo.
- **Prototipo y prueba:** la organización construye y prueba prototipos de cada concepto, haciendo una selección con base en los datos de la prueba.
- **Matrices de decisión:** el equipo considera cada concepto contra los criterios de selección previamente especificados, lo que puede resultar de gran influencia.

Las ventajas de este último método son:

- Reducir el tiempo para la introducción del producto.
- Toma de decisiones en grupo efectivas.
- Documentación del proceso de decisión.

El diseño exitoso se ve facilitado por la selección estructurada de conceptos.

Este capítulo está enfocado a la conceptualización de dispositivos que satisfacen de una forma más completa las necesidades del proyecto, se da una pequeña explicación del proceso de diseño para mostrar cómo se ha procedido.

1. Reconocimiento de la necesidad

Actualmente, las asignaturas Estática, Cinemática y Dinámica, que se imparten en la División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería, cuentan con laboratorio no curricular, con objeto de complementar y mejorar el aprendizaje logrado por los alumnos en sus clases teóricas. Una gran cantidad de alumnos se inscribe semestre a semestre a dichos laboratorios, dada la buena opinión que tienen los profesores de esta actividad experimental, por lo que fomentan ampliamente entre sus estudiantes la asistencia a ellos. Pero por falta de infraestructura física y de equipamiento, los grupos están saturados, por lo que se requiere formar brigadas de cinco y hasta de seis alumnos, disminuyendo sustancialmente el impacto que puede generar esta actividad en el logro de un aprendizaje significativo.

Se pretende que Cinemática y Dinámica que sustituyó en el nuevo Plan de Estudios a las asignaturas separadas de Cinemática y de Dinámica, tenga de una mejor enseñanza experimental. Por ello, se está desarrollando el proyecto PAPIME denominado “Creación de un laboratorio remoto accedido por medio de la Internet para la asignatura Cinemática y Dinámica”, con objeto de proporcionar a los alumnos que cursarán la materia una opción más para realizar las prácticas del laboratorio correspondiente. Para dicho laboratorio se tienen contempladas, cuando menos, seis prácticas diferentes, de las cuales una de ellas es la que analiza el tiro parabólico.

2. Definición del problema

Para la realización de la práctica de forma remota a través de la Internet, será necesario diseñar y construir un sistema formado por actuadores, sensores e interfaces que lo puedan llevar a cabo desde la computadora personal, o PC, del usuario. Para poder automatizar esta práctica, será necesario diseñar un mecanismo disparador tal que pueda controlarse su inclinación, un “soltador”, y un actuador capaz de alimentar al disparador.

Además, se requerirá dotar al sistema de un sensor, colocado en el extremo del disparador, con el que pueda sincronizarse el “soltado” del segundo objeto, y un sensor con el que se pueda determinar la inclinación del disparador.

También se requerirá una cámara digital con la que se pueda verificar la alineación del disparador con el segundo objeto.

El sistema deberá ser robusto y confiable, de tal forma que pueda soportar su uso cotidiano por parte de los alumnos, así como de fácil manejo

3. Reunir información. De que proyectos se puede usar algún dispositivo para facilitar el diseño, todo ello mostrado en los antecedentes.
4. Conceptuación. Mostar las necesidades físicas de los dispositivos para que puedan resolver el problema. Que es el fin de este capítulo.

2.3 Requerimientos del dispositivo

Las necesidades del experimento son las que guían estos requerimientos, una distancia entre el lanzaproyectiles y el blanco u objetivo de 2500 *mm*.

Con este dato se puede obtener los principales parámetros de diseño, tales como la velocidad y la resolución del ángulo de disparo. Y un ajuste angular de entre 0° y 90°. El primer cálculo que es el de la precisión angular se utiliza la ecuación 1.7:

$$\tan \theta = \frac{h}{x}$$

Se tiene que para garantizar un impacto entre el proyectil y el objetivo debe haber una Δh en este caso no mayor a la distancia de la suma de los radios del proyectil y el objetivo, y sencillamente como se diseña para extremos se elige un radio de proyectil de 5 *mm* y un radio del objetivo de 15 *mm* definidos en la segunda referencia. La Δh es la diferencia entre la altura del proyectil y agregando una desviación inicial a en la ecuación 1.7 y despejando h se obtiene $h = (x \tan \theta) + a$, sustituyendo esta h en la ecuación 1.1 se realizan los cálculos donde Δh es la diferencia entre y del proyectil y la y del objetivo con $x = 2500$ *mm*, tras realizar la tabla en Excel se comprueba que el caso más crítico es a 60° y la a máxima

tolerada es de la mitad de la suma de los radios del proyectil y el objetivo, con lo cual se sustituye la $a = 10 \text{ mm}$ en la ecuación 1.7 con $h = a$.

La precisión tendrá que ser:

$$\tan \theta = \frac{10}{2500} \quad 2.1$$

$$\tan \theta = 0.004$$

y por lo tanto

$$\theta = \text{angtan}(0.004)$$

$$\theta < 0.229^\circ$$

La precisión del ángulo de disparo debe ser menor o igual a 0.22° truncando el resultado anterior para garantizar el impacto.

Lo siguiente que debe ser determinado es la velocidad con la que debe impulsarse el proyectil, los datos para este cálculo son x que se determino de 2.5 m para una mayor precisión en el ángulo de disparo con una mayor distancia por si se usa para otro tipo de experimentos o sin sistema de recarga, la x del experimento se tiene que determinar con otros parámetros, y los ángulos recomendados en la 3^{ra} referencia para realizar este tipo de experimentos son de 30° y máximo de 60° , pero se puede tomar 30° hasta 50° para un rango cercano de mediciones y no construir un aparato contenedor tan grande.

Con base en los datos mostrados el ángulo mínimo de disparo es de 30° y una distancia x de 2.5 m . Dichos datos serán utilizados para crear la tabla 2.1 donde se muestran velocidades de un supuesto proyectil y la altura en la cual impactaría con el objetivo, esta información es para poder obtener el rango de velocidades necesaria para realizar el experimento. La altura del impacto del proyectil (y) está dada por:

$$y = h - \frac{g}{2} t^2 \quad 2.2$$

donde

h = altura inicial del objetivo

g = aceleración de la gravedad en el Distrito Federal = 9.77927 m/s^2

t = tiempo transcurrido después de que el objetivo este en caída libre

y donde la velocidad de disparo (v) esta dada por:

$$v = \frac{x}{t \cos \theta} \quad 2.3$$

donde

$$x = 2.5 \text{ m}$$

θ = es el ángulo de disparo = 30°

t = tiempo transcurrido después de que el objetivo este en caída libre.

Todo esto considerando un disparador que no genere giro de ningún tipo en el proyectil. En la tabla 2.1 se mencionan proyectiles capaces de otorgar dichas velocidades, debido a que se someten a un cálculo de arrastre, del cual se habla más explícitamente a continuación, el criterio para ser un proyectil relativamente aceptable su arrastre no debe superar el 4% de su peso.

2.4 Resistencia aerodinámica de cuerpos con simetría axial tridimensionales

[17]

Con números de Reynolds inferiores a 0.5, el flujo alrededor de la esfera es laminar y susceptible de una solución analítica, como la desarrollada por Stokes, en la ecuación conocida como ley de Stokes, Para la resistencia al avance o arrastre de una esfera;

$$F_D = 3\pi \mu V_0 D \quad 2.4$$

Obsérvese que la resistencia al avance correspondiente a esta condición de flujo laminar varía en función directa a la primera potencia de V_0 . Esta es una característica de todos los procesos con flujo laminar; en los flujos completamente turbulentos, el arrastre o resistencia al avance está en función de la segunda potencia de la velocidad. Si resolvemos simultáneamente las ecuaciones, anterior y la que sigue:

$$C_D = \frac{2F_D}{A_p \rho V_0^2} \quad 2.5$$

Tabla 2.1 Alturas de impacto, la velocidad correspondiente y proyectiles capaces de otorgar dichas velocidades a 20° y 2.5 m de distancia

t [s]	y [m]	v [m/s]	v [Km/h]	U	E	T	G	B
0,02	1,44719	144,338	519,6152					
0,04	1,44133	72,1688	259,8076					
0,06	1,43155	48,1125	173,2051					
0,08	1,41786	36,0844	129,9038					
0,1	1,40025	28,8675	103,923					
0,12	1,37874	24,0563	86,60254					
0,14	1,35331	20,6197	74,23075					
0,16	1,32397	18,0422	64,95191					
0,18	1,29073	16,0375	57,73503					
0,2	1,25356	14,4338	51,96152					
0,22	1,21249	13,1216	47,23775					
0,24	1,16751	12,0281	43,30127					
0,26	1,11861	11,1029	39,9704					
0,28	1,0658	10,3098	37,11537					
0,3	1,00908	9,6225	34,64102					
0,32	0,94845	9,0211	32,47595					
0,34	0,88391	8,49045	30,5656					
0,36	0,81545	8,01875	28,86751					
0,38	0,74309	7,59671	27,34817					
0,4	0,66681	7,21688	25,98076					
0,42	0,58662	6,87322	24,74358					
0,44	0,50252	6,5608	23,61887					
0,46	0,4145	6,27555	22,59197					
0,48	0,32258	6,01407	21,65064					
0,5	0,22674	5,7735	20,78461					
0,52	0,12699	5,55144	19,9852					
0,54	0,02333	5,34584	19,24501					
0,56	-0,08424	5,15491	18,55769					
0,58	-0,19572	4,97716	17,91777					
0,6	-0,31112	4,81125	17,32051					
0,62	-0,43043	4,65605	16,76178					
0,64	-0,55365	4,51055	16,23798					
0,66	-0,68078	4,37387	15,74592					
0,68	-0,81182	4,24522	15,2828					
0,7	-0,94677	4,12393	14,84615					
0,72	-1,08564	4,00938	14,43376					
0,74	-1,22841	3,90102	14,04366					
0,76	-1,3751	3,79836	13,67409					
0,78	-1,5257	3,70096	13,32347					
0,8	-1,68022	3,60844	12,99038					

Donde el tipo de proyectil queda definido por la letra **U**=Unicel, **E**=Esponja, **T**=Tenis de mesa, **G**=Pelota de Golf y **B**=Balines de acero

Obtenemos el coeficiente de resistencia aerodinámica o al avance correspondiente a la ley de Stokes:

$$C_D = \frac{24}{\text{Re}} \quad 2.6$$

2.5 Posibles proyectiles

Como uno de los principales factores en el momento de tomar una decisión al seleccionar el proyectil va es la inercia, se muestra el cálculo del arrastre de los posibles proyectiles para tener un dato cuantificable de la inercia que es el porcentaje del arrastre comparado con la masa del proyectil.

Para una velocidad máxima del lanzaproyectiles de largo alcance de Pasco de 9 *m/s* tenemos entonces:

$$\text{Re} = \frac{VD\rho}{\mu} \quad 2.7$$

donde

Re = es el número de Reynolds

V = velocidad del objeto respecto del flujo

D = diámetro de la pelota

ρ = densidad

μ = viscosidad dinámica del fluido

Con base en la Figura 2.1 calculamos C_D

Para obtener F_D (Fuerza de arrastre) utilizamos la siguiente ecuación:

$$F_D = \frac{C_D A_p \rho V_0^2}{2} \quad 2.8$$

donde

A_p = Área proyectada de la esfera

$V_0 = V$

C_D = Coeficiente de arrastre

$$A_p = \frac{\pi d^2}{4} \quad 2.9$$

De la tabla 2.2 se pueden observar los diámetros menor de 0.0127 m y el mayor de 0.072 m y de los cálculos de velocidades del experimento mostrados en la tabla 2.1 se tiene una velocidad mínima factible de 5.3 m/s de la tabla 2.1 y una máxima factible dada por el lanzaproyectiles de Pasco de largo alcance de 9 m/s poco mayor a la solicitada para nuestro experimento de 7 m/s.

Y las propiedades del aire [17] a 20 °C son:

Densidad = 1.2 kg/m³

Viscosidad dinámica = 1.81 x 10⁻⁵ N·s/m³

Entonces, para flujos sobre una esfera con $Re \leq 0.5$, podemos utilizar la relación directa anterior. La figura 2.1 proporciona los coeficientes de arrastre para otros cuerpos con simetría axial y tridimensionales para números de Reynolds grandes.

Tabla 2.2 Posibles proyectiles. Cálculo a 9 m/s.

Tipo de proyectil	Diametro [mm]	Masa [g]	Peso [N]	FD [N]	%FD vs Peso
Pelota de Ping Pong	40	2,7	0,000275229	0,00271	9,8621
Pelota de Golf	42,67	45,93	0,004681957	0,00309	0,6597
Balin de acero 1	12,7	8,419367	0,000858243	0,00027	0,3188
Balin de acero 2	16	16,83559	0,001716166	0,00043	0,2531
Balin de acero 3	25	64,22266	0,006546653	0,00106	0,162
Pelota de Unicel 1	34	0,514488	5,24453E-05	0,00196	37,393
Pelota de Unicel 2	39	0,776484	7,91523E-05	0,00258	32,599
Pelota de Unicel 3	45	1,192823	0,000121593	0,00344	28,253
Pelota de Unicel 4	50	1,636246	0,000166794	0,00424	25,428
Pelota de Unicel 5	57	2,424171	0,000247112	0,00551	22,305
Pelota de esponja natural 1	28	0,976993	9,95916E-05	0,00133	13,355
Pelota de esponja natural 2	35	1,90819	0,000194515	0,00208	10,684
Pelota de esponja natural 3	48	4,921996	0,000501733	0,00391	7,7903
Pelota de esponja natural 4	72	16,61174	0,001693347	0,00879	5,1935

La tabla 2.2 es un claro ejemplo de la tabla 2.1 donde se demuestra un elevado arrastre para proyectiles de poca masa, aunque algunos de estos no deben ser descartados a la ligera, ya que en uno de los sistemas de disparo podrían utilizarse gracias a sus propiedades elásticas.

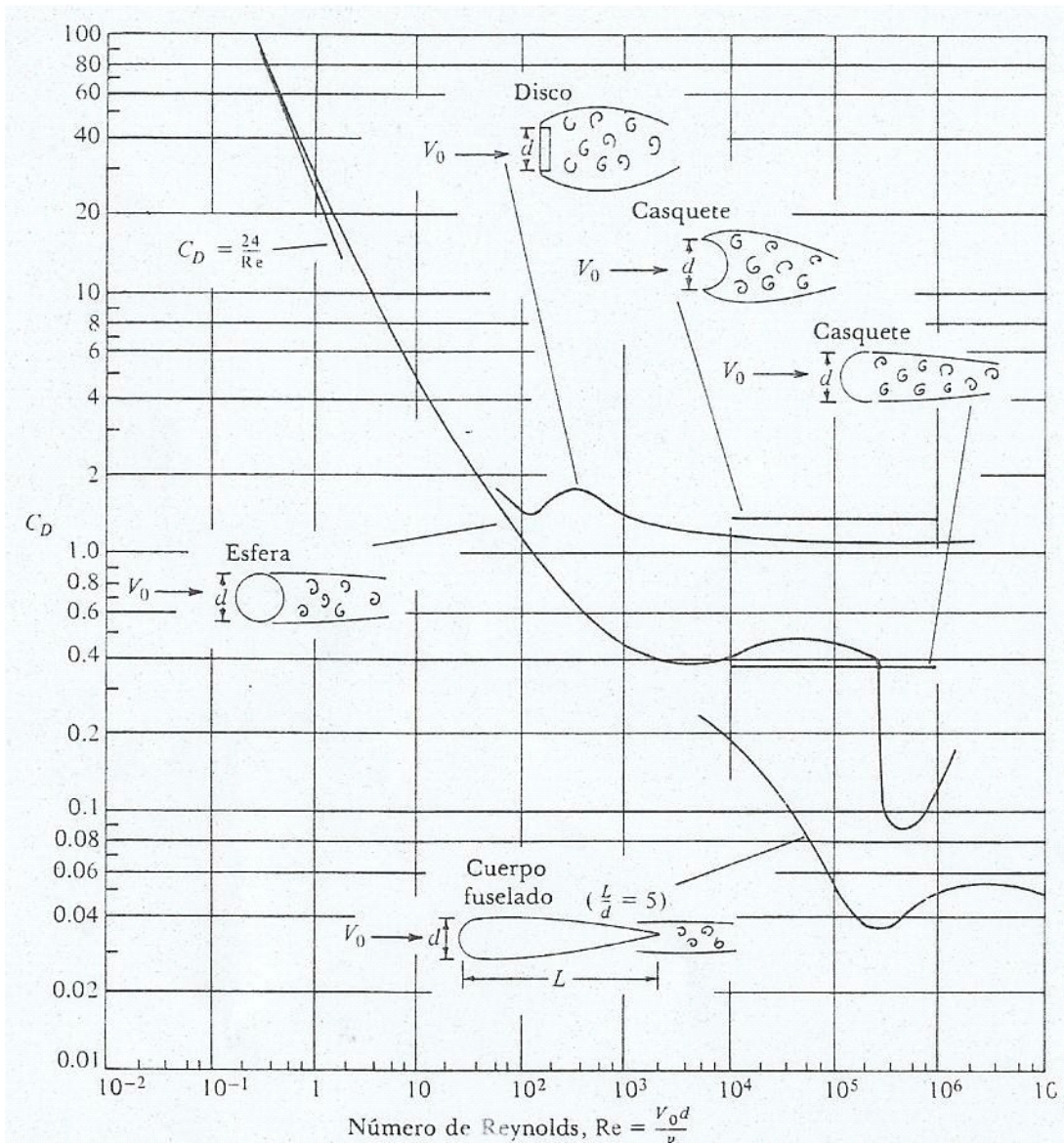


Figura 2.1 Coeficiente de resistencia al avance en función del número de Reynolds para varios cuerpos con simetría axial con respecto al flujo

A continuación se muestra un resumen de las diferentes opciones para cada una de las necesidades para lograr la implementación del dispositivo.

2.6 Conceptos de solución

En la Figura 2.2 se muestran las entradas que tenemos al dispositivo de disparo, justamente para lograr un disparo exitoso, o sencillamente el correcto funcionamiento de este.

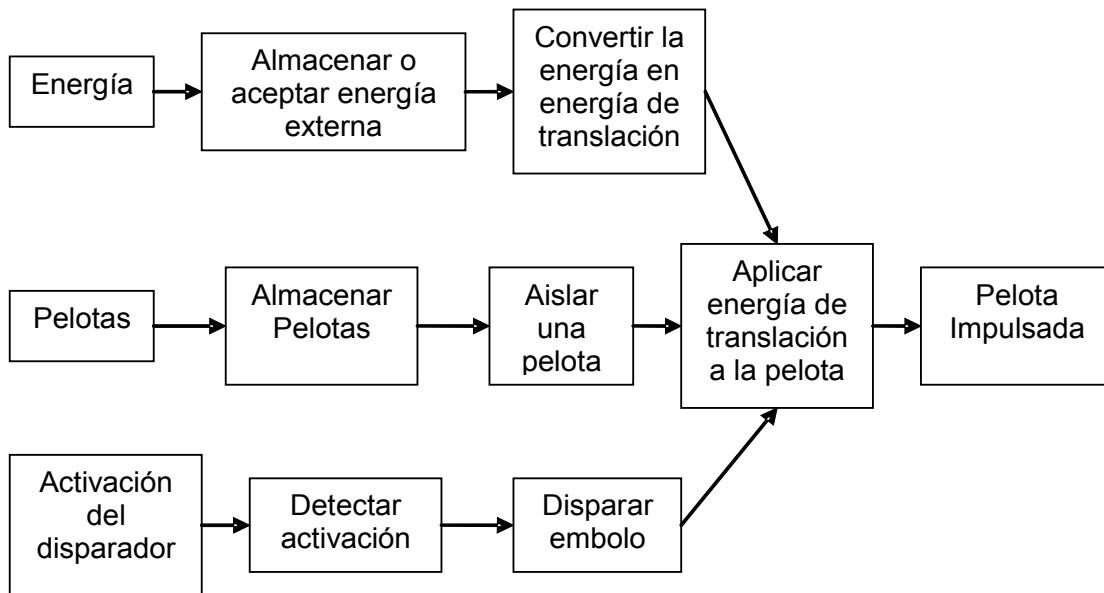







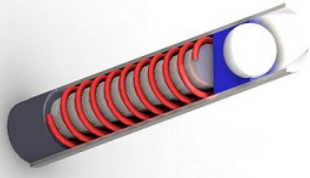
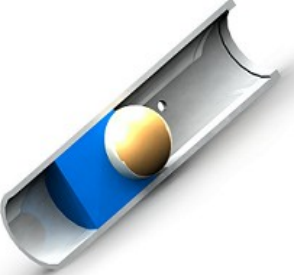
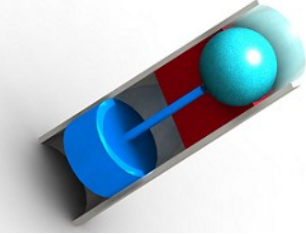
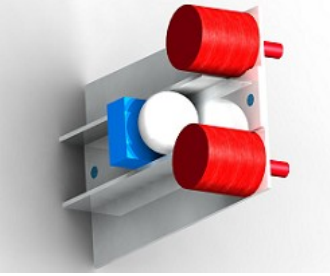
Figura 2.2 Diagrama de entradas al dispositivo de disparo




El diagrama anterior ayuda a entender, en resumen, las diferentes entradas que necesita el dispositivo, además de los procesos que se deben seguir para lograr impulsar la pelota o proyectil.

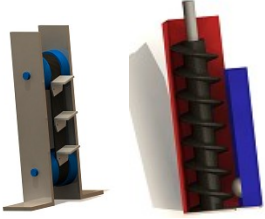

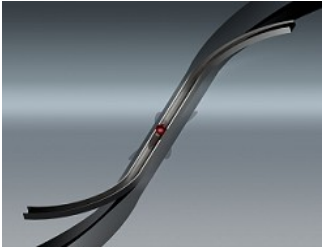
En el siguiente capítulo se definirá la forma de calificar los diversos conceptos de solución para seleccionar la mejor opción.

A continuación se muestran en resumen con forma de tablas las diferentes opciones para cada una de las necesidades, para lograr la implementación del dispositivo.

Tipo de proyectil	Características	Ventajas	Desventajas
Pelota de ping pong 	Diámetro = 40 mm Masa = 2.7 g	Ligeras, buenas propiedades aerodinámicas cuando están girando, tienen diversos tipos de calidad y precio, resistente a un buen número de impactos y su impacto no daña tanto.	Cuando no giran no presentan buenas propiedades aerodinámicas. Frágiles. Pueden llegar a deformarse.
Pelota de golf 	Diámetro = 42.67 mm Masa = 45.93 g	Buenas propiedades aerodinámicas con y sin giro, gran variedad de calidades y precios, buena durabilidad, resistente a los impactos.	Peso relativamente elevado, costo superior a la mayoría de las opciones, su impacto daña ciertos materiales, mucho rebote sobre superficies duras.
Balines de acero 	Gran variedad de diámetros y una densidad de 7850 kg/m ³	Buena relación entre su masa y su arrastre, gran cantidad de tamaños, resisten impactos, presiones.	Su densidad entre los proyectiles es la mayor, su impacto sería el más destructivo.
Pelotas de unicel 	Gran variedad de diámetros, una densidad de 25 kg/m ³ capacidad para ser pintadas	Las más baratas de las opciones, las más ligeras, muchos tamaños.	La peor relación entre su peso y arrastre, poca resistencia a deformarse permanentemente.
Pelotas de esponja 	Gran variedad de diámetros, una densidad de 85 kg/m ³ gran cantidad de colores	Baratas, durables, buenas propiedades elásticas. No causan daño con su impacto.	Mala relación entre su peso y arrastre, su propiedades de rebote las harían más difíciles de atrapar, presentan deformaciones elásticas.

Mecanismos de disparo	Descripción	Ventajas	Desventajas
<p>Resortes ó Muelles</p> 	<p>Sistema que por medio de la compresión de un resorte y su posterior liberación logra imprimir una velocidad al proyectil.</p>	<p>Gran variedad de ajuste en la fuerza de disparo, económicos, mayor facilidad de mantenimiento. Puede usar cualquier tipo de proyectil. Se pueden fabricar con especificaciones requeridas (tamaño, su constante, material).</p>	<p>Fatiga del resorte. Se tendría que diseñar de un mecanismo para comprimir el resorte. Sistema de recarga frontal, debido a la necesidad del embolo para evitar el giro de la pelota. Con cambios ligeros de peso la fuerza requerida por el resorte es mucho mayor.</p>
<p>Aire a presión</p> 	<p>Sistema idéntico al utilizado por las pistolas de gotcha, se suministra aire a presión para lograr el impulso del proyectil y en este caso del émbolo necesita un tope para evitar la proyección del émbolo</p>	<p>Excelente velocidad inicial de disparo y para disparos a grandes distancias, puede manejar diferentes cantidades de masa. Puede usar cualquier tipo de proyectil</p>	<p>Gran dificultad de ajuste en la fuerza de disparo, costoso, sistema de recarga frontal por la misma necesidad del émbolo, maquinado de alta precisión y materiales de buena calidad</p>
<p>Pistón Neumático</p> 	<p>Sistema que con base en un sistema similar al del robot basquetbolista busca imprimir una velocidad mayor en el disparo que en el sistema de impulsión neumático, por medio de un impacto elástico en el proyectil.</p>	<p>Sólo se necesita fabricar los acoples para un pistón neumático seleccionado y el embolo de ajuste que sujete al proyectil.</p>	<p>Uno de los mas costosos. Dificultad para ajustar la velocidad inicial de disparo. Recarga con mayor dificultad. Utiliza sólo proyectiles elásticos como pelotas de esponja o de goma.</p>
<p>Rodillos</p> 	<p>Sistema que mediante dos rodillos girando a la misma velocidad en dirección opuesta el uno del otro, impulsan la pelota con una velocidad lineal.</p>	<p>Facilidad de construir las piezas. Facilidad de implementar un sistema de recarga lateral. Facilidad de mantenimiento. Gran número de ajustes de la velocidad inicial de disparo.</p>	<p>Vibraciones. Mayor dificultad para mantener un ángulo correcto de disparo Un mal contacto con los rodillos causaría un giro inducido en el proyectil. No puede utilizar proyectiles que se puedan deformar permanentemente o parcialmente.</p>

Ajuste angular	Características	Ventajas	Desventajas
<p data-bbox="224 233 412 323">Motor de giro continuo con reducción</p> 	<p data-bbox="548 233 815 590">Dispositivo con capacidad de rotación en ambos sentidos. Se alimenta con corriente directa, gran variedad de tamaños y capacidades disponibles comercialmente y diferentes tipos de reducciones ya acopladas.</p>	<p data-bbox="847 233 1114 436">Baratos. Buena velocidad de giro. Buen par proporcionado Son los más fáciles de conseguir.</p>	<p data-bbox="1146 233 1373 407">Dificultad para posicionar ángulos determinados sin ayuda de otros dispositivos como encoders.</p>
<p data-bbox="224 625 423 653">Motor a pasos</p> 	<p data-bbox="548 625 815 919">El ángulo de giro de estos motores es muy variado desde los 90° hasta los 1.8° e incluso 0.72°, cada ángulo de giro, (también llamado paso) se efectúa enviando un pulso a sus terminales.</p>	<p data-bbox="847 625 1097 800">Su control de avance por pasos nos da un control de posición angular aceptable Son fáciles de conseguir</p>	<p data-bbox="1146 625 1357 772">Son relativamente más lentos. En algunos casos también necesitan reductor.</p>
<p data-bbox="224 940 391 968">Servomotor</p> 	<p data-bbox="548 940 815 1325">Poseen la capacidad para posicionarse de forma rápida en cualquier posición dentro de su rango de operación, mediante un tren de pulsos que se corresponden con el movimiento a realizar. Disponen de tres conexiones; Vcc, GND y entrada de control.</p>	<p data-bbox="847 940 1097 1178">Incluyen cajas reductoras, son los más recomendables para manejar una posición angular precisa. Tiene un par constante.</p>	<p data-bbox="1146 940 1406 1178">Son los más costosos, un control un poco más difícil. Requieren de un manejo más cuidadoso. Son los más difíciles de conseguir.</p>

Sistemas de recarga	Características	Ventajas	Desventajas
<p data-bbox="224 228 480 327">Tornillos sinfín y Escalera (Recarga Continua)</p> 	<p data-bbox="573 228 829 709">Sistemas de recarga continua, requieren que el proyectil sea llevado hasta el punto donde están actúan, por medio de un sensor que detecte que hay un proyectil iniciarían su funcionamiento, subiéndolo a una altura para la recargar el lanzaproyectiles o un medio de almacenamiento</p>	<p data-bbox="862 228 1114 562">Una recarga más continua Más proyectiles cerca del cañón Mejor dosificación de los proyectiles No depende de la altura de captura del proyectil Menos Perdida de proyectiles</p>	<p data-bbox="1146 228 1406 436">Más difícil de construir. Más caro. Difícil Diseño. Los proyectiles tienen que ser guiados hasta el.</p>
<p data-bbox="224 722 472 747">Pistón o elevador</p> 	<p data-bbox="573 722 829 835">Sistema similar al anterior, pero solo puede manejar un proyectil a la vez</p>	<p data-bbox="862 722 1114 898">Mayor facilidad para su construcción. Facilidad en su control. No depende de la altura del proyectil.</p>	<p data-bbox="1146 722 1406 961">Maneja solo un proyectil Control de un solo proyectil, el proyectil tiene que ser guiado hasta el. Requiere dosificador en la entrada.</p>
<p data-bbox="224 995 500 1066">Planos Inclinados y canales guía</p> 	<p data-bbox="573 995 829 1381">Sistema que mediante el aprovechamiento de una captura del proyectil a una altura mayor a la del lanzaproyectiles, este puede ser guiado hasta un pequeño sistema de almacenamiento o directo al lanzaproyectiles</p>	<p data-bbox="862 995 1114 1138">Fácil de construir. Barato. No requiere energía adicional para su funcionamiento.</p>	<p data-bbox="1146 995 1406 1234">Depende completamente de la altura de captura del proyectil que debe ser mayor que la boca del lanzaproyectiles para la recarga.</p>

Capítulo 3. Selección de conceptos

El diseño exitoso se ve facilitado por la selección estructurada de conceptos.

3.1 Perspectiva general de la metodología [13]

Se presenta una metodología de selección del concepto de dos etapas, aunque sólo una puede ser suficiente para decisiones de diseño sencillas. La primera etapa se denomina proyección del concepto, y la segunda puntuación del concepto. Cada una de estas respaldadas por una matriz de decisión que el equipo utiliza para calificar, ordenar por rango, y seleccionar el, o los mejores conceptos.

La selección del concepto con frecuencia se realiza en dos etapas, como una manera de administrar la complejidad y evaluar docenas de conceptos de producto.

Ambas etapas, tanto la proyección como la puntuación de concepto, siguen un proceso de seis pasos que conducen al equipo a través de la actividad de selección del concepto. Los pasos son:

1. Preparar la matriz de decisión.
2. Calificar los conceptos.
3. Ordenar por rango los conceptos.
4. Combinar y mejorar los conceptos.
5. Seleccionar uno o más conceptos.
6. Reflexionar sobre los resultados y el proceso.

La visualización del concepto emplea un concepto de referencia para evaluar variantes contra los criterios de selección, y puede utilizar diferentes puntos de referencia para cada criterio.

La visualización del concepto utiliza un sistema de comparación ordinario para reducir el rango de conceptos que se están considerando.

La puntuación del concepto utiliza criterios de selección ponderados y una escala de calificación más detallada. Se puede omitir la puntuación si la visualización del concepto produce un concepto dominante.

La selección del concepto se aplica no sólo durante el desarrollo del concepto, sino también durante todo el proceso de diseño y desarrollo posterior.

La selección de concepto es un proceso de grupo que facilita la selección de un concepto ganador, ayuda a realizar un consenso de equipo, y crea un registro del proceso de toma de decisión.

3.1.1 Preparar las matrices de decisión

Para preparar la matriz, el equipo selecciona un medio físico apropiado para el problema que se presenta. Se forma una lista de criterios que pueda utilizar la matriz.

A continuación, se ingresan las entradas (conceptos y criterios) en la matriz.

Los criterios de selección se deberían elegir para diferenciar los conceptos.

Con una consideración cuidadosa, se elige un concepto en el benchmarking, o concepto de referencia.

3.1.2 Calificar los Conceptos

Las calificaciones son puestas por el equipo de trabajo, cuando se tienen conceptos competitivos es necesario establecer una escala lo más precisa posible.

Una escala recomendable es del 1 al 5:

Tabla 3.1 Calificaciones para los conceptos

Desempeño relativo	Calificación
Pésimo	1
Malo	2
Regular	3
Bueno	4
Excelente	5

Se pueden utilizar otra escala, como 1 a 9, pero las escalas más precisas requieren más tiempo y esfuerzo.

3.1.3 Ordenar por rango los conceptos

Una vez que se han ingresado las calificaciones para cada concepto, las puntuaciones ponderadas se calculan multiplicando las puntuaciones de la fila por la importancia de los criterios. La puntuación final para cada concepto es la suma de las puntuaciones ponderadas:

$$S_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} w_i \quad 3.1$$

en donde

r_{ij} = calificación de la fila concepto j para el criterio

w_i = ponderación para el criterio i -ésimo

n = número de criterios

S_j = puntuación total para concepto j

Por último, a cada concepto se le otorga un rango que corresponde a su puntuación final.

3.1.4 Combinar y mejorar los conceptos

Es donde el equipo busca cambios o combinaciones que mejoren los conceptos. Aunque el proceso de generación de concepto formal se completa por lo general antes de que inicie la selección del concepto.

Es donde el equipo descubre las fortalezas y debilidades inherentes de ciertas características de los conceptos de producto.

3.1.5 Seleccionar uno o más conceptos

La selección final no es sólo una cuestión de elegir el concepto que alcanza al rango más alto después del primer paso a través del proceso. Con base en la matriz de selección, el equipo puede decidir seleccionar los dos o más conceptos superiores. Se pueden crear prototipos de los diseños y plantear una evaluación mejor de funcionamiento.

3.1.6 Reflexionar sobre los resultados y el proceso

Como paso final, el equipo reflexiona sobre el, o los conceptos seleccionados, y sobre el proceso de selección del concepto.

Para mejorar el proceso y las actividades de selección del concepto posteriores son útiles dos preguntas:

- El método de selección del concepto, ¿de qué manera facilitó la toma de decisiones en el equipo de diseño?
- ¿Cómo se puede modificar el método para mejorar el desempeño del equipo de diseño?

3.2 Evaluación y selección de las diferentes propuestas

3.2.1 Evaluación y selección de la propuesta del proyectil

Aspectos a evaluar:

- Inercia. Su capacidad de mantener una velocidad constante, una forma sería comparando su peso contra la fuerza de arrastre que produce. Este elemento resulta ser el más importante durante el disparo por lo tanto tiene el mayor peso en la matriz, que es del 40%.
- Tamaño. Variedad de tamaños o un tamaño grande (2-6 cm). Como llega ser dependiente del tamaño del banco experimental, el peso en la matriz de decisión es del 20%.
- Masa. Con menos cantidad de masa, menos energía que suministrar para impulsar el proyectil. Relacionada con la inercia, pero en este caso se valora de una forma diferente es para restar valor conforme más masa tenga, por ello tiene un peso significativo en la matriz del 25%
- Color. Se requiere para establecer el contraste visual entre el proyectil y el banco experimental para poder ser captado por la webcam, (esta propiedad se basa más que nada en diversidad de colores o la capacidad de poderse

pintar). Resulta ser un detalle de poca importancia por lo tanto solo tiene un peso del 15% dentro de la matriz.

Los proyectiles propuestos son los siguientes:

1. Pelota de ping pong
2. Pelota de golf
3. Balines de acero
4. Pelotas de unicel
5. Pelotas de esponja

Las matrices fueron entregadas a cinco evaluadores, quienes llenaron las luego de analizar toda la información proporcionada anteriormente, el promedio de los resultados de estas cinco matrices se muestran en la Tabla 3.2.

Sencillamente para todos los casos se sumaron las calificaciones otorgadas por los distintos evaluadores y se dividieron entre el número de ellos para obtener un promedio y con este verificar cual opción tiene la calificación más alta y seleccionarla.

Tabla 3.2 Matriz con el promedio de las calificaciones de los proyectiles.

Propuesta	Inercia	40%	Tamaño	20%	Masa	25%	Color	15%	TOTAL
1	2,2	0,88	2,4	0,48	2,4	0,6	7,8	1,17	3,13
2	4,2	1,68	3,4	0,68	4	1	4,4	0,66	4,02
3	3,2	1,28	3	0,6	2,4	0,6	3	0,45	2,93
4	1	0,4	4,6	0,92	1,4	0,35	3,6	0,54	2,21
5	2,6	1,04	3,8	0,76	2,4	0,6	5	0,75	3,15

La matriz anterior muestra una clara preferencia por la propuesta número dos, la cual resulta ser la pelota de golf, como no hay ningún otro tipo de inconveniente se selecciona esta opción.

3.2.2 Evaluación y selección del mecanismo de disparo

Aspectos a evaluar:

- Velocidad. Capacidad de impulsar el proyectil con una velocidad entre 5 *m/s* y 9 *m/s*. Este aspecto sólo implica tener velocidades dentro de este

rango; prácticamente todas las opciones, en teoría, alcanzan estos valores, por lo tanto solo tiene un peso del 20% dentro de la matriz de decisión.

- Cambio de velocidad. Capacidad de variar la velocidad inicial de disparo. Un aspecto de fundamental importancia, ya que un objetivo del experimento poder comprobar que a diferentes velocidades se da un impacto entre el proyectil y el objetivo, por lo tanto tiene un peso más alto dentro de la matriz que es del 25%.
- Recarga. Este aspecto pretende evaluar la facilidad de recarga. Dado que todos pueden ser recargados de al menos de una forma por lo tanto tiene un peso del 10%.
- Actuadores. Facilitar la instalación de mecanismos para su automatización. así como su posición para evitar posibles vibraciones extra durante el disparo. Valor de alta importancia, ya que una desviación causada al proyectil durante su aceleración podría causar un alterar todo el experimento, recibe un peso del 25%.
- Manufactura. Que no necesite piezas con un grado de tolerancias cerradas. Factor que puede abaratar el costo del proyecto ya que si las tolerancias son muy estrechas la manufactura no puede llevarse dentro de la Facultad sin equipo de medición en buenas condiciones calibradores y micrómetros, se tendrían que manufacturar las piezas por fuera, tiene un peso del 20% dentro de la matriz.

Los mecanismos de disparo son los siguientes:

1. Resorte
2. Aire a presión
3. Pistón neumático
4. Rodillos

Igual que en el caso anterior, en la Tabla 3.3 se muestra la matriz con el promedio de todos los resultados, y la elección se realiza conforme la calificación más alta en la matriz.

Tabla 3.3 Matriz con el promedio de las calificaciones de los mecanismos de disparo

Propuesta	Velocidad	20%	Δ de Velocidad	25%	Recarga	10%	Actuadores	25%	Manufactura	20%	TOTAL
1	3,4	0,68	3,4	0,85	3,4	0,34	3,4	0,85	3,4	0,68	3,4
2	3,8	0,76	3	0,75	2,2	0,22	2,2	0,55	1,6	0,32	2,6
3	3,4	0,68	3	0,75	2,4	0,24	2,2	0,55	1,8	0,36	2,58
4	4	0,8	3	0,75	3,2	0,32	2,2	0,55	2,8	0,56	2,98

De dicha matriz resulta que la opción con mayor puntuación es la primera, que resulta ser el resorte, más sin embargo la propuesta cuatro se acerca considerablemente, esta propuesta es la de los rodillos, pero llevando a cabo una consulta con diversas personas resultó que en esta propuesta es muy difícil evitar el giro del proyectil, y por lo tanto queda descartada ya que el giro es algo que debemos evitar lo más posible por el motivo de que puede generar ascendentes o descendentes y desviaciones en cualquier dirección que eviten que este pueda impactar con el blanco, (sugerencia de diseño tomada del manual de Pasco), y con ello se seleccionó la propuesta 1 que es el resorte como sistema de propulsión del proyectil.

3.2.3 Evaluación y selección del sistema de posicionamiento angular

Aspectos a evaluar:

- Precisión. Capacidad de un ajuste angular con una precisión angular de 0.43° . Uno de las más importantes en la matriz de decisión ya que como se mencionó en el capítulo 2 para lograr un impacto se necesita esta precisión, su peso dentro de la matriz es del 25%.
- Velocidad. Velocidad angular adecuada para que el usuario pueda apuntar (menor a 3 *RPM*). La velocidad lenta le permite al usuario apuntar con calma, por ello tiene un peso del 15%.
- Variación de su velocidad angular. Velocidad angular variable (ajuste fino y ajuste rápido). Sería sencillamente poder tener rango de ajuste rápido para una aproximación y un ajuste fino para un ajuste preciso. Tiene un peso del 20% dentro de la matriz.
- Posición. Mantener su posición sin la necesidad de alimentar eléctricamente el sistema. Esto garantiza un poco más la posibilidad de un

impacto directo por lo tanto es de suma importancia por ello tiene una peso del 25% dentro de la matriz.

- Acoplamiento. Que el motor venga con alguna reducción incluida, para no tener la necesidad de construir ó adaptarle alguna, y por lo tanto sea fácil de instalar. Con ello se facilita la manufactura del dispositivo por ello también se le otorga un valor dentro de la matriz del 15%.

Las propuestas para el sistema de ajuste angular son las siguientes:

1. Motor de giro continuo con reducción
2. Motor a pasos
3. Servomotor

Igual que en los casos anteriores se muestra la matriz promedio de todas las evaluaciones.

Tabla 3.4 Matriz con el promedio de las calificaciones los sistemas de posicionamiento angular

Propuesta	Precisión	25%	Velocidad	15%	Δ de velocidad	20%	Posición	25%	Acoplamiento	15%	TOTAL
1	2,4	0,6	2,8	0,42	2,6	0,52	3,2	0,8	2,8	0,42	2,76
2	2,8	0,7	2,8	0,42	2,4	0,48	2,4	0,6	3,4	0,51	2,71
3	4,8	1,2	3,4	0,51	3,2	0,64	3,8	0,95	3,2	0,48	3,78

La propuesta tres resulta la clara ganadora con un margen de poco más de un punto de diferencia, dicha propuesta es el servomotor, esto resulta obvio, ya que la mayoría de los evaluadores al pensar en un ajuste de posición angular inmediatamente se propusieron un servomotor, aquí se presenta una difícil decisión: los servomotores que mejor se ajustan a los requerimientos del prototipo cuestan más del tope límite del presupuesto para actuadores únicos y por lo cual se tiene que optar por la segunda opción en calificación que es un motor de giro continuo con reducción.

3.2.4 Evaluación y selección del sistema de recarga

Aspectos a evaluar:

- Almacenamiento. Capacidad de mantener alimentado al lanzaproyectiles durante un día de trabajo convencional. Tiene un peso del 25% dentro de la matriz.
- Captura de proyectiles. Capacidad de recuperar los proyectiles utilizados durante la práctica. Aspecto de prioridad y por lo tanto también tiene un peso alto del 20% dentro de la matriz.
- Durabilidad. Capacidad de soportar los impactos de los proyectiles o disipar la energía del disparo. Debe soportar un funcionamiento continuo por un periodo de varias semanas seguidas, por lo tanto tiene un peso del 20% dentro de la matriz.
- Recarga confiable. Se refiere a no crear tiempos innecesarios de espera en la recarga y evitar posibles atascamientos de cualquier parte del sistema. El aspecto más importante tiene un peso del 35% dentro de la matriz.

Las propuestas para el sistema de recarga son las siguientes:

1. Tornillo sinfín
2. Pistón o elevador
3. Planos inclinados y rieles guía

Igual que en los casos anteriores se muestra en la Tabla 3.5 la matriz con el promedio de todas las evaluaciones.

Tabla 3.5 Matriz con el promedio de de las calificaciones de los sistemas de recarga

Propuesta	Almacenamiento	25%	Captura	20%	Durabilidad	20%	Confiabilidad	35%	TOTAL
1	3	0,75	2,6	0,52	3,8	0,76	3,8	1,33	3,36
2	1,8	0,45	2,2	0,44	2,2	0,44	2,2	0,77	2,1
3	3,4	0,85	3,6	0,72	3,2	0,64	2,6	0,91	3,12

Se pueden observar dos calificaciones muy cercanas, la uno y la tres, que son el tornillo sinfín y los planos inclinados y rieles guía. Sencillamente en este caso se realizó la combinación de ambas, más que todo debido a que resultan ser dependientes el uno del otro, un tornillo sinfín no puede capturar proyectiles, pero

es confiable para subirlos y con ello ganar energía potencial en el proyectil para poderlo llevar a un lugar requerido con mucha confiabilidad. Y los planos inclinados y rieles guía sirven para capturar y guiar un proyectil, pero no son útiles cuando hace falta imprimir energía potencial sobre el proyectil, motivo por el cual hay que suministrarla.

3.3 Propuestas seleccionadas

Proyectil: pelota de golf de 42.67mm de diámetro y una masa de 46 g . Como la mostrada en la Figura 3.1.



Figura 3.1 Pelota de golf.

Sistema de disparo: resorte, en el siguiente capítulo se mostraran los cálculos para su selección y diseño, la forma como se monta se observa en la Figura 3.2.



Figura 3.2 Sistema de disparo a base de un resorte de compresión.

Sistema de posicionamiento angular: El Motoreductor utilizado es el mostrado en la Figura 3.5

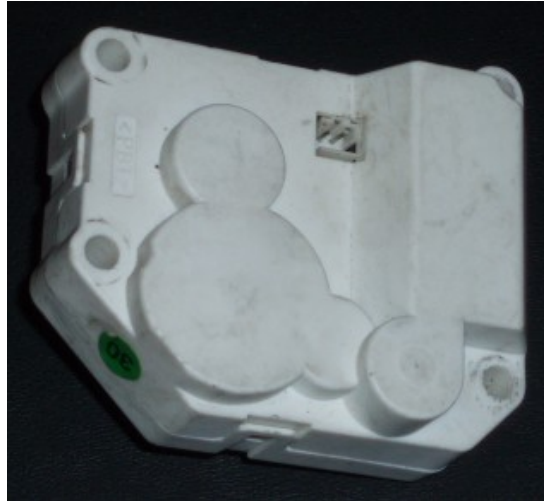


Figura 3.5 Motoreductor del sistema de ajuste angular

Sistema de recarga: Combinación de sistemas a base de planos inclinados y un tornillo sinfín, con apoyo de un tubo para guía de las pelotas y como un pequeño contenedor de las mismas. Sistema propuesto mostrado en la Figura 3.4.

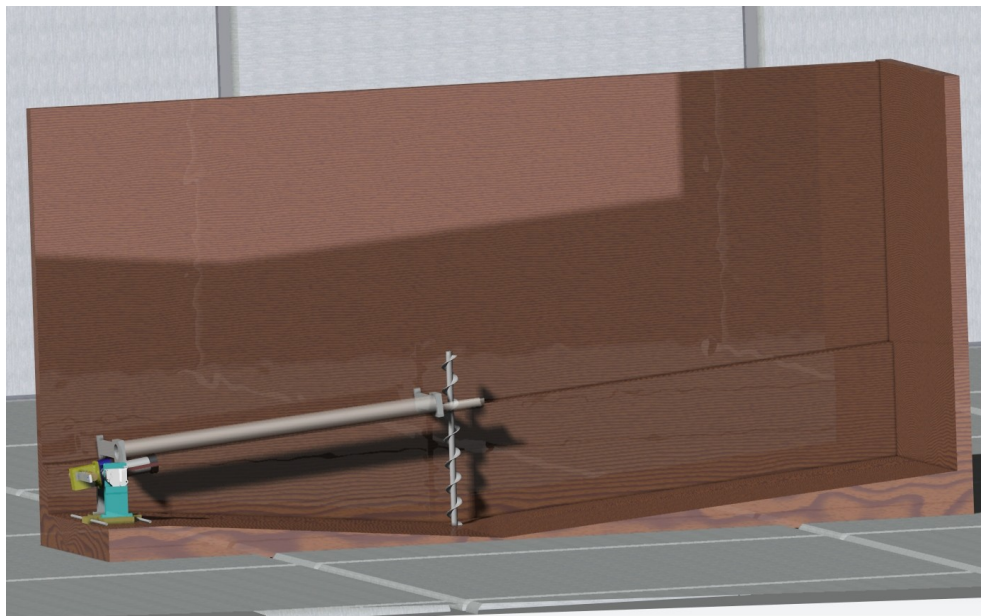


Figura 3.4 Sistema de recarga con planos inclinados y tornillo sinfín

3.4 Actuadores

Los motores y el solenoide fueron seleccionados por su facilidad de ser encontrados en el Distrito Federal y su zona Metropolitana, además de poderse encontrar en un precio económico, los actuadores utilizados en el prototipo son mencionados en el Apéndice 3 donde se dan sus datos de placa. El Motor1 es el que realiza la compresión del resorte y impulsa el sinfín de recarga, el motor 2 realiza el desplazamiento longitudinal de lanzaproyectiles para su recarga, el motor 3 es el que realiza el ajuste de la posición angular y por último el solenoide realiza el desacoplamiento entre el trinquete y la polea.

La colocación de los mismos es explicada en el siguiente capítulo.

Capítulo 4. Diseño de detalle

4.1 Diseño del resorte

A la pelota de golf se le necesita imprimir una velocidad que se encuentre alrededor de 5 m/s y 7 m/s para que ésta vuele por lo menos 2.5 m. La velocidad máxima solicitada en la práctica es de 7 m/s. Como ya se vio anteriormente, se determinó un resorte para suministrar la fuerza que pueda realizar el trabajo, por lo tanto se debe calcular la fuerza necesaria para lograr impulsar una pelota a esa velocidad, se opta por el método del trabajo y la energía [18], para calcular la constante del resorte.

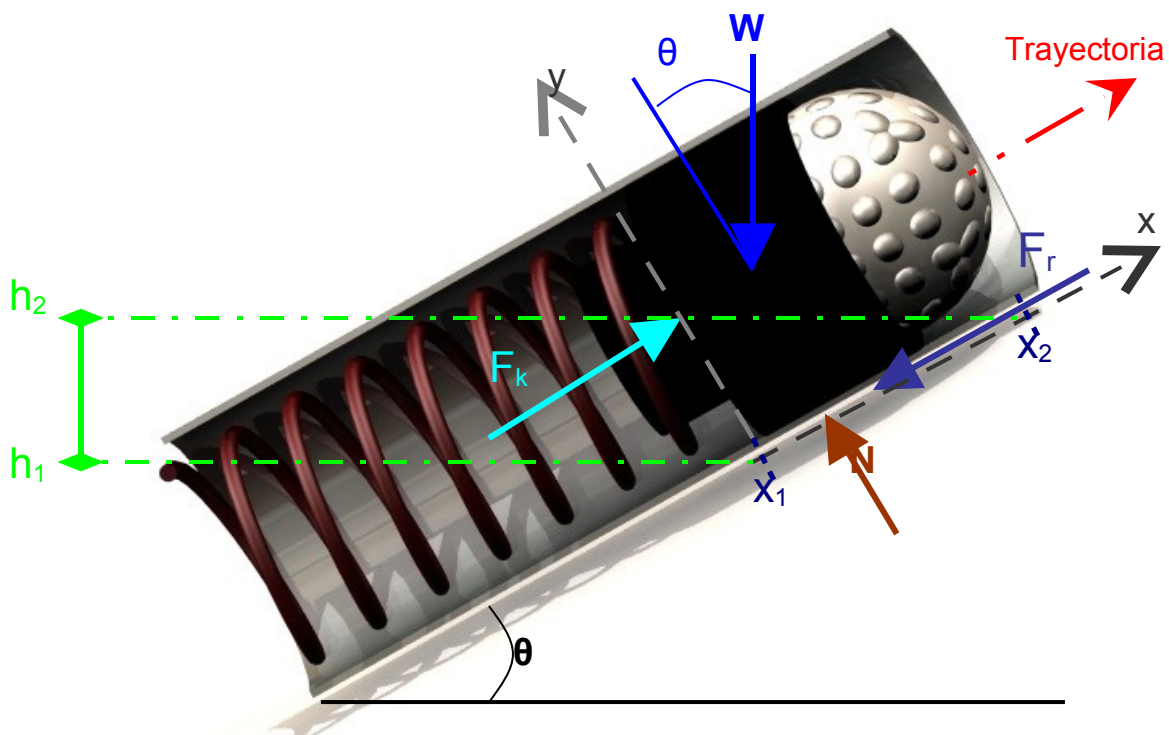


Figura 4.1 Resorte con su émbolo de compresión (diagrama de cuerpo libre).

$$U^{TOT} = \Delta T \quad 4.1$$

donde

$$U^{TOT} = U^K + U^W + U^{Fr} \quad 4.2$$

donde

ΔT = cambio de energía cinética

U^W = es el trabajo del peso

U^K = es el trabajo realizado por el resorte

U^{Fr} = es el trabajo necesario para superar la fricción

A continuación se muestra la ecuación general de cada uno de elementos antes mencionados:

$$U^K = \frac{1}{2}k(\delta_1^2 - \delta_2^2) \quad 4.3$$

donde

k = constante de rigidez del resorte

δ_1 = deformación inicial del resorte

δ_2 = deformación final del resorte

$$U^w = W(h_2 - h_1) \quad 4.4$$

donde

W = peso del embolo y la pelota de golf

h_2 = altura final

h_1 = altura inicial

$$U^{Fr} = \mu N(x_2 - x_1) \quad 4.5$$

donde

μ = coeficiente de fricción entre el Nylon y el aluminio

N = normal al plano de deslizamiento

x_1 = distancia inicial

x_2 = distancia final

$$\Delta T = \frac{1}{2} m (V_F^2 - V_I^2) \quad 4.6$$

donde

m = masa del embolo y la pelota de golf

V_F = Velocidad Final

V_I = Velocidad Inicial

Las consideraciones y datos a tomar son los siguientes:

$h_1 = 0$, $h_2 = x_2 \text{sen}\theta$, $x_1 = 0$, $x_2 = 5 \text{ cm}$, $\delta_1 = 5 \text{ cm}$, $\delta_2 = 0$, $N = W \cos\theta$, $m = W/g$, g = aceleración de la gravedad en el Distrito Federal = 9.78 m/s^2 , $V_I = 0$, $V_F = 9 \text{ m/s}$ y por último $\mu = 0.24$.

Con ayuda del diagrama de cuerpo libre de la Figura 4.1, se sustituyen las ecuaciones completas y con las consideraciones antes mencionadas en la ecuación 4.2 la cual queda del siguiente modo:

$$\frac{1}{2} k \delta_1^2 - W x_2 \text{sen}\theta - \mu x_2 \cos\theta = \frac{1}{2} \frac{W}{g} V_F^2 \quad 4.7$$

La principal incógnita para lograr diseñar el resorte es su constante de rigidez, por lo tanto se procede a despajarla de la ecuación anterior dando como resultado la siguiente ecuación:

$$k = W \left(\frac{V_F^2}{g \delta_1^2} + \frac{2 x_2 \text{sen}\theta}{\delta_1^2} + \frac{2 \mu x_2 \cos\theta}{\delta_1^2} \right) \quad 4.8$$

Por el tamaño del tubo del cañón se pueden aceptar deformaciones del resorte no mayores a 0.05 m de ahí $\delta_1 = 5 \text{ cm}$ y de datos anteriores la velocidad máxima deberá de ser $V_F = 9 \text{ m/s}$ para incluir un pequeño factor de diseño a dicha velocidad (debido a que no se incluyen el peso del propio resorte, polea e hilo), además de una masa de la pelota y émbolo juntos de 100 g . Y una $\mu = 0.24$,

obtenida de una fricción entre Nylon y metales sin lubricación [19]. Sustituyendo estos datos en la ecuación 4.8, nos da un resultado de $k = 335.572 \text{ kg/m} = 3278.53 \text{ N/m}$.

Despejando a su vez V_F de la ecuación 4.7 para poder obtener la velocidad de disparo con diferentes deformaciones del resorte, se obtiene la siguiente ecuación:

$$V_F = \sqrt{g \left(\frac{k\delta_1^2}{W} - 2x_2 \text{sen}\theta - 2x_2\mu \text{cos}\theta \right)} \quad 4.9$$

Con la ayuda de la ecuación 4.9 se obtiene la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Fuerza y Compresión requerida para la velocidad inicial necesitada

k [N/m]	x [m]	F [N]	V_F [m/s]
3278,5	0,002	6,55706775	0,30431477
3278,5	0,006	19,6712032	1,03182875
3278,5	0,01	32,7853387	1,75666289
3278,5	0,014	45,8994742	2,48116692
3278,5	0,018	59,0136097	3,20556468
3278,5	0,022	72,1277452	3,92991493
3278,5	0,026	85,2418807	4,65423986
3278,5	0,03	98,3560162	5,37854969
3278,5	0,034	111,470152	6,1028498
3278,5	0,038	124,584287	6,82714329
3278,5	0,042	137,698423	7,55143206
3278,5	0,046	150,812558	8,27571735
3278,5	0,05	163,926694	9

Con la k obtenida se procede en hacer los cálculos de diseño para el resorte requerido. Este resorte resulta de despreciar varios factores como el peso del mismo, el peso de polea, por lo tanto se sugiere tomar estos cálculos como la mínima constante. Revisar apéndice 2 para ver cálculos con pesos reales del mecanismo y encontrar mayor información.

“Resorte de compresión [20].

Por ciertos requerimientos del dispositivo el resorte debe ser interno en el tubo.

Para aplicaciones importantes, los resortes siempre deben estar a escuadra y esmerilados, porque se obtiene una mejor transferencia de la carga”, mostrado en la figura 4.2.

Se toman las siguientes consideraciones:

- El material es isotrópico y homogéneo
- El material cumple con la ley de Hooke

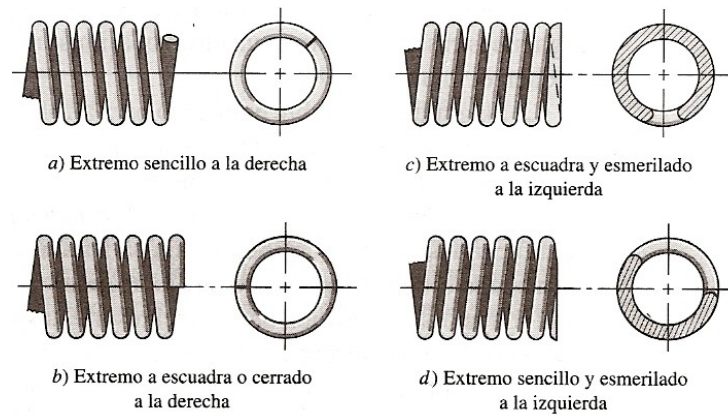


Figura 4.2 Tipos de extremos para resortes de compresión [20].

De la siguiente ecuación se procede con el cálculo del resorte y los datos obtenidos anteriormente.

$$k = \frac{Gd^4}{8D^3N_a} \quad 4.10$$

donde

k = constante del resorte

G = modulo de rigidez

d = diámetro del alambre

D = diámetro de la hélice del resorte

N_a = número de espiras activas, que se obtiene de la siguiente imagen:

Término	Tipo de extremos de resortes			
	Sencillo	Sencillo y esmerilado	A escuadra y cerrado	A escuadra y esmerilado
Espiras de extremo, N_e	0	1	2	2
Espiras totales, N_t	N_a	$N_a + 1$	$N_a + 2$	$N_a + 2$
Longitud libre, L_0	$pN_a + d$	$p(N_a + 1)$	$pN_a + 3d$	$pN_a + 2d$
Longitud sólida, L_s	$d(N_t + 1)$	dN_t	$d(N_t + 1)$	dN_t
Paso, p	$(L_0 - d)/N_a$	$L_0/(N_a + 1)$	$(L_0 - 3d)/N_a$	$(L_0 - 2d)/N_a$

Figura 4.3 Fórmulas para el cálculo de las dimensiones de resortes de compresión.

Como las piezas fueron adaptadas a un resorte comercial se tomarán datos de éste para el diseño del resorte final. Por lo tanto lo que se puede modificar es el diámetro del alambre para aumentar su rigidez, se tiene que despejar de la ecuación anterior.

$$d = \sqrt[4]{\frac{8kD^3 N_a}{G}} \quad 4.11$$

Datos para sustituir con alambre templado en aceite en la ecuación 4.11, $G = 77.2$ GPa, $D = 26$ mm, $N_a = N_t - 2$, $N_t = 9$ y de los cálculos anteriores $k = 3278.53$ N/m. Sustituyendo los datos en la ecuación resulta $d = 3.21$ mm.

4.2 Diseño de ejes y flechas [20].

El modelo tiene varios tipos de apoyos sobre ejes, una flecha por lo cual se requiere su análisis, detallado.

Se toman las siguientes consideraciones:

- El material es isotrópico y homogéneo

- El material cumple con la ley de Hooke

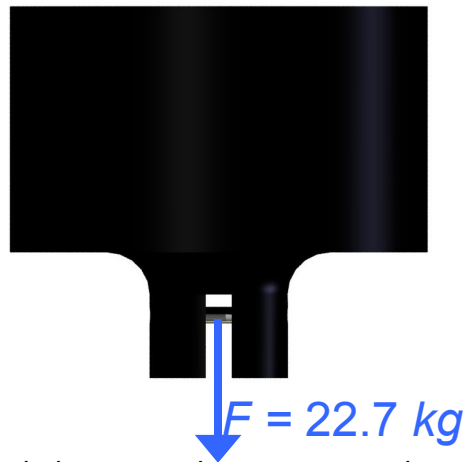


Figura 4.4 Émbolo con su eje para generar la compresión.

4.2.1 Eje del émbolo

El primero mostrado en la Figura 4.4 es el eje que soporta más carga y concentrada, esta es el resultado de la compresión entre el émbolo y el resorte, la cual es de 22.7 kg máximo y al cual corresponde el diagrama de cuerpo libre de la figura 4.5.

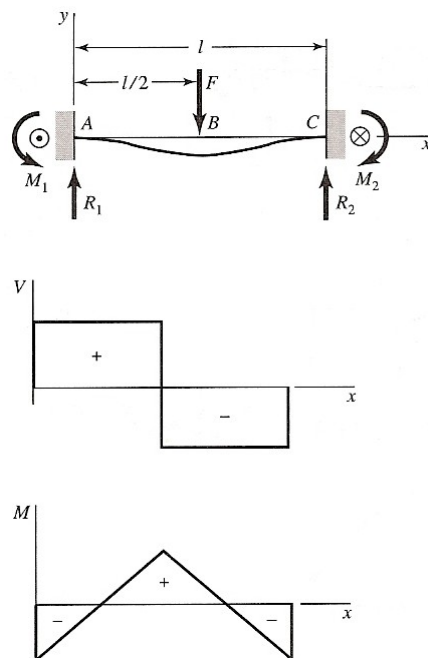


Figura 4.5 Doble empotramiento: carga central [20].

donde

$$F = 22.7 \text{ kg} = 221.779 \text{ N}$$

$$l = 0.009 \text{ m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2} \quad 4.12$$

$$M_1 = M_2 = \frac{Fl}{8} \quad 4.13$$

$$M_{AB} = \frac{F}{8}(4x - l) \quad 4.14$$

$$M_{BC} = \frac{F}{8}(3l - 4x) \quad 4.15$$

Sustituyendo los datos:

$$R_1 = R_2 = 221.779/2 = 110.8895 \text{ N}$$

Todos estos datos son necesarios, ya que deben sustituirse en la ecuación de carga estática que se obtiene para la teoría de falla de Von Mises para obtener el diámetro del eje:

$$d = \sqrt[3]{\frac{61n}{\pi S_y} (4M^2 + 3T^2)^{1/2}} \quad 4.16$$

Y para la aproximación del esfuerzo cortante máximo

$$d = \sqrt[3]{\frac{32n}{\pi S_y} (M^2 + T^2)^{1/2}} \quad 4.17$$

donde

n es el factor de diseño

S_y = resistencia a la fluencia media

M = momento máximo aplicado

T = par de torsión

Teniendo un acero comercial se escoge un 1010 Rolado en frío con características de $S_y = 300 \text{ MPa}$, para obtener el momento máximo se deriva

cualquiera de las ecuaciones 4.14 ó 4.15 con respecto a x , con lo cual resulta $F/2$ se iguala a cero y no resulta nada, de observar la gráfica el momento máximo esta en $x = l/2$, por último se selecciona un factor de diseño de 1.8 debido a factores de tamaño y al no haber un par $T = 0$.

Sustituyendo $x = l/2$ en la ecuación 4.15

$$M_{m\acute{a}x} = 0.2495 \text{ N/m}$$

Sustituyendo es las ecuaciones 4.16 y 4.17 resulta:

Ecuación 4.16 $d = 3.87 \text{ mm}$

Ecuación 4.17 $d = 2.48 \text{ mm}$

Como se menciona antes por restricciones de espacio se tiene que realizar con un diámetro de 4.0 mm .

4.2.2 Ejes del sistema de transferencia de giro

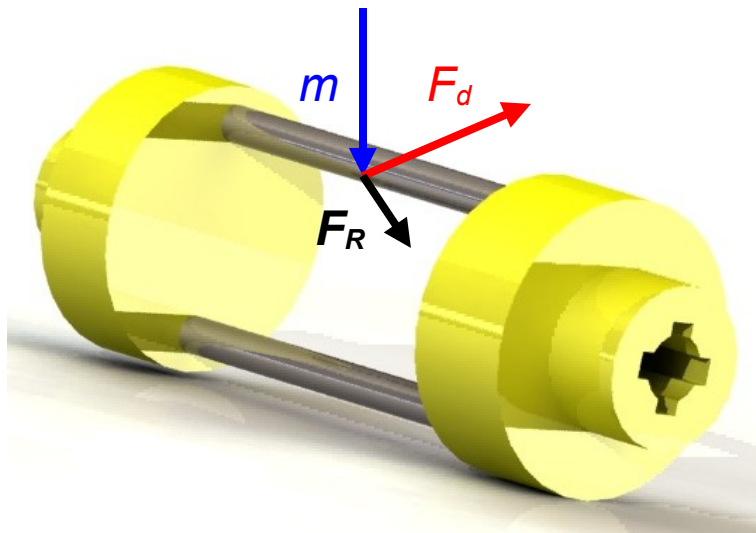


Figura 4.6 Ejes del sistema de giro.

Como muestra la figura las fuerzas que actúan sobre los ejes son m que es la masa del sistema de disparo, F_d que es la fuerza del disparo, de la resultante de estas dos se obtiene F_R que es la suma vectorial de estas dos y que es

aproximadamente 15 Kg por eje. Esta en realidad es una carga distribuida, ya que hay contacto por todo el largo de los ejes.

El diagrama de cuerpo libre correspondiente a estos ejes es el siguiente:

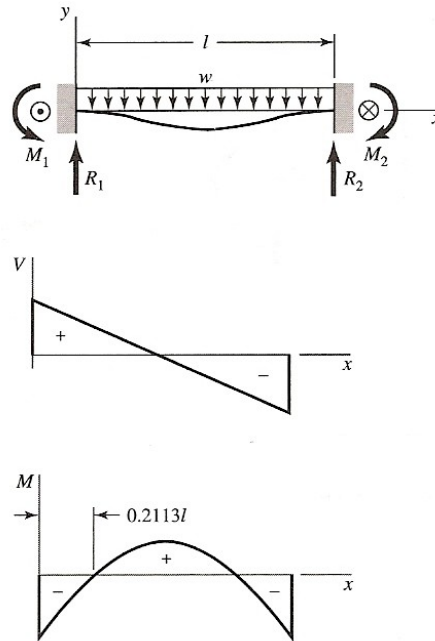


Figura 4.7 Doble empotramiento: carga uniforme [20].

Donde las reacciones están dadas por:

$$R_1 = R_2 = \frac{wl}{2} \quad 4.18$$

$$M_1 = M_2 = -\frac{wl^2}{12} \quad 4.19$$

$$M = \frac{w}{12}(6lx - 6x^2 - l^2) \quad 4.20$$

Datos para realizar los cálculos:

Acero 1010 Rolado en frío $S_y = 300 \text{ MPa}$, $l = 63 \text{ mm}$, calculando una fuerza máxima de 15 kg por eje, debido a que son dos, dividiendo la fuerza entre 2 obtenemos $w = 2326.2 \text{ N/m}$, $T = 0$.

Para obtener el momento máximo se utiliza la Ecuación 4.20, se deriva con respecto a x y se iguala a cero, obteniendo que el momento máximo se da cuando

$x = \frac{l}{2}$, por lo tanto este se da en $x = 31.5 \text{ mm}$ y un factor de diseño de 1.8.

Sustituyendo los valores

$$M_{m\acute{a}x} = 0.1282 \text{ N/m.}$$

Todos los datos anteriormente obtenidos se sustituyen en las ecuaciones 4.16 y 4.17 para obtener el diámetro de los ejes.

Sustituyendo los datos en la ecuación 4.16 resulta $d = 4.48 \text{ mm}$

Sustituyendo los datos en la ecuación 4.17 resulta $d = 2.87 \text{ mm}$

Por encontrarse ejes de impresora de 6.2 mm de diámetro ya fabricados se seleccionan y nos resulta un factor de diseño igual a 4.8, además de la dificultad de manufacturar ejes derechos con ese diámetro.

4.2.3 Eje de deslizamiento

Este eje solo tiene carga cuando se dispara, ya que no soporta el peso del lanzaproyectiles, la fuerza que soporta es alrededor de 9 kg , que es la ejercida durante el disparo.

El diagrama de cuerpo libre que le corresponde es el siguiente:

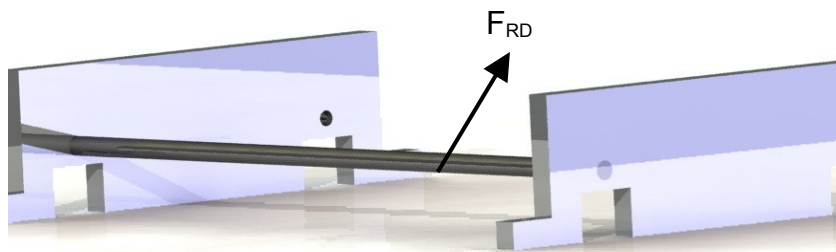


Figura 4.8. Eje de deslizamiento.

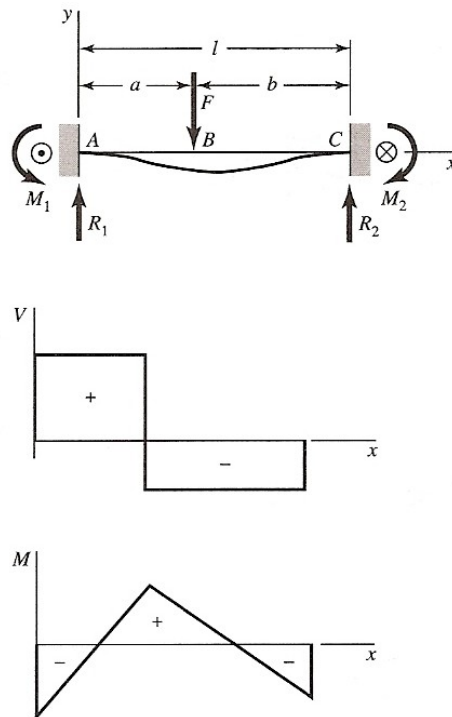


Figura 4.9 Doble Empotramiento carga intermedia [20].

donde

$$R_1 = \frac{Fb^2}{l^3}(3a + b) \quad 4.21$$

$$R_2 = \frac{Fb^2}{l^3}(3b + a) \quad 4.22$$

$$M_1 = -\frac{Fab^2}{l^2} \quad 4.23$$

$$M_2 = -\frac{Fa^2b}{l^2} \quad 4.24$$

$$M_{AB} = \frac{Fb^2}{l^3}[x(3a + b) - al] \quad 4.25$$

$$M_{BC} = M_{AB} - F(x - a) \quad 4.26$$

Datos:

$a = 0.09 \text{ m}$, $b = 0.32 \text{ m}$, $l = 0.41 \text{ m}$, $F = 9 \text{ kg} = 87.93 \text{ N}$, y como al derivar no se encuentra el máximo con respecto a x en ninguna de las dos ecuaciones, de solo observar la gráfica se ve que el máximo está en $x = a$, $n = 1.8$ y $S_y = 300 \text{ MPa}$.

Sustituyendo los datos en la ecuación 4.25 el momento máximo resulta:

$$M_{max} = 2.116 \text{ N/m.}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 4.16 resulta $d = 7.9 \text{ mm}$

Sustituyendo los datos en la ecuación 4.17 resulta $d = 5.06 \text{ mm}$

Por facilidad de manufactura y el largo se escoge un diámetro 10 mm que con cálculos tiene un factor de diseño de 3.7.

4.2.4 Flecha para sistema de ajuste angular

Esta flecha soporta la mitad del peso del lanzaproyectiles, ya que este es relativamente simétrico y puede llegar a soportar un par de 5 kg/cm , además de la mitad de la carga del impacto del embolo con su tope que lo máximo que podría transmitir sería los 22.7 kg , pero dividido entre dos sería igual a 11.35 kg , en suma

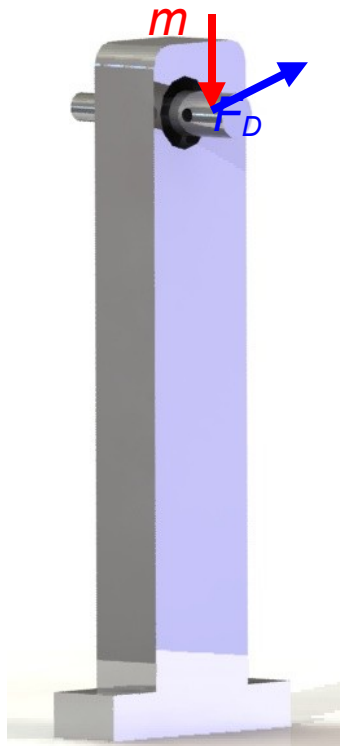


Figura 4.10 Eje de giro.

los dos dan 16.35 kg, para efectos de posibles fuerzas despreciadas se supone una fuerza de 25 kg.

Su diagrama de cuerpo libre corresponde con el siguiente

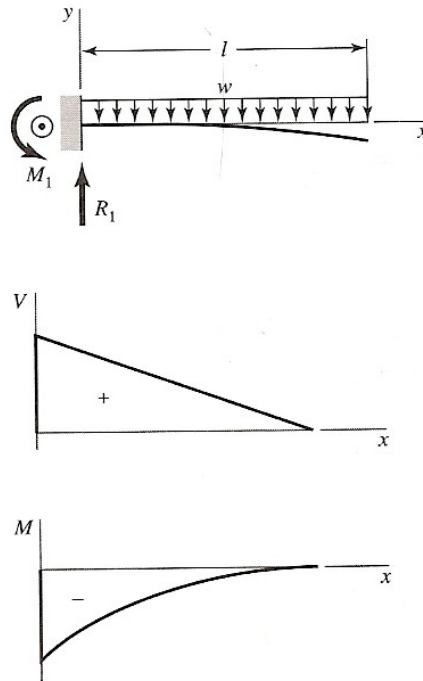


Figura 4.11 En voladizo: carga uniforme [20].

donde

$$R_1 = wl \quad 4.27$$

$$M_1 = -\frac{wl^2}{2} \quad 4.28$$

$$M = -\frac{w}{2}(l-x)^2 \quad 4.29$$

Para obtener el M_{\max} se deriva la ecuación 4.29 y se iguala a cero, con lo que resulta que el máximo en valor absoluto se encuentra cuando $x = 0$.

Para este caso se debe cambiar el criterio, debido a que esta sometido a fatiga y a barrenos por lo tanto cambiamos al criterio de Westing house:

$$d = \sqrt{\frac{32n}{\pi}} \sqrt{k_f^2 \left(\frac{M_m}{S_y} + \frac{M_a}{S_e}\right)^2 + k_{fs}^2 \left(\frac{T_m}{S_y} + \frac{T_a}{S_e}\right)^2} \quad 4.30$$

donde

n = factor de diseño

M_m = momento máximo

M_a = momento en el apoyo

T_a = torsión en el apoyo

S_y = resistencia a la fluencia media

T_m = torsión máxima

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e \quad 4.31$$

donde

K_a = factor de modificación superficial

K_b = factor de modificación de tamaño

K_c = factor de modificación de carga

K_d = factor de modificación de temperatura

K_e = factor de modificación de efectos varios

K_f = factor de concentración de esfuerzo

S'_e = límite de resistencia a fatiga en viga rotatoria

S_e = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso

Datos:

Acero 1010 CD $S_y = 300 \text{ MPa}$, $S_u = 370 \text{ MPa}$ resistencia a la tensión, suponiendo un diámetro de 10 mm y su longitud de 15 mm , un par de torsión máximo de 8 kg/cm , $n = 4$, $F = 25 \text{ kg por lo tanto } w = 16283.33 \text{ N/m}$.

$$K_a = a S_u^{-b} \quad 4.32$$

Donde a y b son los parámetros de la condición superficial de Marín, se realizaron los cálculos con acabado superficial esmerilado de la referencia 17 tabla 7-5 $a = 1.58 \text{ MPa}$ y $b = -0.086$

$K_a = 0.9502$

K_b factor de forma se obtiene de la ecuación 7-10 de la referencia 17 con los datos de $2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$.

$$K_b = 0.969$$

K_c de la tabla 7-7 con criterio de flexión y torsión

$$K_c = 0.59$$

K_d = factor de modificación de temperatura

$$K_d = \frac{S_T}{S_{RT}} \quad 4.33$$

de la tabla 7-11 y una temperatura promedio de 20 °C

$$K_d = 1$$

K_e efectos diversos, por la ausencia de recubrimientos y esfuerzos residuales

$$K_e = 1$$

K_f factor de concentración de esfuerzo, depende completamente de la sensibilidad a la muesca que se calcula con la sección 5-20 y una muesca o barreno de 3 mm y un diámetro de la flecha de 10 mm

$$K_f = 3.565$$

$$K_{fs} = 3.7$$

$S_e' = 0.507S_u$, por ser una viga rotativa

Sustituyendo todos los resultados en la ecuación 4.31 resulta:

$$S_e = 363.4 \text{ MPa}$$

Sustituyendo todos los datos en la ecuación 4.30

$$d = 6.3 \text{ mm}$$

Se tiene ejes de 10 mm de diámetro para su rápida manufactura y se realizan ajustes a 6.3 mm donde sea necesario.

4.3 Cálculo del tornillo sinfín del sistema de recarga

Otro cálculo que es importante es el cálculo del paso del tornillo sinfín para evitar una atascamiento de la pelota con él.

La pelota tiene un diámetro de 43 mm, sólo con establecer que esta distancia debe ser 5/8 del paso se evita cualquier forma de atascamiento del sistema, por lo tanto el paso se establece de 68.8 mm, y por facilitar mediciones con este se establece de 69mm.

La fuerza ejercida sobre el tornillo sinfín es pequeña, una vez establecido el paso y seleccionado un motor para su movimiento ($22 \text{ RPM} = 0.367 \text{ RPS}$), se multiplica su velocidad angular por el avance por revolución obteniendo una velocidad lineal máxima de 0.0253 m/s , suponiendo un tiempo de aceleración del motor de 0.5 s se calcula una aceleración igual a 0.0506 m/s^2 . Con este último resultado y una masa de 0.046 kg de la pelota impulsada se calcula la fuerza necesaria para mover a la pelota, $F = m \cdot a$, que es igual a $2.33 \times 10^{-3} \text{ N}$, como se puede observar, prácticamente es despreciable.

4.4 Colocación de los diversos actuadores para optimizar el ángulo de disparo y reducir al máximo el momento generado sobre el sistema de giro

En esta parte no se pudo efectuar la fase de selección de los actuadores, debido a

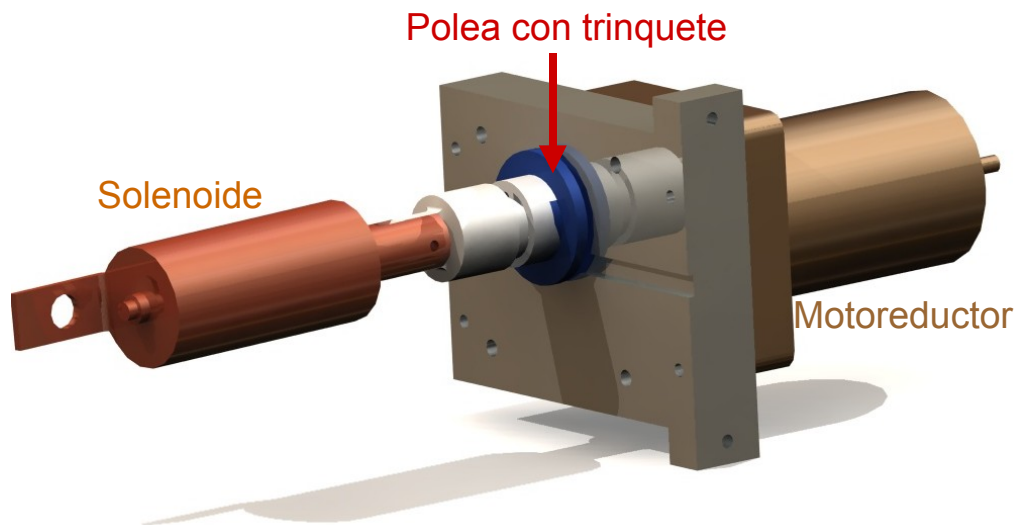


Figura 4.12 Sistema de polea con trinquete.

la dificultad de adquirirlos en el Distrito Federal y su Zona Metropolitana, por lo tanto se optó por un sistema tipo trinquete con un motor con un par de $25 \text{ kg}\cdot\text{cm}$ para realizar la compresión del resorte, y para liberar la polea del mecanismo tipo trinquete escogió por una solenoide comercial, tal como se muestra en la Figura 4.12

Una vez seleccionados los actuadores solo quedaba adaptarlos en un estructura para el lanzaproyectiles, la cual fue optimizada para lograr un ángulo máximo de alrededor de 60° y una mínima distancia entre el sistema del trinquete y el sistema de giro, todo esto por medio de la ayuda de un programa de CAD (*Computer Aided Design*) diseño asistido por computadora, mostrando los siguientes resultados.

Con este diseño se logra un ángulo máximo ligeramente superior a los 60° , como se muestra en la Figura 4.13.

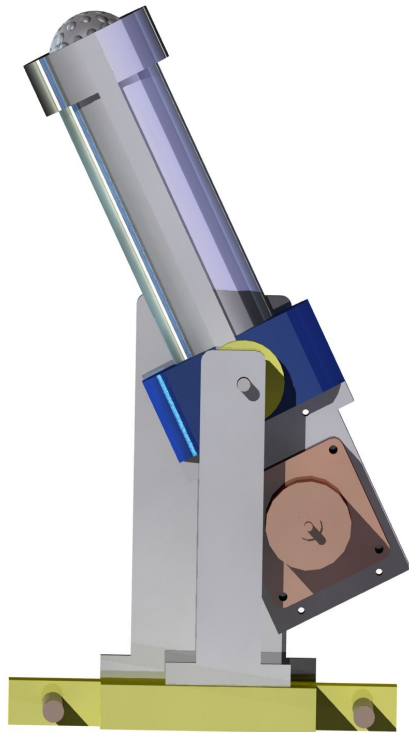


Figura 4.13 Ángulo máximo de disparo.

Como se puede observar en de la figura anterior y en la siguiente, el motor que comprime el resorte debe estar del lado del soporte izquierdo ya que es el más delgado para permitir este ángulo máximo, el solenoide no logra tocar el otro soporte, gracias su colocación correcta junto con la del motor, ya que si no se convierte en el principal problema.

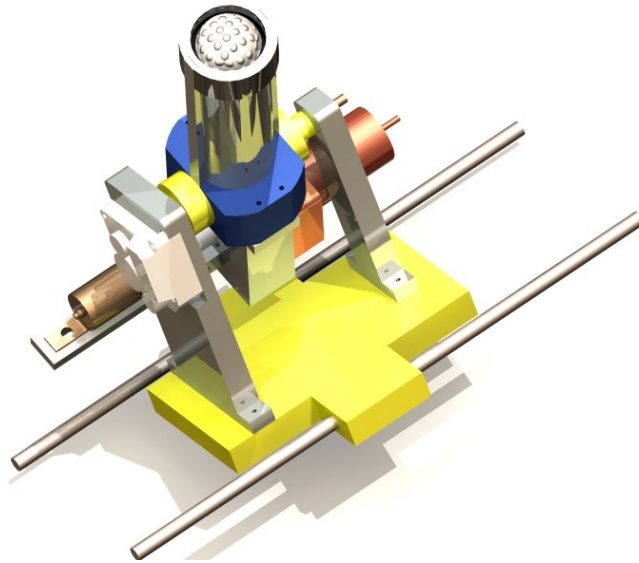


Figura 4.14 Lanzaproyectiles.

Por último, cada pieza fue diseñada para que sólo se necesiten torno y fresadora convencionales para su manufactura, de lo cual se realiza una breve descripción en el siguiente capítulo.

Nota: Para consultar todo el detalle de las diferentes piezas del prototipo consulte el Apéndice 1, en el que se muestran los planos de construcción del prototipo y en ellos se ven los materiales y las dimensiones de las diferentes piezas.

Sus acabados son solo maquinado, ya que todavía falta la colocación de sensores, cámaras y otros aditamentos, por lo tanto darle un acabado solo complicara la siguiente fase, por este mismo motivo se dejan las piezas tal y como salieron de las maquinas. Se recomienda el pulido en los acabados de las piezas de aluminio y en las de acero colocar algún recubrimiento para evitar la oxidación.

Capítulo 5 Manufactura y pruebas del dispositivo

5.1 Manufactura del dispositivo

Como se menciona en el capítulo anterior, todo el dispositivo fue diseñado para ser construido con sólo dos máquinas que son el torno y la fresadora. A continuación se hará una breve descripción de las máquinas herramientas con la cuales se construyeron la mayoría de partes de este prototipo.

5.1.1 Torno [21]

Las máquinas para torneear incluyen operaciones de corte que producen sólidos de revolución. El tipo más antiguo y común es el torno que remueve material por rotación de la pieza contra un cortador de un solo filo.

La velocidad de corte se expresa en metros por minuto y en un torno es la velocidad superficial o velocidad a la que la pieza pasa al cortador, y ésta se puede expresar por la fórmula simple:

$$VC = \frac{\pi DN}{1000} \quad 5.1$$

donde

VC = velocidad de corte, en metros por minuto

$\pi = 3.1416\dots$

D = diámetro, en milímetros

N = velocidad de rotación, en revoluciones por minuto.

Las velocidades de corte ya han sido calculadas para diversos tipos de materiales, la tabla 5.1 muestra las velocidades de corte a utilizar con los materiales emplados para la construcción del prototipo.

Tabla 5.1 Velocidades de corte para herramientas de acero de alta velocidad.

Material	Velocidad de corte <i>m/min</i>
Acero dulce 1020	30
Aluminio	140
Plásticos	35

Para la construcción del prototipo se utilizó el torno del taller de máquinas y herramientas de Ingeniería Mecánica el cual se muestra en la Figura 5.1. El cual es un torno del tipo convencional.

Las operaciones realizadas con el torno fueron refrentado, torneado cilíndrico, centrado, taladrado, roscado y ranurado.

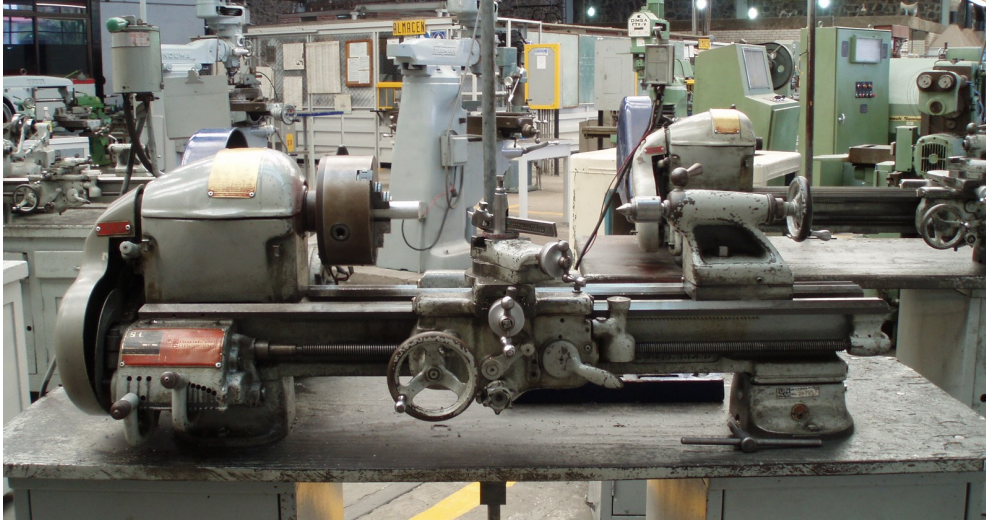


Figura 5.01 Torno convencional

5.12 Fresadora [21]

Fresadora vertical.

Una fresadora vertical marca *Induma* se muestra en la Figura 5.2, (que es la utilizada en la construcción del prototipo) y se le llama así por la posición vertical del árbol de corte. Algunas fresadoras verticales están provistas de aditamentos giratorios o mesas de trabajo giratorias para permitir fresado de ranuras circulares o el fresado continuo de piezas en trabajos de baja producción.

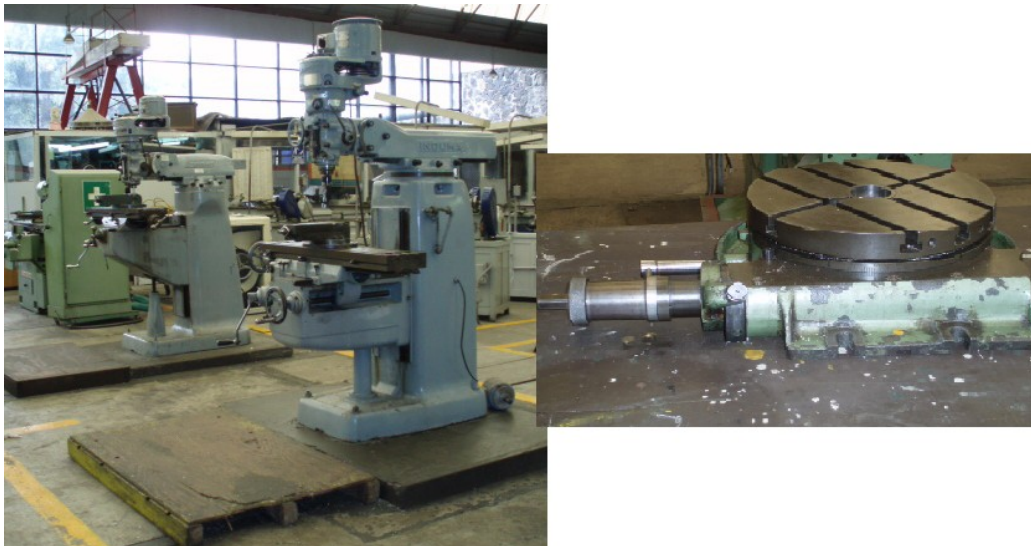


Figura 5.2 Fresadoras del tipo vertical (izquierda) y su plato divisorio (derecha).

Velocidad de corte

La velocidad de corte se determina por el diámetro del cortador. El movimiento de la pieza con respecto al cortador no está considerada en este cálculo. La velocidad de corte está expresada por la siguiente ecuación:

$$VC = \frac{\pi DN}{1000} \quad 5.2$$

donde

VC = velocidad de corte en m/min

D = diámetro del cortador, en milímetros

N = revoluciones por minuto

Puesto que la velocidad de corte rara vez es la incógnita, la ecuación se generaliza expresada en términos de las revoluciones del husillo.

$$N = \frac{1000VC}{\pi D} \quad 5.3$$

Sustituyendo las velocidades de corte de la Tabla 5.1 se obtiene la N velocidad de rotación, para los materiales trabajados en la fresadora con las diferentes herramientas utilizadas.

Las operaciones realizadas con estas herramientas fueron: refrentado a escuadra, realización de cajas para motores y piezas, taladrado de precisión, taladro coliso. El plato divisorio es sólo utilizado para la construcción de la polea con el mecanismo de trinquete, ya que ésta tiene un ajuste angular.

5.13 Máquina de prototipos rápidos [22,23]

La máquina de prototipos rápidos es una herramienta esencial en el proceso de diseño que permite fabricar pequeños modelos de algún producto u objeto sin importar su geometría. El diseño proviene de un modelo CAD.



Figura 5.6 Fotografía de la máquina de prototipos rápidos *Stratasys Dimension*.

Los diseñadores e ingenieros podrán contar con prototipos de material ABS termoplástico, el acrónimo deriva de los tres monómeros utilizados para producirlo: acrilonitrilo, butadieno y estireno. La máquina es una *Stratasys Dimension* como se muestra en la Figura 5.6.

Con esta máquina se logró construir el tornillo sinfín ajustable en el número de pasos necesarios para el sistema de recarga de pelotas del lanzaproyectiles.

5.2 Prototipo manufacturado

Los resultados obtenidos en la manufactura son los siguientes:

Ángulo máximo esperado de disparo de poco más de 60° como lo muestra la Figura 5.7.



Figura 5.7 Fotografía del lanzaproyectiles.

Y una adaptación para un sistema de recarga preciso como se muestra en la Figura 5.8 el cual permite una posición para disparar y otra posición para recargar. Y por último el tornillo sinfín, éste se puede ensamblar para adaptarse a la altura requerida para la recarga, mostrado en la Figura 5.9.

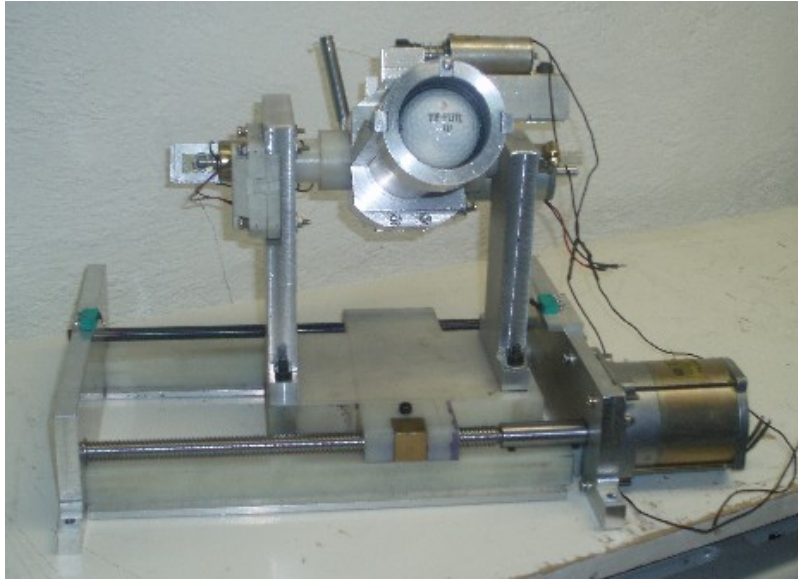


Figura 5.8 Fotografía del lanzaproyectiles con el sistema para colocarse en la posiciones de disparo y recarga, por medio de un tornillo sinfín.

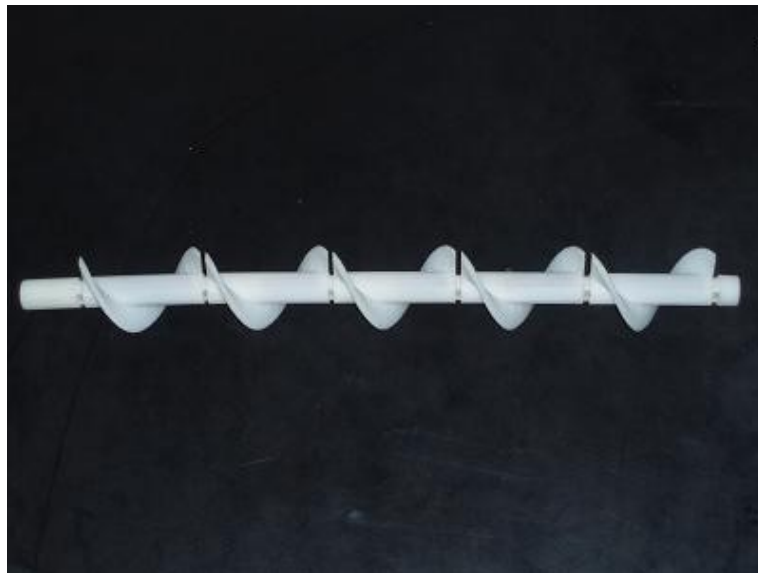


Figura 5.9 Fotografía del tornillo sinfín para el sistema de recarga

5.3 Pruebas del dispositivo

Al terminarse la manufactura de las partes del sistema de disparo, se realizaron pruebas con el resorte que tiene una fuerza máxima de compresión de 15 *lb* ó 88.8 *N* y con él se realizaron disparos con 45° de inclinación, obteniendo un alcance promedio de alrededor de 1.25 *m*, por lo tanto, una velocidad inicial de aproximadamente 3.5 *m/s* en el proyectil. Gracias a esto se pueden reajustar los cálculos del resorte a una carga 2.5 veces mayor que la del resorte de pruebas para asegurar alcance requerido y por lo tanto la velocidad mínima requerida; además se debe tener en cuenta el par máximo del motor que es de 25 *kg·cm*. Los cálculos con el resorte final donde se observan las masas totales a ser propulsadas, la fuerza requerida, la velocidad inicial así como el alcance esperado son mostrados en el Apéndice 2.

Con el nuevo resorte se volvieron a realizar pruebas, en las cuales se observó que el nudo se rompe al cambiarle la dirección en la tensión. El hilo y el nudo no soporta esfuerzos cortantes, debido a esto no soporta nudos que no estén indicados para la pesca ya que trozan el hilo; debido a esto se buscaron nudos que también funcionaran con el hilo que se utiliza en el lanzaproyectiles. Por ello se probaron varios tipos de nudos. Las pruebas con el nuevo resorte lograron mostrar lanzamientos del proyectil de 3 a 3.5 *m* de alcance.

Otro problema fue que al aumentar la fuerza para desacoplar el sistema del trinquete por medio del solenoide, se presentó un mayor desgaste en las piezas, por ello se tuvo que construir otra pieza que disminuyera los efectos de fricción en el sistema del trinquete, mejorando además la resistencia de los materiales. Los resultados observados en las nuevas piezas de aluminio son muy similares a los de las piezas de plástico en cuanto a la fricción sin ningún tipo de lubricación, obviamente mejorando la resistencia de las nuevas piezas.

Además, se agregaron piezas para evitar el golpe de la polea-trinquete con el perno que transmite el par del motor, estas piezas permiten un mejor desacople y acople del mecanismo del trinquete.

Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Un diseño apoyado en la correcta utilización de herramientas profesionales de CAD resulta de una gran ayuda para poder apreciar ciertos comportamientos como trayectorias, posibles colisiones entre mecanismos y estructuras, y con la ayuda de estas herramientas de diseño poder evitar dichas situaciones lo más posible.
- Un buen conocimiento de la mayor parte de herramientas del taller, así como su utilización ayuda a disminuir el tiempo de manufactura de las piezas.
- Se logró la construcción de un dispositivo lanzaproyectiles completamente funcional y listo para su automatización.
- No se consiguió la distancia de 5 m de alcance, debido a fricción y pequeñas colisiones entre el hilo de pescar, polea y su soporte, pero se obtiene un alcance en pruebas de 3 a 3.5 m razonable para un experimento 1.5 a 2 m de distancia horizontal.
- El prototipo tiene un ajuste angular de 0° a 60°, suficientes para realizar la práctica como fue planeada.
- Se construyó el prototipo con las posibilidades de manufactura del taller de máquinas y herramientas.
- Las partes del sistema de recarga están construidas en su mayor parte, pero debido a no tener un sistema claro de cual es el blanco u objetivo del lanzaproyectiles, si es una pelota, un tiro al blanco liberado en caída libre. No se termina esta parte porque si se construyen mecanismos que llegaran a interrumpir el otro dispositivo sencillamente sería repetir el trabajo en esta parte.

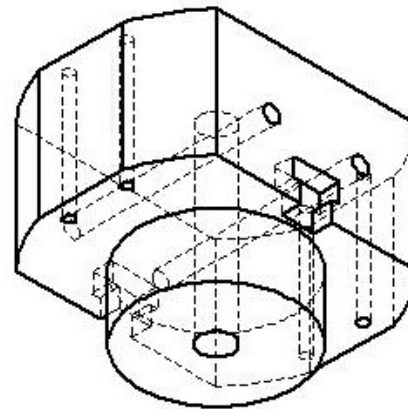
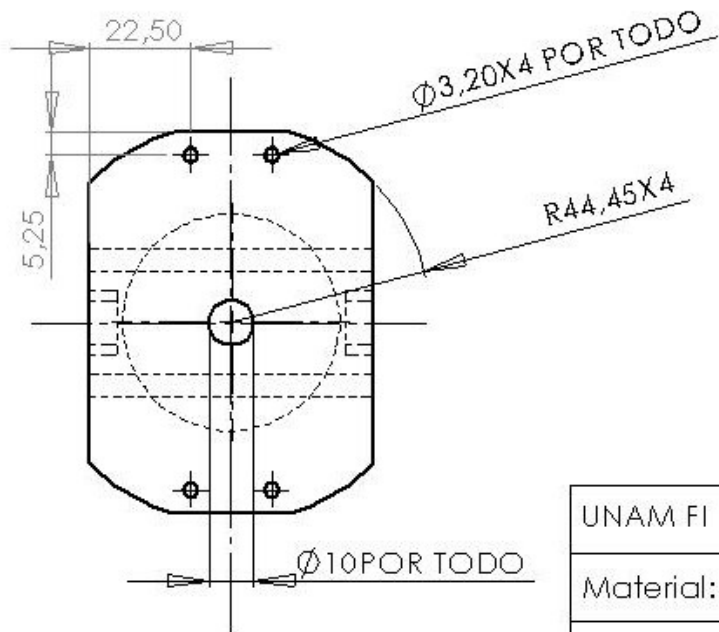
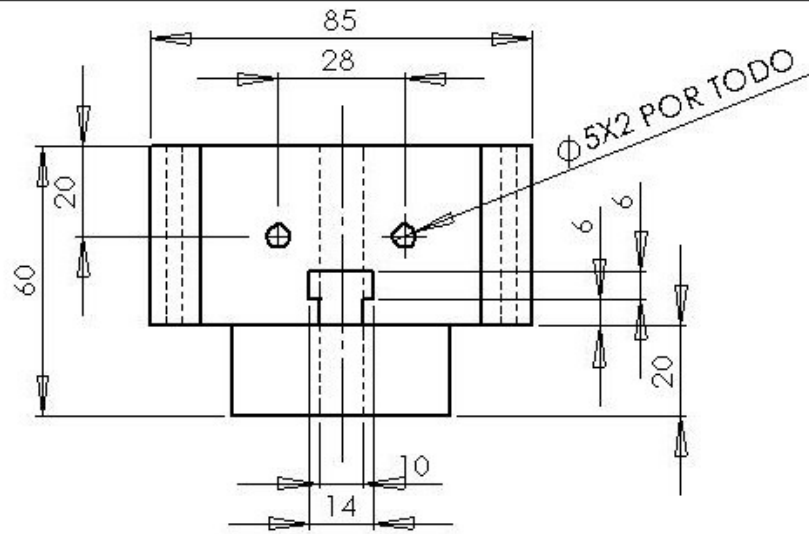
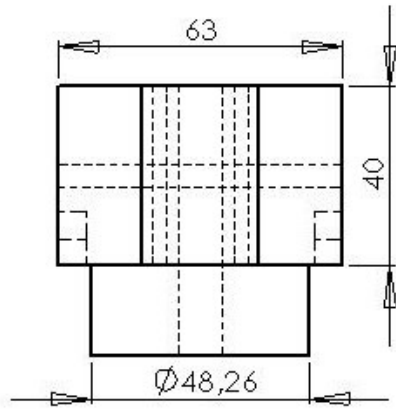
6.2 Recomendaciones

- Optimizar el sistema de trinquete para mejorar su resistencia, durabilidad, y disminuir el coeficiente de fricción entre la polea y el trinquete para disminuir el consumo energético del solenoide.
- Realizar pruebas de elemento finito sobre la polea y el émbolo del sistema de disparo, para encontrar el material que mejor se adapte a las condiciones de cargas considerables sobre dimensiones pequeñas, así como optimizar su tamaño para una disminución del peso, y así aprovechar mejor la energía potencial elástica del resorte.
- Manufacturar un sinfín con un plástico económico para el sistema de recarga, con las dimensiones finales del experimento, todo esto para abaratar el costo del mecanismo de recarga del lanzaproyectiles.
- Utilizar un blanco de dimensiones 4 a 8 *cm* de diámetro para aumentar las tolerancias del sistema de ajuste angular, y por lo tanto tener mayor probabilidad de éxito en el experimento de caída libre.
- Mantener alimentado el motor que realiza la compresión del resorte desde el inicio hasta el momento del disparo, ya que si no es el caso este podría permitir la descompresión del resorte a causa de cualquier pequeña perturbación, debido a lo cercano del momento que produce la fuerza de compresión con respecto al par del motor.
- El motor de compresión del resorte debe girar lentamente al inicio poco menos de 11 RPM, para permitir el acoplamiento del sistema del trinquete y una vez hecho ese acoplamiento alimentarlo a toda carga para evitar problemas durante la compresión.
- Realizar una fase de potencia eficaz que evite que el consumo de corriente del solenoide dañe al circuito de control.
- Diseñar un sistema de soltado de los objetivos que se mueven en caída libre con recarga que pueda interactuar fácilmente con el dispositivo del lanzaproyectiles, sin causando ningún tipo de interferencia entre sus partes.

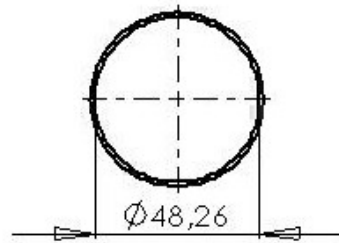
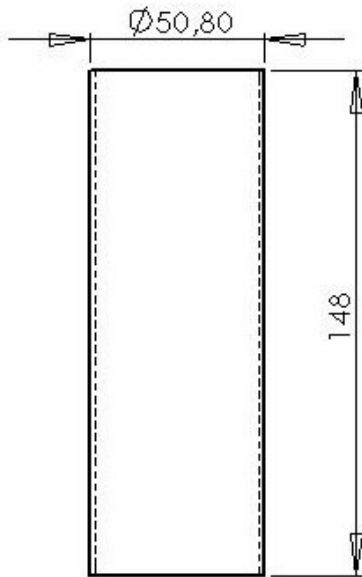
Apéndice 1 Planos

Tabla A1.1 Planos de las piezas del prototipo.

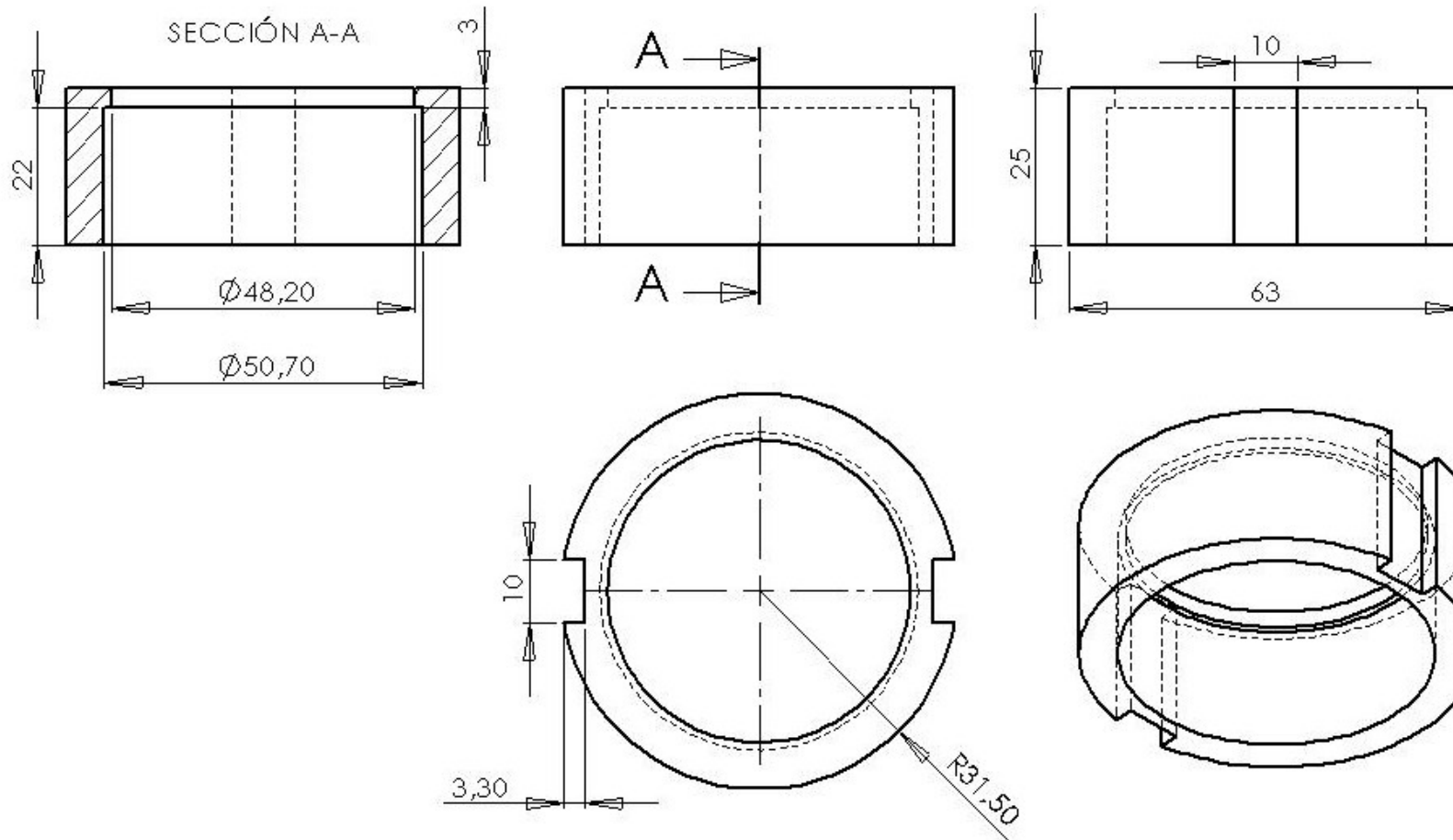
Plano	Pieza	Número de Piezas
LP0801	UNION	1
LP0802	TUBO DISP	1
LP0803	FIN TUBO	1
LP0804	ANCLA	2
LP0805	EMBOLO	1
LP0806	SOPMOT1	1
LP0807	SOPTRIN	1
LP0808	POLEAP	1
LP0809	TRINQUETE	1
LP0810	SOPSOL	1
LP0811	GIROMOT3	1
LP0812	GIRO	1
LP0813	SOPMOT3	1
LP0814	SOPBAL	1
LP0815	FLECHA	1
LP0816	EJEGIRO	2
LP0817	EJEEMBO	1
LP0818	BASE	1
LP0819	SINFINRC	1
LP0820	EJEGUIA	1
LP0821	RIELSOPOR	2
LP0822	RIELAJUS	2
LP0823	COPLEMOT2	1
LP0824	SOPGUIA	2
LP0825	SINFINEN	5
LP0826	PALANCA	1
LP0827	SOPPAL	1
LP0828	SOPSOLP	1
LP0829	ENSAMBLE1	
LP0830	ENSAMBLE2	

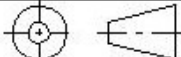


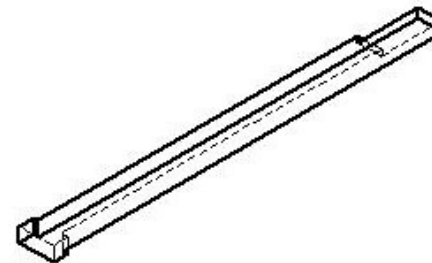
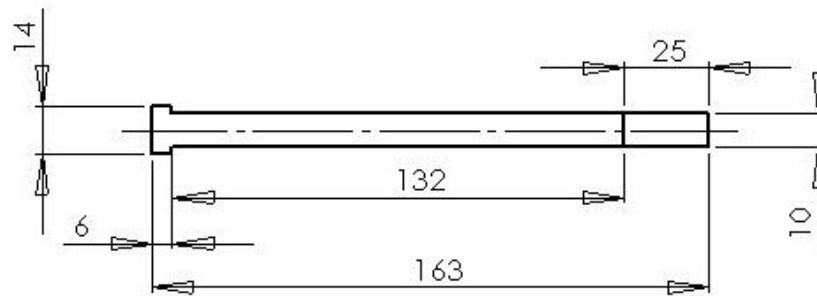
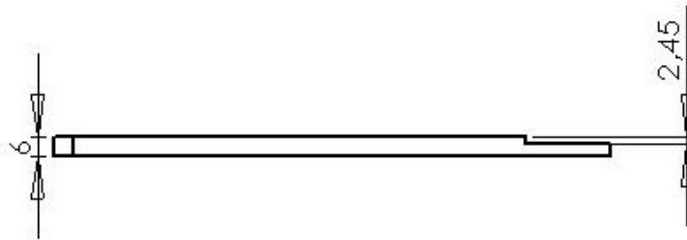
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:2
Material: Aluminio 6061T-6	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: UNION
		Plano: LP0801



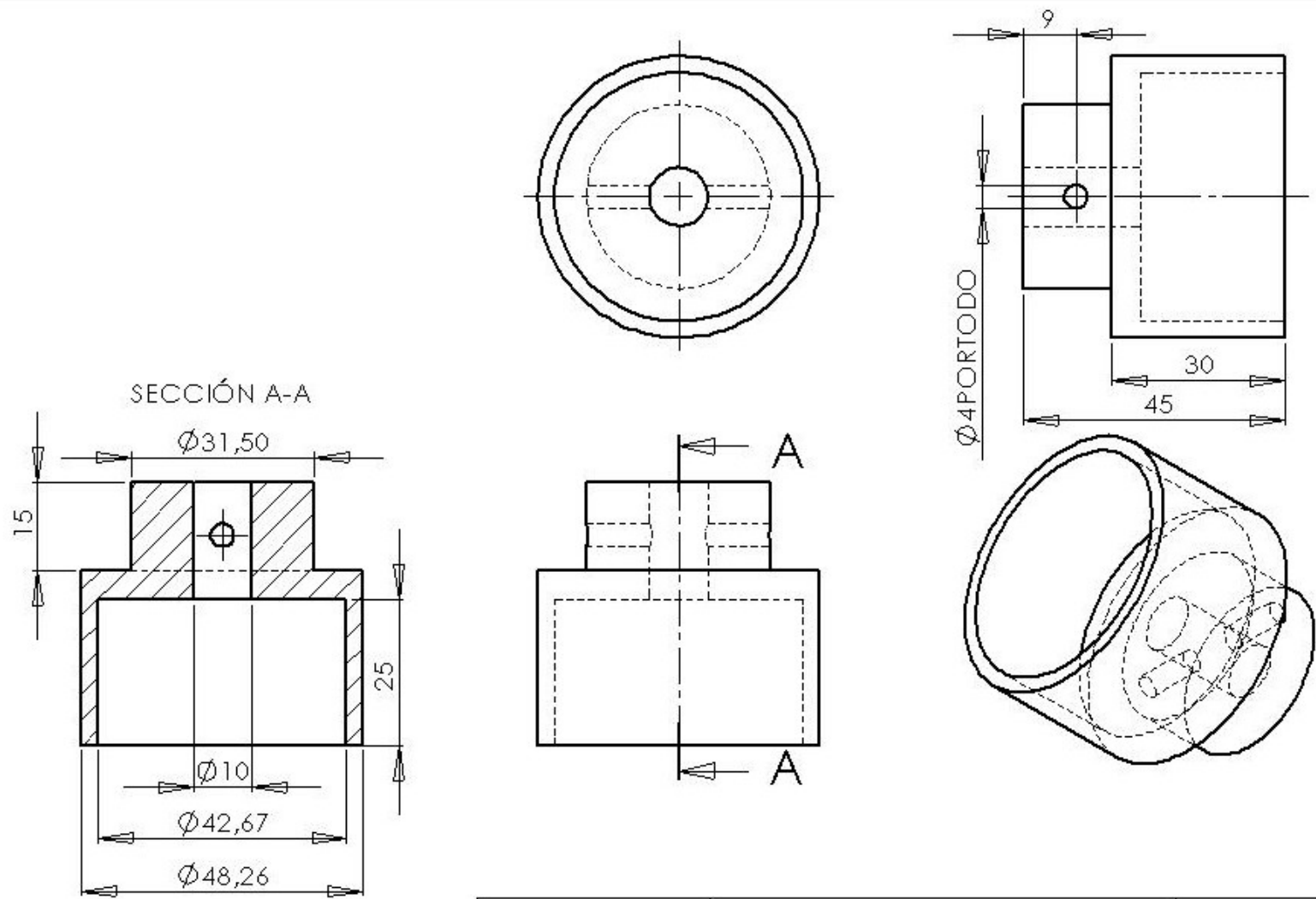
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:2
Material: Aluminio Calibrado	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08		Pieza: TUBO DIS Plano: LP0802



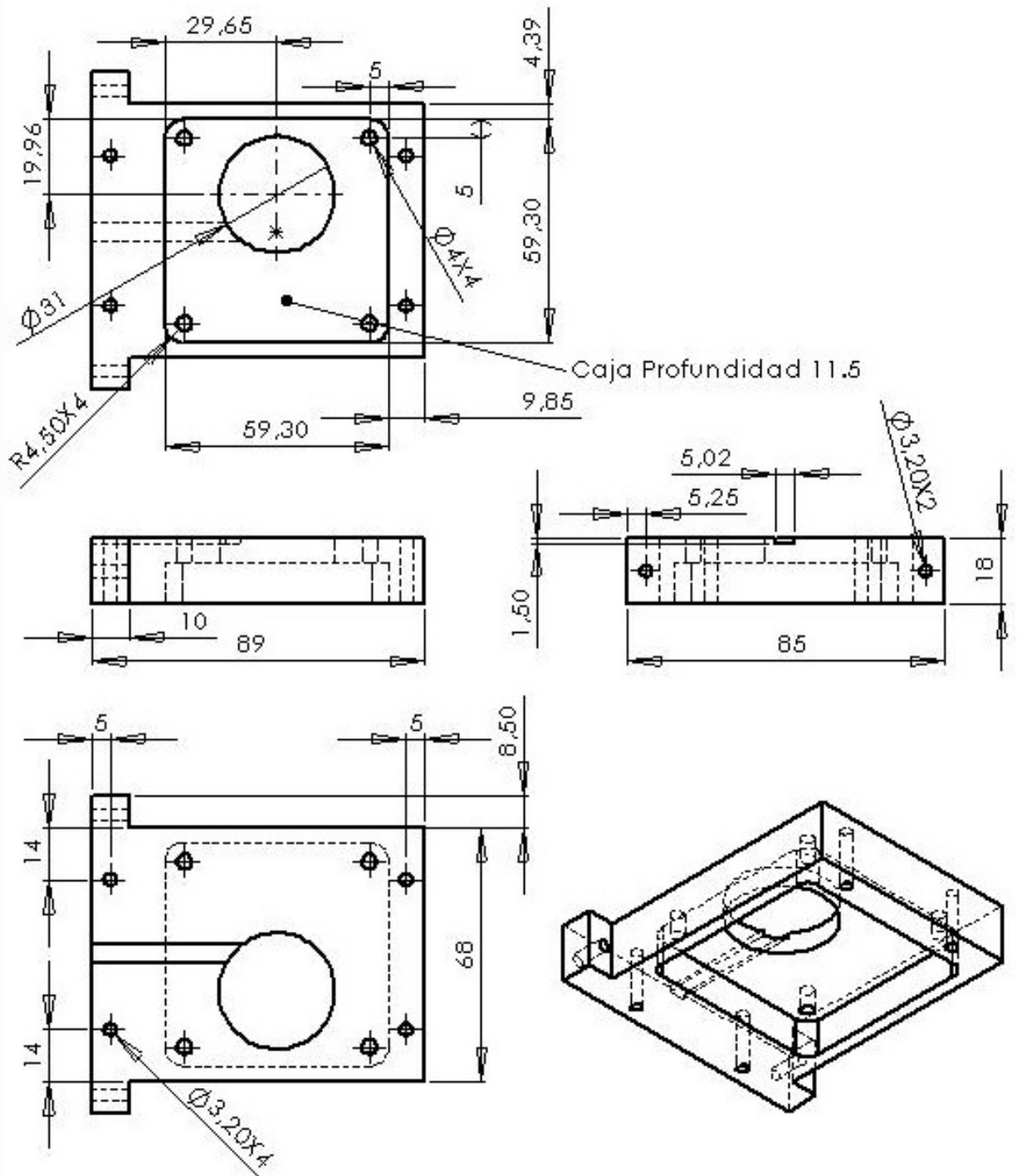
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:1
Material: Aluminio 6061 T-6	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08		Pieza: FINTUBO
		Plano: LP0803



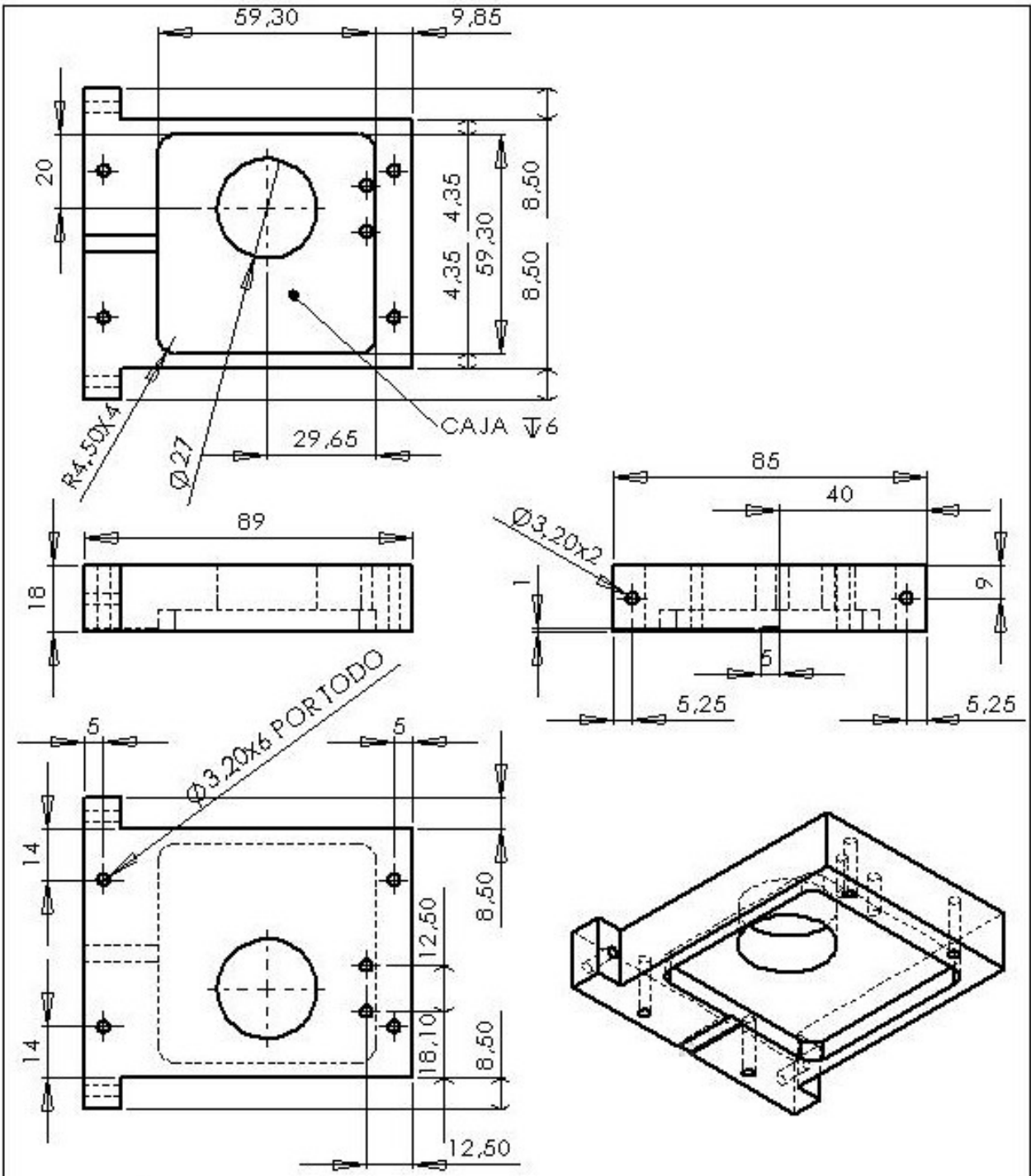
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:2
Material: Aluminio 6061 T-6	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08		Pieza: ANCLA
		Plano: LP0804





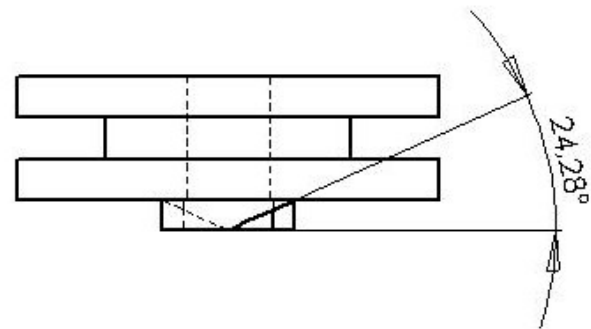
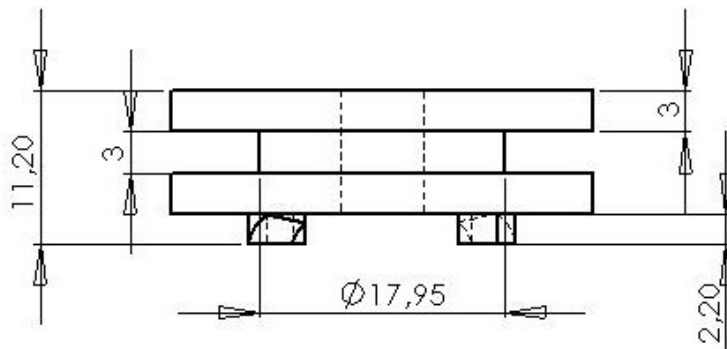
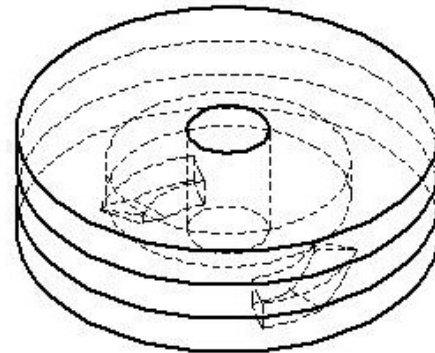
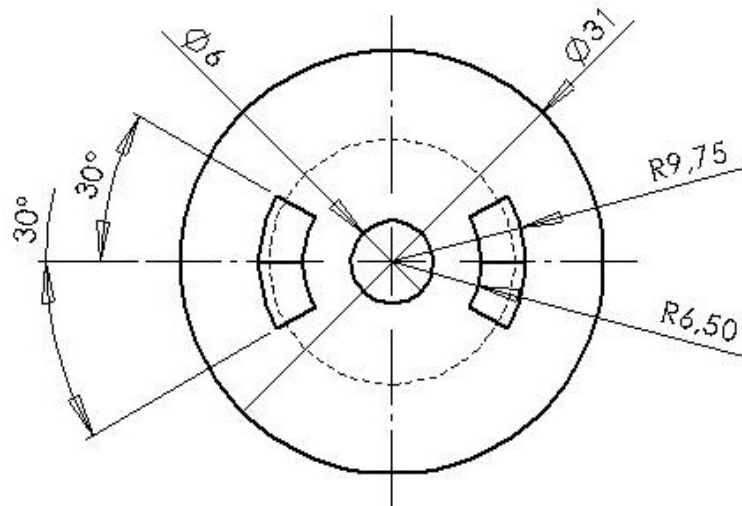
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:1
Material: Nylomaq	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08	 	Pieza:EMBOLO
		Plano: LP0805





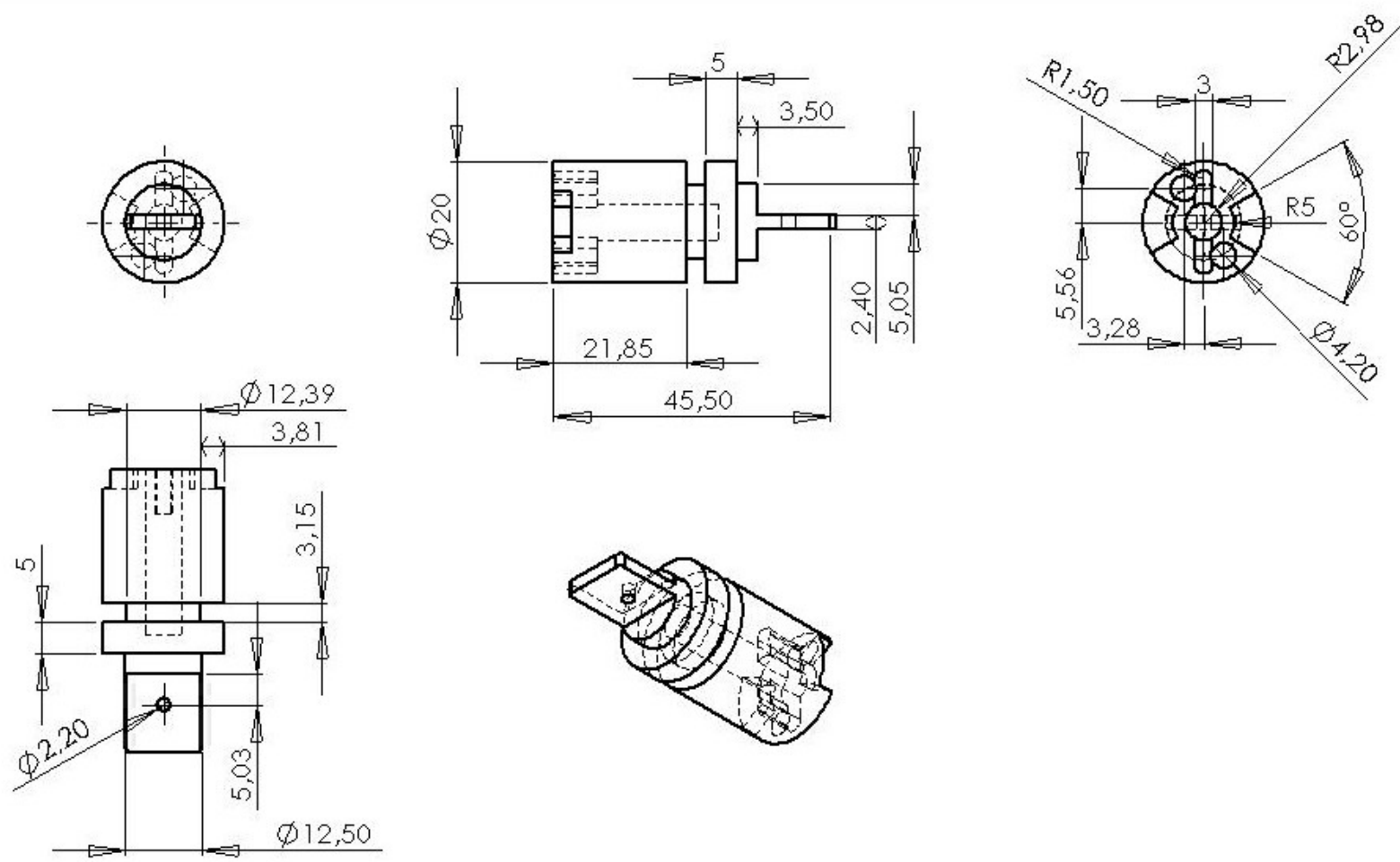
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:2
Material: Aluminio 6061T-6	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08		Pieza: SOPMOT1 Plano: LP0806



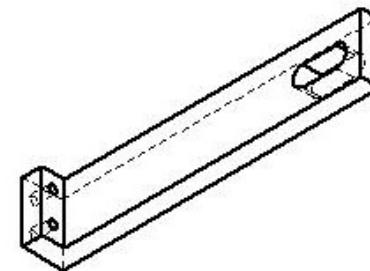
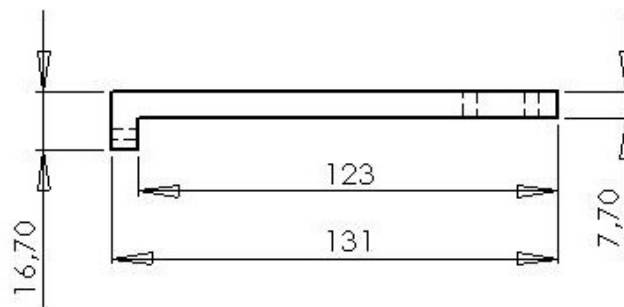
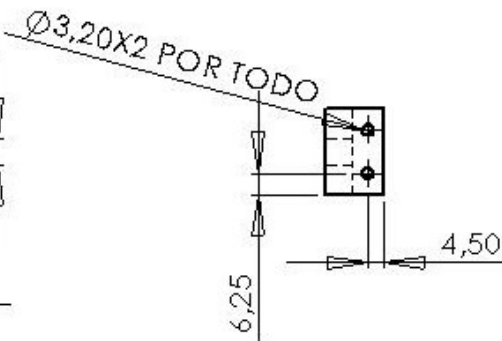
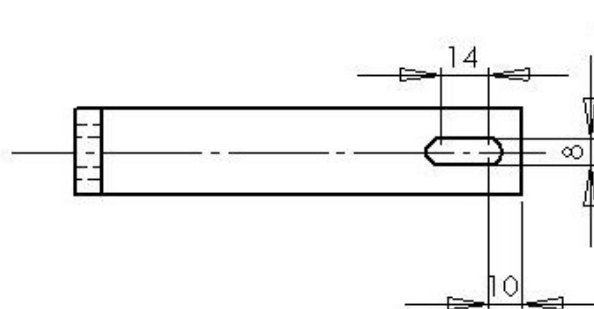
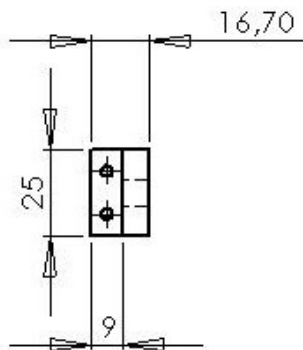
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1 : 2
Material: Aluminio 6061 T-6	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: SOPTRIN1
		Plano: LP0807



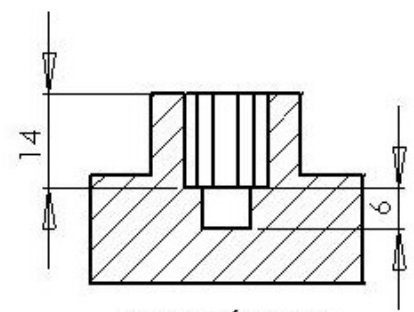
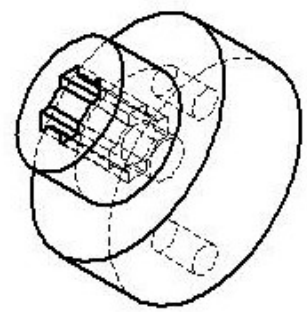
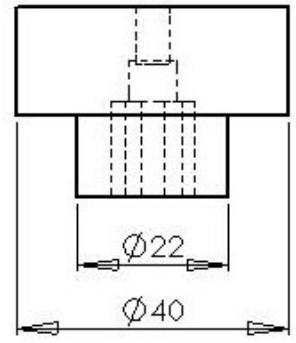
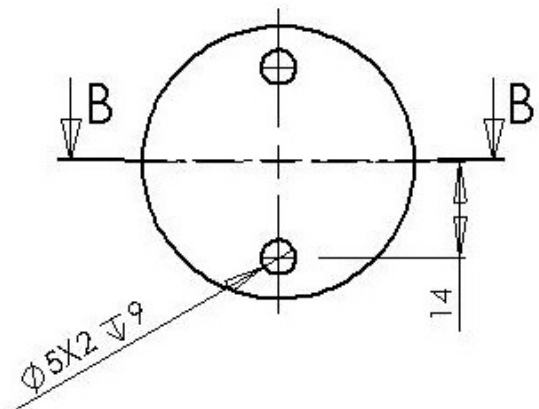
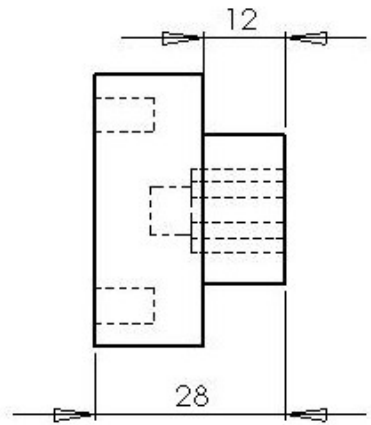
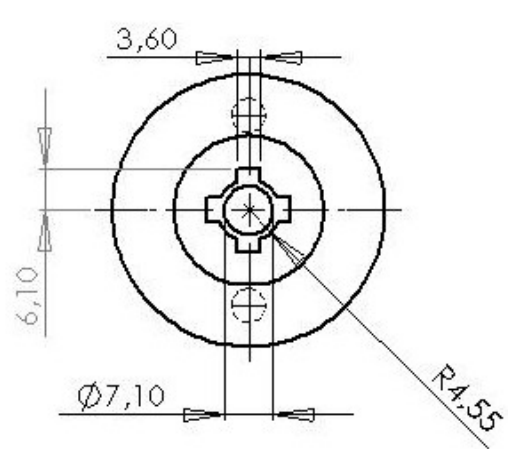
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 2:1
Material: Aluminio 7075 T-6	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: POLEAP Plano: LP0808





UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:1
Material: Aluminio 7075 T-6	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: TRINQUETE Plano: LP0809

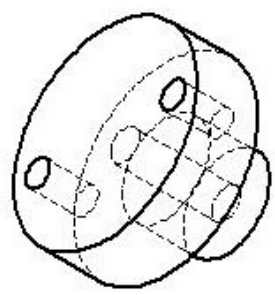
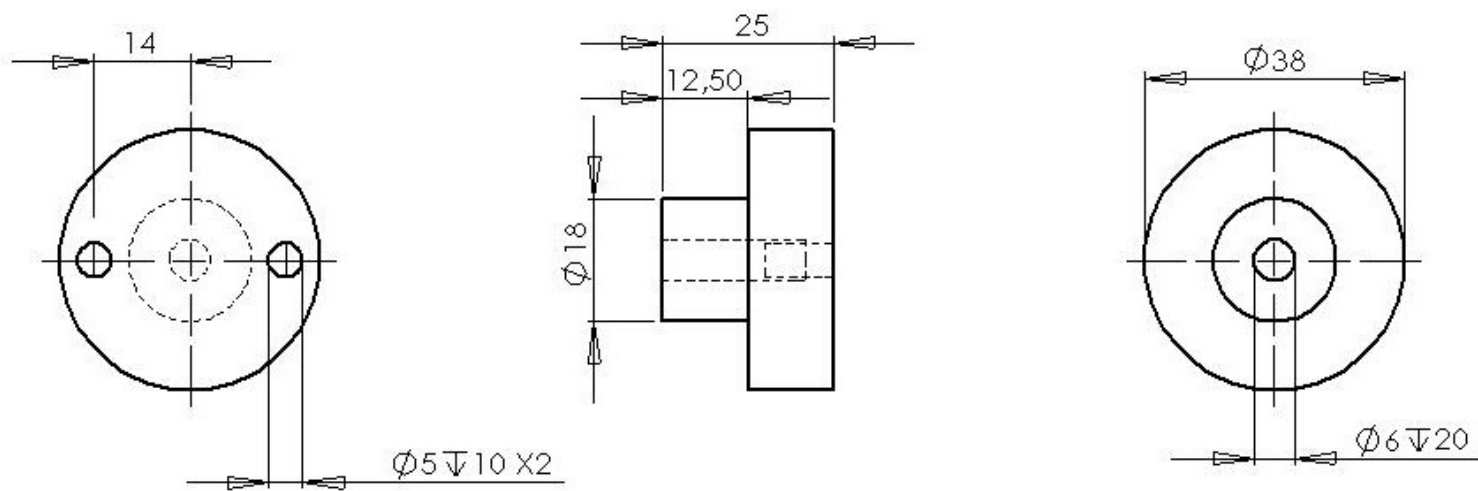


UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:2
Material: Aluminio 6061 T-6	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08		Pieza: SOPSOL Plano: LP0810

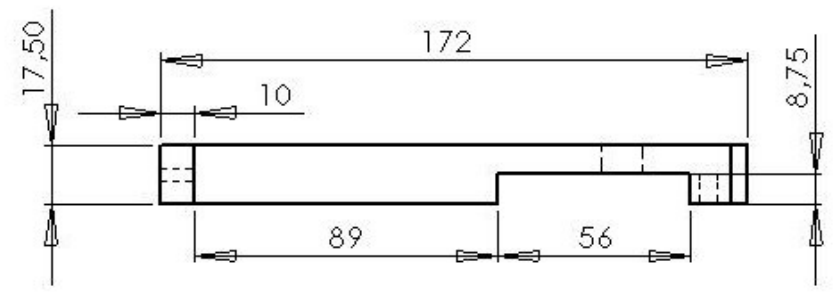
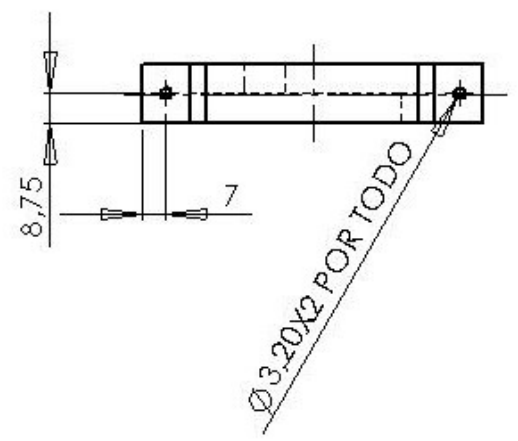
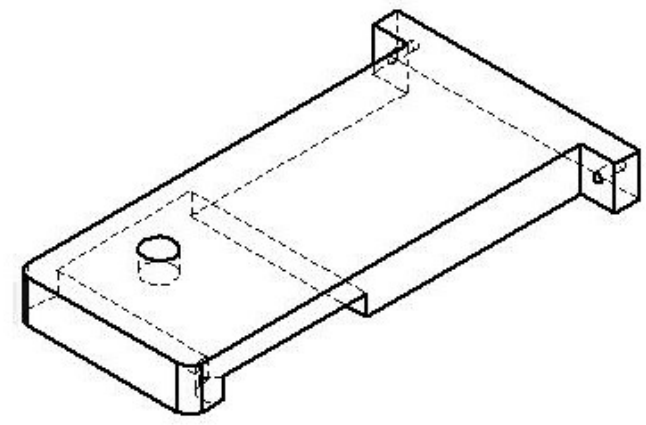
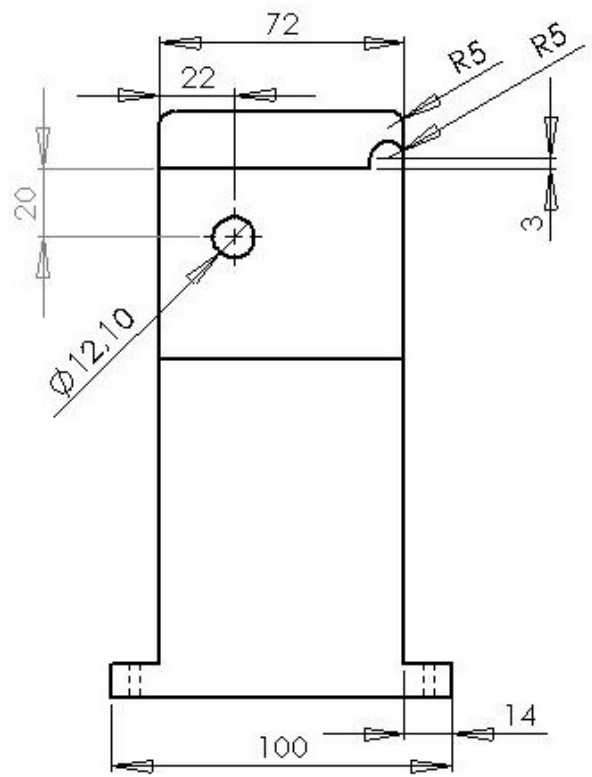


SECCIÓN B-B



UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:1
Material: Nylomaq	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: GIROMOT3 Plano: LP0811

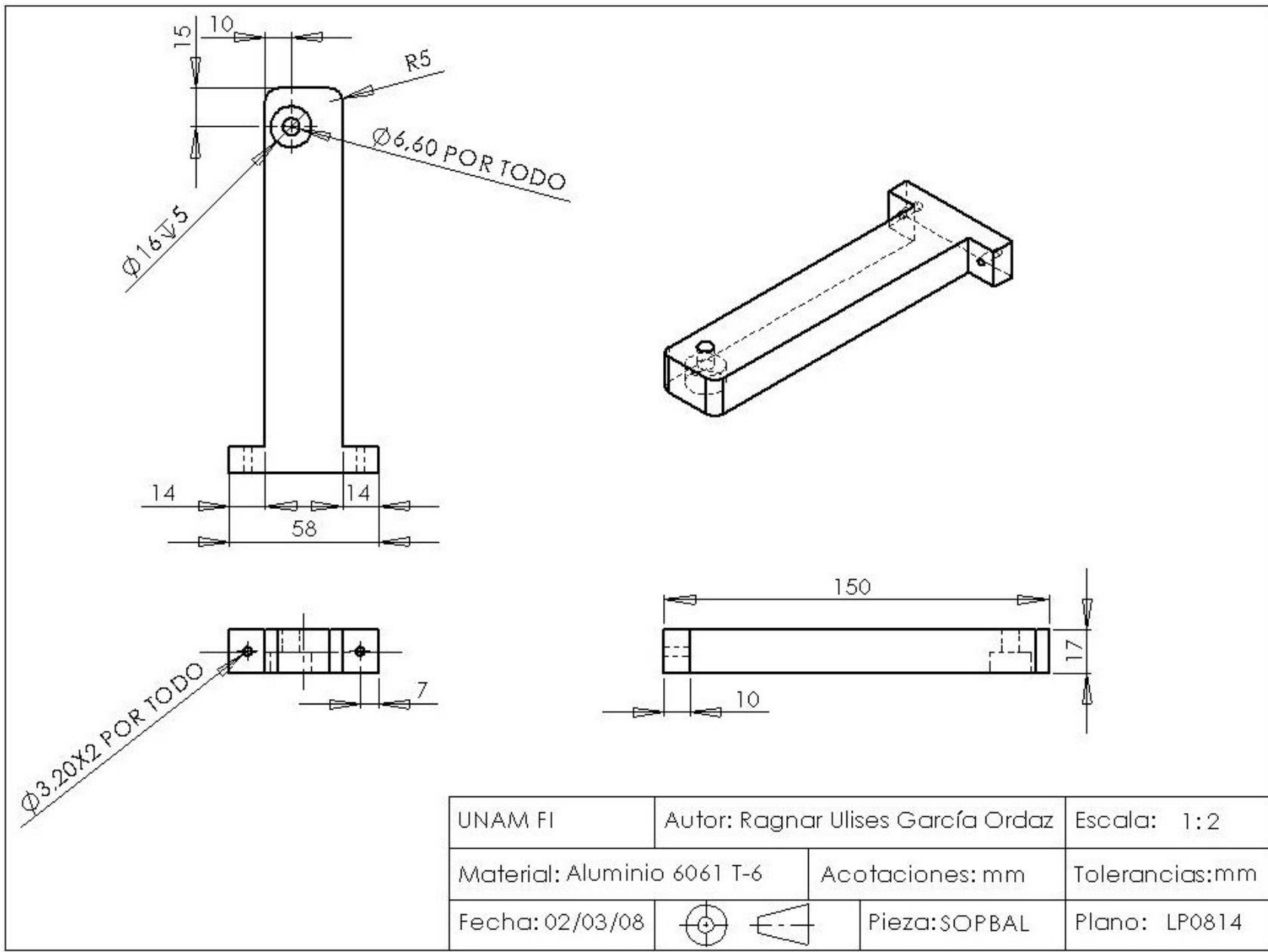


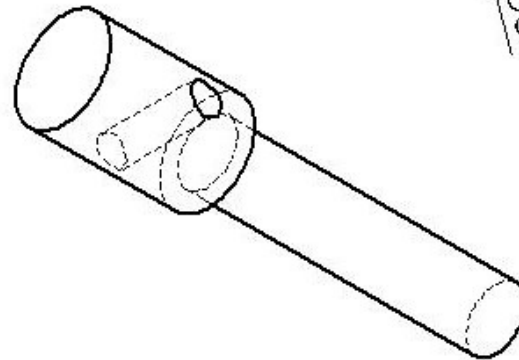
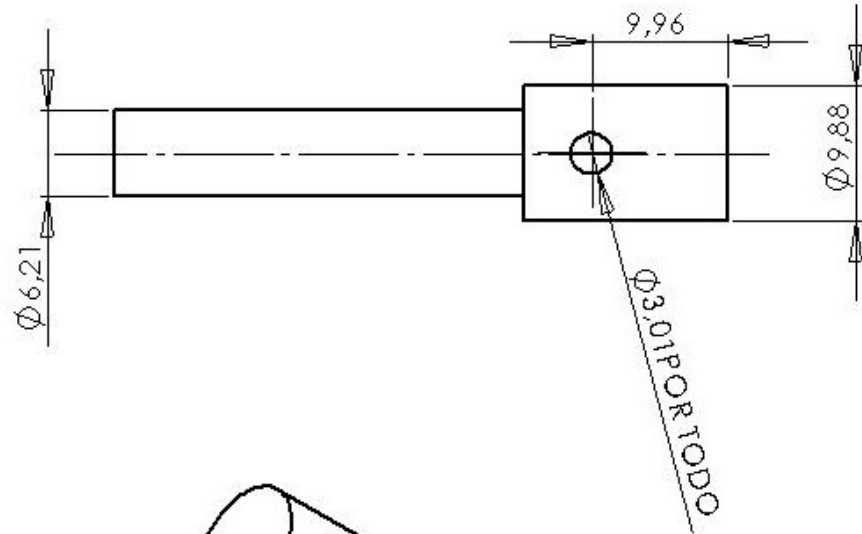
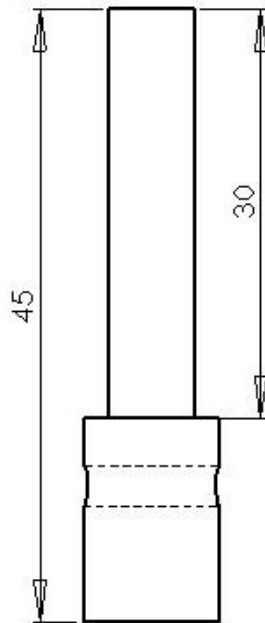
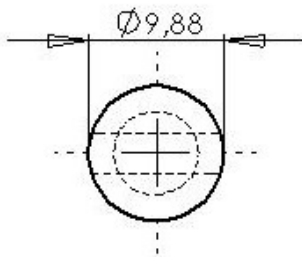
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:1
Material: Nylomaq	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08		Pieza: GIRO
		Plano: LP0812




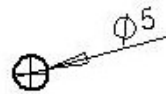
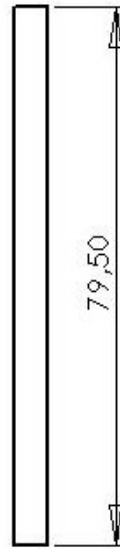
$\text{Ø}3.20 \times 2$ POR TODO

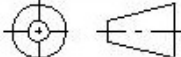
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:2
Material: Aluminio 6061 T-6	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: SOPMOT3 Plano: LP0813

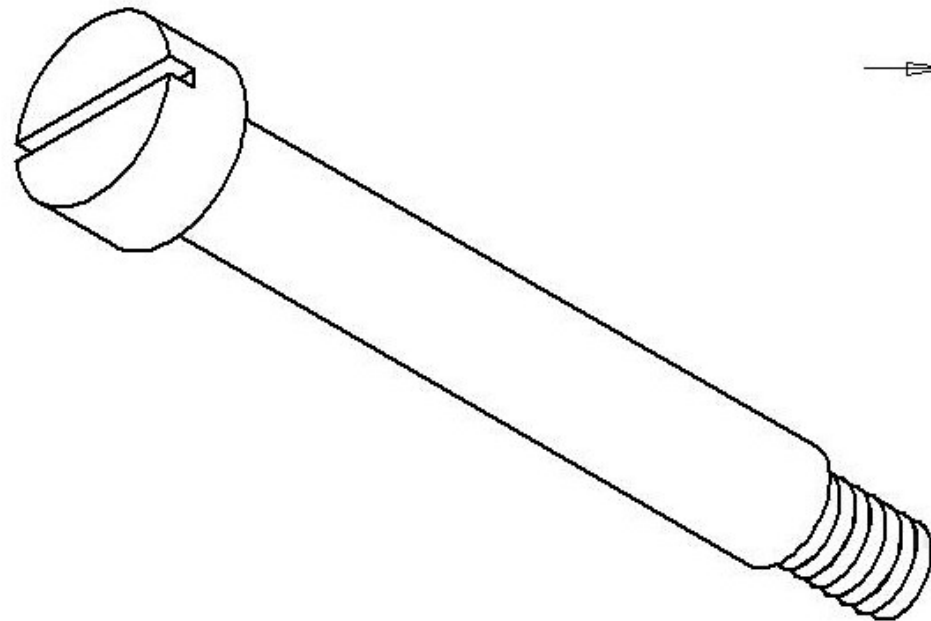
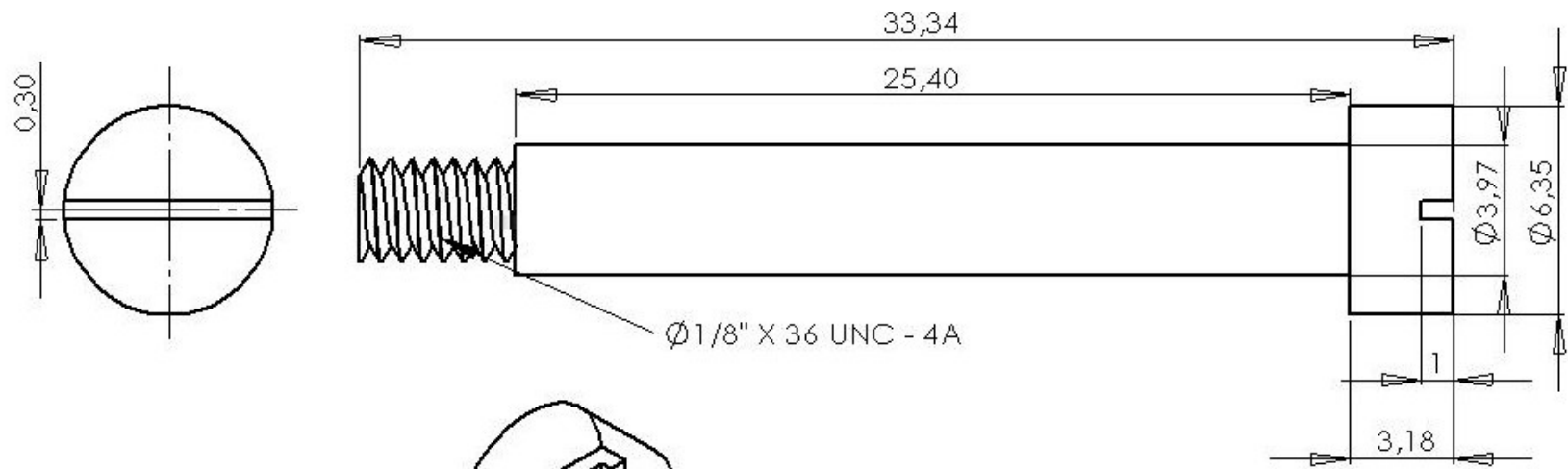




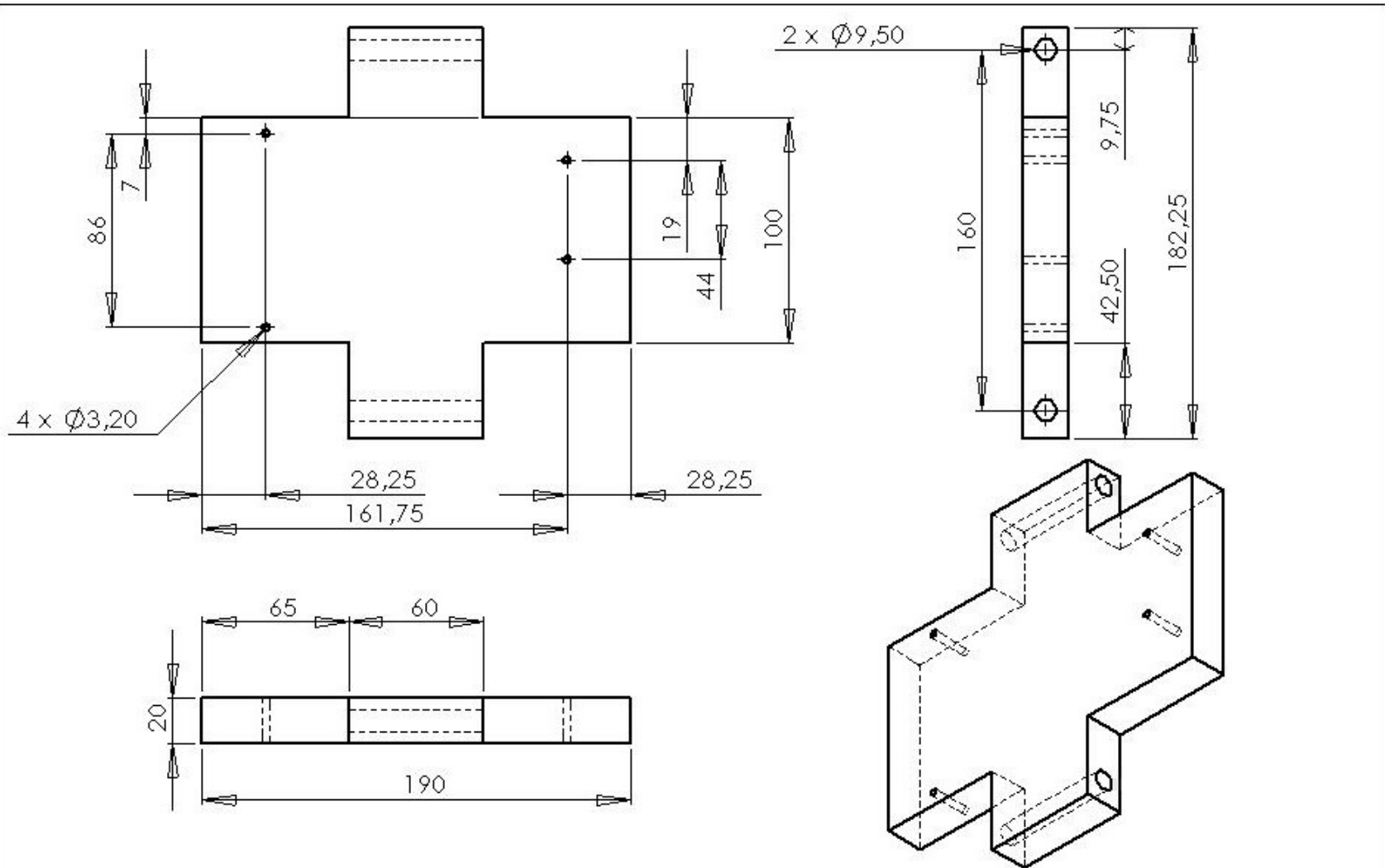
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 2:1
Material: Acero 1010	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: FLECHA
		Plano: LP0815

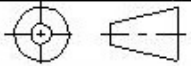


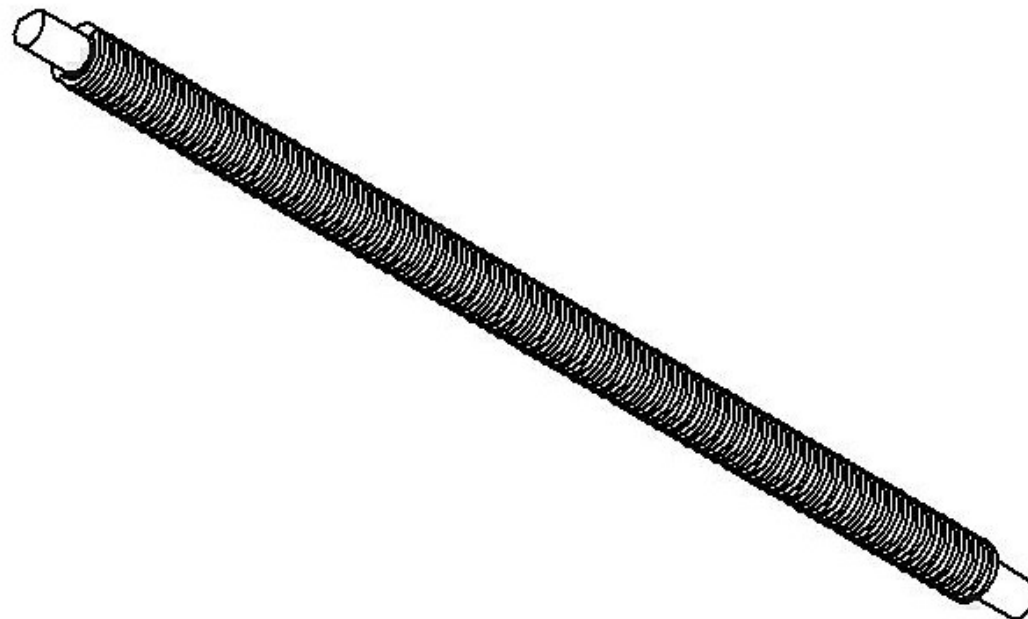
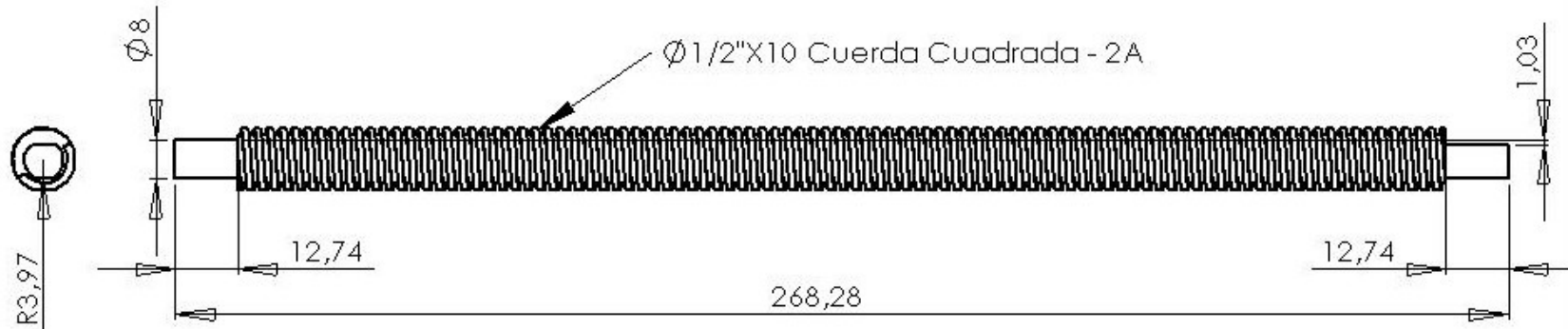
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:1
Material: Acero 1010	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08		Pieza: EJEGIRO Plano: LP0816




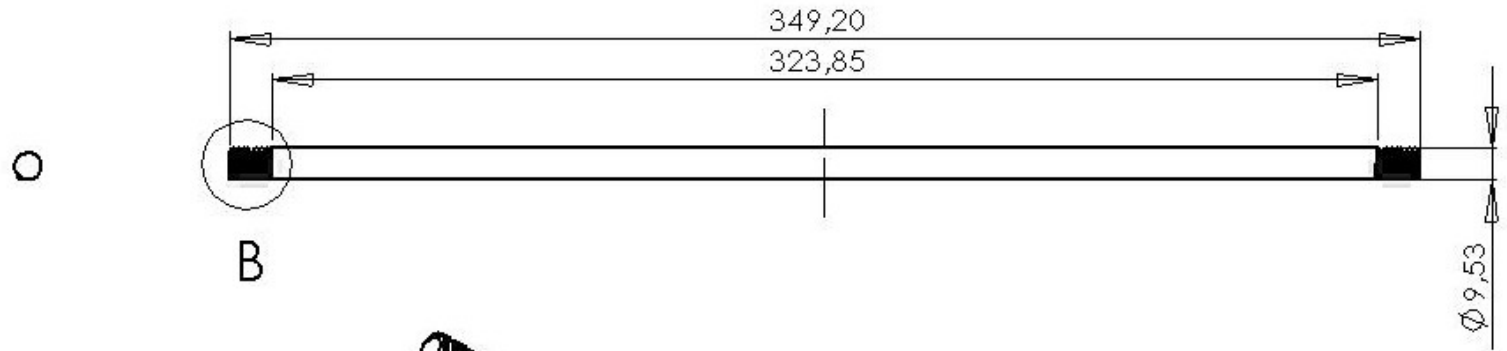
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 5:1
Material: Acero 1010	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08		Pieza: EJEEMBO Plano: LP0817



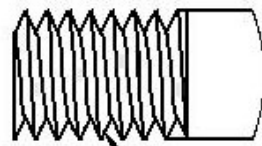
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:2
Material: Nylomaq	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08		Pieza: BASE
		Plano: LP0818



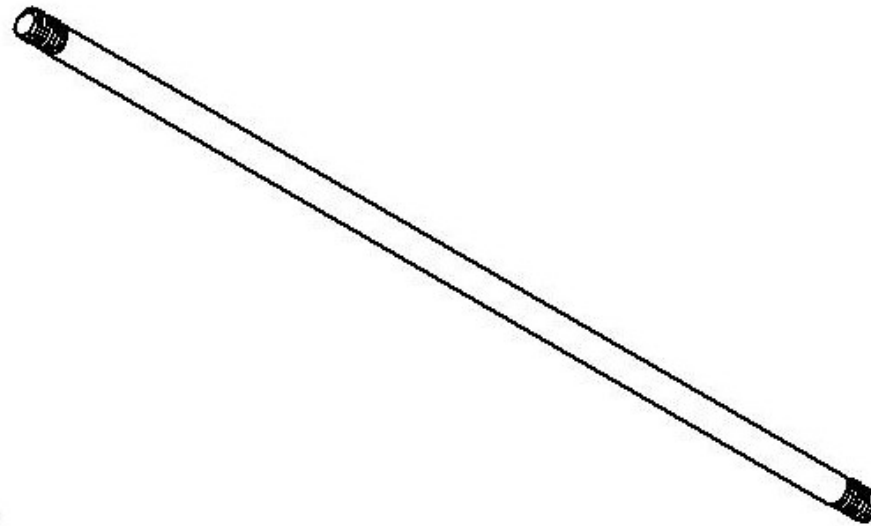
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:2
Material: Acero 1214 FC	Acotaciones: mm	Tolerancias: micras
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: SINFINRC Plano: LP0819



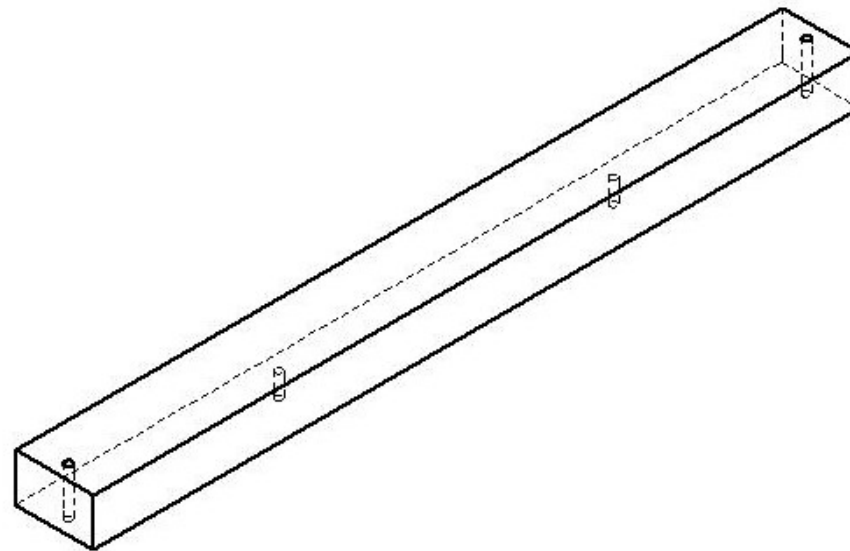
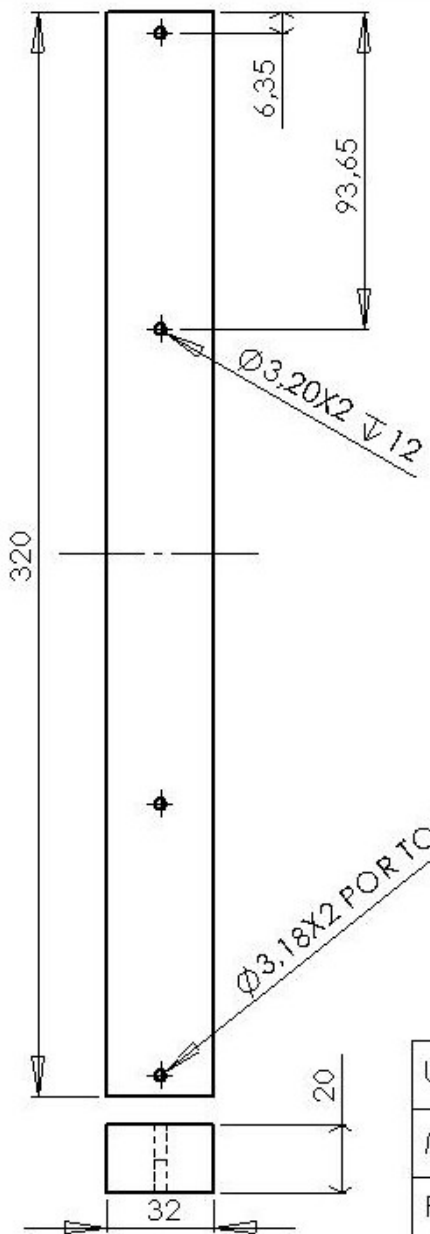
DETALLE B
ESCALA 2 : 1



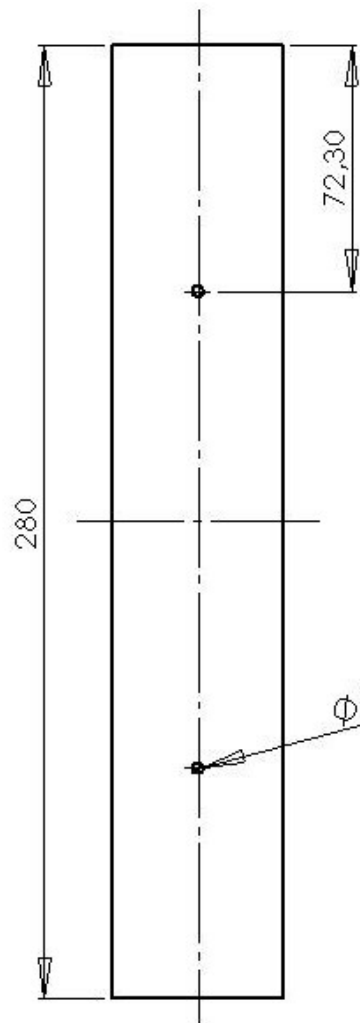
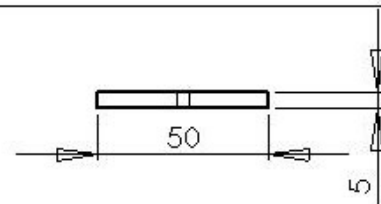
Ø3/8X16 UNC - 2B



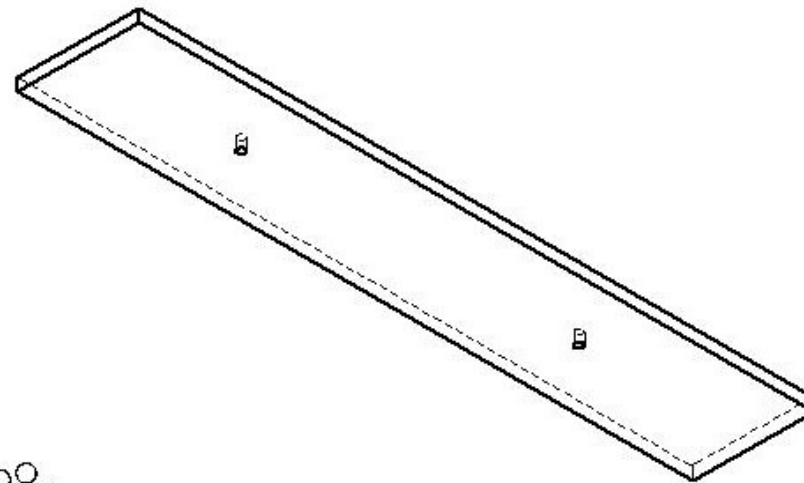
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1 : 2
Material: Acero 1018	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: EJEGUIA Plano: LP0820





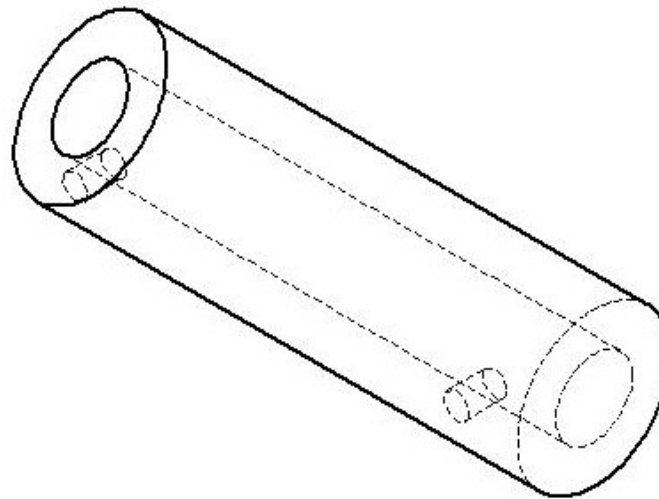
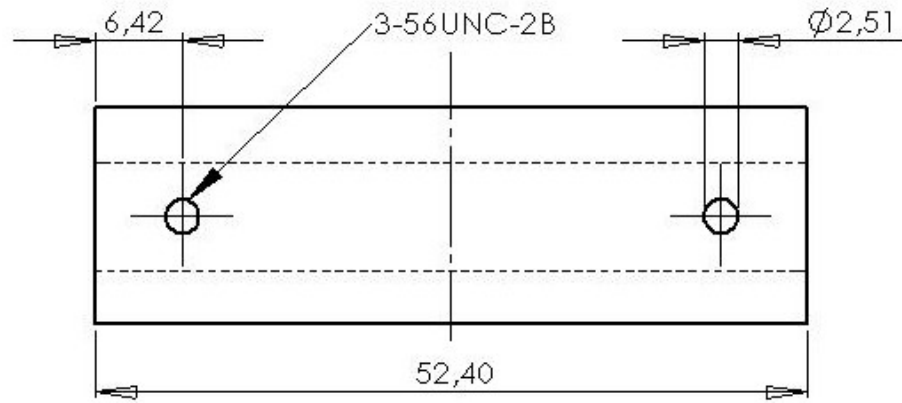
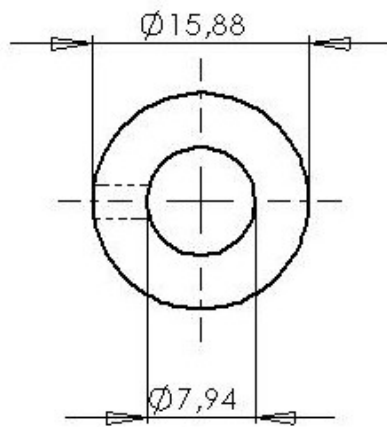
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:2
Material: Nylomaq	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08		Pieza: RIELSOPOR
		Plano: LP0821




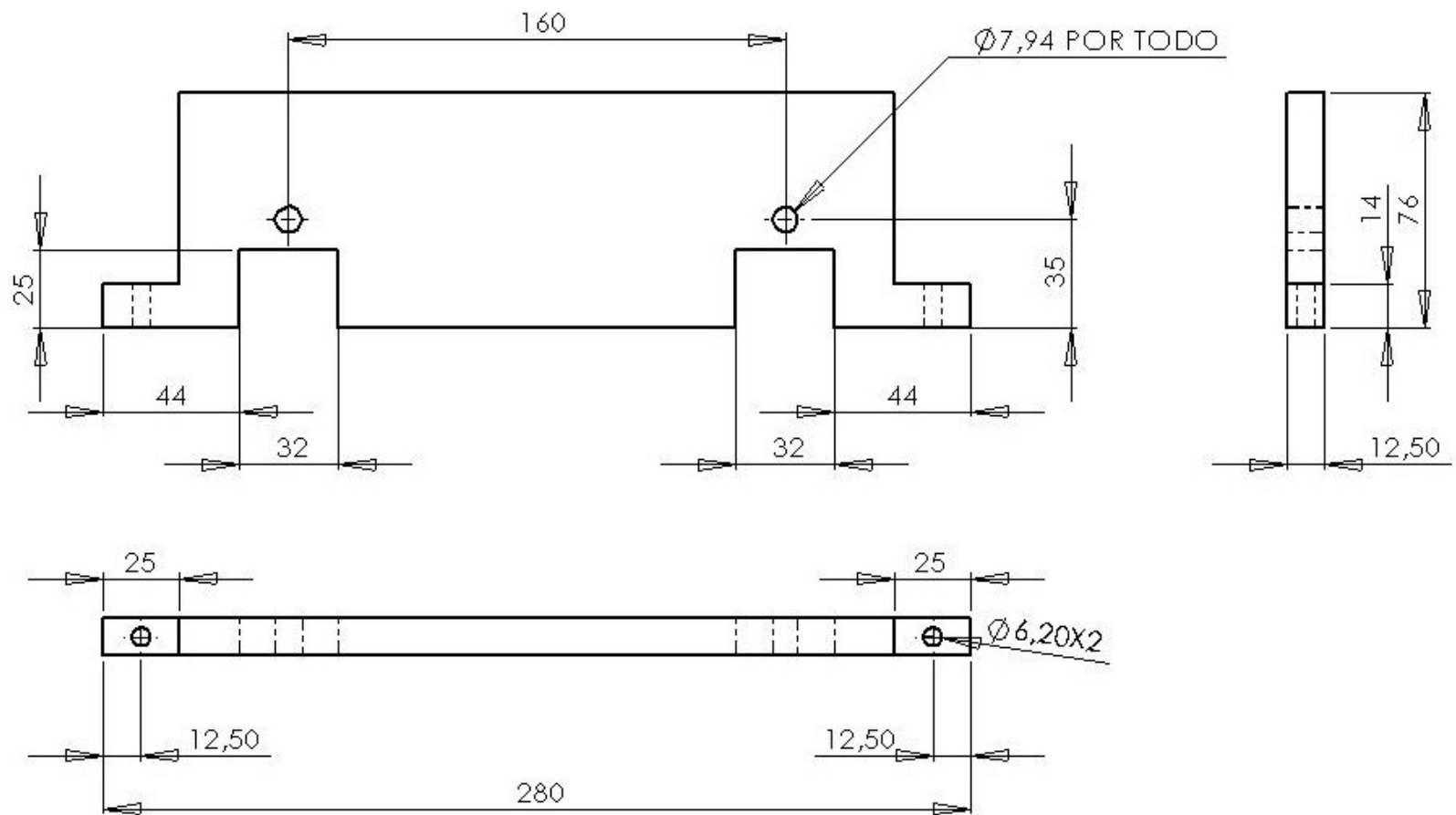
$\varnothing 3,20 \times 2$ POR TODO





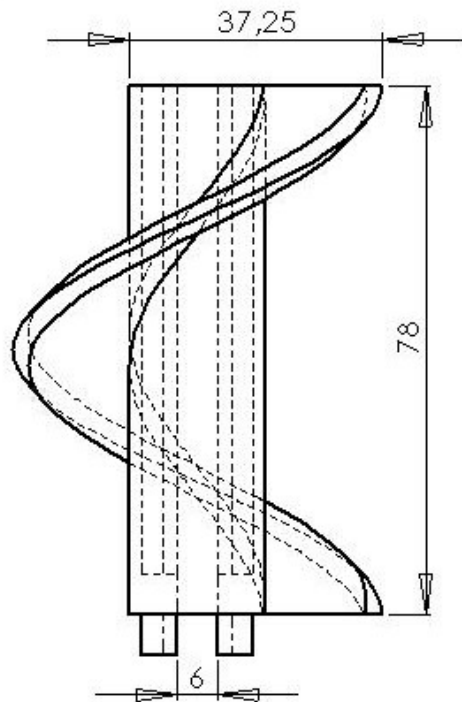
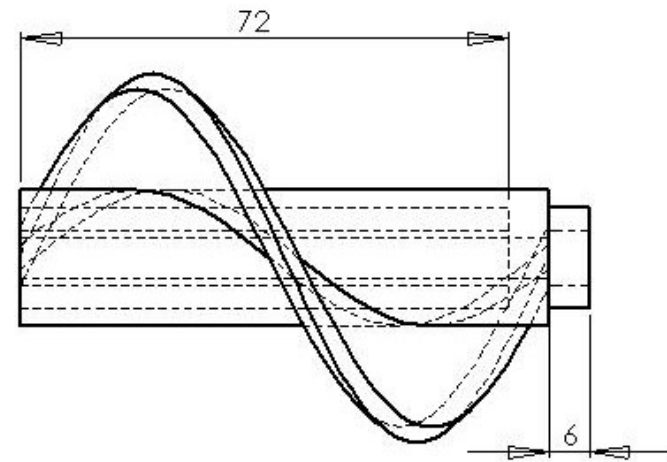
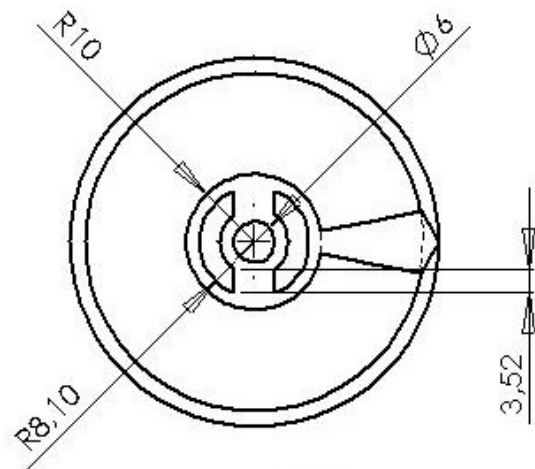
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:2
Material: Aluminio 6061 T-6	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: RIELAJUS
		Plano: LP0822




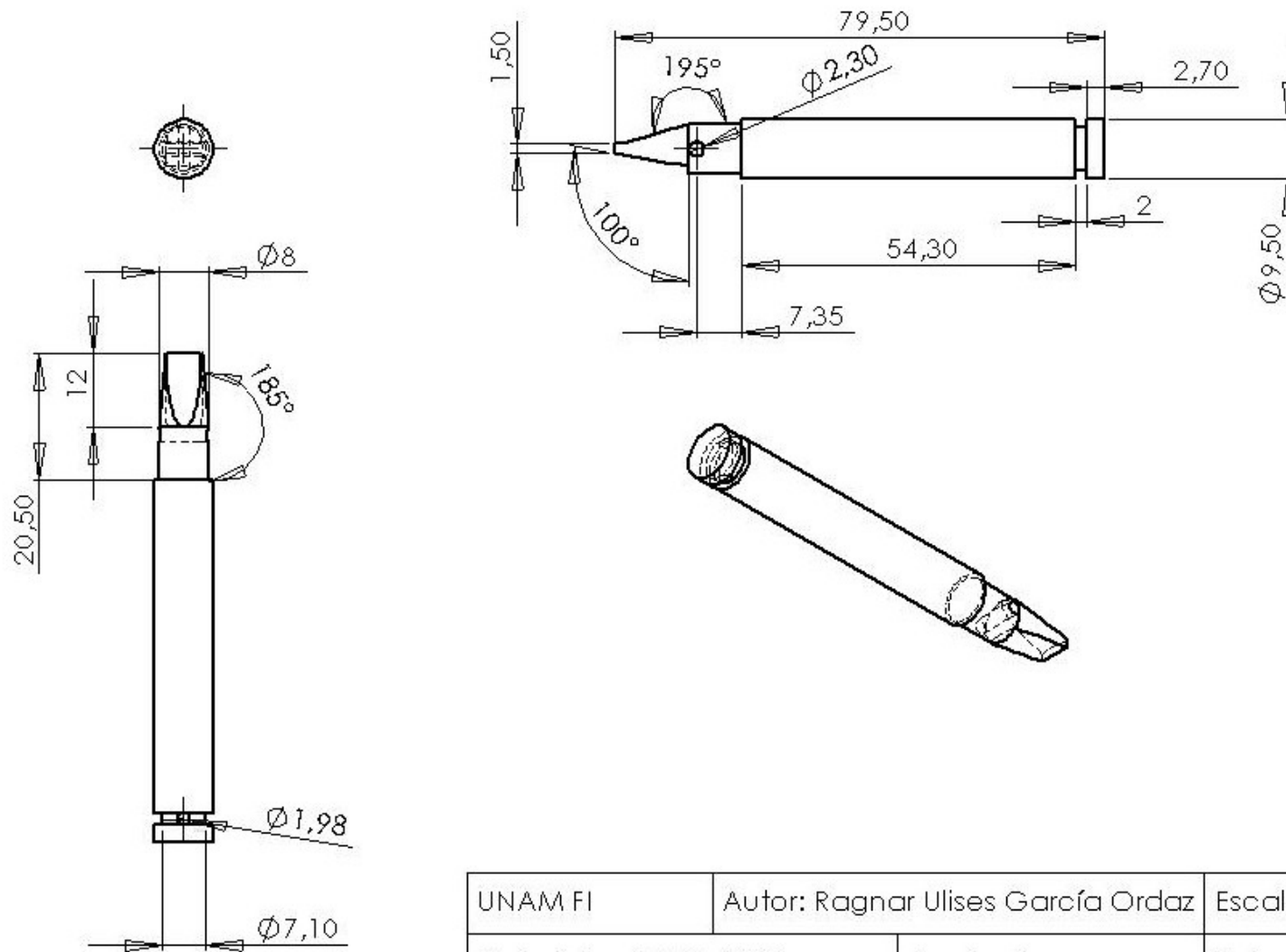
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 2:1
Material: Acero 1018	Acotaciones: mm	Tolerancias: micras
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: COPLEM3 Plano: LP0823

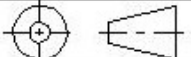


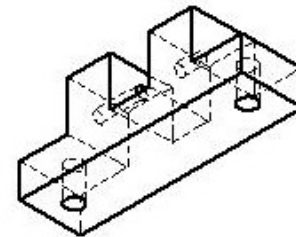
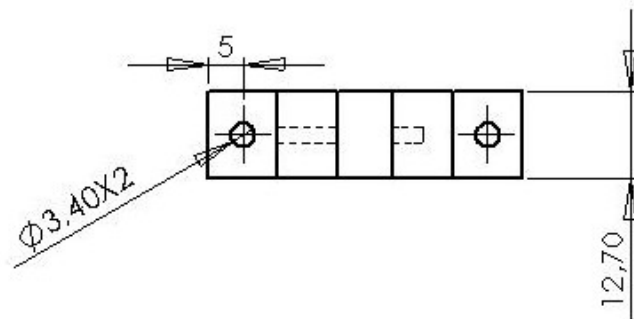
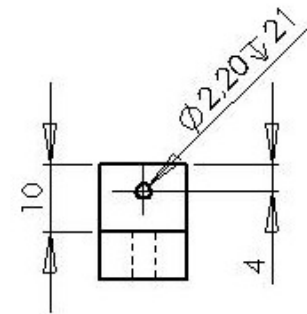
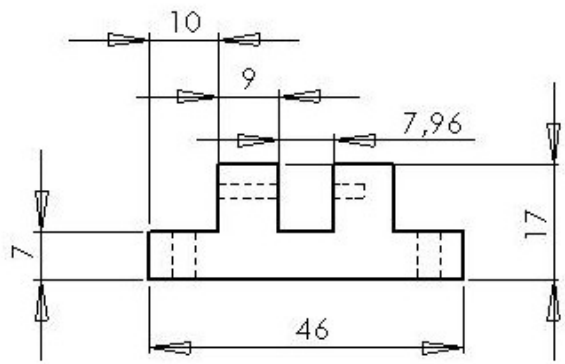
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1 : 2
Material: Aluminio 6061 T-6	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: SOPGUIAS Plano: LP0824



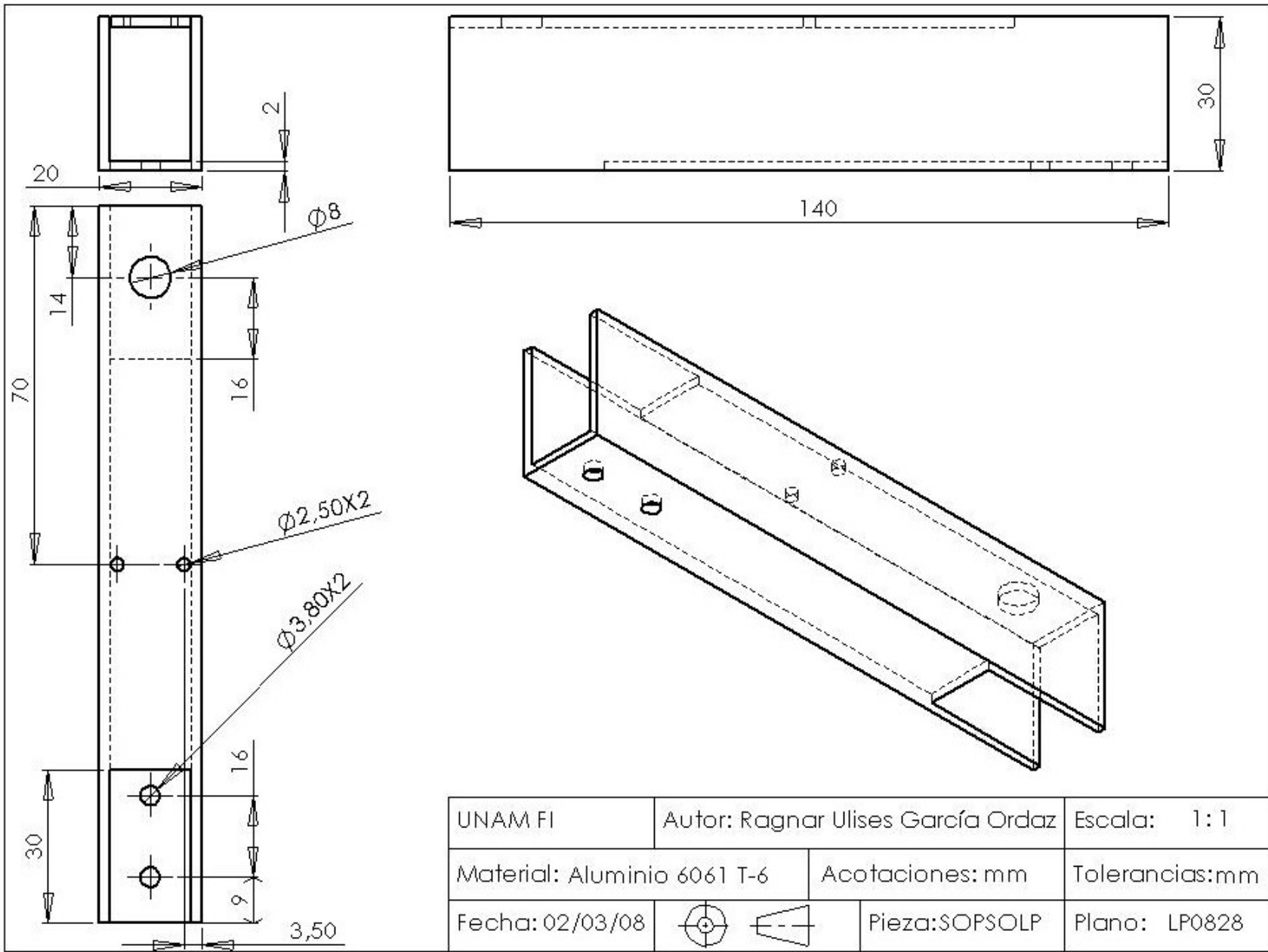
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:1
Material: ABS	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: SINFINEN
		Plano: LP0825




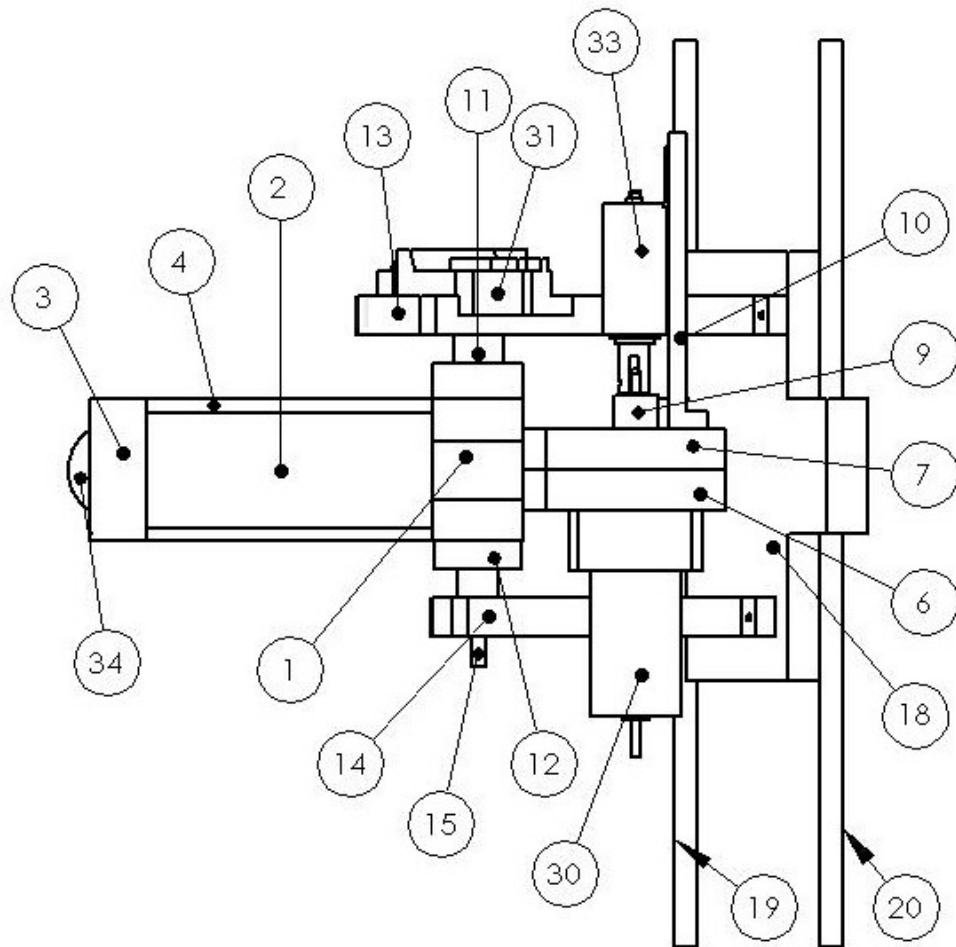
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:1
Material: Acero 1010	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08		Pieza: PALANCA Plano: LP0826



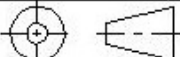
UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:1
Material: Aluminio 6061 T-6	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: SOPPAL
		Plano: LP0827

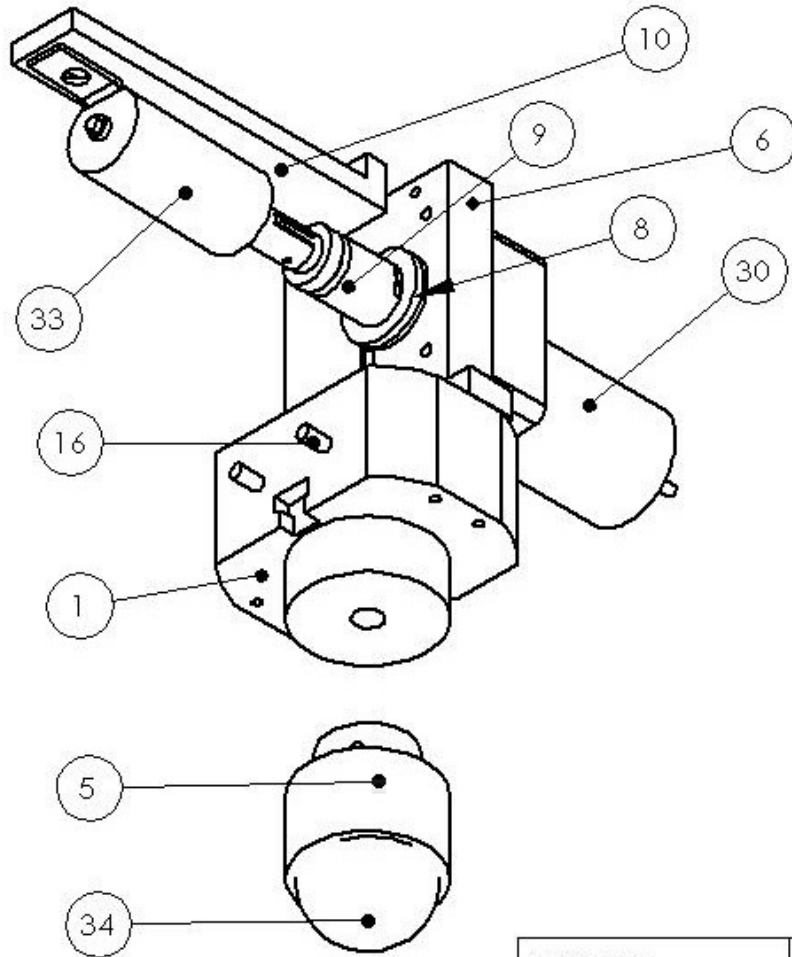


UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: 1:1
Material: Aluminio 6061 T-6	Acotaciones: mm	Tolerancias: mm
Fecha: 02/03/08	 	Pieza: SOPSOLP Plano: LP0828



Pieza	Nombre	Plano	C
1	UNION	LP0801	1
2	TUBO DISP	LP0802	1
3	FIN TUBO	LP0803	1
4	ANCLA	LP0804	2
6	SOPMOT1	LP0806	1
7	SOPTRIN	LP0807	1
11	GIROMOT3	LP0811	1
12	GIRO	LP0812	1
13	SOPMOT3	LP0813	1
14	SOPBAL	LP0814	1
15	FLECHA	LP0815	1
18	BASE	LP0818	1
19	SINFINRC	LP0819	1
20	EJEGUIA	LP0820	1
30	MOTOR 1	SIN	1
31	MOTOR 3	SIN	1

UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: SIN
Material: Varios	Acotaciones: SIN	Tolerancias: SIN
Fecha: 02/03/08		Pieza: ENSAMBLE1 Plano: LP0829



Pieza	Nombre	Plano	C
1	UNION	LP0801	1
5	EMBOLO	LP0805	1
6	SOPMOT1	LP0806	1
8	POLEAP	LP0808	1
9	TRINQUETE	LP0809	1
10	SOPSOL	LP0810	1
16	EJEGIRO	LP0816	2
30	MOTOR 1	SIN	1
33	SOLENOIDE	SIN	1
34	PELOTA	SIN	1

UNAM FI	Autor: Ragnar Ulises García Ordaz	Escala: SIN
Material: VARIOS	Acotaciones: SIN	Tolerancias: SIN
Fecha: 02/03/08		Pieza: ENSAMBLE2 Plano: LP0830

Apéndice 2 Cálculos rectificados

Pieza	Masa g
Polea	12
Resorte	65.1
Pelota	45.8
Embolo con su eje	50.3

En suma se obtienen: 173.2 g, el resorte mandado a hacer tiene una constante de rigidez de alrededor de 4435 N/m, una compresión de máximo 5 cm, con estos datos se obtiene la siguiente Tabla A2.1 que muestra la compresión requerida para proporcionar la fuerza que pueda lanzar la pelota con las velocidades requeridas.

Además de obtener D, que es el alcance vertical máximo con la velocidad de salida dada por el lanzaproyectiles, estos alcances son dados a 30°, 45° y 60° del ángulo de disparo.

La forma de calcularlo es la siguiente, de la ecuación 1.2 se iguala $y = 0$ y se despeja t para obtener la siguiente ecuación:

$$t = \frac{2v_0 \sin \theta}{g}$$

donde

v_0 = lanzamiento del lanzaproyectiles

θ = ángulo de disparo

g = gravedad en el distrito federal 9.77 m/s

Para obtener la distancia de disparo se sustituye el tiempo t en la ecuación 1.5, que es la siguiente:

$$x = v_0 t \cos \theta$$

El resultado de esta ecuación anterior nos da el alcance máximo esperado.

La Fuerza F es el resultado de multiplicar la constante de rigidez del resorte k , por la deformación de este dada por x .

$$F = kx$$





Tabla A2.1 Cálculo con las masas reales y el nuevo resorte.

x [cm]	x[m]	F [N]	Vi [m/s]	D 30° [m]	D 45° [m]	D 60° [m]
0,2	0,002	8,87	0,252767	0,0056634	0,0065395	0,00566339
0,4	0,004	17,74	0,576743	0,0294849	0,0340463	0,02948493
0,6	0,006	26,61	0,897899	0,0714646	0,0825203	0,07146463
0,8	0,008	35,48	1,218468	0,1316025	0,1519615	0,1316025
1	0,01	44,35	1,538816	0,2098985	0,2423699	0,20989851
1,2	0,012	53,22	1,859057	0,3063527	0,3537456	0,30635269
1,4	0,014	62,09	2,17924	0,420965	0,4860885	0,42096503
1,6	0,016	70,96	2,499385	0,5537355	0,6393987	0,55373552
1,8	0,018	79,83	2,819506	0,7046642	0,8136761	0,70466417
2	0,02	88,7	3,139611	0,873751	1,0089207	0,87375098
2,2	0,022	97,57	3,459703	1,0609959	1,2251326	1,06099595
2,4	0,024	106,44	3,779786	1,2663991	1,4623117	1,26639907
2,6	0,026	115,31	4,099863	1,4899604	1,720458	1,48996036
2,8	0,028	124,18	4,419934	1,7316798	1,9995716	1,7316798
3	0,03	133,05	4,74	1,9915574	2,2996524	1,9915574
3,2	0,032	141,92	5,060064	2,2695932	2,6207004	2,26959315
3,4	0,034	150,79	5,380124	2,5657871	2,9627157	2,56578707
3,6	0,036	159,66	5,700182	2,8801391	3,3256982	2,88013914
3,8	0,038	168,53	6,020238	3,2126494	3,709648	3,21264937
4	0,04	177,4	6,340292	3,5633178	4,1145649	3,56331776
4,2	0,042	186,27	6,660344	3,9321443	4,5404492	3,93214431
4,4	0,044	195,14	6,980396	4,319129	4,9873006	4,31912902
4,6	0,046	204,01	7,300446	4,7242719	5,4551193	4,72427188
4,8	0,048	212,88	7,620496	5,1475729	5,9439052	5,1475729
5	0,05	221,75	7,940544	5,5890321	6,4536584	5,58903208

Donde x es la compresión del resorte, F es la fuerza dada por el resorte gracias a dicha compresión, $V_i = v_0$ que es la velocidad con que se lanza el proyectil (calculada con la ecuación 4.9 con los datos de $\theta=60^\circ$ y la masa de 173.2 g y la $k = 4435 \text{ N/m}$) y D es el alcance vertical máximo esperado de dicho proyectil.

Apéndice 3 Actuadores utilizados en el prototipo

Tabla A3.1 Datos de placa de los actuadores.

	Motorreductores	Voltaje [V]	Corriente máxima [A]	RPM	Torque [Kg·cm]	Marca	Cantidad
1	GEAR HEAD GC 2200 MBA 	24 DC	0.85	22	25	Toshiba	2
2	DGM 319 6B 	24 DC	1.5	180	8	Toshiba	1
3	127 K27330 82-048-012 	24.5 DC		1.85		Crouzet	1
	Solenoide 	24 DC	1.7-3.0			Decco	2

Apéndice 4 Nudo y adaptaciones

Nudo

El nudo que ofrece el mejor resultado tanto en resistencia, como en la facilidad de su realización es el siguiente:

Nudo para líneas trenzadas (Figura A4.1)

Este nudo es especialmente indicado para utilizarlo con líneas trenzadas²⁶ o de multifilamento.

Al anudar de esta forma, se evita que la línea resbale, terminando por deshacer el nudo.

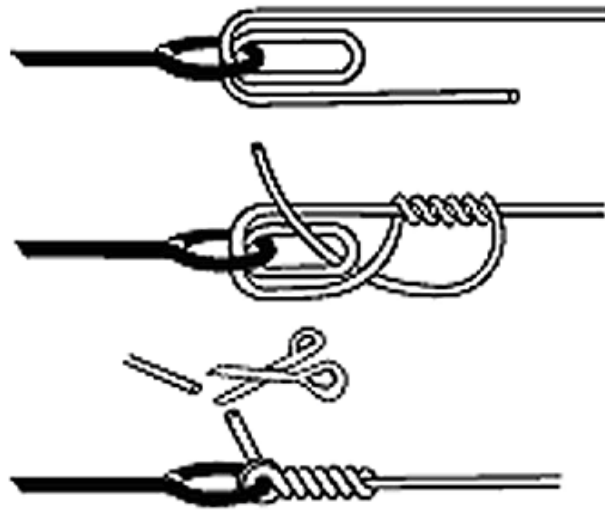


Figura A4.1 Nudo para líneas trenzadas

Desarrollo del nudo

1. Se introduce la línea sobre el eje del émbolo. Se introduce una segunda vez en la misma dirección que la primera vez, generando así una lazada o boca.
2. Se da entre 5 y 6 vueltas con el extremo de la línea por encima de la boca que se ha creado.

3. Se introduce el extremo por la boca creada. Se humedece el nudo, se aprieta y se corta el sobrante.

Adaptaciones.

Tras experimentar con el nuevo nudo, se observó que el solenoide no lograba desacoplarse con una fuerza de compresión del resorte superior a los 14, 15 *kg* aproximadamente. Por lo tanto, se realizó una adaptación para poder multiplicar la fuerza para desacoplar, la cual consiste en una palanca con una relación de distancia de 1:4.5, que multiplica la fuerza ejercida en un extremo por 4.5, la cual también modifica la distancia recorrida para desacoplar de 3 *mm* a 13.5 *mm* en el extremo de la palanca, los resultados de las pruebas cumplieron con las necesidades del dispositivo.

Los cambios son mostrados por medio de las siguientes Figuras A4.2 y A4.3 y los planos están incluidos en el Apéndice 2.

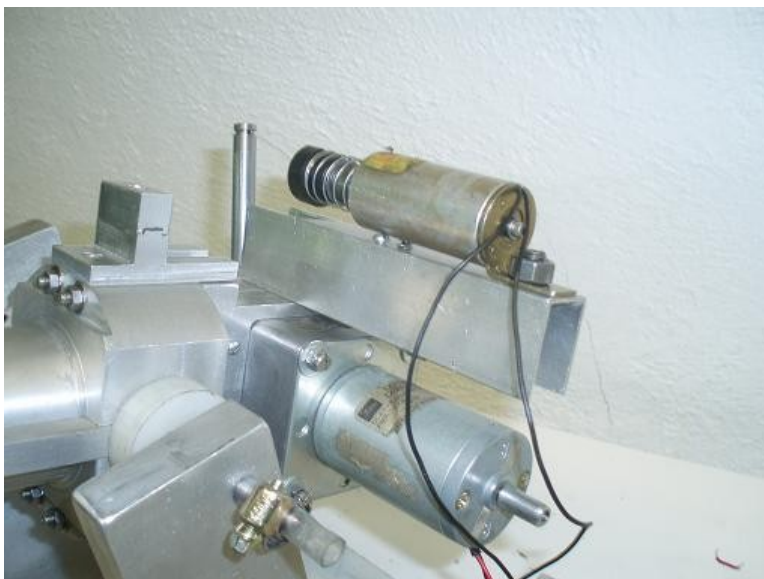


Figura A4.2 Adaptación del solenoide con palanca.

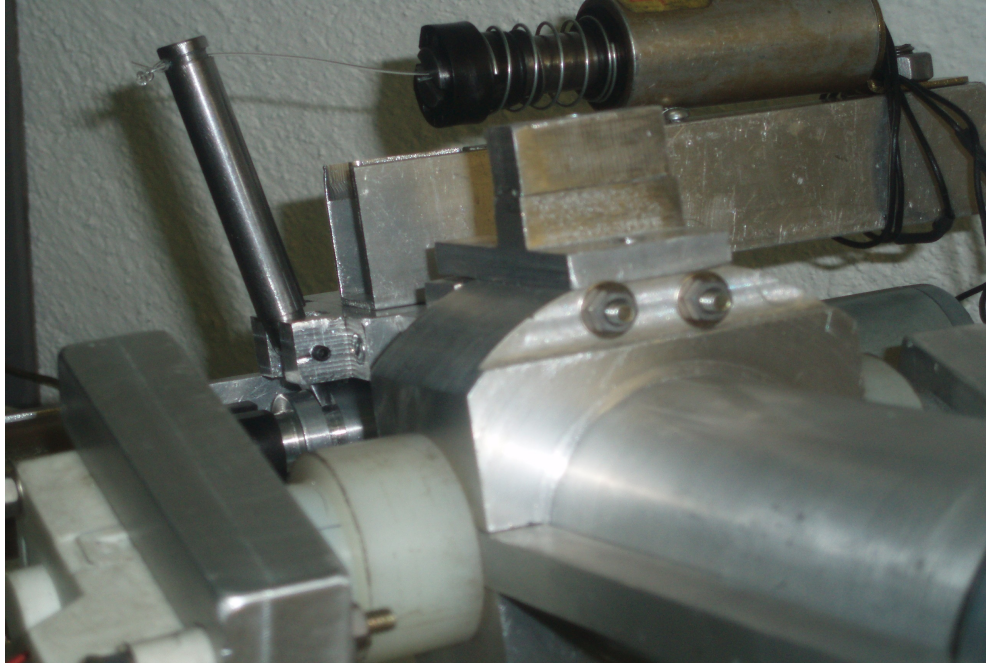


Figura A4.3 Adaptación de la palanca y el trinquete.

REFERENCIAS.

Bibliografía

- [12] William Reid. **Historias de las armas.**
Editorial Raíces. Impreso en España 1976.
- [15] George E. Dieter. Engineerin **Design and Processing Approach**
Editorial Mc Graw-Hill, Segunda Edición 1991.
- [16] Kart T. Ulrich. **Diseño y desarrollo de productos.**
Editorial Mc Graw-Hill, Tercera Edición.
- [17] John A. Roberson y Clayton T. Crowe. **MECÁNICA DE FLUIDOS.**
Editorial Mc Graw-Hill, Segunda Edición. Impreso en México 1989.
- [18] Beer Ferdinand P. Johnston E Russell. **Mecánica vectorial para ingenieros Dinámica.** Editorial Mc Graw-Hill, sexta edición. Impreso en México 1998.
- [19] Ernest Rabinowicz. **Friction and wear of Materials.**
Editorial Wiley-Interscience, second Edition. Impreso en Estados Unidos 1995.
- [20] Joseph E. Shigley y Charles R. Mischke. **Diseño en Ingeniería Mecánica.**
Editorial Mc Graw-Hill, sexta edición. Impreso en México 2002.
- [21] B.H. Amstead. Ph.F. Ostwald. **Procesos de Manufactura Versión 51.**
Editorial Continental, 18º Reimpresión. Impreso en México 2003.
- [24] A Chevalier. **Dibujo Industrial.**
Editorial Limusa, Segunda reimpresión. Impreso en México 1994.
- [25] Murria R. Spiegel. **Manual de Fórmulas y Tablas Matemáticas.**
Editorial Mc Graw Hill. Impreso en México 1998.
- [27] Kutz. **Handbook of Materials Selection.**
Ed. John Wiley & Sons. Impreso en Estados Unidos 2002.

Referencias Electrónicas

- [1] <http://ichasagua.dfis.ull.es/docencia/itm/practicas/down/pendulobalistico.doc>
18 de mayo del 2006
- [2] <http://www.cofaa.ipn.mx/transparecia/bases/11135001-007-06eddlf.pdf>

- 20 de mayo del 2006.
- [3] http://store.pasco.com/pascostore/showdetl.cfm?&DID=9&Product_ID=1397&manuals=1&manlanguage=english 16 de junio del 2006
- [4] http://www.disca.upv.es/jposadas/web/Ficheros/Publicaciones%20de%20Investigaci%C3%B3n/Congresos%20Nacionales/A%C3%B1o2005/JA05_Eurobot2005.pdf 20 de mayo del 2006
- [5] <http://www.depeca.uah.es/alcabot/eurobot2005/> 20 de mayo del 2006
- [6] www.pucp.edu.pe/invest/conciencia/basket.pdf 22 de mayo del 2006
- [7] <http://www.turismoenveracruz.com/gotcha.htm> 10 de septiembre del 2006
- [8] <http://www.estratego.es/dudas.htm> 12 de septiembre del 2006
- [9] <http://www.restlessadventurer.net/paintball/> 12 de septiembre del 2006
- [10] http://www.pinballhispano.net/pinballworld/p_articulos/a_creacion_pinball.htm 20 de mayo del 2006
- [11] <http://www.donic.com.au/index.htm> 20 de mayo del 2006
- [13] <http://oalm.astronomia.edu.uy/desarrollo/micropasos/> 2 de junio del 2006
- [14] <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis14.pdf> 2 de junio del 2006.
- [22] http://intl.stratasys.com/fdm_products.aspx?id=801 18 de agosto 2007
- [23] <http://www.plastunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp?ID=2546> 18 de agosto 2007
- [26] http://www.portalpesca.com/articulos/nudo_lineas_trenzadas_155.asp?articulo=155&v=1&capitulo=1&seccontrol= 10/01/2008.